اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا

ريكار

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

السويد
Sverige

الأمم المتحدة
الاسكوا
ESCWA

تقييم تأثير التغيرات في المياه المتاحة على انتاجية المحاصيل الزراعية

تقرير دراسة الحالة في اليمن

منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة

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

E/ESCWA/SDPD/2019/CP.10

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 اليمن

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.

19-00082

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. عبـدالواحد عبـدالله سيف
(رئيس الفريق) تربية نبات- المحطة الإقليمية للبحوث الزراعية في المرتفعات الشمالية – صنعاء

د. يحيى عبدالله علي مولى الدويلة
فسيولوجي نبات- محطة بحوث المرتفعات الجنوبية – تعز

م. حازم حزام أحمد الأشول
تربة ومياه- المحطة الإقليمية للبحوث الزراعية في المرتفعات الشمالية –صنعاء

م. محمد عبدالواسع الخرساني
مناخ زراعي- مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة – ذمار

م. أحمد حسن سالم بن سالم
تربة ومياه- محطة بحوث الكود- أبين

المحتويات

ص. 3 تقديم
ص. 5 فريق الدراسة

ص. 17 1. مقدمة

ص. 20 2. منطقة الدراسة والمحاصيل
ص. 20 منطقة الدراسة
ص. 23 المحاصيل المدروسة
ص. 23 القمح
ص. 24 الذرة الرفيعة
ص. 25 الذرة الشامية
ص. 25 السمسم

ص. 27 3. البيانات والمعاملات المستخدمة في الدراسة
ص. 27 التغيرات المناخية المتوقعة
ص. 32 البيانات اللازمة للمحاكاة

ص. 39 4. معايرة النموذج الرياضي AquaCrop

ص. 44 5. تطبيق برنامج AquaCrop ومراحل تشغيله والسيناريوهات المعتمدة المدروسة للتغيرات المناخية

ص. 45 6. النتائج
ص. 45 صنعاء
ص. 66 الكود (أبين)
ص. 71 السمسم

ص. 76 7. مناقشة النتائج ومنعكساتها
ص. 76 القمح والذرة الريفية في اقليم المرتفعات (صنعاء،ذمار)
ص. 77 الذرة الشامية والسمسم في اقليم الساحل الجنوبي (الكود)

ص. 79 8. منعكسات الدراسة على السياسات الزراعية والاقتصاد الوطني

ص. 80 9. الخطة المستقبلية المقترحة في استخدام البرنامج

ص. 81 10. التوصيات

ص. 82 المراجع

قائمة الاشكال

ص. 20 **الشكل 1.** صورة من القمر الصناعي للجمهورية اليمنية توضح مناطق الدراسة صنعاء وذمار وأبين لتمثل اقليم المرتفعات الشمالية والوسطى واقليم الساحل الجنوبي من اليمن

ص. 21 **الشكل 2.** المتوسط الشهري لدرجة الحرارة في محافظة صنعاء للفترة بين 1983 - 2012

ص. 21 **الشكل 3.** الأمطار والتبخر-نتح الشهرية في محافظة صنعاء للفترة بين 1983 - 2012

ص. 22 **الشكل 4.** المتوسط الشهري لدرجة الحرارة في محافظة ذمار للفترة بين 1999- 2016

ص. 22 **الشكل 5.** الأمطار والتبخر-نتح الشهرية في محافظة ذمار للفترة بين 1999- 2016

ص. 40 **الشكل 6.** العلاقة بين الانتاجية الفعلية والمقدرة ومعامل التحديد بعد عملية المعايرة لمحصولي القمح والذرة الرفيعة في صنعاء

ص. 41 **الشكل 7.** العلاقة بين الانتاجية الفعلية والمقدرة ومعامل التحديد بعد عملية المعايرة لمحصولي القمح والذرة الرفيعة في ذمار

ص. 42 **الشكل 8.** العلاقة بين الانتاجية الفعلية والمقدرة ومعامل التحديد بعد عملية المعايرة لمحصولي القمح والذرة الرفيعة في ذمار

ص. 43 **الشكل 9.** العلاقة الخطية بين كل من الغطاء النباتي (CC) الفعلي والمتوقع، والإنتاجية الحيوية (B) الفعلية والمتوقعة للذرة الشامية في منطقة الدراسة الكود

ص. 43 **الشكل 10.** العلاقة الخطية بين كل من الغطاء النباتي (CC) الفعلي والمتوقع، والإنتاجية الحيوية (B) الفعلية والمتوقعة للسمسم في منطقة الدراسة الكود

ص. 45 **الشكل 11.** متوسط انتاجية القمح (طن/ هكتار) في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 46 **الشكل 12.** متوسط دورة النمو (يوم) المقدرة في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 46 **الشكل 13.** متوسط التبخر-نتح الفعلي E+Tr(مم) المقدرة في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 46 **الشكل 14.** متوسط الانتاجية المائية للقمح (كجم/م^3) في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 50 **الشكل 15.** متوسط انتاجية الذرة الرفيعة (طن/ هكتار) في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 51 **الشكل 16.** متوسط دورة النمو (يوم) المقدرة للذرة الرفيعة في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 51 **الشكل 17.** متوسط التبخر-نتح (مم) المقدرة للذرة الرفيعة في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 51 **الشكل 18.** متوسط الانتاجية المائية للذرة الرفيعة (كجم/م^3) في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 55 **الشكل 19.** متوسط انتاجية القمح (طن/ هكتار) في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 56 **الشكل 20.** متوسط دورة النمو (يوم) المقدرة للقمح في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 56 **الشكل 21.** متوسط التبخر-نتح الفعلي E+Tr (مم) المقدرة للقمح في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 56 **الشكل 22.** متوسط الانتاجية المائية للقمح (كجم/م^3) في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 61 **الشكل 23.** متوسط انتاجية الذرة الرفيعة (طن/ هكتار) في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 61 **الشكل 24.** متوسط دورة النمو (يوم) المقدرة للذرة الرفيعة في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 61 **الشكل 25.** متوسط التبخر-نتح (مم) المقدرة للذرة الرفيعة في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 62 **الشكل 26.** متوسط الانتاجية المائية للذرة الرفيعة (كجم/م^3) في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 67 **الشكل 27.** متوسط انتاجية الذرة الشامية (طن/ هكتار) في الكود للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050

ص. 67 **الشكل 28.** العلاقة الخطية لمتوسط الاستهلاك المائي المتوقع للذرة الشامية لثلاثة نماذج لسيناريو RCP 4.5
في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون 1986-2050

ص. 67 **الشكل 29.** العلاقة الخطية لمتوسط الانتاجية المائية المتوقعة للذرة الشامية لثلاثة نماذج لسيناريو RCP 4.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون

ص. 68 **الشكل 30.** العلاقة الخطية لمتوسط دورة النمو المتوقعة للذرة الشامية لثلاثة نماذج لسيناريو RCP 4.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون

ص. 71 **الشكل 31.** العلاقة الخطية لمتوسط إنتاجية السمسم المتوقعة لثلاثة نماذج للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون

ص. 72 **الشكل 32.** العلاقة الخطية لمتوسط الاستهلاك المائي المتوقع للسمسم لثلاثة نماذج للسيناريوهين RCP 4.5
و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون

ص. 72 **الشكل 33.** العلاقة الخطية لمتوسط الانتاجية المائية المتوقعة للسمسم لثلاثة نماذج للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون

ص. 72 **الشكل 34.** العلاقة الخطية لمتوسط دورة النمو المتوقعة للسمسم لثلاثة نماذج للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون

قائمة الجداول

ص. 28 **الجدول 1.** التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 في منطقة صنعاء باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-ESM2M، CNRM-CM5، EC-Earth وفقا للسيناريو RCP 4.5

ص. 28 **جدول 2.** التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 في منطقة صنعاء باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-ESM2M، CNRM-CM5، EC-Earth وفقاً للسيناريو RCP 8.5

ص. 29 **الجدول 3.** التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 في منطقة ذمار باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-ESM2M، CNRM-CM5، EC-Earth وفقا للسيناريو RCP 4.5

ص. 30 **الجدول 4.** التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 في منطقة ذمار باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-ESM2M، CNRM-CM5، EC-Earth وفقا للسيناريو RCP 8.5

ص. 31 **الجدول 5.** التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 في منطقة الكود باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-ESM2M، CNRM-CM5، EC-Earth وفقا للسيناريو RCP 4.5

ص. 31 **الجدول 6.** التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 في منطقة الكود باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-ESM2M، CNRM-CM5، EC-Earth وفقا للسيناريو RCP 8.5

ص. 32 **الجدول 7.** بيانات ومتغيرات المحصول اللازمة لتشغيل البرنامج لمحصولي القمح والذرة الرفيعة لمنطقة الدراسة صنعاء

ص. 33 **الجدول 8.** أهم الخصائص الفيزيائية للتربة في مواقع الدراسة صنعاء

ص. 33 **الجدول 9.** مواعيد الري (يوم بعد الزراعة) للقمح والذرة الرفيعة في منطقة الدراسة صنعاء

ص. 33 **الجدول 10.** الانتاجية (طن/هكتار) لفترة عشر سنوات لكل من القمح والذرة الرفيعة في منطقة الدراسة صنعاء

ص. 34 **الجدول 11.** بيانات ومتغيرات المحصول اللازمة لتشغيل البرنامج لمحصولي القمح والذرة الرفيعة لمنطقة الدراسة ذمار

ص. 35 **الجدول 12.** أهم الخصائص الفيزيائية للتربة في مواقع الدراسة ذمار

ص. 36 **الجدول 13.** الانتاجية (طن/هكتار) لفترة عشر سنوات لكل من القمح والذرة الرفيعة في منطقة الدراسة ذمار

ص. 37 **الجدول 14.** بيانات ومتغيرات المحصول للذرة الشامية والسمسم

ص. 37 **الجدول 15.** خصائص التربة في منطقة الكود

ص. 37 **الجدول 16.** الإدارة المحصولية للذرة الشامية والسمسم

ص. 37 **الجدول 17.** برنامج الري للذرة الشامية

ص. 38 **الجدول 18.** برنامج الري للسمسم

ص. 38 **الجدول 19.** إنتاجية الذرة الشامية والسمسم الفعلية (طن/هكتار) خلال عشر سنوات 1999-2008

ص. 39 **الجدول 20.** قيم المتغيرات قبل وبعد عملية المعايرة

ص. 40 **الجدول 21.** المعايير الإحصائية المستخدمة في الحكم على صحة النموذج ودقة عملية المعايرة

ص. 40 **الجدول 22.** قيم المتغيرات قبل وبعد عملية المعايرة

ص. 41 **الجدول 23.** المعايير الإحصائية المستخدمة في الحكم على صحة النموذج ودقة عملية المعايرة

ص. 42 **الجدول 24.** المعايير الإحصائية المستخدمة في الحكم على صحة النموذج ودقة عملية المعايرة

ص. 47 **الجدول 25.** متوسط إنتاجية القمح في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 47 **الجدول 26.** متوسط طول موسم النمو للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 47 **الجدول 27.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 47 **الجدول 28.** الإنتاجية المائية للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 47 **الجدول 29.** متوسط إنتاجية القمح في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 47 **الجدول 30.** متوسط طول موسم النمو للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 48 **الجدول 31.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 48 **الجدول 32.** الإنتاجية المائية للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 48 **الجدول 33.** متوسط إنتاجية القمح في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 48 **الجدول 34.** متوسط طول موسم النمو للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 48 **الجدول 35.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 48 **الجدول 36.** الإنتاجية المائية للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 49 **الجدول 37.** متوسط إنتاجية القمح في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 49 **الجدول 38.** متوسط طول موسم النمو للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 49 **جدول 39.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 49 **الجدول 40.** الإنتاجية المائية للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2060 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 50 **الجدول 41.** الهطول المطري الموسمي المتوقع للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 2005-1985 خلال موسم القمح في منطقة صنعاء باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-ESM2M، CNRM-CM5، EC-Earth وفقا للسيناريو RCP8.5 وRCP4.5

ص. 52 **الجدول 42.** متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 52 **الجدول 43.** متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2030-2020 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 52 **الجدول 44.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2030-2020 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 52 **الجدول 45.** الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 52 **الجدول 46.** متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 53 **الجدول 47.** متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 53 **الجدول 48.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد لكربون

ص. 53 **الجدول 49.** الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 53 **الجدول 50.** متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 53 **الجدول 51.** متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 53 **الجدول 52.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 53 **الجدول 53.** الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 54 **الجدول 54.** متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 54 **الجدول 55.** متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 54 **الجدول 56.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 54 **الجدول 57.** الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 55 **الجدول 58.** الهطول المطري الموسمي المتوقع للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 2005-1985 خلال موسم الذرة الرفيعة في منطقة صنعاء باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-، EC-Earth، CNRM-CM5 ESM2M وفقا للسيناريو RCP8.5 وRCP4.5

ص. 57 **الجدول 59.** متوسط إنتاجية القمح في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 57 **الجدول 60.** متوسط طول موسم النمو للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 57 **الجدول 61.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 57 **الجدول 62.** الإنتاجية المائية للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

ص. 58 **الجدول 63.** متوسط إنتاجية القمح في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 58 **الجدول 64.** متوسط طول موسم النمو للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 58 **الجدول 65.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 58 **الجدول 66.** الإنتاجية المائية للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 58 **الجدول 67.** متوسط إنتاجية القمح في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 58 **الجدول 68.** متوسط طول موسم النمو للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 59 **الجدول 69.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 59 **الجدول 70.** الإنتاجية المائية للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 59 **الجدول 71.** متوسط إنتاجية القمح في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 59 **الجدول 72.** متوسط طول موسم النمو للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 60 **الجدول 73.** الإنتاجية المائية للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 60 **الجدول 74.** الهطول المطري الموسمي المتوقع للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 خلال موسم القمح في منطقة ذمار باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج EC-Earth، CNRM-CM5 ،GFDL-ESM2M وفقا للسيناريو RCP8.5 وRCP4.5

ص. 60 **الجدول 75.** متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 62 **الجدول 76.** متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 62 **الجدول 77.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 62 **الجدول 78.** الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 62 **الجدول 79.** متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 63 **الجدول 80.** متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 63 **الجدول 81.** متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2030-2020 و 2040-2050 اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 63 **الجدول 82.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 63 **الجدول 83.** الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 64 **الجدول 84.** متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 64 **الجدول 85.** متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 64 **الجدول 86.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 64 **الجدول 87.** الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 65 **الجدول 88.** متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 65 **الجدول 89.** متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 65 **الجدول 90.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 65 **الجدول 91.** الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 65 **الجدول 92.** الهطول المطري الموسمي المتوقع للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 2005-1985 خلال موسم الذرة الرفيعة في منطقة ذمار باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-، EC-Earth، CNRM-CM5 ESM2M وفقا للسيناريو RCP8.5 و RCP4.5

ص. 69 **الجدول 93.** متوسط إنتاجية الذرة الشامية في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 69 **الجدول 94.** متوسط طول موسم النمو للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 69 **الجدول 95.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 69 **الجدول 96.** الإنتاجية المائية للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 69 **الجدول 97.** متوسط إنتاجية الذرة الشامية في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 69 **الجدول 98.** متوسط طول موسم النمو للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 69 **الجدول 99.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 69 **الجدول 100.** الإنتاجية المائية للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 70 **الجدول 101.** متوسط إنتاجية الذرة الشامية في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 70 **الجدول 102.** متوسط طول موسم النمو للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 70 **الجدول 103.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 70 **الجدول 104.** الإنتاجية المائية للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 70 **الجدول 105.** متوسط إنتاجية الذرة الشامية في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 70 **الجدول 106.** متوسط طول موسم النمو للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 70 **الجدول 107.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 70 **الجدول 108.** الإنتاجية المائية للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 74 **الجدول 109.** متوسط إنتاجية السمسم في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 74 **الجدول 110.** متوسط طول موسم النمو للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 74 **الجدول 111.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 74 **جدول 112.** الإنتاجية المائية للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 74 **جدول 113.** متوسط إنتاجية الذرة الشامية في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 74 **جدول 114.** متوسط طول موسم النمو للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 74 **جدول 115.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 74 **جدول 116.** الإنتاجية المائية للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 75 **جدول 117.** متوسط إنتاجية السمسم في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 75 **جدول 118.** متوسط طول موسم النمو للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 75 **جدول 119.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 75 **جدول 120.** الإنتاجية المائية للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 75 **جدول 121.** متوسط إنتاجية السمسم في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 75 **جدول 122.** متوسط طول موسم النمو للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 75 **جدول 123.** التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 75 **جدول 124.** الإنتاجية المائية للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

1. مقدمة

تقع اليمن ضمن المناخ الجاف وشبه الجاف مع شحة المصادر المائية وتتصف كمية الامطار بالندرة وتذبذب سقوطها. يقدر عدد سكان اليمن بحوالي 28 مليون نسمة ومعدل نمو 3.7%. تقدر المساحة الكلية لليمن 45.55 مليون هكتار، وتقدر الأراضي الزراعية بحوالي 1.6 مليون هكتار منها 51% أراضي مطرية، 31% أراضي مروية من الابار، 10% أراضي مروية من الفيضانات، 6% أراضي مروية من السدود، 2% أراضي مروية من الينابيع (وزارة الزراعة والري، 2016). وتتسم الزراعة في اليمن بالتنوع نظرا لما تتمتع به من تباين في الخصائص المناخية الناتجة عن تفاوت معدلات الأمطار ودرجات الحرارة والرطوبة واختلاف الظروف الطبوغرافية ونتج عن هذا تباين في الأقاليم البيئية الزراعية من حيث طبيعة وتنوع الانتاج النباتي. وبحسب البيانات الرسمية الموجودة في كتب الإحصاء الزراعي الصادرة من وزارة الزراعة والري يظهر أن المساحة الزراعية تتذبذب من سنة إلى أخرى بحسب التهاطل المطري المتقلب دائما والجفاف المتكرر وتغير درجة الحرارة، فبينما كانت المساحة المحصولية 1.487 مليون هكتار في عام 2007 فقد تناقصت حتى وصلت 1.172 مليون هكتار في 2015 وقد سجل نمو سالب في إجمالي المساحة المحصولية.

يعتبر قطاع الزراعة ببعده الاقتصادي والاجتماعي والبيئي احد القطاعات الرئيسية في الاقتصاد اليمني، حيث تشكل الزراعة مصدر الدخل الرئيسي لحوالي 73.5% من سكان الجمهورية سواء كانوا يعملون في الزراعة بشكل مباشر أو يعملون في الخدمات والحرف والصناعات التي تخدم سكان الريف والحضر على حد سواء، إضافة إلى مساهمته النسبية المرتفعة في الناتج المحلي الإجمالي، فضلا عن دوره الحساس في مجال الأمن الغذائي وتحسين الميزان التجاري للدولة، وكونه محورا أساسيا للتنمية الريفية المتكاملة وعامل استقرار نسبي للسكان وللحد من الهجرة الداخلية وما يترتب عليها من مشاكل اجتماعية واقتصادية (وزارة الزراعة والري، 2014a).

يعيش أغلب السكان في اليمن في المناطق الريفية ويعتمدون على الإنتاج الزراعي في حياتهم وبحسب ما ورد في التقرير الزراعي السنوي لعام 2013 يعتبر القطاع الزراعي هو القطاع الإنتاجي الأول بين مختلف القطاعات الاقتصادية حاضرا ومستقبلا وهذا يعود إلى حجم مساهمته في مجمل الانتاج القومي والانشطة الزراعية المختلفة وتقدر مساهمته بحوالي 14.5% من إجمالي الناتج المحلي كأكبر قطاعات الاقتصاد القومي، كما أن نسبة كبيرة من السكان مرتبطون بالقطاع الزراعي حيث تقدر نسبتهم بحوالي 73.5% نظرا لمعيشتهم في الريف، وحوالي 54% من القوى العاملة في البلاد يشتغلون في القطاع الزراعي ويشكل مصدر اساسي في توفير جزء كبير من احتياجات السكان من الغذاء، كما يعتبر من القطاعات المهمة في الحفاظ على التوازن البيئي (مياه، تربة، نبات). كما ان مساهمته في تحسين الدخل للمزارعين واضحة من خلال الحد من نسبة الفقر والعوز لكونه مرتبط بشريحة كبيرة في المجتمعات الريفية، كما يساهم القطاع الزراعي في رفع الميزان التجاري للدولة من خلال الصادرات الزراعية (المصدر السابق).

يحتل الإنتاج النباتي المرتبة الأولى في الإنتاج الزراعي وتتصدر مساحة محاصيل الحبوب المرتبة الاولى حيث تشكل نسبة 57.1% والأعلاف والقات بنسبة 10.6% والفاكهة بنسبة 6.3% ومساحة الخضروات بنسبة 5.8% والمحاصيل النقدية بنسبة 5.7% والبقوليات 3.2% وفي عام 2012 بلغت المساحة المزروعة 1,500,973 هكتار.

ووصلت في عام 2013 إلى حوالي 1,499,404 هكتار وتناقصت في عام 2015 إلى 1,172,185هكتار وذلك بسبب شحة الأمطار والازمة القائمة في البلاد التي انعكست سلبا على الزراعة بسبب ارتفاع اسعار مادة الديزل.

وتحتل محاصيل الحبوب 57.1% من أجمالي المساحة المزروعة سنويا وتعتمد معظمها على الأمطار وهذه المساحة تتذبذب من سنة إلى أخرى بحسب كمية الهطول المطري ففي عام 2007 وصلت إلى 891 الف هكتار وتناقصت إلى 784 الف هكتار عام 2011 ثم وصلت 585 الف هكتار في 2015. كما تناقص إنتاج الحبوب حيث بلغ في العام 2012 حوالي 909 ألف طن ليصل عام 2013 إلى 863 ألف طن ثم إلى 459 ألف طن عام 2015 وهذا يدل على تناقص الإنتاج بسبب شحة الأمطار والنقص في الاصناف المحسنة المتأقلمة للظروف المطرية اضافة الى عدم توفر البذور النقية وبكميات كافية. وتشغل الذرة الرفيعة والدخن والقمح اكبر مساحة على مستوى الجمهورية اليمنية والتي تقدر بـ 60%، 15%، 13% على التوالي من مجمل المساحة المزروعة بالحبوب عام 2015 (وزارة الزراعة والري، 2016). كما يجب أن نشير إلى أن الكمية من الإنتاج لا تكفي الطلب المتزايد على الحبوب وبالذات القمح والذي كان 715 الف طن في عام 2008 وأصبح 100 الف عام 2015 ويتم تغطية هذا النقص عن طريق الاستيراد حيث تنامت عملية الاستيراد بوتيرة عالية. وتقدر الفجوة بين الإنتاج من الحبوب والاستهلاك بنسبة عجز في الاكتفاء الذاتي تقدر بحوالي 22% (القمح 7%، الذرة الرفيعة 98%).

يتضح مما سبق بان متوسط إجمالي إنتاج الحبوب بما فيها القمح والذرة الرفيعة والذرة الشامية في تناقص مستمر ويعزى ذلك إلى عدة أسباب تتركز في:

- التغيرات المناخية المتعاقبة (ارتفاع درجة الحرارة وتذبذب كمية الهطول المطري والتي أثرت بشكل كبير على الإنتاج ليس فقط محليا ولكن على المستوى العالمي أيضا.
- ارتفاع أسعار الوقود أثر على عمليات الإنتاج والنقل لهذه المواد.
- عزوف العديد من منتجي القمح والذرة من زراعتها بسبب تدني الجدوى من إنتاجها.
- اضافة الى تبعات الحرب القائمة على مجمل النشاط الزراعي وارتفاع المدخلات.

كل هذه العوامل أدت إلى ارتفاع أسعار المواد الغذائية وخاصة القمح والذرة الرفيعة والذرة الشامية إلى مستويات قياسية لم تبلغها من قبل وأدى الحديث عن زوال عصر الغذاء الرخيص، كما أن الأزمة العالمية أثرت بصورة كبيره على مختلف مناحي الحياة في دول العالم وخاصة الفقيرة منها واليمن أحد أكثر الدول تضررا من أزمة الغذاء حيث تناقص الدخل السنوي للفرد وارتفعت أعداد البطالة وتوسعت رقعة الفقر. هذا الوضع حث دول عديدة من العالم على انتهاج سياسة زراعية تعتمد على التوسع في زراعة الحبوب وتأمين احتياجاتها منها وكانت اليمن واحدة من هذه الدول وقد كان لبرنامج زراعة الحبوب في اليمن والتي ساعدت منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة في تمويل جزء منه بالإضافة إلى ارتفاع أسعار الحبوب دور كبير في زيادة أنتاج الحبوب في اليمن وقد قفز أجمالي الإنتاج قفزة نوعية في السنوات الأخيرة لكنه اخذ في التناقص ووصلت إلى أدنى مستوياتها عام 2015.

ومن ناحية أخرى هناك حاجة ملحة لزيادة كفاءة استخدام المياه بسبب الانخفاض الحاد في الموارد المائية للزراعة واستمرار الزيادة السكانية (Toumi et al., 2016). وينبغي أن يشمل ذلك استخدام التقنيات والممارسات التي توفر إمدادات أكثر دقة من المياه للمحاصيل. وعلاوة على ذلك، هناك حاجة إلى تقدير أثر الحد من المياه على إنتاجية المحاصيل.

ويعتبر AquaCrop نموذج تجريبي للنمو المحصولي القائم على العمليات الزراعية والذي طورته منظمة الأغذية والزراعة لمحاكاة الكتلة الحيوية واستجابة المحاصيل الحقلية والخضروات للمياه في ظل ظروف بيئية واستراتيجيات إدارية مختلفة (Steduto et al., 2012).

وقد استخدم AquaCrop على نطاق واسع في مناطق مختلفة من العالم لتحديد استجابة المحاصيل للإجهاد المائي والتباين في أعماق الري كما في شمال إيران (Khoshravesh et al., 2012)، في جنوب إيطاليا (Todorovic et al., 2009)، في شمال إثيوبيا (Araya et al., 2010)، في كينيا (Ndambuki, 2013)، والهند (Abedinpour et al., 2012)؛ لتحسين الإدارة الحقلية للزراعة الصغيرة (مثل Ngetich et al., 2012)؛ والتنبؤ بالعائد في ظل سيناريوهات توفر المياه في المستقبل (Abedinpour et al., 2014; Mainuddin et al., 2013; Mainuddin et al., 2012). ومع ذلك لا توجد أي دراسات لاستخدام AquaCrop لمحاكاة إنتاج المحاصيل الزراعية في أي منطقة من اليمن.

تهدف هذه الدراسة إلى :

أ. تحليل وتقييم أداء النموذج AquaCrop في محاكاة إنتاجية بعض المحاصيل الإستراتيجية (القمح والذرة الرفيعة والذرة الشامية والسمسم) تحت أنظمة ري مختلفة (مطري – مروي – تكميلي) في الظروف الحالية لثلاث بيئات مختلفة (إقليم المرتفعات الشمالية – المرتفعات الوسطى – الساحل الجنوبي).

ب. دراسة أثر التغيرات المناخية على انتاج القمح والذرة الرفيعة والذرة الشامية والسمسم بالاستعانة بالنموذج الرياضي AquaCrop لمحاكاة ما سيكون وضع إنتاج هذه المحاصيل حتى عام 2050 في مناطق الدراسة من خلال عدة سيناريوهات مناخية متوقعة، ومدى استجابتها للتغيرات المناخية.

ج. صياغة خطوط عريضة تقود إلى فهم افضل لمستقبل انتاجية هذين المحصولين في منطقة الدراسة في ضوء التغيرات المناخية والسيناريوات المتوقعة وتأثيرها على مستقبل الأمن الغذائي.

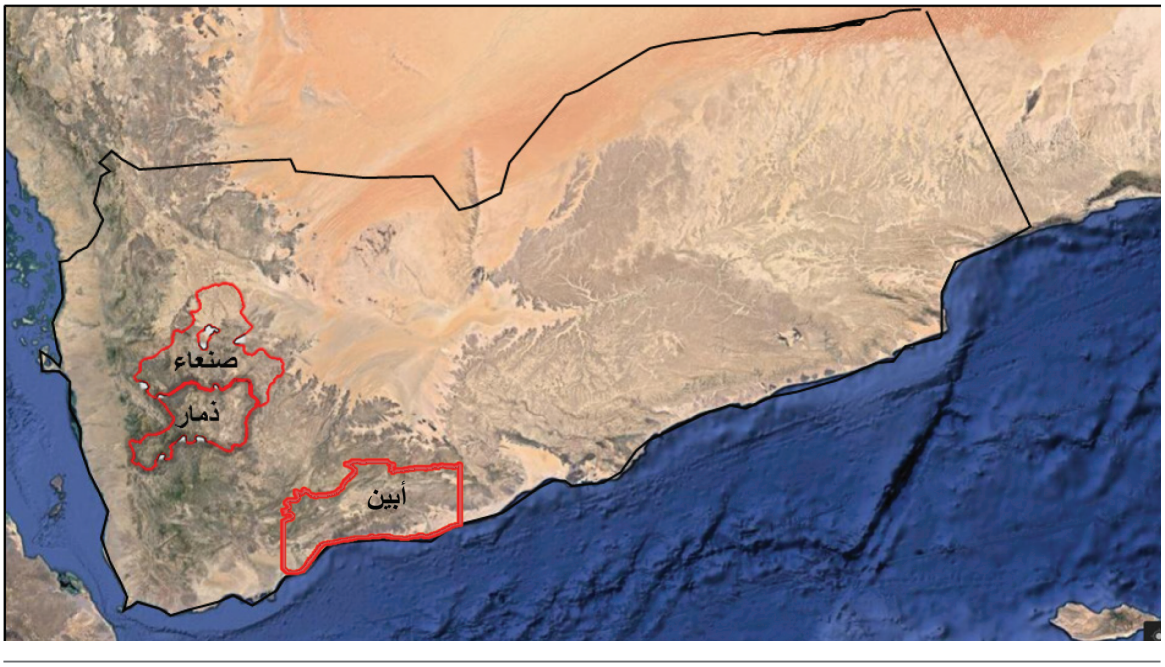
د. توفير الحيثيات العلمية لصانعي القرار في اتخاذ التدابير الممكنة لتفادي اثر التغيرات المناخية المتوقعة على انتاجية المحصولين وبما يخدم تعزيز الامن الغذائي.

2. منطقة الدراسة والمحاصيل المدروسة

منطقة الدراسة

كما ذكر سابقا فإن الزراعة ترتبط بصورة مباشرة بتغيرات المناخ وخاصة معدلات الهطول المطري ومواعيدها ودرجة الحرارة، ويعتبر إقليم المرتفعات من الاقاليم الرئيسية التي تتركز فيها الزراعة المطرية ويعتبر من أكثر مناطق اليمن تأثرا بحسب تقرير للبنك الدولي عام 2010 حول تقييم تأثير التغيرات المناخية على مصادر المياه والزراعة في اليمن، كما أن الزراعة تحت نظام الري التكميلي في إقليم المرتفعات قد تأثرت كثيرا بفعل ارتفاع المشتقات النفطية وكذلك شحة مصادر المياه الجوفية مما يرفع تكاليف انتاج الحبوب تحت الري التكميلي في هذه المناطق وبالتالي تقل الجدوى من زراعة الحبوب. وضمن هذا السياق فقد تم اختيار منطقتين في إقليم المرتفعات التي تعاني من وضع حرج من حيث مستوى توفر المياه الجوفية لتكون موضع دراسة، هاتين المنطقتين هما صنعاء (تمثل المرتفعات الشمالية)، ذمار (تمثل المرتفعات الوسطى)، وتم اختيار منطقة الكود بمحافظة أبين في الاقليم الساحلي والتي تعاني من محدودية المصادر المائية وتعتمد الزراعة على الري السيلي أو الري من المياه الجوفية، ويوضح شكل 1 خريطة للجمهورية اليمنية موضح عليها مناطق الدراسة المختارة.

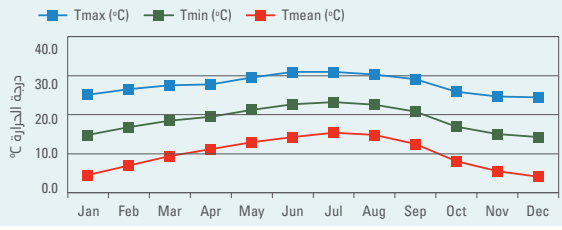
الشكل 1. صورة من القمر الصناعي للجمهورية اليمنية توضح مناطق الدراسة صنعاء وذمار وأبين لتمثل اقليم المرتفعات الشمالية والوسطى واقليم الساحل الجنوبي من اليمن



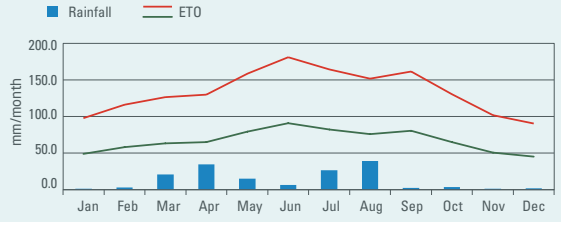
صنعاء

تقع محافظة صنعاء في وسط الجزء الغربي من الجمهورية اليمنية وتقع بين خطي طول 43.32 و45.5 درجة شرقا ودائرتي عرض 14.75 و16 درجة شمالا، وتبلغ مساحتها 11,864 كيلومترا مربعاً تقريبا. ويتموضع حوض صنعاء على الغالبية العظمى من مساحة محافظة صنعاء، ويعد من الأحواض المائية الحرجة في اليمن. وتتفاوت ارتفاعات حوض صنعاء ما بين 1900 متر عن مستوى سطح البحر في مخرج وادي الخارد إلى أكثر من 3000 متر عن مستوى سطح البحر في المرتفعات الجنوبية والشرقية والغربية المحيطة بالحوض. ويتميز مناخ صنعاء بالدافئ في معظم الأجزاء الجنوبية الغربية من المحافظة باستثناء المرتفعات العالية منها فإنها تكون باردة في الشتاء، والأجزاء الداخلية من المحافظة والمحيطة بأمانة العاصمة يكون المناخ فيها بارد شتاء ومعتدلا صيفا. ويتراوح المتوسط الشهري لدرجات الحرارة القصوى في حوض صنعاء ما بين 15 - 25 درجة مئوية وبمتوسط سنوي 17.7 درجة مئوية خلال الأشهر الباردة (نوفمبر -مارس)، وتتراوح ما بين 30 32- درجة مئوية خلال الأشهر الدافئة (يونيو -أغسطس). ويبلغ المتوسط الشهري لدرجات الحرارة الدنيا ما بين 5 8- درجة مئوية خلال الأشهر الباردة 14 17- درجة مئوية خلال الأشهر الدافئة. تنخفض درجة الحرارة أقل من درجة مئوية تحت الصفر لبضعة أيام في السنة في مرتفعات الاحواض الفرعية الغربية خاصة وادي ظهر والغيل (مناطق بني مطر الغربية قرب جبل النبي شعيب)، ويوضح الشكل 2المتوسط الشهري لدرجة الحرارة العظمى والصغرى. ويتراوح معدل تساقط الأمطار السنوي ما بين 110 مليمتر و300 مليمتر وبمتوسط 200 مليمتر، والفصول الماطرة تبدأ بشكل عام من شهر مارس حتى شهر مايو ومن شهر يونيو حتى شهر سبتمبر (الخرساني، 2005)، ويوضح الشكل 3 الأمطار الشهرية والتبخر-نتح المرجعي. تقدر المساحة المحصولية في صنعاء بحوالي 133310 هكتار وتحتل المساحة المزروعة على الأمطار حوالي 40% - 50% من المساحة المزروعة، وتزرع فيها العديد من المحاصيل كالفاكهة والحبوب والمحاصيل النقدية والقات، وتقدر نسبة المساحة المزروعة بالحبوب بحوالي 32% من

الشكل 2. المتوسط الشهري لدرجة الحرارة في محافظة صنعاء للفترة بين 1983 - 2012



الشكل 3. الأمطار والتبخر-نتح الشهرية في محافظة صنعاء للفترة بين 1983 - 2012

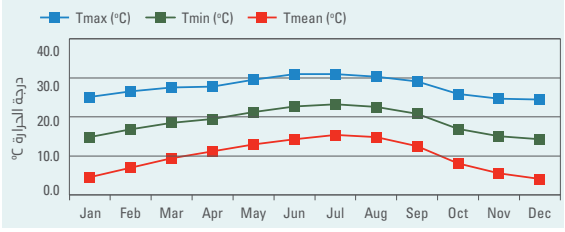


المساحة المحصولية (وزارة الزراعة والري، 2014b، 2016). وقد تم اختيار المزرعة البحثية التابعة للمحطة الاقليمية للبحوث الزراعية في المرتفعات الشمالية لتمثل محافظة صنعاء لإجراء دراسة الحالة، والتي تقع عند خط العرض 15.48 درجة شمالا وخط طول 44.88 شرقا وعلى ارتفاع 2200 م وذلك من أجل سهولة الحصول على بيانات دقيقة لمحاصيل القمح والذرة والتربة والانتاجية وبيانات الادارة اللازمة لتشغيل البرنامج.

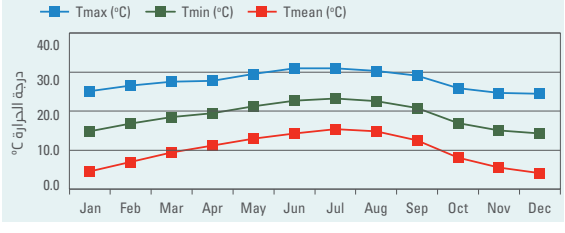
ذمار

تقع محافظة ذمار جغرافيا بين خطي طول 43.48 و 44.84درجة شرقا وبين دائرتي عرض 14.07 و 15.02درجة شمالا، وتبلغ مساحة محافظة ذمار ما يقارب 7586.2 كيلومتر مربع وهي ضمن الإقليم الطبيعي للمرتفعات التي تتوسط البلاد، ويتراوح ارتفاعها بين 1500 3500 متر عن سطح البحر وتتشكل تضارسيا من سهول مرتفعة وأودية ومنحدرات وجبال يتوسطها قيعان فسيحة مثل قاع جهران وقاع بلسان.

الشكل 4. المتوسط الشهري لدرجة الحرارة في محافظة ذمار للفترة بين 1999- 2016



الشكل 5. الأمطار والتبخر-نتح الشهرية في محافظة ذمار للفترة بين 1999- 2016



يوجد موسمين ممطرين في محافظة ذمار تفصلهم فترة جفاف (منتصف مايو – منتصف يوليو). وبشكل عام تتراوح كمية الهطول المطري السنوية ما بين 200 و400 مم مع احتمال هطول كميات أعلى تتعدى 500 مم لبعض السنوات. وتبدأ فترة الهطول المطري الأولى في منتصف مارس – بداية أبريل، فيما تبدأ فترة الهطول الثانية منتصف يوليو – بداية أغسطس لتتوقف في نهاية أغسطس. أما الشهور سبتمبر – فبراير فتعتبر جافة بشكل عام بالرغم من احتمال هبوب عواصف رعدية جالبة معها بعض الأمطار خلال هذه الأشهر. ويتراوح المعدل الشهري لدرجة الحرارة العظمى بين 20 25- °م خلال الأشهر الباردة نوفمبر – فبراير 27 30- °م خلال شهر يونيو. أما المعدل الشهري لدرجة الحرارة الصغرى فيقدر بين 0 – 4 °م خلال الأشهر الباردة نوفمبر – يناير 10 14- °م خلال شهر يوليو وأغسطس. وتهبط درجة الحرارة الصغرى إلى ما دون الصفر المئوي بشكل متكرر خلال الأشهر نوفمبر – يناير، ويحتمل حدوث الهبوط إلى ما دون الصفر خلال الفترة من منتصف أكتوبر إلى منتصف مارس، وأعلى عدد من الأيام يحدث فيها هذا الهبوط هو خلال الفترة نوفمبر – يناير (الخرساني، 2005)، ويوضح الشكل 4 المتوسط الشهري لدرجة الحرارة العظمى والصغرى، والشكل الشكل 5 الأمطار الشهرية والتبخر-نتح المرجعي. يعمل في الزراعة معظم السكان ويشمل النشاط الزراعي في الانتاج النباتي انتاج المحاصيل الحقلية والبستانية، وتعتبر من المناطق الرئيسية لإنتاج عدد من المحاصيل الزراعية كالذرة الرفيعة والقمح والشعير ومحاصيل الخضر بالإضافة إلى محاصيل الفاكهة والقات. وتبلغ المساحة المحصولية حوالي 85101 وتحتل المساحة المزروعة على الأمطار حوالي 40% - 50% من المساحة المزروعة، وتشكل زراعة الحبوب أهمية كبيرة حيث تشغل حوالي 59% من المساحة المحصولية (وزارة الزراعة والري، 2014b، 2016). وقد تم اختيار المزرعة البحثية التابعة لمحطة بحوث المرتفعات الوسطى لتمثل محافظة ذمار لإجراء دراسة الحالة، والتي تقع عند خط العرض 14.38 درجة شمالا وخط طول 44.21 شرقا وعلى ارتفاع 2330 م عن مستوى سطح البحر؛ وذلك من أجل سهولة الحصول على بيانات دقيقة للمحاصيل والتربة والانتاجية وبيانات الادارة اللازمة لتشغيل البرنامج.

الكود (محافظة أبين)

تقع محافظة أبين جنوب الجمهورية اليمنية، وتقع بالتحديد بين خطي العرض 15-12 درجة شمال خط الاستواء وخطي الطول 47-45 درجة شرق جرينتش، ويحيط بها من الجنوب شواطئ خليج عدن. وبالرغم من المساحة الصغيرة (16943 كم2) التي تشغلها المحافظة حيث تشكل حوالي 8% من مساحة الجمهورية إلا أنه ونتيجة لوجود مساحات كبيرة من السهول والأودية والهضاب المرتفعة التي تشكل معظم الأراضي الزراعية الخصبة والموزعة على ثلاث مناطق بيئية زراعية مختلفة وهي: الساحلية (تقع بين صفر-200 متر عن سطح البحر)، متوسطة الارتفاع (تقع بين 1250-600 متر عن سطح البحر)، والمرتفعة (تقع بين 2150-2000 متر عن سطح البحر)، فقد شكل القطاع الزراعي بالمحافظة أحد أهم أقسام الجغرافيا الاقتصادية لكونه مصدرا هاما لتوفير المنتجات الزراعية الغذائية لسكان المحافظة ولجزء آخر

من سكان الجمهورية، وتشير آخر الإحصائيات بأن المساحة الصالحة للزراعة بالمحافظة تبلغ حوالي 38973 هكتار، ويزرع من هذه المساحة بالمحافظة 16883 هكتار فقط أو ما يعادل 43% تقريبا من إجمالي المساحة الصالحة للزراعة بالمحافظة، وهناك حوالي 4891 هكتار أخرى غير صالحة للزراعة بالمحافظة، إي أن إجمالي المساحة الصالحة والغير صالحة للزراعة بالمحافظة تصل إلى 41171 هكتار. وتقع منطقة الكود (منطقة الدراسة) ضمن المناطق الساحلية الجنوبية وتتميز بمناخ حار وجاف وكمية الأمطار قليلة وغير منتظمة التوزيع مساحيا وزمنيا في المناطق الساحلية، وبسبب موقع المحافظة في جنوب المدار الاستوائي الشمالي، فإنها تخضع لتأثيرات مناخ الرياح الموسمية الجنوبية-غربية وحوض البحر الأبيض المتوسط. وقد أدى ندرة الأمطار في المناطق الساحلية إلى الاعتماد الكلي على الري السطحي (السيول) أو الجوفي (مياه الآبار). ولذا فقد برزت وترسخت تاريخيا نظامين ري وهي الري بالسيول والري بالآبار في المناطق الساحلية. وبما أن مياه السيول تعد من أهم الموارد المائية التي يعتمد عليها النشاط الزراعي وبالتالي إنتاج المحاصيل الحقلية وخاصة في المناطق الساحلية بالمحافظة من خلال توفير ريه واحدة قبل الزراعة تفي في الغالب بالمتطلبات المائية للمحاصيل الحقلية المزروعة خلال موسمي الصيف والخريف وكذا تغذية خزان المياه الجوفية. إن معظم المحاصيل الحقلية بالمناطق الساحلية تزرع على نظام الري بمياه السيول التي تتدفق خلال فصلي الصيف والخريف باستثناء محصول الذرة الشامية الذي يزرع على نظام الري المستديم (الآبار) وخاصة خلال شهر نوفمبر بالإضافة إلى زراعتها على نظام الري بالسيول خلال شهري يوليو وأغسطس من كل عام. كما أن جميع المحاصيل الحقلية والبستانية السائدة بالمحافظة تزرع خلال موعدين زراعيين أساسيين، الموعد الربيعي (أو الصيفي المبكر، فبراير-مايو) أو الموعد الخريفي (يوليو-أكتوبر) مع الاستمرار في زراعة الخضروات والسمسم والذرة الشامية حتى نهاية شهر نوفمبر في المناطق الساحلية. كما أن موعد الخريف هو موعد النشاط الأساسي الذي تتركز فيه زراعة معظم محاصيل المناطق الساحلية (Mu ALLEM and Molaaldoila, 2010). وقد تم اختيار المزرعة البحثية التابعة لمحطة بحوث الكود (13o 05N, 45o 21E) وعلى ارتفاع 15 مترا فوقمستوى سطح البحر.

المحاصيل المدروسة

كما ذكر سابقا فإن محاصيل الحبوب تشكل أهمية كبيرة من حيث المساحة المزروعة في الجمهورية اليمنية والتي تقدر بحوالي 57.1% من أجمالي المساحة المزروعة، حيث قدرت المساحة في عام 2015 في كل من صنعاء وذمار بحوالي 42575 و50100 هكتار وبنسبة 32% و59% على التوالي من اجمالي المساحة المحصولية (وزارة الزراعة والري، 2016)، لكنها شهدت تناقصا ملحوظا بسبب نزوح عدد كبير من المزارعين الى مناطق أخرى نتيجة الحرب، ارتفاع أسعار الديزل والمدخلات الزراعية الأخرى ومنافسة المحاصيل الأخرى، بالإضافة الى التغيرات المناخية المتمثلة بشحة الامطار، كما ان عدم توفر بذور نقية وكافية للأصناف المحسنة التي جرى اختبارها في المنطقتين ضاعف من الاثر واثر سلبا على المساحة والانتاجية لهذين المحصولين في المنطقتين. وبالرغم من العوامل المعيقة الا ان المزارعين لا زالوا متمسكين بزراعة هذه المحاصيل لأهميتها كمصدر للغذاء وكعلف للحيوانات بالرغم من انتشار زراعة المحاصيل المنافسة الأخرى كالخضر والقات والمحاصيل النقدية الأخرى. ووفقا للمعيار الاقتصادي، المساحة المزروعة وعلاقة المحصولين بقضية الأمن الغذائي فقد تم اختيار محصولي القمح، والذرة الرفيعة في منطقتي صنعاء وذمار، والذرة الشامية والسمسم في منطقة الكود لتنفيذ دراسة الحالة وتحديد مدى تأثرها بالتغيرات المناخية وانعكاسها على الانتاجية خلال الفترة 1985 حتى 2050.

القمح

يعد القمح من المحاصيل الهامة وذات علاقة مباشرة بالأمن الغذائي، كما أن انتاج القمح لا يغطي سوى 7% من الاستهلاك المحلي، وتظل هذه النسبة منخفضة جدا مقارنة بمحاصيل الحبوب الأخرى (وزارة الزراعة والري، 2014a). وتولي الدولة اهتماما كبيرا في تطوير زراعته من خلال البرامج والأنشطة البحثية في مجال التربية والأصناف المحسنة.

وتقدر نسبة المساحة المزروعة بالقمح عام 2015 بحوالي 33% و35% من اجمالي المساحة المزروعة بالحبوب لكل من صنعاء وذمار على التوالي. ونظرا لشح الأمطار وتذبذبها في السنوات الأخيرة وارتفاع اسعار المدخلات والمشتقات النفطية واطالة امد الحرب فقد انخفضت المساحة المزروعة بالقمح في صنعاء وذمار من 28013 و27316 هكتار على التوالي في عام 2011 إلى 14010 و15488 هكتار على التوالي عام 2015، كما ان الانتاجية قد انخفضت من 44195، 41299 طن إلى 16843 و20152 طن في كل من صنعاء وذمار على التوالي بين عامي 2011 2015 حيث بلغت نسبة التناقص حوالي 40% لكل من المساحة والانتاجية (وزارة الزراعة والري، 2016)، وبالرغم من وجود بعض الاهتمام من قبل الدولة في السنوات العشر الاخيرة إلا أن انتاجية الهكتار في المتوسط قد انخفضت بين عامي 2011 2015 من 1.6 إلى 1.2 طن/هكتار في صنعاء ومن 1.5 إلى 1.3 طن/هكتار في ذمار؛ ويرجع ذلك ربما إلى تذبذب وتناقص الهطول المطري وارتفاع اسعار المدخلات والمشتقات النفطية في المساحات تحت نظام الري والري التكميلي، وتدهور الأصناف المحلية بالإضافة الى عدم توفر بذور نقية وكافية من الاصناف المحسنة للمزارعين. وقد لوحظ تناقص كبير في المساحة والانتاج لمحصول القمح في عام 2015 مقارنة بالسنوات السابقة كنتيجة لعوامل كثيرة ومنها انعكاسات الحرب على مجمل النشاط الزراعي في كل من صنعاء وذمار (وزارة الزراعة والري، 2008، 2010، 2014b).

يزرع القمح في اقليم المرتفعات في موسمين رئيسيين الأول موسم «الصراب» في الصيف ويتزامن مع هطول الأمطار ويمتد موعد الزراعة من منتصف يونيو حتى نهاية يوليو، والثاني موسم «القياض» في الشتاء ويعتمد بدرجة أساسية على الري ويمتد موعد الزراعة من منتصف ديسمبر حتى منتصف يناير. معظم أصناف القمح المزروعة هي أصناف محلية تنتمي الى الاقماح الرباعية بالإضافة الى الاقماع السداسية التي دخلت خلال فترة الثمانينات والتسعينات بهدف رفع الانتاجية وقد حلت لأصناف السداسية محل الأصناف المحلية. يزرع القمح في الموسم الصيفي على الأمطار في صنعاء وذمار في الأجزاء التي تكون فيها كمية الأمطار السنوية أكبر من 300 مم وفي السنوات الشحيحة قد يلجأ المزارعون إلى إعطاء رية أو ريتين إذا كان مصدر الماء متوفرا وفي حالة عدم توفره قد يخسر المزارع محصوله ويحصده كعلف ولذلك يلجأ المزارعون إلى اختيار الأصناف المبكرة والمتحملة للجفاف، أما في الأجزاء الأخرى (الأمطار أقل من 200 مم) يزرع تحت الري التكميلي بعدد 3 – 4 ريات. وفي الشتاء يزرع اعتمادا على مصدر ثابت لمياه الري (آبار-سدود-كرفانات–برك-غيول) ويعطى 6-4 ريات بفترات كل 15 - 20 يوم.

الذرة الرفيعة

تعتبر الذرة الرفيعة من المحاصيل الرئيسية في اليمن وتجود زراعتها في معظم البيئات الزراعية، كما تحتل أعلى نسبة من المساحة المزروعة بالحبوب، وتزرع لأغراض عده فهي غذاء للإنسان وعلف للحيوان كما تستخدم كمصدر للوقود وخصوصا الجزء السفلى من النبات، وتقدر نسبة المساحة المزروعة بالذرة عام 2015 بحوالي 36% و52% من اجمالي المساحة المزروعة بالحبوب لكل من صنعاء وذمار على التوالي. وتجدر الإشارة إلى ان هذه النسبة كانت مرتفعة في تسعينيات القرن الماضي حيث تراوحت بين 60 - 65%. وقد انخفضت المساحة المزروعة بالذرة في صنعاء وذمار من 23036 و31623 هكتار في عام 2011 إلى 14383 و23063 هكتار على التوالي عام 2015، وانعكس هذا التناقص في انخفاض الانتاجية من 25173 و30326 طن إلى 10211 و12830 طن في كل من صنعاء وذمار على التوالي بين عامي 2011 2015 (وزارة الزراعة والري، 2016)، كما انخفضت انتاجية الهكتار بين عامي 2011 و 2015 من حوالي 1.1 إلى 0.7 طن/هكتار في صنعاء ومن 1 إلى 0.6 طن/هكتار في ذمار؛ ويرجع ذلك ربما إلى تذبذب وتناقص الهطول المطري وشحة موارد مياه الري الأخرى وانعدام وارتفاع اسعار المشتقات النفطية والمدخلات الزراعية في المساحات تحت نظام الري التكميلي. نفس السيناريو فيما يتعلق بوتيرة التناقص فقد لوحظ تناقص كبير في المساحة والانتاج لمحصول الذرة في عام 2015 مقارنة بالسنوات السابقة نتيجة لنفس العوامل التي سبق ذكرها (وزارة الزراعة والري، 2008، 2010، 2014b).

تزرع الذرة الرفيعة في اقليم المرتفعات في الموسم الصيفي ويمتد موعد الزراعة من بداية مايو حتى منتصف يونيو. وتزرع في الغالب عل الامطار وفي حالة شحة الهطول المطري او انقطاع الامطار في الفترات الحرجة من نمو المحصول يضطر المزارع اضافة ريتين إلى ثلاث ريات تكميلية إذا توفر مصدر للري. كما يمكن أن يزرع تحت نظام الري من السيول في الوديان حيث تعطى من رية إلى ريتين غزيرة، وفي حالات نادرة تزرع تحت نظام الري المتعدد إذ تعطى 7-5 ريات كل -15 20 يوم في السهول الساحلية والغربية والغرض العلف.

الذرة الشامية

تعتبر الذرة الشامية من محاصيل الحبوب الهامة وتحتل المرتبة الثالثة بعد الذرة الرفيعة والقمح من حيث المساحة والإنتاج , وتنتشر زراعتها في كثير من المناطق اليمنية باعتبارها أكثر المحاصيل الحقلية تكيفا للبيئات المختلفة وأكثرها استجابة للمعاملات الزراعية مما مكنها من التواجد العام نظرا لتنوع المناخ في اليمن حيث تتركز زراعتها في وديان تهامة وتعز ودلتا أبين ودلتا تبن (المجاهد، 1986) وتشير الإحصائيات أن المساحة المزروعة بهذا المحصول في الجمهورية اليمنية بلغت في عام 2013 م حوالي49670 هكتارا أنتجت حوالي75180 طنا من الحبوب بمتوسط إنتاجية قدرها 1.5 طن للهكتار (الإدارة العامة للإحصاء والتوثيق الزراعي).

وتعتبر الإنتاجية متدنية إذا ما قورنت بإنتاجية الدول العربية والعالم، حيث إن الإنتاج المحلي من الذرة الشامية لا تزيد نسبته عن16.5% من إجمالي الاستهلاك السنوي، وقد تمت تغطية العجز في الاستهلاك بالاستيراد من الخارج حيث بلغت الكمية المستوردة من الذرة الشامية خلال العام 2013 م حوالي 503880 طن بقيمة إجمالية وصلت إلى 34, 036, 000, 000 ريالا يمنيا (الإدارة العامة للإحصاء والتوثيق الزراعي).

وللعمل على مواجهة مشكلة تدني إنتاجية الذرة الشامية لا بد من وضع سياسات واستراتيجيات من شأنها زيادة الإنتاج باتجاه التوسع الرأسي من خلال زيادة إنتاجية وحدة المساحة بإتباع السبل المتاحة والمناسبة خاصة في ظل محدودية الأرض الملائمة للزراعة وقلة الموارد المائية المتاحة ويعتبر تحسين المعاملات الزراعية والتي منها التسميد بالأسمدة المناسبة أحد الوسائل الفعالة لزيادة الإنتاج لمواجهة إجهاد الخصوبة وهي خاصية تكاد تكون سائدة في معظم أراضي زراعة الذرة الشامية خصوصا والمحاصيل الحقلية عموما.

وتعتبر اليمن من بين أكثر بلدان العالم شحة في مواردها المائية ويرجع ذلك إلى عوامل طبيعية، اجتماعية واقتصادية أدت إلى اختلالات واضحة في الوضع المائي (حسن، 2004). وفي ظل الأزمة المائية الخطيرة التي تعاني منها بلادنا فإن المسئولية تقع على صانعي القرار في بناء السدود التحويلية وتطبيق نتائج وتوصيات البحوث والخاصة بتفادي الإفراط في الري واستخدام الوسائل والمقننات المناسبة وإدخال الأصناف التي تتحمل التعطيش التي تتعرض له النباتات في مراحل النمو المختلفة.

السمسم

يعتبر محصول السمسم من المحاصيل النقدية الهامة في اليمن ويحتل المرتبة الثانية بعد البن من حيث المساحة والإنتاج، وتنتشر زراعتها في كثير من المناطق اليمنية خصوصا في الساحلية الجنوبية والشرقية من اليمن باعتباره أكثر المحاصيل الحقلية تكيفا للبيئات المختلفة وأكثرها استجابة للمعاملات الزراعية مما مكنها من التواجد العام في المواسم الصيفية المتأخرة والشتوية في هذه المناطق, وتشير الإحصائيات أن المساحة المزروعة بهذا المحصول في الجمهورية اليمنية بلغت حوالي23608 هكتارا أنتجت حوالي 21794 طنا من السمسم بمتوسط إنتاجية قدرها 961 كجم للهكتار كمتوسط للأعوام 2011-2001.

وتعطي الأرقام الخاصة باستيراد وتصدير الزيوت النباتية من وإلى الجمهورية اليمنية خلال عام2009 مؤشرا واضحا أن الإنتاج المحلي من البذور الزيتية والزيوت النباتية خلال نفس العام لم يكن كافيا للاستهلاك المحلي، حيث توضح الأرقام أن الدولة قد استوردت في نفس العام 147475 طنا قيمتها 845279000 ريالا يمنيا وهذا يعني أن المستهلك من الزيوت النباتية في نفس العام وصل إلى 141737 بقيمة 20494522000 ريالا يمنيا كما أن المستورد من البذور في نفس العام وصل إلى 38709 طنا قيمتها 4140554000 ريالا يمنيا وهذا يعني أن القيمة الإجمالية لهذه السلعة المستوردة قد كبدت الخزانة العامة للدولة مبلغا وصل إلى 24635076000 ريالا يمنيا (الإدارة العامة للإحصاء والتوثيق الزراعي، 2010).

3. البيانات والمعاملات المستخدمة في الدراسة

التغيرات المناخية المتوقعة

في تقرير للبنك الدولي حول تقييم أثر التغيرات المناخية على مصادر المياه والزراعة في الجمهورية اليمنية من خلال دراسة ثلاثة سيناريوهات مناخية هي: جاف ساخن Hot and dry، حار رطبWarm and wet، وسناريو وسطي Mid؛ أشارت النتائج إلى أنه بحلول عام 2100 من المتوقع أن يرتفع متوسط درجة الحرارة السنوية بواقع 1.6 درجة مئوية في أفضل سيناريو و4.5 درجة مئوية في أسوأ سيناريو. بينما لا يمكن تأكيد التوقعات بالنسبة لنمط الهطول المطري، وتشير السيناريوهات المتوقعة إلى تفاوت نمط الهطول المطري بحسب المكان والزمان إذ سترتفع في مناطق وشهور معينه وتنخفض في مناطق وشهور أخرى وتختلف ايضا وفقا للسيناريو المتوقع، وبشكل عام فإن كمية الهطول المطري على الجمهورية اليمنية ستنخفض بواقع 24% في اسوأ سيناريو وترتفع بواقع 13% في أفضل سيناريو بحلول العام 2080 (World Bank, 2010). ويتأثر الانتاج الزراعي في اليمن بشكل عام بمقدار متفاوت بحسب المنطقة ومحصول والسيناريو المناخي، وبشكل عام فإن انتاجية المحاصيل تتأثر ايجابا بارتفاع درجة الحرارة وحالة رطوبة التربة وخاصة في المناطق الباردة في اقليم المرتفعات، وبصورة عامة على مستوى الجمهورية اليمنية يتوقع أن تنخفض الانتاجية الزراعية بواقع 27.2% في أسوأ سيناريو وترتفع بواقع 6.5% في أفضل سيناريو. ويتوقع ان يكون تأثير التغيرات المناخية أكثر في الزراعة المطرية في اقليم المرتفعات وبشكل سلبي حتى في السيناريو الأفضل إذ ان تأخر الأمطار في الموسم الصيفي سيقود إلى تأخر الزراعة وبالتالي فإن انخفاض درجة الحرارة في الخريف في نهاية موسم النمو سيؤدي إلى عدم اكتمال الحبوب بالذات للمحاصيل الحساسة لانخفاض درجة الحرارة ويترتب عل هذا انخفاض الانتاجية، وسيكون تأثير التغيرات المناخية أكبر على محاصيل الحبوب، ومحصول الذرة الرفيعة سيكون أكثر محاصيل الحبوب تأثرا لأنه اكثر المحاصيل اعتمادا على الامطار، كما يشير التقرير إلى أن التغيرات المناخية ستؤثر على اقتصاد الجمهورية اليمنية بشكل عام نظرا لحساسية القطاع الزراعي للتغيرات المناخية ولدوره الهام ومساهمته في الدخل القومي ومكافحة الفقر. وعلاوة على ارتفاع الاسعار عالميا وارتفاع اسعار المدخلات الزراعية فإن التغيرات المناخية ستؤدي إلى تأثير سلبي على الزراعة وبالتالي على الاقتصاد الوطني وسيترتب على هذا زيادة رقعة الفقر كما يتوقع دخول عدة ملايين نسمة تحت خط الفقر (المصدر السابق).

وفي دراسة أجراها Al-Dobaee (2016) لتقييم تأثير التغيرات المناخية على انتاجية الحبوب في ذمار خلال الفترة من 1985 حتى 2013 أشارت إلى أن درجة الحرارة وكمية الأمطار السنوية ارتفعت ارتفاعا طفيفا، واشارت الدراسة إلى انخفاض الأمطار في بعض الفصول وارتفاعها في فصول أخرى إذ ارتفعت كمية الأمطار الصيفية يونيو- أغسطس وانخفضت في بقية الشهور، وانخفضت انتاجية الحبوب بشكل عام (بلغت في القمح 9.8%) وتفاوت مقدار الانخفاض من محصول إلى آخر.

وفي دراسة ضمن مشروع RICCAR تم نمذجة العناصر المناخية المتوقعة للوطن العربي، وتضمنت ثلاثة نماذج مناخية (CNRM-CM5, EC-EARTH, GFDL-ESM2M) وسيناريوهين لكل نموذج (RCP 4.5, RCP 8.5).

الجدول 1. التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 في منطقة صنعاء باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-ESM2M، CNRM-CM5، EC-Earth وفقا للسيناريو RCP 4.5

Parameter	2030-2020	2050-2040
CNRM-CM5		
الهطول المطري السنوي (مم)	-13.32	+22.44
درجة الحرارة العظمى (C)	+1.51	+0.75
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.62	+0.35
EC-Earth		
الهطول المطري السنوي (مم)	-9.79	-18.61
درجة الحرارة العظمى (C)	+1.55	+0.92
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.77	+0.52
GFDL-ESM2M		
الهطول المطري السنوي (مم)	+17.45	-22.69
درجة الحرارة العظمى (C)	+1.55	+1.15
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.88	+0.68

الجدول 2. التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 في منطقة صنعاء باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-ESM2M، CNRM-CM5، EC-Earth وفقاً للسيناريو RCP 8.5

Parameter	2030-2020	2050-2040
CNRM-CM5		
الهطول المطري السنوي (مم)	+10.34	-22.05
درجة الحرارة العظمى (C)	+0.95	+1.83
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.45	+0.81
EC-Earth		
الهطول المطري السنوي (مم)	-3.15	-26.87
درجة الحرارة العظمى (C)	+1.18	+2.23
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.66	+1.30
GFDL-ESM2M		
الهطول المطري السنوي (مم)	+10	-22
درجة الحرارة العظمى (C)	+0.95	+1.82
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.44	+0.79

الجدول 3. التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 في منطقة ذمار باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-ESM2M، CNRM-CM5، EC-Earth وفقا للسيناريو RCP 4.5

Parameter	2030-2020	2050-2040
CNRM-CM5		
الهطول المطري السنوي (مم)	+23	-37
درجة الحرارة العظمى (C)	+0.80	+1.71
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.48	+0.76
EC-Earth		
الهطول المطري السنوي (مم)	-11	-17
درجة الحرارة العظمى (C)	+1.11	+1.84
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.46	+0.64
GFDL-ESM2M		
الهطول المطري السنوي (مم)	-9	+2
درجة الحرارة العظمى (C)	+1.17	+1.76
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.64	+0.90

وبالنظر إلى البيانات المناخية المتوقعة وفقا لهذه السيناريوهات لمنطقة الدراسة صنعاء يتضح أن درجة الحرارة العظمى في صنعاء من المتوقع أن ترتفع في الفترة (2020-2030) بمقدار 0.75 - 1.20 درجة مئوية، والصغرى بمقدار0.35 - 0.68 درجة مئوية بحسب السيناريو المناخي المتوقع، وفي الفترة (2040-2050) سترتفع بمقدار 1.51 - 2.23 و0.62- 1.30 درجة مئوية لكل من درجة الحرارة العظمى والصغرى على التوالي بحسب السيناريو المناخي المتوقع، ويعتبر النموذج GFDL-ESM2M أكثر النماذج توقعا لارتفاع درجة الحرارة وكذلك السيناريو RCP 8.5 (جدول 1، 2). أما كمية الأمطار السنوية فإن التوقعات تشير إلى أنها ستنخفض في معظم الحالات ماعدا في النموذج CNRM-CM5 خلال الفترة 2020-2030 بمقدار حوالي من 10 إلى 22 بحسب السيناريو والنموذج GFDL-ESM2M في السيناريو RCP 8.5 بقدار يقارب 22مم خلال الفترة 2040-2050 على التوالي مقارنة بفترة الأساس (جدول 1، 2)، ويوضح الملحق -1أ و-2أ سلوك درجة الحرارة والامطار لكل السيناريوهات المناخية المتوقعة في منطقة الدراسة صنعاء.

أما في منطقة الدراسة ذمار من المتوقع أن ترتفع درجة الحرارة العظمى في الفترة (2020-2030) بمقدار -0.80 1.29 درجة مئوية، والصغرى بمقدار 0.46-0.64 درجة مئوية بحسب السيناريو المناخي المتوقع، وفي الفترة (2040-2050) سترتفع بمقدار -1.71 2.57 و0.64-1.19 درجة مئوية لكل من درجة الحرارة العظمى والصغرى على التوالي بحسب النموذج والسيناريو المناخي المتوقع، ويعتبر النموذج GFDL-ESM2M أكثر النماذج توقعا لارتفاع درجة الحرارة وكذلك السيناريو RCP 8.5 (جدول 3، 4). أما كمية الأمطار السنوية فإن التوقعات تشير إلى أنها سترتفع أو تنخفض بحسب النموذج والسيناريو المناخي إذ نجد أن كمية الهطول المطري سترتفع في الفترة 2020-2030 وتنخفض في الفترة 2040-2050 في النموذج CNRM-CM5 في كلا السيناريوهين، أما النموذج EC-Earth فيتوقع انخفاض معدل الأمطار خلال الفترتين في السيناريو RCP 4.5 بينما يتوقع ارتفاعها في السيناريو RCP 8.5 لهذا النموذج (جدول 3، 4)، أما النموذج GFDL-ESM2M فالتغيرات في الهطول المطري طفيفة عدا في السيناريو RCP 8.5 خلال الفترة 2040-2050 إذ من المتوقع تناقص كمية الهطول المطري 27 مم (جدول 4).

ومن خلال البيانات المناخية لموقع الدراسة الكود يتضح أنه خلال الفترات المناخية 2020-2030 و2050-2040 ستحدث تغييرات مناخية ملحوظة في درجة الحرارة العظمى ودرجة الحرارة الصغرى بينما لم تتأثر كمية الأمطار لهاتين الفترتين وذلك مقارنة بفترة الأساس 1986-2005م. حيث يتضح من جدول 5.5، 6.5 أن النماذج الثلاثة أظهرت زيادة في درجة الحرارة العظمى للفترات المناخية 2030-2040 و2040-2050 بمقدار 0.82، 0.91 و 0.86درجة مئوية و1.4، 1.52 و 1.49وذلك عند مقارنة هاتين الفترتين بفترة الأساس 1986-2005م وذلك للنماذج الثلاثة على التوالي، وذلك للسيناريو (RCP 4.5)، بينما بلغت هذه الزيادة مقدار 0.91، 1.21 و1.03 درجة مئوية و1.63، 2.08 و 1.91وذلك عند مقارنة هذه الفترتين بفترة الأساس 1986-2005م وذلك للنماذج الثلاثة على التوالي عند للسيناريو (RCP 8.5). أي أن التغييرات في درجة الحرارة العظمى يكون أكبر عند زيادة غاز ثاني أوكسيد الكربون.

كما تشير التوقعات أيضا إلى زيادة معنوية في درجة الحرارة الصغرى بلغت هذه الزيادة مقدار 0.60، 0.58 و 0.72درجة مئوية و0.94، 1.1 و1.14 وذلك عند مقارنة هذه الفترتين المناخية 2040-2030 و2040-2050 بفترة الأساس 1986-2005م وذلك للنماذج الثلاثة على التوالي للسيناريو (RCP 4.5). بينما بلغت هذه الزيادة مقدار 0.58، 0.89 و0.74 درجة مئوية و1.10، 1.48 1.31 وذلك عند مقارنة هذه الفترتين بفترة الأساس 1986-2005م وذلك للنماذج الثلاثة على التوالي للسيناريو (RCP 8.5). أي أن التغييرات في درجة الحرارة الصغرى يكون أكبر عند زيادة غاز ثاني أوكسيد الكربون (جدول 5، 6). والجدير بالذكر أن النموذج المناخي (EC-EARTH) سجل أعلى تغيير في درجة الحرارة العظمى والصغرى مقارنة بالنموذجين (CNRM-CM5) و (GFDL-ESM2M). من جهة أخرى لم تسجل النماذج الثلاثة تغييرا معنويا في كمية الهطول المطري (جدول 5، 6).

الجدول 4. التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 في منطقة ذمار باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-ESM2M، CNRM-CM5، EC-Earth وفقا للسيناريو RCP 8.5

Parameter	2030-2020	2050-2040
CNRM-CM5		
الهطول المطري السنوي (مم)	+ 41.63	- 19.95
درجة الحرارة العظمى (C)	+1.04	+2.10
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.56	+0.91
EC-Earth		
الهطول المطري السنوي (مم)	+22.18	+6.02
درجة الحرارة العظمى (C)	+1.25	+ 2.52
درجة الحرارة الدنيا (C)	+ 0.56	+ 1.11
GFDL-ESM2M		
الهطول المطري السنوي (مم)	-6.31	-26.87
درجة الحرارة العظمى (C)	+ 1.29	+2.57
درجة الحرارة الدنيا (C)	+ 0.57	+ 1.19

الجدول 5. التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 في منطقة الكود باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج EC-Earth، GFDL-ESM2M، CNRM-CM5 وفقا للسيناريو RCP 4.5

Parameter	2030-2020	2050-2040
CNRM-CM5		
الهطول المطري السنوي (مم)	-11.03	-11.09
درجة الحرارة العظمى (C)	+0.82	+1.40
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.60	+0.94
EC-Earth		
الهطول المطري السنوي (مم)	+14.42	+54.58
درجة الحرارة العظمى (C)	+0.91	+1.52
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.58	+1.1
GFDL-ESM2M		
الهطول المطري السنوي (مم)	+9.05	+15.45
درجة الحرارة العظمى (C)	+0.86	+1.49
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.72	+1.14

الجدول 6. التغيرات المتوقعة للهطول المطري والحرارة الصغرى والحرارة العظمى للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 في منطقة الكود باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج EC-Earth، GFDL-ESM2M، CNRM-CM5 وفقا للسيناريو RCP 8.5

Parameter	2030-2020	2050-2040
CNRM-CM5		
الهطول المطري السنوي (مم)	-11.09	-0.5
درجة الحرارة العظمى (C)	+0.91	+1.63
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.58	+1.10
EC-Earth		
الهطول المطري السنوي (مم)	+7.66	+7.87
درجة الحرارة العظمى (C)	+1.21	+2.08
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.89	+1.48
GFDL-ESM2M		
الهطول المطري السنوي (مم)	+40.69	+16.95
درجة الحرارة العظمى (C)	+1.03	+1.91
درجة الحرارة الدنيا (C)	+0.74	+1.31

ويعتبر الهطول المطري في حالة الزراعة المطرية والري التكميلي في منطقتي صنعاء وذمار مهما لارتباطه المباشر بالإنتاجية وخاصة الهطول المطري الموسمي وسيتم مناقشته في النتائج والمناقشة.

البيانات اللازمة للمحاكاة

صنعاء

• البيانات المناخية

وتتضمن بيانات يومية (لفترة عشر سنوات) للفترة من 1 يناير 2003 حتى 31 ديسمبر 2012 لبيانات درجة الحرارة العظمى (TmaxoC) والصغرى (TminoC)، والرطوبة النسبية (RH %)، سرعة الرياح (Wind speed m/sec)، الاشعاع الشمسي (Radiation MJ/m2.day) والهطول المطري مم/يوم. وذلك لمحطة الأرصاد الجوية التابعة لمطار صنعاء الدولي والتي تبعد عن المزرعة البحثية (موقع الدراسة) حوالي 1 كم، 15.48N،44.18E وارتفاع 2200 مترا عن سطح البحر، والتي تم أخذها من الهيئة العامة للموارد المائية فرع صنعاء، والهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوية– صنعاء.

• بيانات المحصول

تم جمع بيانات المحصول اللازمة لتشغيل البرنامج من التقارير الفنية والاستعانة بالباحثين والمتخصصين في المحطة الاقليمية للبحوث الزراعية بالمرتفعات الشمالية– صنعاء، ويتضمنها الجدول (7).

• بيانات التربة

يتضمن الجدول 8 أهم الخصائص الفيزيائية للتربة في مواقع الدراسة صنعاء وقد تم أخذ قيم الصفات الفيزيائية للتربة وقيم الرطوبة الحجمية عند التشبع

الجدول 7. بيانات ومتغيرات المحصول اللازمة لتشغيل البرنامج لمحصولي القمح والذرة الرفيعة لمنطقة الدراسة صنعاء

المتغير	صنعاء	
	قمح	ذرة رفيعة
الصنف	شبام - 8	بلدي
الغطاء النباتي الأولي (CC0) %	3.38	0.4
الغطاء النباتي الأعظمي(CCx) %	95	92
المدة لغاية انبات 90% من البذور او الغراس(CC0) (يوم)	5	7
المدة للوصول إلى الغطاء الخضري الأعظمي (CCx) (يوم)	55	65
المدة لغاية بدء الشيخوخة (يوم)	85	85
المدة لغاية النضج الفيزيولوجي (يوم)	100	110
المدة لغاية بدء الإزهار (يوم)	49	58
مدة الإزهار (يوم)	12	12
عمق الجذور الفعال الأعظمي (Zx) (متر)	0.65	0.6
المدة لبلوغ عمق الجذور الفعال الأعظمي (يوم)	60	70
مؤشر الحصاد HI0 %	40	25
تاريخ الزراعة تاريخ الحصاد	1 يوليو 8 اكتوبر	1 مايو 18 أغسطس

والسعة الحقلية ونقطة الذبول بالإضافة إلى التوصيل الهيدروليكي المشبع من دراسات سابقة تم تحديدها استنادا إلى المنحنى المميز للتربة (الأشول، 2017).

- **بيانات المياه الجوفية**

غير مؤثرة (عميقة).

الجدول 8. أهم الخصائص الفيزيائية للتربة في مواقع الدراسة صنعاء

عمق طبقة التربة (m)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	قوام التربة	Sat (%)	FC (%)	WP (%)	Ksat (mm/day)
0 - 0.35	16	48	36	SiCL	50	38	20	119.28
0.35 - 1.15	11	39	50	C	52	42	23	66.24

الجدول 9. مواعيد الري (يوم بعد الزراعة) للقمح والذرة الرفيعة في منطقة الدراسة صنعاء

القمح	الذرة رفيعة
1	1
25	35
45	65
60	90
75	

الجدول 10. الانتاجية (طن/هكتار) لفترة عشر سنوات لكل من القمح والذرة الرفيعة في منطقة الدراسة صنعاء

السنة	صنعاء	
	قمح	ذرة رفيعة
2003	2.1	1.6
2004	1.95	1.4
2005	1.97	1.4
2006	2.94	1.5
2007	2.08	1.7
2008	1.635	1.4
2009	2.41	1.5
2010	2.25	1.6
2011	3.2	1.8
2012	2.59	-

- **بيانات الري**

- يتضمن الجدول 9 جدول الري (موعد الري بعدد الايام بعد الزراعة DAP)، أما كمية مياه الري سيتم معايرتها كونها ليست بالدقة الكافية.

- **بيانات إدارة الحقل**

أ. التغطية: بدون تغطية.

ب. التسميد: القمح جيد جدا، الذرة الرفيعة متوسط
- إدارة الأعشاب الضارة: بالمكافحة اليدوية (تعشيب دوري).
- اجهاد خصوبة التربة: تعريض القمح لإجهاد خصوبة التربة ينتج عنه انخفاض في الغطاء الخضري والإنتاجية تصل إلى 30%.
- إجهاد الملوحة: ملوحة التربة ومياه الري منخفضة ولا تمثل أي إجهاد للمحصول ناتج عن الملوحة.
- التوصيل الكهربائي للتربة (EC): لا توجد مشكلة ملوحة في التربة في المنطقتين

- **بيانات الانتاجية السنوية**

يتضمن الجدول 10 بيانات المعايرة المتمثلة في بيانات الانتاجية (طن/هكتار) لفترة عشر سنوات من 2003 حتى 2012 (نفس فترة البيانات المناخية) لكل من محصولي القمح والذرة الرفيعة في منطقة الدراسة صنعاء، وقد أخذت من التقارير الفنية والدراسات السابقة، وذلك للأصناف التي تم اختيارها للدراسة والتي تم عرض بيانات المحصول لها أعلى هذا.

وسيتم معايرة ثلاثة متغيرات هي: كمية مياه الري حيث أنها لم تكن بالدقة الكافية، المحتوى الرطوبي الابتدائي، وإدارة الحقل (مستوى التسميد، مكافحة الأعشاب).

الجدول 11. بيانات ومتغيرات المحصول اللازمة لتشغيل البرنامج لمحصولي القمح والذرة الرفيعة لمنطقة الدراسة ذمار

المتغير	ذمار	
	قمح	ذرة رفيعة
الصنف	بلدي	بلدي
الغطاء النباتي الأولي (CC0) %	3.38	0.4
الغطاء النباتي الأعظمي(CCx) %	95	85
المدة لغاية انبات 90% من البذور او الغراس(CC0) (يوم)	6	7
المدة للوصول إلى الغطاء الخضري الأعظمي (CCx) (يوم)	65	65
المدة لغاية بدء الشيخوخة (يوم)	90	100
المدة لغاية النضج الفيزيولوجي (يوم)	110	130
المدة لغاية بدء الإزهار (يوم)	55	65
مدة الإزهار (يوم)	12	12
عمق الجذور الفعال الأعظمي (Zx) (متر)	0.6	0.65
المدة لبلوغ عمق الجذور الفعال الأعظمي (يوم)	70	55
مؤشر الحصاد HI0 %	32	30
تاريخ الزراعة تاريخ الحصاد	25 يونيو 12 اكتوبر	15 مايو 16 سبتمبر

الجدول 12. أهم الخصائص الفيزيائية للتربة في مواقع الدراسة ذمار

عمق طبقة التربة (m)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	قوام التربة	Sat (%)	FC (%)	WP (%)	Ksat (mm/day)
0 - 0.25	21	52	27	SiL	48.6	34.2	17.4	196
0.25 - 0.75	20	38	42	C	50.1	39.4	25.4	73.7

ذمار

• البيانات المناخية

وتتضمن بيانات يومية (لفترة عشر سنوات) للفترة من 1 يناير 2003 حتى 31 ديسمبر 2012 لبيانات درجة الحرارة العظمى (TmaxoC) والصغرى (TminoC)، والرطوبة النسبية (RH %)، سرعة الرياح (Wind speed km/day)، الاشعاع الشمسي (Sunshine hour/day) والهطول المطري مم/يوم. وذلك لمحطة الأرصاد الجوية التابعة للهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي الواقعة بالمزرعة البحثية (موقع الدراسة).

14o 38›N, 44o 21›E وارتفاع 2330 مترا عن سطح البحر، وتم أخذها من قسم بحوث المناخ الزراعي التابع لمركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة - الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي- ذمار.

• بيانات المحصول

تم جمع البيانات المطلوبة الخاصة بالمحصول اللازمة لتشغيل البرنامج من التقارير الفنية والاستعانة بالباحثين والمتخصصين في محطة بحوث المرتفعات الوسطى – ذمار، ويتضمنها الجدول11.

- اجهاد خصوبة التربة: تعريض القمح لإجهاد خصوبة التربة ينتج عنه انخفاض في الغطاء الخضري والإنتاجية تصل إلى 30%.
- إجهاد الملوحة: ملوحة التربة ومياه الري منخفضة ولا تمثل أي إجهاد للمحصول ناتج عن الملوحة.

• بيانات التربة

يتضمن الجدول 12 أهم الخصائص الفيزيائية للتربة في مواقع الدراسة ذمار، وقد أخذت من دراسات سابقة وتشمل نسب مفصولات التربة (رمل- سلت- طين) وقوام التربة. وتم تقدير قيم الرطوبة الحجمية عند التشبع والسعة الحقلية ونقطة الذبول بالإضافة إلى التوصيل الهيدروليكي المشبع بالاستعانة ببرنامج SPAW بالاستفادة من نسب مفصولات التربة.

- التوصيل الكهربائي للتربة (EC): لا توجد مشكلة ملوحة في التربة في المنطقتين

• بيانات المياه الجوفية

غير مؤثرة (عميقة).

• بيانات إدارة الحقل

أ. التغطية: بدون تغطية.
ب. التسميد: القمح متوسط، الذرة الرفيعة ضعيف
ج. إدارة الأعشاب الضارة: بالمكافحة اليدوية (تعشيب دوري).

• بيانات الري

يتفاوت موعد وكمية مياه الري وعدد الريات في الموسم للقمح من سنه إلى أخرى وفقا لنمط الهطول المطري، وعادة ما تضاف من ريتين إلى أربع بمتوسط ثلاث ريات إحداها في منتصف مرحلة النمو الخضري والثانية عند الإزهار والثالثة في طور تكون وامتلاء الحبوب، مع الأخذ بالاعتبار الهطول المطري؛ ولذلك سيتم معايرة موعد وكميات مياه الري. أما بالنسبة للذرة الرفيعة فهي تحت النظام المطري.

الجدول 13. الانتاجية (طن/هكتار) لفترة عشر سنوات لكل من القمح والذرة الرفيعة في منطقة الدراسة ذمار

السنة	ذمار	
	قمح	ذرة رفيعة
2003	1.9	1.8
2004	1.7	1.7
2005	1.8	1.5
2006	2	1.7
2007	1.8	2.2
2008	1.6	1.6
2009	-	-
2010	1.9	2
2011	1.8	2
2012	1.9	1.6

- **الظروف الابتدائية**

تقدر بحوالي ما يقارب 75% إلى 90% من الماء المتاح بحسب موعد وكمية الأمطار الهاطلة قبل الزراعة وبالتالي سيتم التأكد منها بالمعايرة.

- **بيانات الانتاجية السنوية**

يتضمن الجدول 13 بيانات المعايرة المتمثلة في بيانات الانتاجية (طن/هكتار) لفترة عشر سنوات من 2003 حتى 2012 (نفس فترة البيانات المناخية) لكل من محصولي القمح والذرة الرفيعة في منطقة الدراسة ذمار وقد أخذت من التقارير الفنية والدراسات السابقة وذلك للأصناف المستخدمة في الدراسة والتي تم عرض بيانات المحصول لها أعلى هذا.

وسيتم معايرة ثلاثة متغيرات هي: موعد وكمية مياه الري للقمح حيث أنها لم تكن بالدقة الكافية، وكذلك المحتوى الرطوبي الابتدائي، وإدارة الحقل (مستوى التسميد، مكافحة الأعشاب) للمحصولين.

الكود (أبين)

- **البيانات المناخية**

تضمنت البيانات المناخية اليومية للحرارة العظمى والدنيا ومتوسط الرطوبة النسبية للفترة (1999-2008) تم جمعها من محطة الأرصاد الجوية في قسم التربة والري في المزرعة البحثية التابعة لمحطة بحوث الكود الزراعية (13O 05 N, 45O 21 E) وعلى ارتفاع 15 مترا فوق مستوى سطح البحر.

- **بيانات المحصول**

تم جمع البيانات المطلوبة الخاصة بالمحصول اللازمة لتشغيل البرنامج من Binsalim, et al. (2004), Al-Abed (2016) ويتضمنها الجدول14.

- **بيانات التربة**

يتضمن الجدول 15 أهم الخصائص الفيزيائية للتربة في مواقع الدراسة الكود، وقد أخذت من دراسات سابقة وتشمل نسب مفصولات التربة (رمل- سلت- طين) وقوام التربة (Binsalim, et al., 2003, 2004).

الجدول 14. بيانات ومتغيرات المحصول للذرة الشامية والسمسم

المؤشرات المحصولية	الذرة الشامية	السمسم
الصنف	King-36	Local red
ميعاد الزراعة	4th November	14th February
الكثافة النباتية للهكتار	66667	88889
الأيام حتى ظهور الباذرات	7	5
الأيام حتى الغطاء النباتي الأعظمي	60	45
الأيام حتى عمق الجذر الأعظمي	70	56
الأيام حتى بدء الشيخوخة	78	64
الأيام حتى النضج الفسيولوجي	100	80
الأيام حتى بدء التزهير	56	36
فترة التزهير	18	30
دليل الحصاد (HI%)	40	20

الجدول 15. خصائص التربة في منطقة الكود

عمق التربة (m)	القوام	نقطة الذبول (%)	السعة الحقلية (%)	التشبع (%)	الناقلية الهيدروليكية Ksat (mm/day)
0.30	Loamy soil	10.3	19.7	42.4	420
0.60	Loamy soil	11.1	20.4	43.2	306
1.20	Sandy loam	10.3	19.7	42.4	420

الجدول 16. الإدارة المحصولية للذرة الشامية والسمسم

الإدارة المحصولية	الذرة الشامية	السمسم
درجة الخصوبة %	66	20
نسبة الجريان	0	0
مكافحة الإصابة بالحشائش %	جيد	جيد
إجهاد الملوحة %	0	0

الجدول 17. برنامج الري للذرة الشامية

ميعاد الري	الأيام	التأريخ	العمق (مم)	الملوحة
قبل الزراعة	2	20 أكتوبر	150	0.82
بعد الزراعة	25 يوماً	28 نوفمبر	100	0.82
	39 يوماً	12 ديسمبر	100	0.82
	57 يوماً	30 ديسمبر	100	0.82
	78 يوماً	20 يناير	100	0.82
الإجمالي			550	0.82

- **بيانات المياه الجوفية**

غيرمؤثرة.

- **بيانات إدارة الحقل**

- **بيانات الري**

يتضمن الجدولين 17، 18 جدول الري المتبع للذرة الشامية، والسمسم على التوالي في منطقة الدراسة الكود (Binsalim, et al., 2003, 2004).

- **بيانات الانتاجية السنوية**

يتضمن الجدول 19 بيانات المعايرة المتمثلة في بيانات الانتاجية (طن/هكتار) لفترة عشر سنوات من 1999 حتى 2008 (نفس فترة البيانات المناخية) لكل من محصولي الذرة الشامية والسمسم في منطقة الدراسة الكود وقد أخذت من التقارير الفنية والدراسات السابقة وذلك للأصناف المستخدمة في الدراسة والتي تم عرض بيانات المحصول لها أعلى هذا.

الجدول 18. برنامج الري للسمسم

ميعاد الري	الأيام	التأريخ	العمق (مم)	الملوحة
قبل الزراعة	ثلاثة أيام متتالية	4-6 فبراير	300	0.82
بعد الزراعة	بعد 31 يوماً	16 مارس	150	0.82
الإجمالي			450	0.82

الجدول 19. إنتاجية الذرة الشامية والسمسم الفعلية (طن/هكتار) خلال عشر سنوات 1999 -2008

السنة	إنتاجية الذرة الشامية	إنتاجية السمسم
1999	-	0.656
2000	5.076	0.600
2001	4.974	0.726
2002	4.975	0.695
2003	4.793	0.751
2004	4.695	0.706
2005	4.86	0.722
2006	4.593	0.761
2007	4.732	0.727
2008	4.858	0.597

4. معايرة النموذج الرياضي AquaCrop

تمت معايرة بعض المتغيرات التي تتطلب معايرة مثل بيانات الإدارة (كمية مياه الري المضافة، التسميد، مكافحة الأعشاب) وكذلك المحتوى الرطوبي الابتدائي، وذلك بأسلوب الضبط الدقيق Fine Tuning بتغيير القيمة المبدئية في كلا الاتجاهين (زيادة ونقصان) حتى الحصول على أفضل تطابق بين الانتاجية المقاسة والانتاجية المقدرة بالبرنامج من خلال عدة معايير إحصائية أهمها معامل التحديد (Coefficient of Determination (R2، جذر متوسط مربع الخطأ Root Mean Squire Error (RMSE، جذر متوسط مربع الخطأ المعدل (أو معامل الاختلاف) (NRMSE or CV)، وكفاءة النموذج (EF Efficiency coefficient) ، ودليل التوافق (Index of agreement D) ، مع الأخذ في الاعتبار النقاط التالية عند اعداد ملفات البيانات:

تم وضع قيمة «الأداء في ظل تركيز مرتفع لغاز ثاني أوكسيد الكربون في الغلاف الجوي» performance under elevated atmospheric CO_2 concentration في ملف المحصول بأنها تساوي صفر.

البيانات المناخية لصنعاء مأخوذة من محطة المطار لذلك فقد تم تحويل سرعة الرياح من ارتفاع 10 م إلى 2 م.

صنعاء

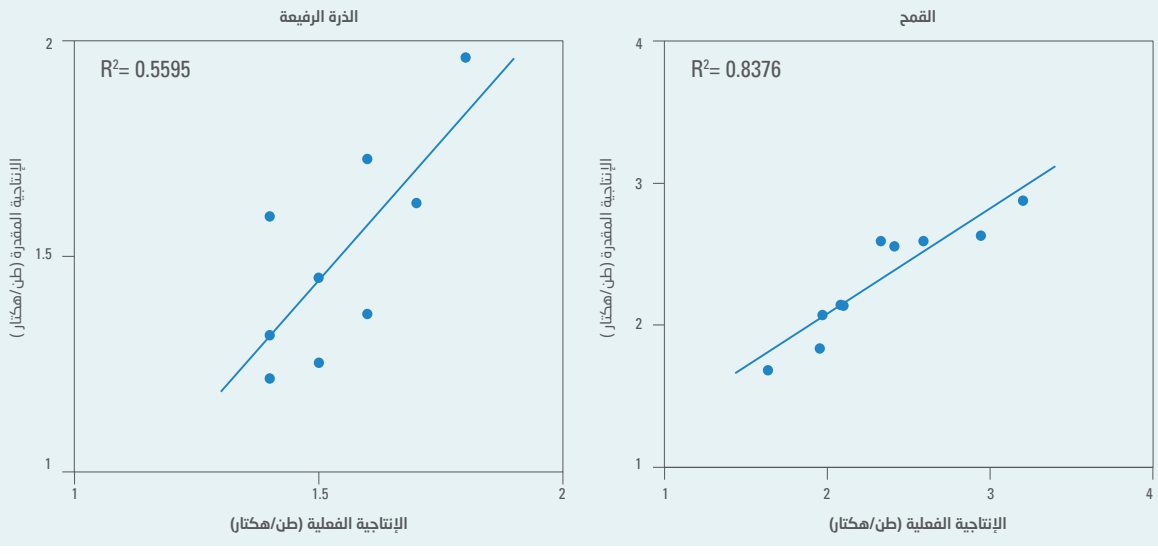
في البداية تم إعداد ملفين مناخيين لمنطقة الدراسة وهي بيانات يومية لفترة 10 سنوات بحسب ما ذكر أعلى هذا، ثم تم انشاء المشاريع واعداد الملفات الأخرى الخاصة بكل مشروع ابتداء بملف المحصول إذ تم اختيار ملف المحصول المخزن في قاعدة بيانات البرنامج وتم التعديل عليه بنظام التقويم اليومي CD وفقا لبيانات المحصول المذكورة آنفا ثم تحويله إلى تقويم الحرارة التراكمية GDD، وتم انشاء ملفات الري وتحديد موعد الري وكمية مياه الري المضافة في كل رية (والتي ستتم معايرتها)، ثم تم انشاء ملف الحقل المتضمن مستوى التسميد ومكافحة الحشائش بقيم افتراضية «معتدل Moderate» لتتم معايرتها وتم وضع الخيار «منع الجريان السطحي» لأن الزراعة في أحواض مغلقة، ثم انشاء ملف التربة بحسب البيانات المذكورة، ثم بعد ذلك تم اعداد ملف الرطوبة الابتدائية والتي سيتم معايرتها إذ وضعت القيم المبدئية TAW 75%، وتم انشاء ملف المشروع وهكذا في كل حالة. ويوضح جدول 20 قيم المتغيرات بعد عملية المعايرة.

الجدول 20. قيم المتغيرات قبل وبعد عملية المعايرة

المتغير	صنعاء	
	قمح	ذرة رفيعة
عمق مياه الري المضافة (مم)	55	50
خصوبة التربة والتسميد	Moderate 67%	About half 51%
مكافحة الأعشاب	5%	5%
المحتوى الرطوبي الابتدائي %	25.34% للطبقة السطحية (0-35 سم) 30.72% للطبقة تحت السطحية (35-100سم)	27.12% للطبقة السطحية (0-35 سم) 30.72% للطبقة تحت السطحية (35-100سم)

وما يفسر ارتفاع الرطوبة الابتدائية في الطبقة السطحية للذرة الرفيعة عنها في القمح هو أن هذه الرطوبة ناتجة عن موسم الأمطار الأول (مارس-ابريل)، ولأن موعد زراعة الذرة قبل زراعة القمح وبالتالي فإن كمية الرطوبة في التربة تتناقص مع الزمن. ويوضح الشكل 6العلاقة بين الانتاجية الفعلية والمقدرة وقيم معامل التحديد.

الشكل 6. العلاقة بين الانتاجية الفعلية والمقدرة ومعامل التحديد بعد عملية المعايرة لمحصولي القمح والذرة الرفيعة في صنعاء



الجدول 21. المعايير الإحصائية المستخدمة في الحكم على صحة النموذج ودقة عملية المعايرة

المعايير الإحصائية	صنعاء	
	قمح	ذرة رفيعة
R	0.92***	0.748*
RMSE	0.19	0.16
NRMSE(CV)	0.08**	0.106**
EF	0.83***	-0.49**
D	0.95***	0.79**

*** جيد جدا، ** جيد، * مقبول، * مقبول، ** ضعيف، *** ضعيف جدا

فيظهر ارتباط جيد بين الانتاجية الفعلية والمقدرة بعد عملية المعايرة. بيانات الجدول 21 توضح قيم المعايير الإحصائية المستخدمة للحكم على دقة المعايرة المتمثلة في EF، CV، RMSE، R، و D حيث كانت قيم مقبولة ومرضية.

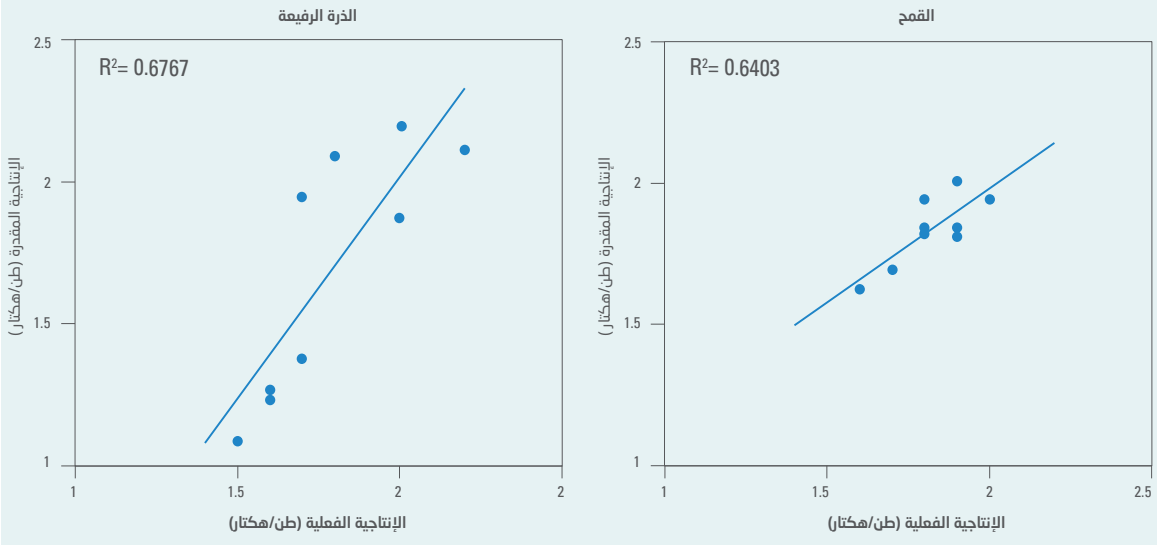
ذمار

تم اعداد مشاريع المعايرة بنفس الخطوات التي تمت لمنطقة صنعاء، وتم معايرة المتغيرات المذكورة آنفا والمتمثلة في موعد وكمية مياه الري حيث أنها لم تكن

الجدول 22. قيم المتغيرات قبل وبعد عملية المعايرة

المتغير	ذمار	
	قمح	ذرة رفيعة
موعد الريات (يوم بعد الزراعة)	20, 60, 85	-
عمق مياه الري المضافة (مم)	50	-
خصوبة التربة والتسميد	About half 46%	Poor 38%
مكافحة الأعشاب	5%	25%
المحتوى الرطوبي الابتدائي % من TAW	85%	85%

الشكل 7. العلاقة بين الانتاجية الفعلية والمقدرة ومعامل التحديد بعد عملية المعايرة لمحصولي القمح والذرة الرفيعة في ذمار



الجدول 23. المعايير الإحصائية المستخدمة في الحكم على صحة النموذج ودقة عملية المعايرة

المعايير الإحصائية	ذمار	
	قمح	ذرة رفيعة
R	0.80**	0.82**
RMSE	0.07	0.28
NRMSE(CV)	0.04***	0.17*
EF	0.58*	-0.69**
D	0.89**	0.79*

*** جيد جدا، ** جيد، * مقبول، * مقبول، ** ضعيف، *** ضعيف جدا

بالدقة الكافية (بالنسبة للقمح أما الذرة الرفيعة فهي زراعة مطرية)، المحتوى الرطوبي الابتدائي، وإدارة الحقل (مستوى التسميد، مكافحة الأعشاب). تم تنفيذ العديد من عمليات المعايرة بتغيير قيم المتغيرات الخاضعة للمعايرة سالفة الذكر حتى تم الحصول على أفضل تطابق ممكن بين الانتاجية الفعلية والانتاجية المقدرة بالبرنامج ويوضح الجدول 22 قيم المتغيرات بعد المعايرة (التي تم معايرتها)،يبين الشكل 7 العلاقة بين الانتاجية الفعلية والمقدرة وقيم معامل التحديد حيث يظهر ارتباط جيد بين الانتاجية الفعلية والمقدرة بعد عملية المعايرة، ويوضح الجدول 23 قيم المعايير الإحصائية المستخدمة للحكم على دقة المعايرة المتمثلة في R، RMSE، CV، EF، و D حيث كانت معظم قيم مقبولة ومرضية.

الكود (أبين)

تم اعداد مشاريع المعايرة بنفس الخطوات التي تمت سابقا عدا أن ملف محصول السمسم تم إعداده من ملف محصول مشابه كون السمسم لا يوجد في قاعدة بيانات البرنامج,

وتم معايرة مستوى التسميد حتى تم الحصول على أفضل تطابق ممكن بين الانتاجية الفعلية والانتاجية المقدرة بالبرنامج عند مستوى تسميد Moderate 66% في الذرة الشامية، و Near Optimal في السمسم، ويوضح الشكل 8 العلاقة بين الانتاجية الفعلية والمقدرة وقيم معامل التحديد، ويوضح الجدول 24 قيم المعايير الإحصائية المستخدمة للحكم على دقة المعايرة المتمثلة في EF، CV، RMSE، R، و Dحيث كانت معظم القيم مقبولة ومرضية.

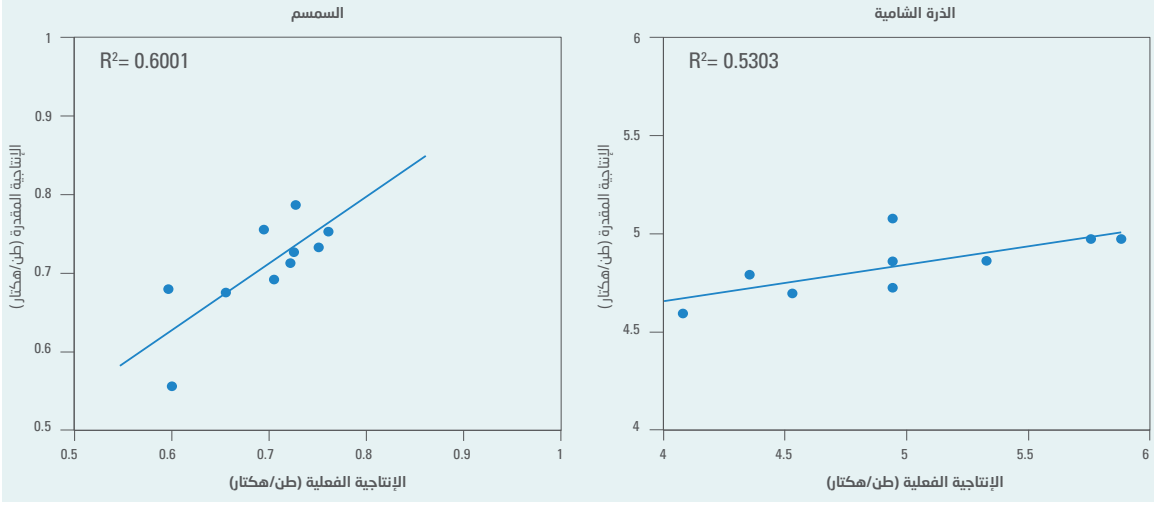
ومن خلال بيانات لتجارب حقلية تم مقارنة تطور الغطاء النباتي الأعظمي (CC%)، التطور الموسمي للكتلة الحيوية (B) المقاسة مع المقدرة بالبرنامج (AquaCrop) لكل من الذرة الشامية والسمسم، وتشير المؤشرات الإحصائية إلى دقة النموذج (شكل 9،10).

الجدول 24. المعايير الإحصائية المستخدمة في الحكم على صحة النموذج ودقة عملية المعايرة

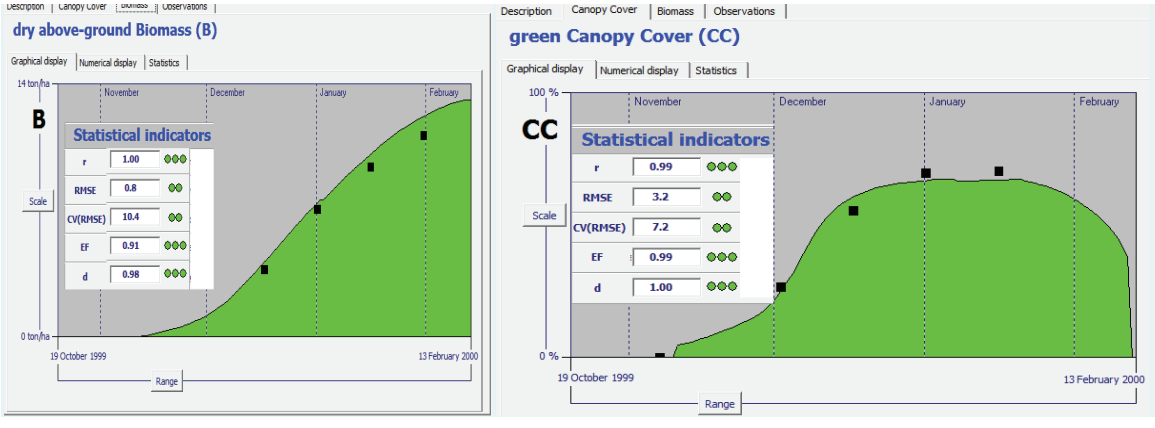
المعايير الإحصائية	ذرة شامية	سمسم
R	0.728*	0.775*
RMSE	0.496	0.041
(NRMSE(CV	0.100**	0.059**
EF	0.250*	0.44*
D	0.515*	0.859**

*** جيد جدا، ** جيد، * مقبول، * مقبول، ** ضعيف، *** ضعيف جدا

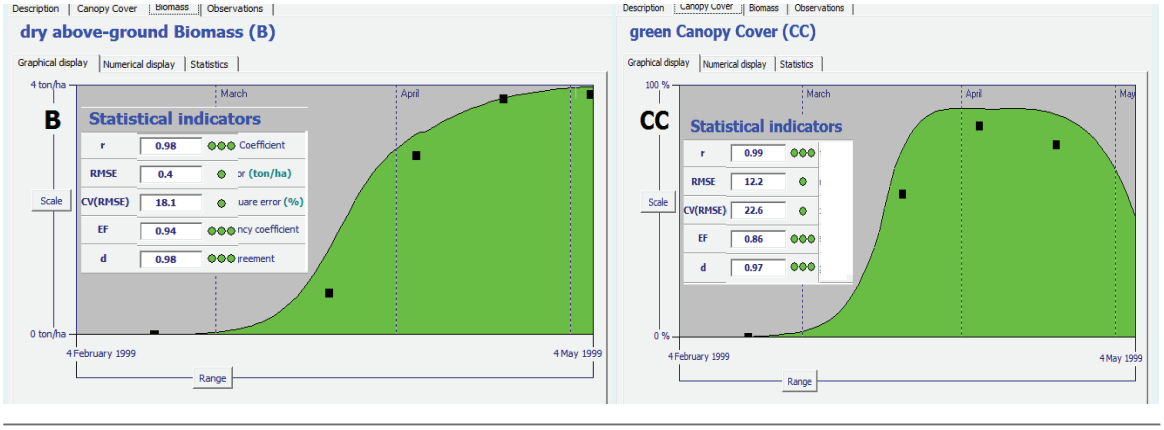
الشكل 8. العلاقة بين الانتاجية الفعلية والمقدرة ومعامل التحديد بعد عملية المعايرة لمحصولي القمح والذرة الرفيعة في ذمار



الشكل 9. العلاقة الخطية بين كل من الغطاء النباتي (CC) الفعلي والمتوقع، والإنتاجية الحيوية (B) الفعلية والمتوقعة للذرة الشامية في منطقة الدراسة الكود



الشكل 10. العلاقة الخطية بين كل من الغطاء النباتي (CC) الفعلي والمتوقع، والإنتاجية الحيوية (B) الفعلية والمتوقعة للسمسم في منطقة الدراسة الكود



5. تطبيق برنامج AquaCrop ومراحل تشغيله والسيناريوهات المعتمدة المدروسة للتغيرات المناخية

بعد ضبط البيانات بعملية المعايرة للحالات المدروسة، تم تشغيل النموذج الرياضي AquaCrop version 6.0 لدراسة تأثير التغيرات المناخية على المحاصيل المدروسة في مناطق الدراسة وفقا لثلاثة نماذج مناخية (CNRM-CM5, EC-EARTH, GFDL-ESM2M) وسيناريوهين لكل نموذج (RCP 4.5, RCP 8.5)، وفي حالتين عندما يكون تركيز ثاني أوكسيد الكربون متزايدا وفي حالة ثبات تركيزه عند 350 ppm، ليصبح عدد السيناريوهات المدروسة 12 سيناريو لكل حالة دراسية كالتالي:

1	CNRM-CM5-RCP 4.5	+	Increased CO_2	RCP 4.5 CO_2 File
2	CNRM-CM5-RCP 4.5	+	Fixed CO_2	350 ppm CO_2 File
3	CNRM-CM5-RCP 8.5	+	Increased CO_2	RCP 8.5 CO_2 File
4	CNRM-CM5-RCP 8.5	+	Fixed CO_2	350 ppm CO_2 File
5	EC-EARTH-RCP 4.5	+	Increased CO_2	RCP 4.5 CO_2 File
6	EC-EARTH-RCP 4.5	+	Fixed CO_2	350 ppm CO_2 File
7	EC-EARTH-RCP 8.5	+	Increased CO_2	RCP 8.5 CO_2 File
8	EC-EARTH-RCP 8.5	+	Fixed CO_2	350 ppm CO_2 File
9	GFDL-ESM2M-RCP 4.5	+	Increased CO_2	RCP 4.5 CO_2 File
10	GFDL-ESM2M-RCP 4.5	+	Fixed CO_2	350 ppm CO_2 File
11	GFDL-ESM2M-RCP 8.5	+	Increased CO_2	RCP 8.5 CO_2 File
12	GFDL-ESM2M-RCP 8.5	+	Fixed CO_2	350 ppm CO_2 File

وتم تشغيل 72 مشروع (12 سيناريو x 3 مناطق x 2 محاصيل) بنفس الملفات والبيانات في مرحلة المعايرة (ملفات المحصول، التربة، الري، الإدارة، والظروف البدائية) كل منطقة ومحصول بما يخصها. وتم دراسة تأثير التغيرات المناخية على كل من الانتاجية طن/هكتار، دورة النمو باليوم، والتبخر-نتح الفعلي E+Tr مم، والانتاجية المائية WP كجم/م^3 وذلك لفترتين زمنيتين هما (2020-2030) و(2040-2050) مقارنة بفترة الأساس (1985-2005)، وتم إجراء اختبار-ت T-test للاختبار معنوية الفروق بين متوسطات العناصر المدروسة في الفترتين المذكورة مقارنة بفترة الأساس، وذلك كمتوسط للسيناريوهين RCP 4.5 وRCP 8.5 للنماذج المناخية الثلاثة.

6. النتائج

صنعاء

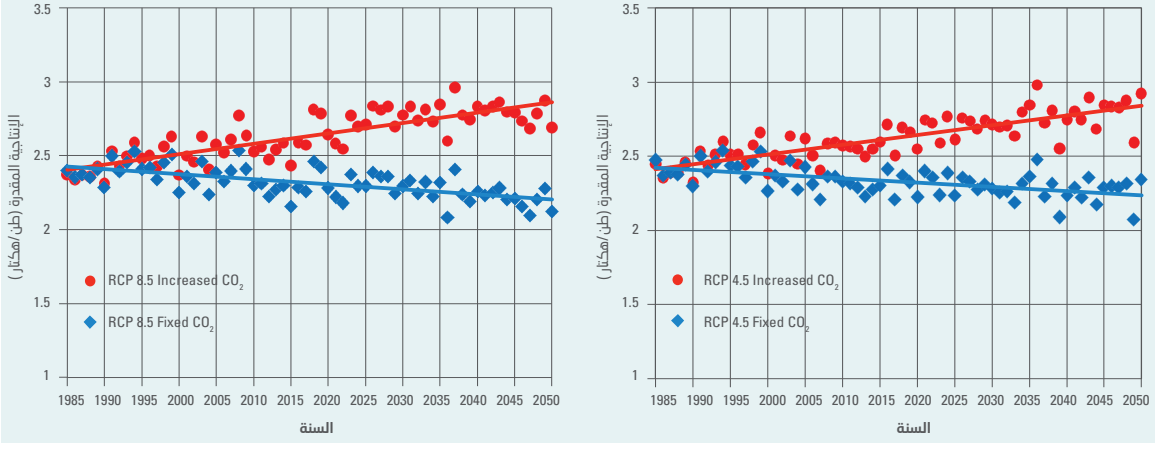
القمح

تتفاوت إنتاجية القمح في صنعاء عبر الفترات المختلفة بحسب السيناريو المناخي، إذ أنه يرتفع في السيناريوهات المناخية المتضمنة تزايد في تركيز ثاني أوكسيد الكربون إذ ترتفع إنتاجية القمح من ما يقارب 2.5 طن/هكتار في فترة الأساس حتى يصل إلى أكثر من 3 طن/هكتار بالاقتراب من عام 2050. أما بافتراض ثبات تركيز ثاني أوكسيد الكربون عند 350 ppm فإن التوقعات تشير إلى أن إنتاجية القمح في صنعاء ستتناقص في كل السيناريوهات المدروسة بشكل طفيف. وتشير الأشكال 11 –14إلى متوسط النماذج المناخية للبارامترات المدروسة لكل سيناريو وفي حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون.

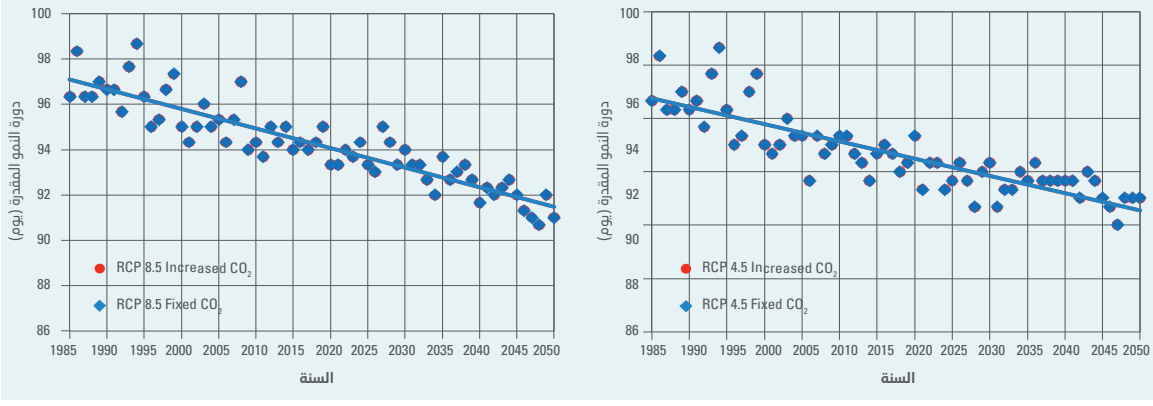
- **السيناريو RCP 4.5 في حالة تغير تركيز ثاني أوكسيد الكربون**

يشير الجدول 25 والشكل 11 إلى أن متوسط إنتاجية القمح تحت الظروف المدروسة سترتفع معنويا خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 إلى ما يقارب 2.7 2.8 طن للهكتار على التوالي مقارنة بفترة الأساس 2.49 طن/هكتار بنسبة زيادة تتراوح بين 8.33 - 12.56%، وستتناقص دورة النمو معنويا من 96 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 94، 93 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2050-2040 (جدول 26، شكل12)، ويشير الجدول 27 والشكل 13 إلى تزايد معدل التبخر-نتح المرجعي بسبب ارتفاع درجة الحرارة وبالرغم من ذلك فإن التبخر-نتح الفعلي سينخفض انخفاضا طفيفا بسبب قصر فترة النمو، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن ترتفع معنويا إلى 0.82 0.85 كجم/م^3 خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بـ0.74 في فترة الأساس (جدول 28، شكل14).

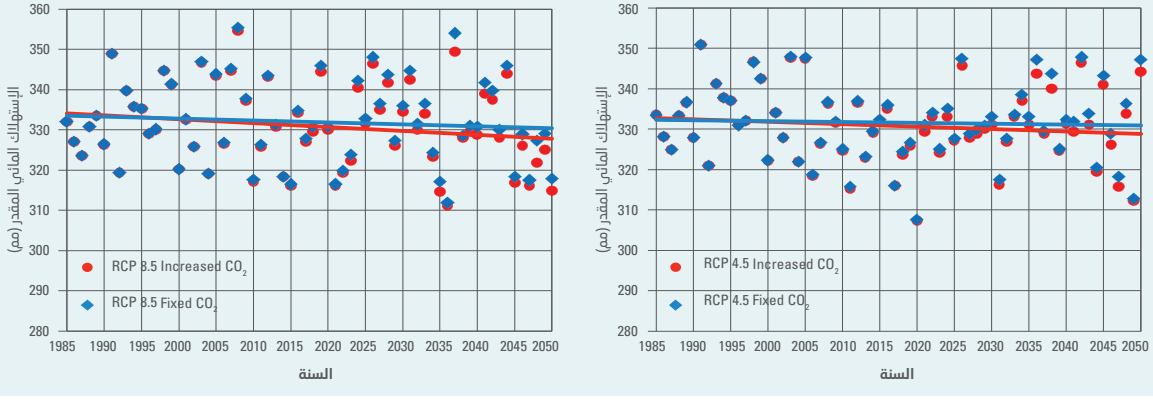
الشكل 11. متوسط انتاجية القمح (طن/ هكتار) في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



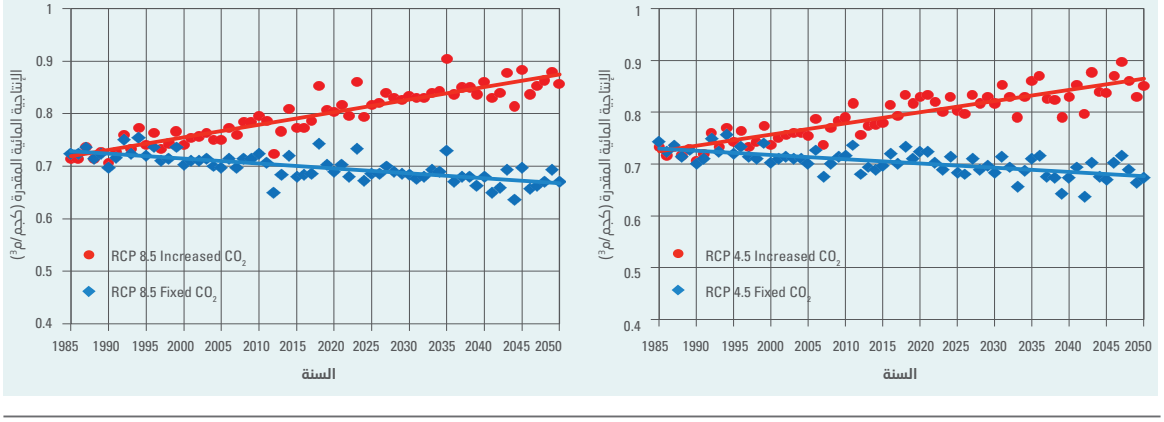
الشكل 12. متوسط دورة النمو (يوم) المقدرة في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



الشكل 13. متوسط التبخر-نتح الفعلي E+Tr(مم) المقدرة في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



الشكل 14. متوسط الانتاجية المائية للقمح (كجم/م^3) في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



الجدول 25. متوسط إنتاجية القمح في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	2.49	
التغير المطلق (طن/هكتار)	+0.2	+0.31
التغير النسبي (%)	+8.33	+12.56

الجدول 26. متوسط طول موسم النمو للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	96.3	93.94	93.15

الجدول 27. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	444	449.9	459.9
التبخر نتح الفعلي (مم)	334.58	328.96	330.14

الجدول 28. الإنتاجية المائية للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.74	0.82	0.85

• السيناريو RCP 4.5 في حالة ثبات تركيز ثاني أوكسيد الكربون

يشير الجدول 29 والشكل 11 إلى أن متوسط إنتاجية القمح تحت الظروف المدروسة ستتناقص معنويا خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 إلى ما يقارب 2.31 2.26 طن للهكتار على التوالي مقارنة بفترة الأساس 2.41 طن/هكتار بنسبة نقصان تتراوح بين 4.24 - 6.11%، وستتناقص دورة النمو معنويا من 96 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 94، 93 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 (جدول 30، شكل12)، ويشير الجدول 31 والشكل 13 إلى تزايد معدل التبخر-نتح المرجعي بسبب ارتفاع درجة الحرارة وبالرغم من ذلك فإن التبخر-نتح الفعلي سينخفض انخفاضا طفيفا بسبب قصر فترة النمو، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن تنخفض معنويا إلى 0.70 و0.68 كجم/م^3 خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بـ 0.72 في فترة الأساس (جدول 32، شكل14).

الجدول 29. متوسط إنتاجية القمح في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2040-2050)
الإنتاج في فترة الأساس(طن/هكتار)	2.41	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.10	-0.15
التغير النسبي (%)	-4.24	-6.11

الجدول 30. متوسط طول موسم النمو للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	96.30	93.94	93.15

الجدول 31. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	444	449.9	459.9
التبخر نتح الفعلي (مم)	334.61	330.11	332.15

الجدول 32. الإنتاجية المائية للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.72	0.70	0.68

• السيناريو RCP 8.5 في حالة تغير تركيز ثاني أوكسيد الكربون

يشير الجدول 33 والشكل 11 إلى أن متوسط إنتاجية القمح تحت الظروف المدروسة سترتفع معنويا خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 إلى ما يقارب 2.72 2.8 طن للهكتار على التوالي مقارنة بفترة الأساس 2.47 طن/هكتار بنسبة زيادة تتراوح بين -10.25 13.12%، وستتناقص دورة النمو معنويا من 96 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 94، 92 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 (جدول 34، شكل12)، ويشير الجدول 35 والشكل 13 إلى تزايد معدل التبخر-نتح المرجعي بسبب ارتفاع درجة الحرارة وبالرغم من ذلك فإن التبخر-نتح الفعلي سينخفض انخفاضا طفيفا بسبب قصر فترة النمو، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن ترتفع معنويا إلى 0.82 0.85 كجم/م^3 خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بـ 0.74 في فترة الأساس (جدول 36، شكل14).

الجدول 33. متوسط إنتاجية القمح في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)	متوسط التغير خلال الفترة (2040-2050)
الإنتاج في فترة الأساس(طن/هكتار)	2.47	
التغير المطلق (طن/هكتار)	+0.32	+0.25
التغير النسبي (%)	+13.12	+10.25

الجدول 34. متوسط طول موسم النمو للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	96.24	93.79	91.73

الجدول 35. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	445.1	452.3	463.1
التبخر نتح الفعلي (مم)	332.70	331.30	327.21

الجدول 36. الإنتاجية المائية للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجيةالمائية (كجم/م^3)	0.74	0.82	0.85

• السيناريو RCP 8.5 في حالة ثبات تركيز ثاني أوكسيد الكربون

يشير الجدول 37 والشكل 11إلى أن متوسط إنتاجية القمح تحت الظروف المدروسة ستتناقص معنويا خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 إلى ما يقارب 2.30 و2.21 طن للهكتار على التوالي مقارنة بفترة الأساس 2.39 طن/هكتار بنسبة نقصان تتراوح بين -3.81 7.62%، وستتناقص دورة النمو معنويا من 96 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 94، 92 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 (جدول 38، شكل12)، ويشير الجدول 39 والشكل 13 إلى تزايد معدل التبخر-نتح المرجعي بسبب ارتفاع درجة الحرارة وبالرغم من ذلك فإن التبخر-نتح الفعلي سينخفض انخفاضا طفيفا بسبب قصر فترة النمو، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن تنخفض معنويا إلى 0.69 و0.67 كجم/م^3 خلال الفترتين 2020-2030 و2050-2040 مقارنة بـ 0.72 في فترة الأساس (جدول 40، شكل14).

من النتائج السابقة يتضح ارتفاع انتاجية القمح تحت الظروف المدروسة في منطقة الدراسة صنعاء في حالة التركيز المتزايد لثاني أوكسيد الكربون في كلا السيناريوهين RCP 8.5، RCP 4.5 وكل النماذج المناخية المدروسة، إلا أن أقل معدل تزايد عند النموذج GFDL-ESM2M وذلك لتناقص معدل الهطول المطري الموسمي (جدول41)، بينما تنخفض في حالة ثبات تركيز ثاني أوكسيد الكربون، بينما معدل تناقص دورة النمو والتبخر-نتح الفعلي تكون اعلى قليلا في السيناريو RCP 8.5 مقارنة بالسيناريو RCP 4.5 ويعزى ذلك إلى ارتفاع درجة الحرارة التي تؤدي إلى نضج المحاصيل أسرع وأيضا بسبب شحة الأمطار والجفاف الذي يدفع النبات إلى الإزهار والنضج المبكر، ويكون قصر فترة النمو بشكل أكبر في السيناريو RCP 8.5 والذي يكون فيه ارتفاع درجة الحرارة أكبر كما تم مناقشة ذلك سابقا عند الحديث عن التغيرات المناخية.

الجدول 37. متوسط إنتاجية القمح في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)	متوسط التغير خلال الفترة (2040-2050)
الإنتاج في فترة الأساس(طن/هكتار)	2.39	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.09	-0.18
التغير النسبي (%)	-3.81	-7.62

الجدول 38. متوسط طول موسم النمو للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	96.24	93.79	91.73

الجدول 39. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	445.1	452.3	463.1
التبخر نتح الفعلي (مم)	332.74	332.53	329.81

الجدول 40. الإنتاجية المائية للقمح في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2060 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.72	0.69	0.67

الجدول 41. الهطول المطري الموسمي المتوقع للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 خلال موسم القمح في منطقة صنعاء باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج EC-Earth، CNRM-CM5، GFDL-ESM2M، وفقا للسيناريو RCP8.5 وRCP4.5

النموذج المناخي	خلال فترة الأساس (1986-2005)	خلال الفترة (2020-2030)	خلال الفترة (2040-2050)
RCP4.5			
CM5-CNRM	41.28	51.59	57.90
Earth-EC	49.23	51.03	46.66
ESM2M-GFDL	48.15	25.95	23.23
RCP8.5			
CM5-CNRM	38.78	51.34	52.26
Earth-EC	44.69	48.47	46.66
ESM2M-GFDL	44.57	22.24	28.45

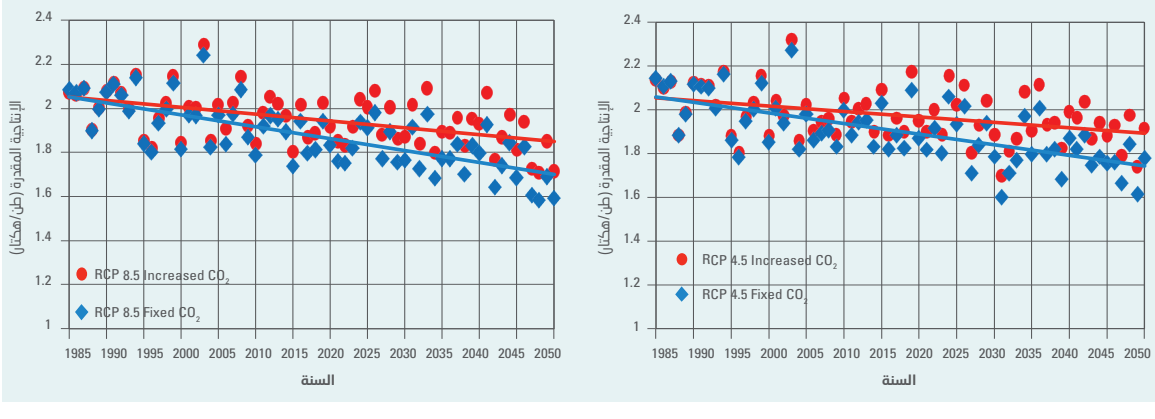
الذرة الرفيعة

تتفاوت إنتاجية الذرة الرفيعة في صنعاء عبر الفترات المختلفة بحسب السيناريو المناخي، إذ أنها تتناقص في كل الحالات ولكنها أقل تناقصا في الحالات المتضمنة تزايد في تركيز ثاني أوكسيد الكربون. وتشير الأشكال 15 –18إلى متوسط النماذج المناخية للصفات المدروسة لكل سيناريو وفي حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون.

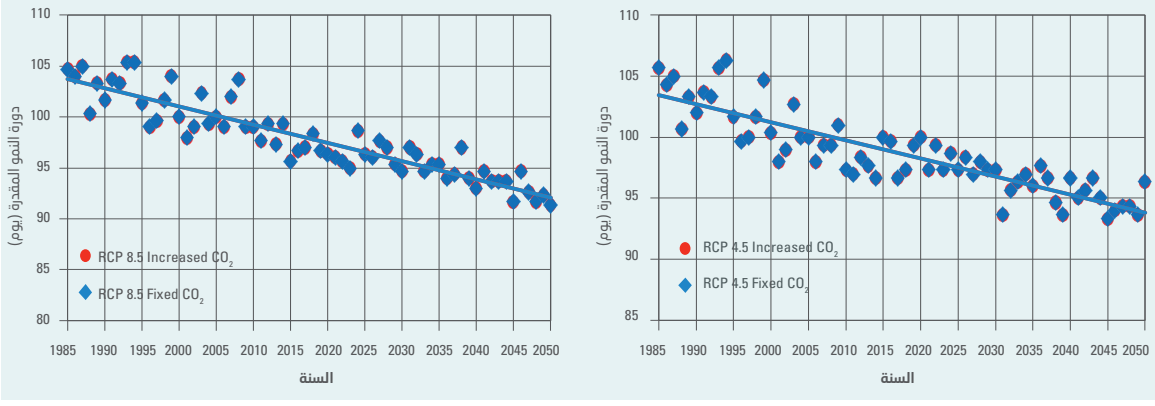
- **السيناريو RCP 4.5 في حالة تغير تركيز ثاني أوكسيد الكربون**

يشير الجدول 42 والشكل 15 إلى أن متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة تحت الظروف المدروسة ستنخفض بشكل طفيف خلال الفترة 2020-2030 ومعنويا خلال الفترة 2040-2050 إلى ما يقارب 1.97 و1.91 طن للهكتار على التوالي مقارنة بفترة الأساس 2.04 طن/ هكتار بنسبة انخفاض تتراوح بين 3.05%- 6.03%.

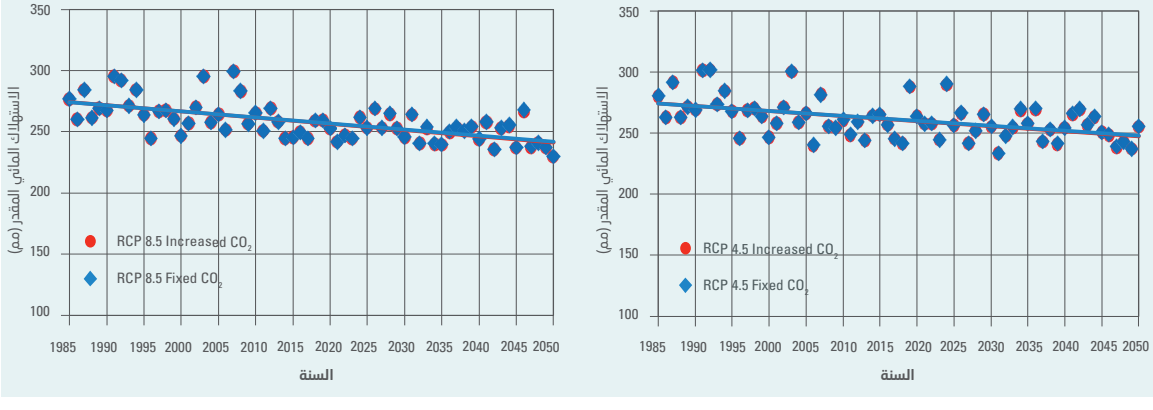
الشكل 15. متوسط انتاجية الذرة الرفيعة (طن/ هكتار) في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



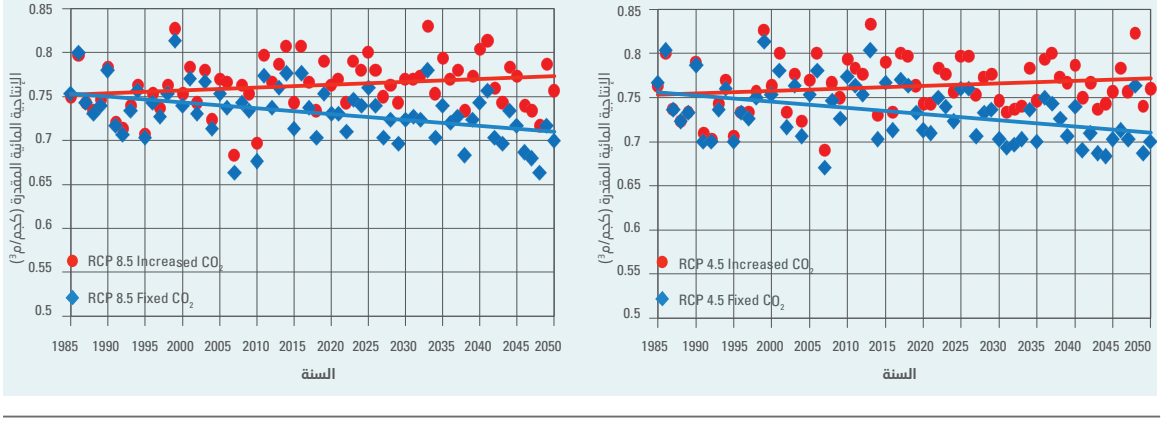
الشكل 16. متوسط دورة النمو (يوم) المقدرة للذرة الرفيعة في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



الشكل 17. متوسط التبخر-نتح (مم) المقدرة للذرة الرفيعة في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



الشكل 18. متوسط الانتاجية المائية للذرة الرفيعة (كجم/م^3) في صنعاء للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



وستتناقص دورة النمو معنويا من 102 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 98، 95 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 (جدول 43، شكل16)، ويشير الجدول 44 والشكل 17 إلى انخفاض وتزايد طفيف في معدل التبخر-نتح المرجعي بسبب ارتفاع درجة الحرارة وينخفض التبخر-نتح الفعلي انخفاضا معنويا بسبب قصر فترة النمو، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن ترتفع بصورة غير معنوية إلى 0.77 خلال الفترة 2020-2030، 0.76 كجم/م^3 خلال الفترة 2040-2050 مقارنة بـ 0.75 في فترة الأساس (جدول 45، شكل18).

الجدول 42. متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	2.39	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.06	-0.12
التغير النسبي (%)	-3.05	-6.03

الجدول 43. متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	102	98	95

الجدول 44. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	496.9	494.8	498.7
التبخر نتح الفعلي (مم)	372.18	258.95	25263

الجدول 45. الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.75	0.77	0.76

• السيناريو RCP 4.5 في حالة ثبات تركيز ثاني أوكسيد الكربون

يشير الجدول 46 والشكل 15 إلى أن متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة تحت الظروف المدروسة ستتناقص معنويا خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 إلى ما يقارب 1.88 و1.78 طن للهكتار على التوالي مقارنة بفترة الأساس 2.02 طن/هكتار بنسبة نقصان تتراوح بين -6.71 %11.93، وستتناقص دورة النمو معنويا من 102 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 98، 95 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 (جدول 47، شكل16)، ويشير الجدول 48 والشكل 17 إلى تزايد معدل التبخر-نتح المرجعي بسبب ارتفاع درجة الحرارة وبالرغم من ذلك فإن التبخر-نتح الفعلي سينخفض انخفاضا معنويا بسبب قصر فترة النمو، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن تنخفض خلال الفترة 2020-2030 بشكل غير معنوي إلى 0.73 ومعنويا خلال الفترة 2040-2050 إلى 0.71 كجم/م^3 مقارنة بـ 0.74 في فترة الأساس (جدول 49، شكل18).

الجدول 46. متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)	متوسط التغير خلال الفترة (2040-2050)
الإنتاج في فترة الأساس(طن/هكتار)	2.02	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.14	-0.24
التغير النسبي (%)	-6.71	-11.93

الجدول 47. متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	102	98	95

الجدول48. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد لكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	469.9	494.8	498.7
التبخر نتح الفعلي (مم)	272.19	259.27	253.08

الجدول 49. الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2030-2020 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجيةالمائية (كجم/م^3)	0.74	0.73	0.71

- **السيناريو RCP 8.5 في حالة تغير تركيز ثاني أوكسيد الكربون**

يشير الجدول 50 والشكل 15 إلى أن متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة تحت الظروف المدروسة ستنخفض معنويا خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 إلى ما يقارب 1.93 و1.85 طن للهكتار على التوالي مقارنة بفترة الأساس 2.02 طن/هكتار بنسبة انخفاض تتراوح بين -4.18 8.26%، وستتناقص دورة النمو معنويا من 102 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 96، 93 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 (جدول 51، شكل16).

الجدول 50. متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)	متوسط التغير خلال الفترة (2040-2050)
الإنتاج في فترة الأساس(طن/هكتار)	2.02	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.08	-0.17
التغير النسبي (%)	-4.18	-8.26

الجدول 51. متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	102	96	93

الجدول52. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	496.8	494.3	496.5
التبخر نتح الفعلي (مم)	269.33	253.12	244.72

الجدول 53. الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.75	0.77	0.76

ويشير الجدول 52 والشكل 17 إلى انخفاض وتزايد طفيف في معدل التبخر-نتح المرجعي بسبب ارتفاع درجة الحرارة وينخفض التبخر-نتح الفعلي انخفاضا معنويا بسبب قصر فترة النمو، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن ترتفع بصورة غير معنوية إلى 0.77 و0.76 كجم/م^3 خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بـ 0.75 في فترة الأساس (جدول 53، شكل18).

• السيناريو RCP 8.5 في حالة ثبات تركيز ثاني أوكسيد الكربون

يشير الجدول 54 والشكل 15 إلى أن متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة تحت الظروف المدروسة ستتناقص معنويا خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 إلى ما يقارب 1.84 1.72 طن للهكتار على التوالي مقارنة بفترة الأساس 2 طن/هكتار بنسبة نقصان تتراوح بين -8.22 13.88%، وستتناقص دورة النمو معنويا من 102 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 96، 93 يوم خلال الفترتين -2030 2020 و2040-2050 (جدول 55، شكل16)، ويشير الجدول 56 والشكل 17 إلى تزايد معدل التبخر-نتح المرجعي بسبب ارتفاع درجة الحرارة وبالرغم من ذلك فإن التبخر-نتح الفعلي سينخفض انخفاضا معنويا بسبب قصر فترة النمو، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن تنخفض معنويا خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 إلى 0.73 – 0.71 كجم/م^3 مقارنة بـ 0.75 في فترة الأساس (جدول 57، شكل18).

من النتائج السابقة يتضح أن معدل انخفاض انتاجية الذرة الرفيعة تحت الظروف المدروسة في منطقة الدراسة صنعاء في حالة التركيز المتزايد لثاني أوكسيد الكربون يكون أقل في كلا السيناريوهين RCP 8.5، RCP 4.5 وكل النماذج المناخية المدروسة مقارنة بالتركيز الثابت لثاني أوكسيد الكربون، ويكون معدل الانخفاض أكثر قليلا في السيناريو RCP 8.5 مقارنة بالسيناريو RCP 4.5، وكان أعلى معدل للانخفاض في النموذج GFDL-ESM2M وذلك لتناقص معدل الهطول المطري الموسمي بشكل أكبر مقارنة ببقية النماذج (جدول 34.9)، بينما معدل تناقص دورة النمو والتبخر-نتح الفعلي تكون اعلى قليلا في السيناريو RCP 8.5 مقارنة بالسيناريو RCP 4.5 ويعزى ذلك إلى ارتفاع درجة الحرارة التي تؤدي إلى نضج المحاصيل أسرع وأيضا بسبب شحة الأمطار والجفاف الذي يدفع النبات إلى الإزهار والنضج المبكر.

الجدول 54. متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في صنعاء والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	2	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.16	-0.28
التغير النسبي (%)	-8.22	-13.88

الجدول 55. متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	102	96	93

الجدول 56. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	496.8	494.3	496.5
التبخر نتح الفعلي (مم)	269.34	253.45	245.38

الجدول 57. الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في صنعاء خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات -2030 2020 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.75	0.73	0.71

الجدول 58. الهطول المطري الموسمي المتوقع للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 2005-1985 خلال موسم الذرة الرفيعة في منطقة صنعاء باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-، EC-Earth، CNRM-CM5، ESM2M وفقا للسيناريو RCP8.5 وRCP4.5

النموذج المناخي	خلال فترة الأساس (1986-2005)	خلال الفترة (2020-2030)	خلال الفترة (2040-2050)
RCP4.5			
CM5-CNRM	49.79	38.44	70.92
Earth-EC	58.7	48.35	51.19
ESM2M-GFDL	55.4	38.89	22.76
RCP8.5			
CM5-CNRM	50.39	54.94	46.95
Earth-EC	52.10	36.38	40.01
ESM2M-GFDL	48.45	17.99	31.98

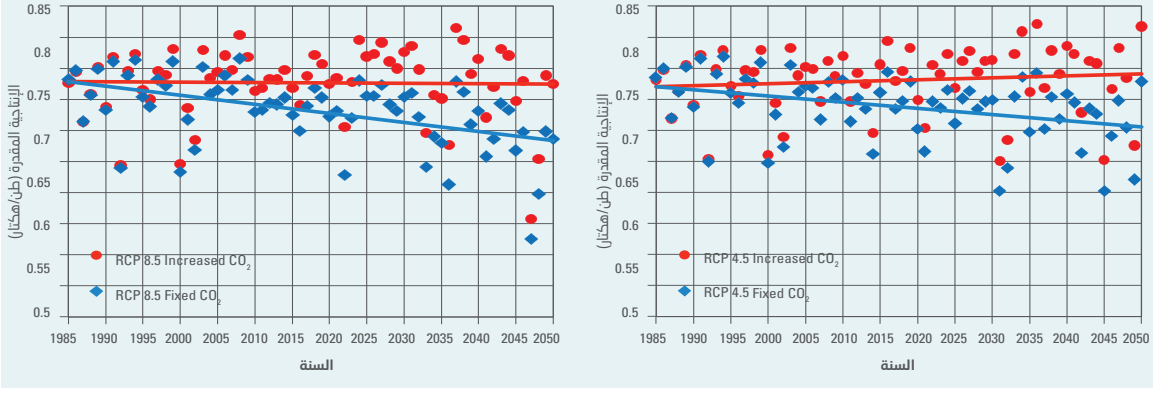
ويكون قصر فترة النمو بشكل أكبر في السيناريو RCP 8.5 والذي يكون فيه ارتفاع درجة الحرارة أكبر كما تم مناقشة ذلك سابقا عند الحديث عن التغيرات المناخية.

ذمار

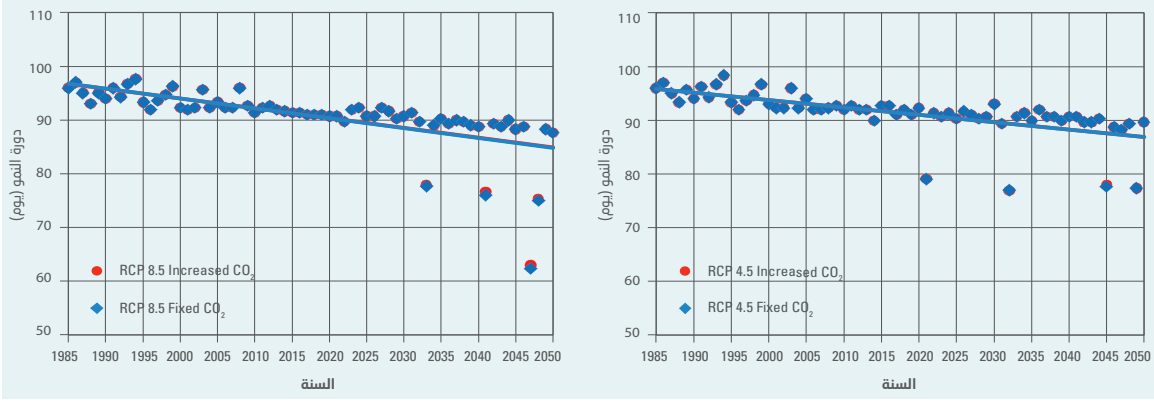
• القمح

تتفاوت إنتاجية القمح في ذمار عبر الفترات المختلفة بحسب السيناريو المناخي ويتضح جليا التفاوت من سنه إلى أخرى إذ أنها تصل في بعض السيناريوهات إلى ما يقارب 2 طن/ هكتار لبعض السنوات وفي المقابل تتناقص في بعض السنوات شحيحة الأمطار ليصل إلى أقل من 1 طن/ هكتار، وبشكل عام ترتفع الانتاجية في حالة التركيز المتزايد من CO_2 في النموذجين المناخيين CNRM-CM5 و EC-EARTH وخاصة في السيناريو RCP 4.5، بينما ينخفض في النموذج GFDL-ESM2M ويرجع ذلك إلى نمط هطول الأمطار؛ وذلك لارتباط الانتاجية بشكل مباشر مع كمية الأمطار الموسمية إذ تتناقص الانتاجية في السيناريوهات التي تتناقص فيها كمية الأمطار الموسمية بشكل معنوي وبالنظر إلى كمية الأمطار السنوية يتضح أن النموذج GFDL-ESM2M أكثر النماذج تناقصا في الامطار خلال موسم زراعة القمح. وتوضح الأشكال 19 –22متوسط النماذج المناخية للبارامترات المدروسة لكل سيناريو وفي حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون.

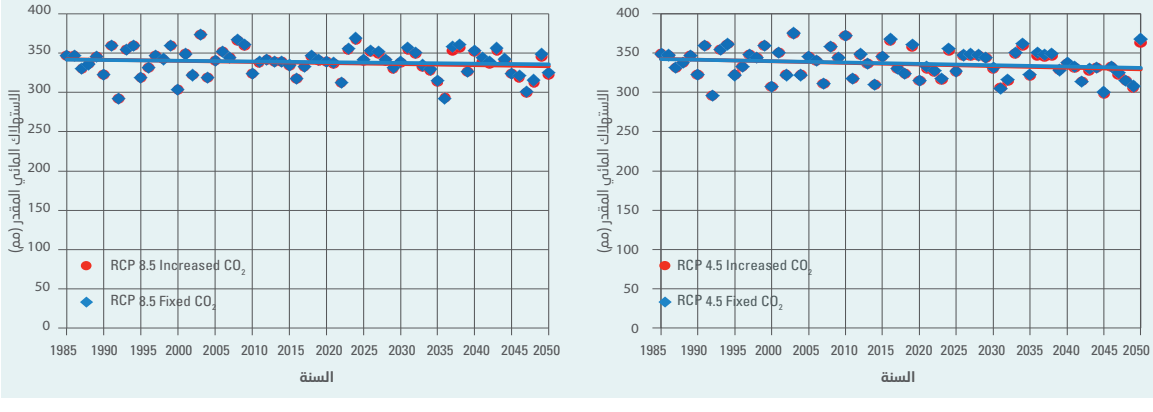
الشكل 19. متوسط انتاجية القمح (طن/ هكتار) في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



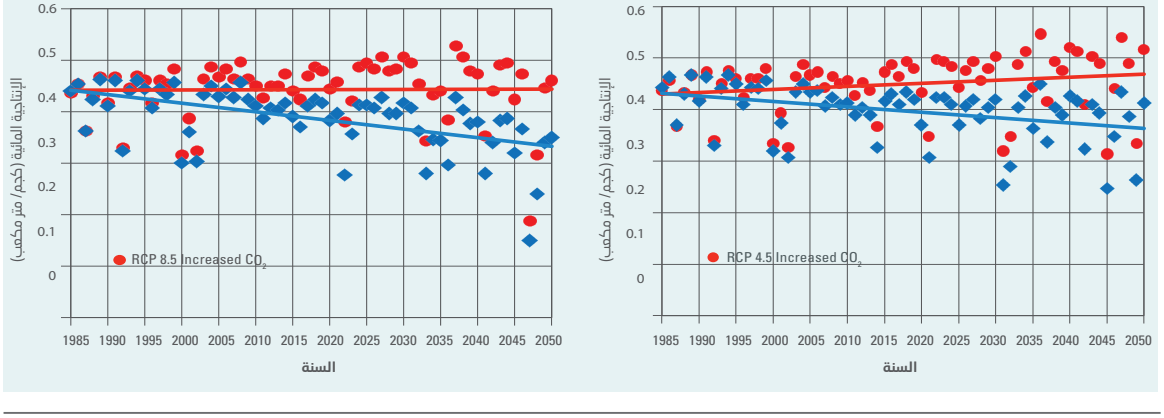
الشكل 20. متوسط دورة النمو (يوم) المقدرة للقمح في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



الشكل 21. متوسط التبخر-نتح الفعلي E+Tr (مم) المقدرة للقمح في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



الشكل 22. متوسط الانتاجية المائية للقمح (كجم/م^3) في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



• السيناريو RCP 4.5 في حالة تغير تركيز ثاني أوكسيد الكربون

يشير الجدول 59 والشكل 19 إلى أن متوسط إنتاجية القمح تحت الظروف المدروسة في ذمار سترتفع بصورة غير معنوية خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 إلى ما يقارب 1.65 و1.52 طن للهكتار على التوالي مقارنة بفترة الأساس 1.48 طن/هكتار بنسبة زيادة تتراوح بين -5.64 %2.89، وستتناقص دورة النمو معنويا من 95 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 90، 87 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 (جدول 60، شكل20)، ويشير الجدول 61 والشكل 21 إلى تزايد معدل التبخر-نتح المرجعي بسبب ارتفاع درجة الحرارة وبالرغم من ذلك فإن التبخر-نتح الفعلي سينخفض انخفاضا طفيفا بسبب قصر فترة النمو، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن ترتفع بشكل غير معنوي إلى 0.46 كجم/م^3 خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بـ 0.43 في فترة الأساس (جدول 62، شكل22).

الجدول 59. متوسط إنتاجية القمح في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	1.48	
التغير المطلق (طن/هكتار)	+0.08	+0.04
التغير النسبي (%)	+5.64	+2.89

الجدول 60. متوسط طول موسم النمو للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	95	90	87

الجدول 61. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	422	428.6	439
التبخر نتح الفعلي (مم)	339.62	334.82	325.42

الجدول 62. الإنتاجية المائية للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.43	0.46	0.46

• السيناريو RCP 4.5 في حالة ثبات تركيز ثاني أوكسيد الكربون

يشير الجدول 62 والشكل 19 إلى أن متوسط إنتاجية القمح تحت الظروف المدروسة ستتناقص بصورة غير معنوية إلى 1.33 طن/هكتار خلال الفترة 2020-2030، ومعنويا إلى 1.23 طن/هكتار خلال الفترة 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1.44 طن/هكتار بنسبة نقصان تتراوح بين -7.02 %14.57، وستتناقص دورة النمو معنويا من 95 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 90، 87 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 (جدول 63، شكل20)، ويشير الجدول 64 والشكل 21 إلى تزايد معدل التبخر-نتح المرجعي بسبب ارتفاع درجة الحرارة وبالرغم من ذلك فإن التبخر-نتح الفعلي سينخفض انخفاضا طفيفا بسبب قصر فترة النمو، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن تسلك سلوك الانتاجية في الاتجاه والمعنوية إذ ستنخفض إلى 0.39 و0.37 كجم/م^3 خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بـ 0.42 في فترة الأساس (جدول 66، شكل22).

الجدول 63. متوسط إنتاجية القمح في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	1.44	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.10	-0.21
التغير النسبي (%)	-7.02	-14.57

الجدول 64. متوسط طول موسم النمو للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2030-2020 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2030-2020	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	94.62	90.15	87.45

الجدول 65. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2030-2020 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2030-2020	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	422	428.6	439
التبخر نتح الفعلي (مم)	339.7	335.79	326.82

الجدول 66. الإنتاجية المائية للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2030-2020 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2030-2020	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.42	0.39	0.37

• السيناريو RCP 8.5 في حالة تغير تركيز ثاني أوكسيد الكربون

يشير الجدول 66 والشكل 19 إلى أن متوسط إنتاجية القمح تحت الظروف المدروسة سترتفع معنويا خلال الفترة 2020-2030 إلى ما يقارب 1.6 طن للهكتار وستنخفض بشكل طفيف إلى 1.4 طن/هكتار مقارنة بفترة الأساس 1.46 طن/هكتار بنسبة تغير تتراوح بين +9.8%، -3.96%، وستتناقص دورة النمو معنويا من 94 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 91، 84 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 (جدول 67، شكل20)، ويشير الجدول 68 والشكل 21 إلى تزايد معدل التبخر-نتح المرجعي بسبب ارتفاع درجة الحرارة وبالرغم من ذلك فإن التبخر-نتح الفعلي سينخفض انخفاضا طفيفا بسبب قصر فترة النمو، أما الإنتاجية المائية فيتوقع ان ترتفع إلى 0.47 كغ/م 3 في الفترة 2020-2030 ثم تنخفض إلى 0.41 كغ/م^3 في الفترة 2040-2050 مقارنة ب 0.43 كغ/م^3 في فترة الأساس (جدول 70، شكل22).

الجدول 67. متوسط إنتاجية القمح في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	1.46	
التغير المطلق (طن/هكتار)	+0.14	-0.06
التغير النسبي (%)	+9.80	-3.96

الجدول 68. متوسط طول موسم النمو للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2030-2020	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	94.41	91.06	84.06

الجدول 69. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	423.6	429	445.3
التبخر نتح الفعلي (مم)	338.17	341.91	331.39

الجدول 70. الإنتاجية المائية للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.43	0.47	0.41

• السيناريو RCP 8.5 في حالة ثبات تركيز ثاني أوكسيد الكربون

يشير الجدول 70 والشكل 19 إلى أن متوسط إنتاجية القمح تحت الظروف المدروسة ستتناقص تناقصا غير معنويا إلى 1.34 طن/هكتار خلال الفترة 2020-2030 ومعنويا إلى 1.16 طن/هكتار خلال الفترة 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1.42 طن/هكتار بنسبة نقصان تتراوح بين -5.21 %22.35، وستتناقص دورة النمو معنويا من 94 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 91، 84 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 (جدول 71، شكل20)، ويشير الجدول 72 والشكل 21 إلى تزايد معدل التبخر-نتح المرجعي بسبب ارتفاع درجة الحرارة بينما التبخر-نتح الفعلي لن يتغير معنويا، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن تنخفض انخفاضا طفيفا إلى 0.39 كجم/م^3 خلال الفترة 2020-2030، ومعنويا إلى 0.32 كجم/م^3 خلال الفترة 2040-2050 مقارنة بـ 0.41 في فترة الأساس (جدول 74، شكل22).

من النتائج السابقة يتضح ارتفاع انتاجية القمح تحت الظروف المدروسة في منطقة الدراسة ذمار في حالة التركيز المتزايد لثاني أوكسيد الكربون في كلا السيناريوهين RCP 8.5، RCP 4.5 خلال الفترة 2020-2030، ثم تميل للتناقص خلال الفترة 2040-2050 ويرجح حدوث هذا بسبب نمط الهطول المطري الموسمي حيث ترتفع وتنخفض بنفس الطريقة خلال الفترتين (جدول74)، وكذلك بسبب الاجهاد الحراري وقصر دورة النمو إذ يكون معدل الارتفاع والانخفاض أكبر في السيناريو RCP 8.5 والذي يكون فيه ارتفاع درجة الحرارة أكبر كما تم مناقشة ذلك سابقا عند الحديث عن التغيرات المناخية. ويتضح أن انتاجية القمح ترتفع في حالة التركيز المتغير لثاني أوكسيد الكربون في النماذج EC-EARTH، CNRM-CM5 بينما تنخفض في النموذج GFDL-ESM2M ويعزى هذا إلى سلوك الهطول المطري الموسمي في كل نموذج كما يتضح ذلك جليا في الجدول 74، وفي حالة التركيز الثابت لثاني أوكسيد الكربون فإن الإنتاجية تنخفض في جميع النماذج المناخية المدروسة وأقلها انخفاضا هو النموذج CNRM-CM5، وأكثرها انخفاضا هو النموذج GFDL-ESM2M وخاصة عند السيناريو RCP 8.5.

الجدول 71. متوسط إنتاجية القمح في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)	متوسط التغير خلال الفترة (2040-2050)
الإنتاج في فترة الأساس(طن/هكتار)	1.42	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.07	-0.32
التغير النسبي (%)	-5.21	-22.35

الجدول 72. متوسط طول موسم النمو للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	94.41	91.06	83.91

الجدول 73. الإنتاجية المائية للقمح في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	423.6	429	445.3
التبخر نتح الفعلي (مم)	338.21	343.21	333.79

الجدول 74. الهطول المطري الموسمي المتوقع للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 خلال موسم القمح في منطقة ذمار باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-، CNRM-CM5، EC-Earth، ESM2M وفقا للسيناريو RCP8.5 وRCP4.5

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.41	0.39	0.32

الجدول 75. متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

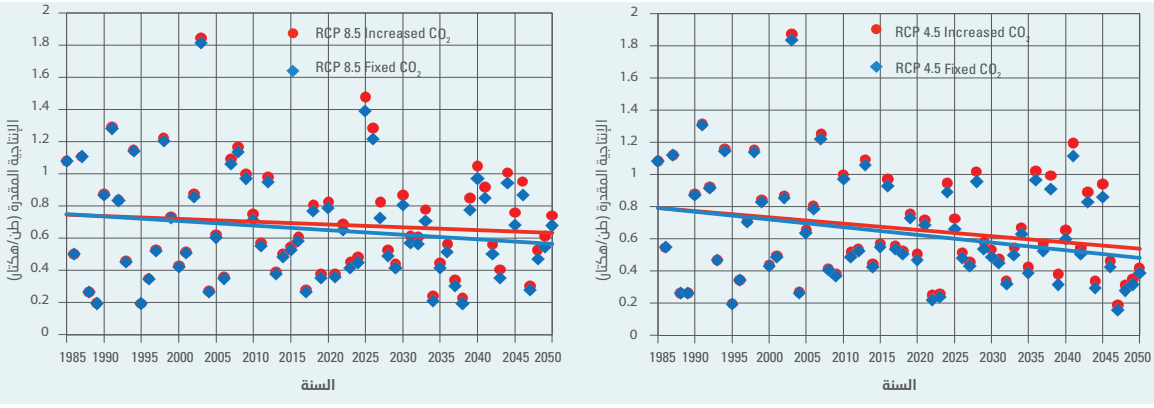
النموذج المناخي	خلال فترة الأساس (1986-2005)	خلال الفترة (2020-2030)	خلال الفترة (2040-2050)
RCP4.5			
CM5-CNRM	178.619	207.36	202.55
Earth-EC	193.1	186.45	195.27
ESM2M-GFDL	189.48	170.18	148.18
المتوسط	187.06	188	182
RCP8.5			
CM5-CNRM	176.48	236.27	218.64
Earth-EC	184.86	203.73	213.18
ESM2M-GFDL	186.19	171	148.09
المتوسط	182.51	203.67	193.30

بينما معدل تناقص دورة النمو والتبخر-نتح الفعلي تكون اعلى قليلا في السيناريو RCP 8.5 مقارنة بالسيناريو RCP 4.5 ويعزى ذلك إلى ارتفاع درجة الحرارة التي تؤدي إلى نضج المحاصيل أسرع وأيضا بسبب شحة الأمطار والجفاف الذي يدفع النبات إلى الإزهار والنضج المبكر وخاصة في النموذج GFDL-ESM2M الذي يكون فيه تناقص معل الأمطار الموسمية أكبر وبالتالي حدوث فشل للمحصول في بعض من السنوات وعدم وصوله إلى مرحلة الانتاج.

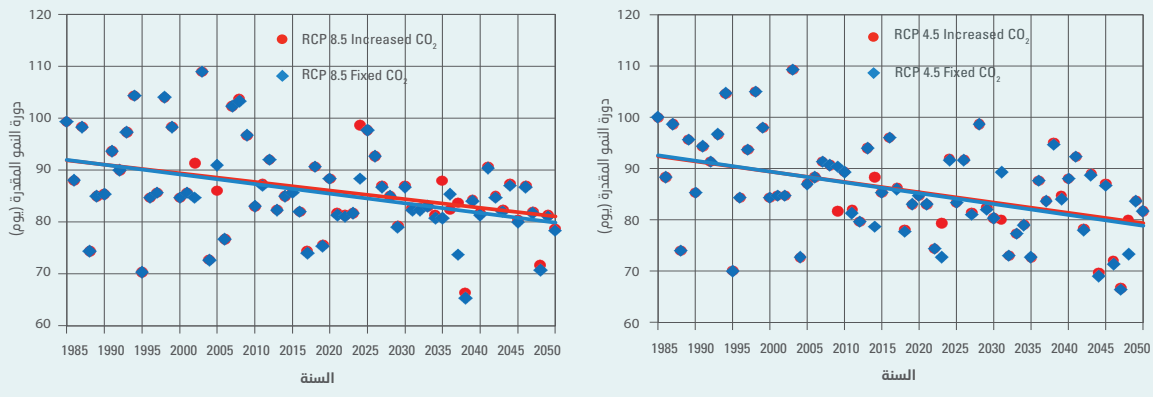
الذرة الرفيعة

يلاحظ تفاوت كبير في الإنتاجية من عام إلى آخر إذ قد ترتفع إلى أكثر من 2 طن/هكتار في بعض السيناريوهات في بعض السنوات وخاصة في فترة الأساس والسنوات الممطرة، وفي المقابل تنخفض إلى ما دون 0.3 طن/هكتار في بعض كثير من السنوات شحيحة الأمطار والذي يعتبر فشل للمحصول في إنتاج غلة حبية، في الوقت الحاضر يلجأ المزارع إلى إضافة رية تكميلية أو ريتين في السنوات شحيحة الأمطار إذا توفر مصدر آخر للري وإذا لم يتوفر فإن المزارع يخسر محصوله ويحصده كعلف للحيوانات. وبشكل عام تتناقص الانتاجية في كلا السيناريوهين المناخيين، وتشير الأشكال 23–26 إلى متوسط النماذج المناخية للصفات المدروسة لكل سيناريو وفي حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون.

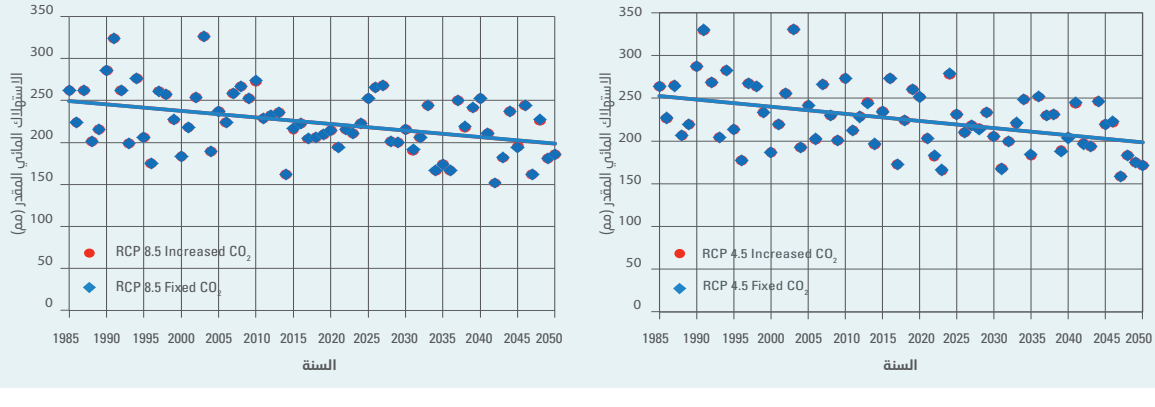
الشكل 23. متوسط انتاجية الذرة الرفيعة (طن/ هكتار) في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



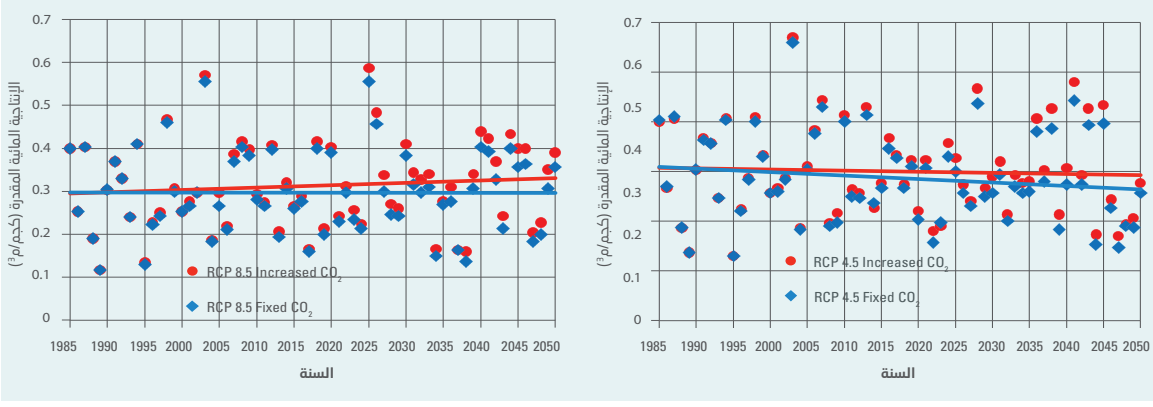
الشكل 24. متوسط دورة النمو (يوم) المقدرة للذرة الرفيعة في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



الشكل 25. متوسط التبخر-نتح (مم) المقدرة للذرة الرفيعة في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



الشكل 26. متوسط الانتاجية المائية للذرة الرفيعة (كجم/م^3) في ذمار للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



• السيناريو RCP 4.5 في حالة تغير تركيز ثاني أوكسيد الكربون

يشير الجدول 75 والشكل 23 إلى أن متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة تحت الظروف المدروسة ستنخفض خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 إلى ما يقارب 0.59 0.57 طن للهكتار على التوالي مقارنة بفترة الأساس 0.76 طن/هكتار بنسبة انخفاض تتراوح بين 21.63 - 24.29%، وستتناقص متوسط دورة النمو من 91 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 85، 81 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 على التوالي (جدول 76، شكل24)، ويشير الجدول 77 والشكل 25 إلى انخفاض في معدل التبخر-نتح المرجعي والفعلي بسبب قصر فترة النمو.

الجدول 76. متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2030-2020 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)	متوسط التغير خلال الفترة (2040-2050)
الإنتاج في فترة الأساس(طن/هكتار)	0.76	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.16	-0.18
التغير النسبي (%)	-21.63	-24.29

الجدول 77. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	90.6	84.64	80.76

الجدول 78. الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	480.7	475.1	476.8
التبخر نتح الفعلي (مم)	244.51	217.64	201.36

الجدول 79. متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجيةالمائية (كجم/م^3)	0.30	0.28	0.29

أما الانتاجية المائية فيتوقع أن تنخفض بصورة غير معنوية إلى 0.28 خلال الفترة 2020-2030، 0.29 كجم/م^3 خلال الفترة 2040-2050 مقارنة بـ 0.30 في فترة الأساس (جدول 79، شكل26).

• السيناريو RCP 4.5 في حالة ثبات تركيز ثاني أوكسيد الكربون

يشير الجدول 79 والشكل 23 إلى أن متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة ستتناقص خلال الفترتين 2020-2030 و2050-2040 إلى ما يقارب 0.55 و0.53 طن للهكتار على التوالي مقارنة بفترة الأساس 0.75 طن/هكتار بنسبة نقصان تتراوح بين -26.45 29.81%، وستتناقص متوسط دورة النمو من 91 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 84، 80 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 (جدول 80، شكل24)، ويشير الجدول 81 والشكل 25 إلى تناقص معدل التبخر-نتح المرجعي والفعلي بسبب قصر فترة النمو، أما الانتاجية المائية فتنخفض إلى 0.27 كجم/م^3 في كلا الفترتين مقارنة بـ 0.30 كجم/م^3 في فترة الأساس (جدول 83، شكل26).

الجدول 80. متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	0.75	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.20	-0.22
التغير النسبي (%)	-26.45	-29.81

الجدول 81. متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	90.6	83.94	79.91

الجدول 82. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	480.7	475.1	476.8
التبخر نتح الفعلي (مم)	244.51	217.76	201.33

الجدول 83. الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.30	0.27	0.27

• السيناريو RCP 8.5 في حالة تغير تركيز ثاني أوكسيد الكربون

يشير الجدول 83 والشكل 23 إلى أن متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة تحت الظروف المدروسة سترتفع بشكل طفيف إلى 0.75 طن/هكتار خلال الفترة 2020-2030 ثم تميل للانخفاض بشكل طفيف إلى 0.71 طن/هكتار خلال الفترة 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 0.73 طن/هكتار بنسبة تغير تقدر بـ 2.64% و2.47%- على التوالي. وستتناقص دورة النمو معنويا من 90 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 87، 83 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 (جدول 84، شكل24)، ويشير الجدول 85 والشكل 25 إلى انخفاض وتزايد طفيف في معدل التبخر-نتح المرجعي والفعلي بسبب قصر متوسط فترة النمو، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن ترتفع 0.34 و0.35 كجم/م^3 خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بـ 0.30 في فترة الأساس (جدول 87، شكل26).

الجدول 84. متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	0.73	
التغير المطلق (طن/هكتار)	+0.02	-0.02
التغير النسبي (%)	+2.64	-2.47

الجدول 85. متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2030-2020	خلال الفترة 2050-2040
طول موسم النمو (يوم)	89.9	87.3	82.55

الجدول 86. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2030-2020	خلال الفترة 2050-2040
التبخر النتح المرجعي (مم)	480.8	476.4	474
التبخر نتح الفعلي (مم)	240.19	223.76	202.36

الجدول 87. الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2030-2020	خلال الفترة 2050-2040
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.30	0.34	0.35

- **السيناريو RCP 8.5 في حالة ثبات تركيز ثاني أوكسيد الكربون**

يشير الجدول 87 والشكل 23 إلى أن متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة تحت الظروف المدروسة ستتناقص خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 إلى ما يقارب 0.70 و0.65 طن للهكتار على التوالي مقارنة بفترة الأساس 0.72 طن/هكتار بنسبة نقصان تتراوح بين -3.12 10.30%، وستتناقص متوسط دورة النمو من 90 يوم في فترة الأساس إلى ما يقارب 86، 82 يوم خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 على التوالي (جدول 88، شكل24)، ويشير الجدول 89 والشكل 25 إلى تناقص معدل التبخر-نتح المرجعي والفعلي بسبب قصر فترة النمو، أما الانتاجية المائية فيتوقع أن ترتفع خلال الفترتين 2020-2030 و2040-2050 إلى 0.32 كجم/م^3 مقارنة بـ 0.30 كجم/م^3 في فترة الأساس (جدول 91، شكل26).

من النتائج السابقة يتضح أن معدل انخفاض انتاجية الذرة الرفيعة تحت الظروف المدروسة في منطقة الدراسة ذمار في حالة التركيز المتزايد لثاني أوكسيد الكربون يكون أقل في متوسط الثلاثة النماذج لكلا السيناريوهين RCP 8.5، RCP 4.5 مقارنة بالتركيز الثابت لثاني أوكسيد الكربون، ويكون معدل الانخفاض أكثر قليلا في السيناريو RCP 4.5 مقارنة بالسيناريو RCP 8.5 (بعكس حالة الذرة الرفيعة في صنعاء) وفقا لسلوك الهطول المطري الموسمي، وكان أعلى معدل للانخفاض في النموذج GFDL-ESM2M وخاصة في السيناريو RCP 8.5 وذلك لتناقص معدل الهطول المطري الموسمي بشكل أكبر مقارنة ببقية النماذج (جدول91). أما النماذج EC-EARTH وCNRM-CM5 عند السيناريو RCP 8.5 فقد أبدت زيادة طفيفة في الانتاجية بسبب أن معدل الهطول المطري الموسمي أعلى من بقية الحالات خلال الفترة 2040-2050 (جدول 92).

الجدول 88. متوسط إنتاجية الذرة الرفيعة في ذمار والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	0.72	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.02	-0.07
التغير النسبي (%)	-3.12	-10.30

الجدول 89. متوسط طول موسم النمو للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	89.83	86.21	82.15

الجدول 90. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	480.8	476.4	474
التبخر نتح الفعلي (مم)	240.19	223.67	202.61

الجدول 91. الإنتاجية المائية للذرة الرفيعة في ذمار خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.30	0.32	0.32

الجدول 92. الهطول المطري الموسمي المتوقع للفترتين 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1985-2005 خلال موسم الذرة الرفيعة في منطقة ذمار باستخدام المحاكاة RCA4 للنماذج GFDL-، CNRM-CM5، EC-Earth، ESM2M وفقا للسيناريو RCP8.5 و RCP4.5

النموذج المناخي	خلال فترة الأساس (1986-2005)	خلال الفترة (2020-2030)	خلال الفترة (2040-2050)
RCP4.5			
CM5-CNRM	203.71	192.09	136.73
Earth-EC	205.1	175.45	164.09
ESM2M-GFDL	191.62	149	145
المتوسط	200.14	172.18	148.61
RCP8.5			
CM5-CNRM	202.67	187.03	167.27
Earth-EC	188.33	166.36	165.64
ESM2M-GFDL	184.48	161.73	126.55
المتوسط	191.83	171.73	153.15

ومعدل تناقص دورة النمو والتبخر-نتح الفعلي تكون متساوية في السيناريوهين RCP 8.5 وRCP 4.5 وبرغم أن طول فترة النمو للمحصول هي 130 يوميا إلا أن متوسط دورة النمو خلال فترة زمنية أقل بكثر مما هي عليه في الواقع ويعزى ذلك إلى أن المحصول يفشل في كثير من السنوات إذ تكون فترة النمو أقل من 60 يوما وهذا ما قلل من متوسط طول دورة النمو بشكل عام. والانتاجية المائية ترتفع في السيناريو RCP 8.5 في حالة التركيز المتغير لثاني أوكسيد الكربون وتنخفض في حالة التركيز الثابت، أما السيناريو RCP 4.5 فتنخفض في كلا الحالتين.

الكود (أبين)

الذرة الشامية

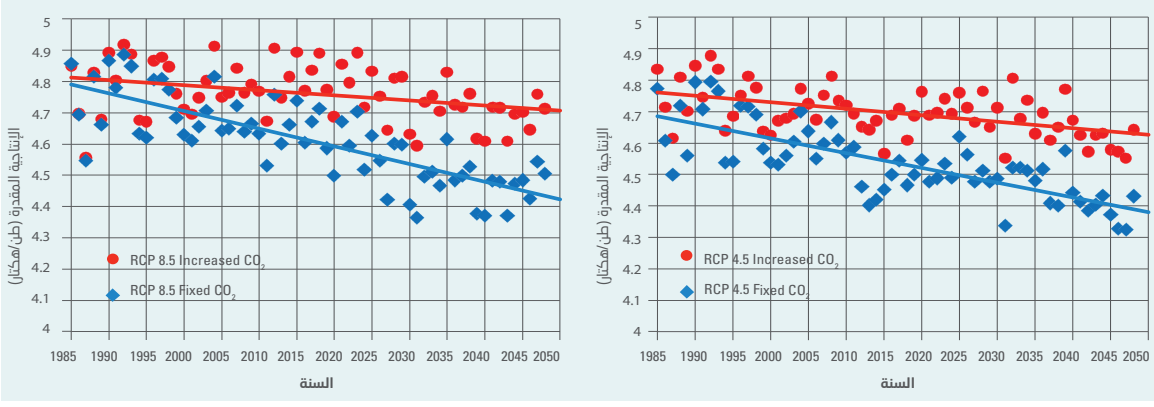
توضح الأشكال 30-27 والجداول 107-92الإنتاجية (طن/هكتار)، الاستهلاك المائي المتوقع (مم)، الانتاجية المائية (كجم/م^3) ودورة النمو (يوم) للذرة الشامية وفقا للسيناريوهين (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) للنماذج المناخية المختلفة للفترات الزمنية 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للذرة الشامية في منطقة الساحل الجنوبي (الكود). ويتضح من ذات الجداول وجود انخفاض معنوي للإنتاجية للفترة الزمنية 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للذرة الشامية عند التركيز الثابت لـ ، كما لا يوجد تأثير معنوي للسيناريو (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) على الإنتاجية وذلك في كل النماذج الثلاثة (EC-Earth)، (CNRM-CM5) و(GFDL-ESM2M)، ومن جهة أخرى، تشير النتائج إلى وجود انخفاض معنوي للاستهلاك المائي (مم) عند ثبات (CO_2) وكذلك عند السيناريوهين (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) للفترة الزمنية 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للذرة الشامية ولكن عند النموذجين (CNRM-CM5) و (GFDL-ESM2M).

على العكس من ذلك لوحظ وجود زيادة معنوية للإنتاجية المائية للفترة الزمنية 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للذرة الشامية عند السيناريوهين (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) ولكن عند النموذجين (CNRM-CM5) و (GFDL-ESM2M)، بينما لم تظهر النتائج أي وجود معنوي بين الفترات الزمنية عند ثبات (CO_2) في كل النماذج الثلاثة. وتشير النتائج أيضا إلى أن دورة النمو انخفضت انخفاضا معنويا سواء عند ثبات (CO_2) أو زيادته عند السيناريوهين (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) للفترة الزمنية 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للذرة الشامية وفي كل النماذج المناخية الثلاثة.

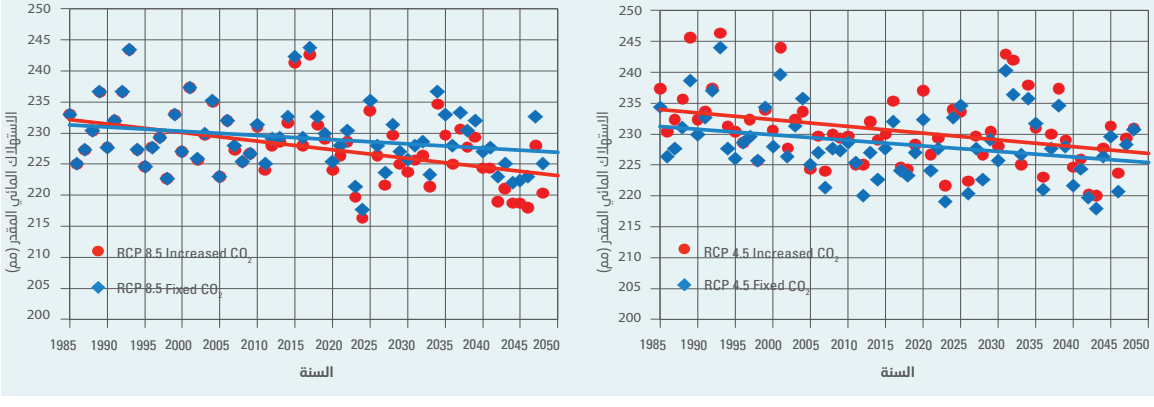
ويظهر من الجداول معدل التغيرات في الإنتاجية (طن/هكتار)، الاستهلاك المائي المتوقع (مم)، الإنتاجية المائية (مم) ودورة النمو (يوم) للذرة الشامية وفقا للنماذج المناخية للفترات الزمنية 2020-2030 و -2050 2040 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للذرة الشامية للسيناريوهين (RCP 4.5) أو (CP 8.5) في منطقة الساحل الجنوبي (الكود)، ويتضح من الجداول أن التغيير في إنتاجية الذرة الشامية كان تناقص معنويا في النماذج المناخية (EC-Earth) و(GFDL-ESM2M) ولكن هذا التناقص كان أكبر عند الفترة (2040-2050) مقارنة بالفترة الأساس (1986-2005) وكذلك الفترة (2020-2030) وعند (RCP 8.5) مقارنة بالسيناريو (RCP 4.5).

أظهرت النتائج أيضا تناقص معنوي للاستهلاك المائي المتوقع (مم) في الثلاثة النماذج للفترات الزمنية 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للذرة الشامية في منطقة الساحل الجنوبي (الكود)، لكن هذه الفروقات كانت أعلى عند السيناريو (RCP 4.5) مقارنة بالسيناريو (RCP 8.5). أما الإنتاجية المائية المتوقعة فقد سجلت تزايدا معنويا في الثلاثة نماذج في حالة زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون للفترات الزمنية 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005، غير أن هذا التزايد كان أكبر عند السيناريو (RCP 4.5) مقارنة بالسيناريو (RCP 8.5).

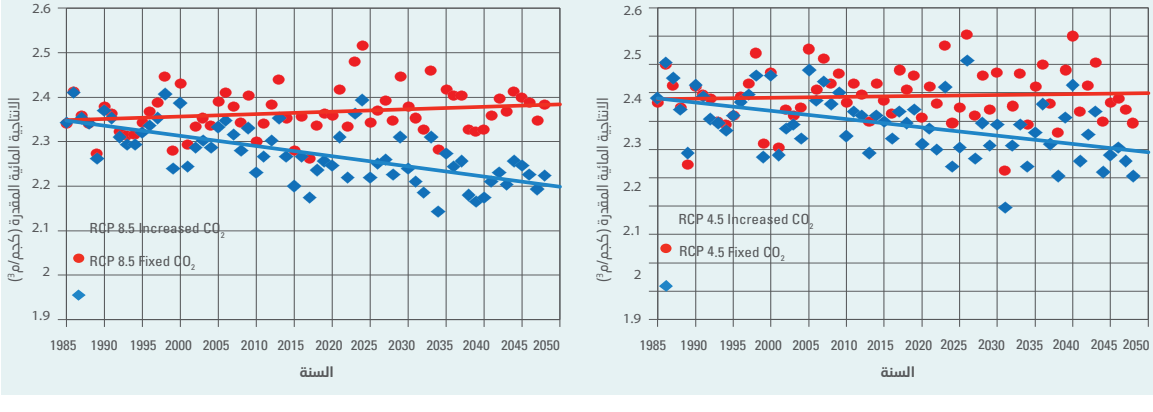
الشكل 27. متوسط انتاجية الذرة الشامية (طن/ هكتار) في الكود للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون خلال الفترة من 1985-2050



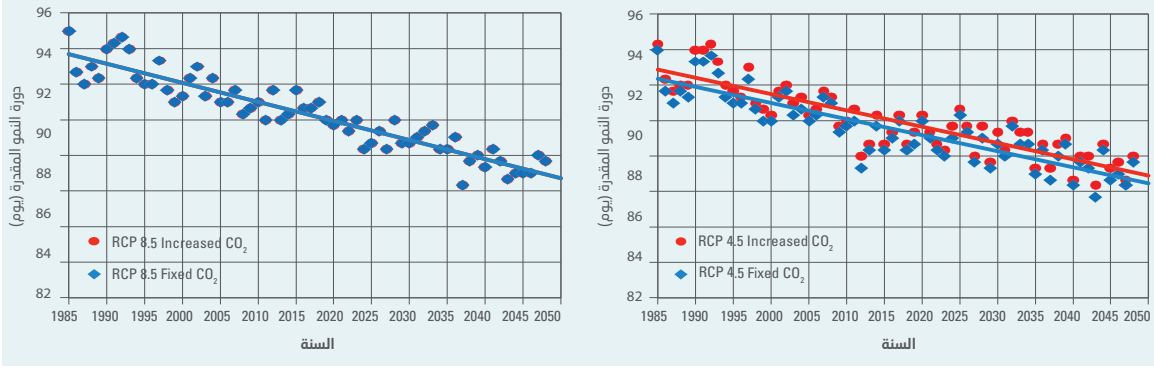
الشكل 28. العلاقة الخطية لمتوسط الاستهلاك المائي المتوقع للذرة الشامية لثلاثة نماذج لسيناريو RCP 4.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون 1986-2050



الشكل 29. العلاقة الخطية لمتوسط الانتاجية المائية المتوقعة للذرة الشامية لثلاثة نماذج لسيناريو RCP 4.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون



الشكل 30. العلاقة الخطية لمتوسط دورة النمو المتوقعة للذرة الشامية لثلاثة نماذج لسيناريو RCP 4.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون



على العكس من ذلك، أظهرت النتائج تناقص فترة نمو المحصول بمتوسط مقداره 2.772 و 4.281 يوما عند السيناريو (RCP 4.5) و 2.719 و 4.368 يوما عند السيناريو (RCP 8.5) للفترات الزمنية 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للذرة الشامية على التوالي.

يوضح الشكل 27 العلاقة الخطية للإنتاجية مع الزمن، ويلاحظ وجود ميل لمتوسط الإنتاجية المتوقعة للذرة الشامية لانخفاض الطفيفلال فترة 64 سنة (1986-2050) عند السيناريو (RCP 4.5) ولكنها تميل للانخفاض بشكل أوضح عند السيناريو (RCP 8.5). غير أن هذه الإنتاجية تميل للانخفاض المعنوي عند ثبات (CO_2) في السيناريوهين.

وبالنسبة الاستهلاك المائي المتوقع (E+Tr) لم تظهر النتائج وجود فرق ملحوظ في ميل الاستهلاك المائي المتوقع (E+Tr) للذرة الشامية للانخفاض عند السيناريو (RCP 4.5) أو (RCP 8.5)، وكلا الميلين في تشابه مع ظروف ثبات (CO_2) في السيناريوهين (شكل28). وتشير النتائج التي تم الحصول عليها عند مقارنة الفترتين (2040-2050) و (2020-2030) مقارنة بفترة الأساس (1986-2005) عند السيناريو (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) وثبات (CO_2)، يلاحظ تناقص معنوي في نسبة الاستهلاك المائي المتوقع (E+Tr) عند ثبات (CO_2) بينما لم تظهر النتائج وجود فروقات معنوية الفترتين (2040-2050) و (2020-2030) مقارنة بفترة الأساس (1986-2005) عند السيناريو (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) بالرغم إن الفرق في الاستهلاك المائي المتوقع (E+Tr) بين السيناريوهين وثبات (CO_2) كان واضحا.

على العكس، أخذت العلاقة الخطية للإنتاجية المائية المتوقعة (WP) تميل للزيادة مع تقدم السنوات (1986-2050) عند السيناريو (RCP 4.5) و(RCP 8.5)، بينما لوحظت ميول في الانخفاض عند ثبات (CO_2) (شكل29). كما لوحظ أيضا زيادة في الإنتاجية المائية المتوقعة على المدى القريب (2020-2030) مقارنة بفترة الأساس (1986-2005) عند السيناريو (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) بينما تنخفض الإنتاجية المائية المتوقعة للفترتين (2040-2050) و (2020-2030) مقارنة بفترة الأساس (1986-2005) عند ثبات (CO_2).

وتشير النتائج إلى وجود تطابق تام في دورة النمو عند السيناريو (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) وثبات تركيز (CO_2) حيث كانت العلاقة الخطية تميل للانخفاض المعنوي (شكل30)، كما لوحظ أيضا وجود انخفاض معنويا للفترة (2040-2050) والفترة (2020-2030) مقارنة بفترة الأساس (1986-2005) عند السيناريو (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) وثبات تركيز (CO_2)، حيث لوحظ تطابق أو تماثل في تأثير التغييرات المناخية على دورة النمو عند زيادة تركيز (CO_2) أو ثباته.

الجدول 93. متوسط إنتاجية الذرة الشامية في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	4.93	
التغير المطلق (طن/هكتار)	0	-0.01
التغير النسبي (%)	0	-026

الجدول 94. متوسط طول موسم النمو للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	91.33	89	88

الجدول 95. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	369	390.9	394.5
التبخر نتح الفعلي (مم)	232.67	227	227

الجدول 96. الإنتاجية المائية للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2030-2020 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	2.41	2.46	2.47

الجدول 97. متوسط إنتاجية الذرة الشامية في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	4.84	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.13	-0.20
التغير النسبي (%)	-2.61	-4.11

الجدول 98. متوسط طول موسم النمو للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	91.33	89.33	88.33

الجدول 99. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	394.4	389.4	392.9
التبخر نتح الفعلي (مم)	232.33	228.67	229.33

الجدول 100. الإنتاجية المائية للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2030-2020 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	2.37	2.33	2.31

الجدول 101. متوسط إنتاجية الذرة الشامية في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	4.88	
التغير المطلق (طن/هكتار)	0	-0.07
التغير النسبي (%)	0	-1.41

الجدول 102. متوسط طول موسم النمو للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	92.33	89.33	87.33

الجدول 103. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	391.3	390.1	394.1
التبخر نتح الفعلي (مم)	231.67	229	226.67

الجدول 104. الإنتاجية المائية للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	2.39	2.42	2.42

الجدول 105. متوسط إنتاجية الذرة الشامية في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	4.88	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.11	-0.27
التغير النسبي (%)	-2.35	-5.57

الجدول 106. متوسط طول موسم النمو للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	92	89	87

الجدول 107. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	391.3	390.1	394.1
التبخر نتح الفعلي (مم)	233	232.67	230.33

الجدول 108. الإنتاجية المائية للذرة الشامية في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	2.39	2.32	2.28

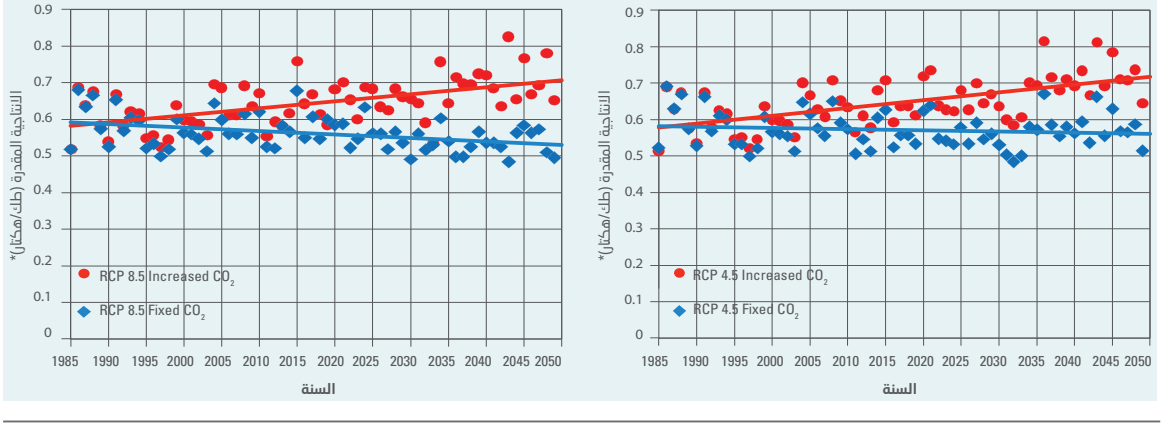
السمسم

يتضح من الأشكال 34-31 والجداول 123-108 وجود زيادة معنوية لإنتاجية السمسم للسيناريو (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) للفترة الزمنية 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 في كل النماذج المناخية الثلاثة، في حين عند ثبات (CO_2) لوحظ انخفاضا معنويا لإنتاجية السمسم وذلك في كل النماذج الثلاثة أيضا. من جهة أخرى، تشير النتائج إلى وجود زيادة معنوية في الاستهلاك المائي (مم) عند ثبات (CO_2) وكذلك عند السيناريوهين (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) للفترة الزمنية 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 ولكن عند النموذجين (CNRM-CM5) و (GFDL-ESM2M)، كما يتوقع حدوث زيادة معنوية للإنتاجية المائية للفترة الزمنية 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للسمسم عند السيناريوهين (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) وفي كل النماذج الثلاثة، بينما لم تظهر النتائج أي وجود فرق معنوي بين الفترات الزمنية عند ثبات (CO_2) في كل النماذج الثلاثة. وعلى العكس تشير النتائج إلى أن دورة النمو انخفضت انخفاضا معنويا سواء عند ثبات (CO_2) أو زيادته عند السيناريوهين (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) للفترة الزمنية 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للسمسم وفي كل النماذج المناخية الثلاثة.

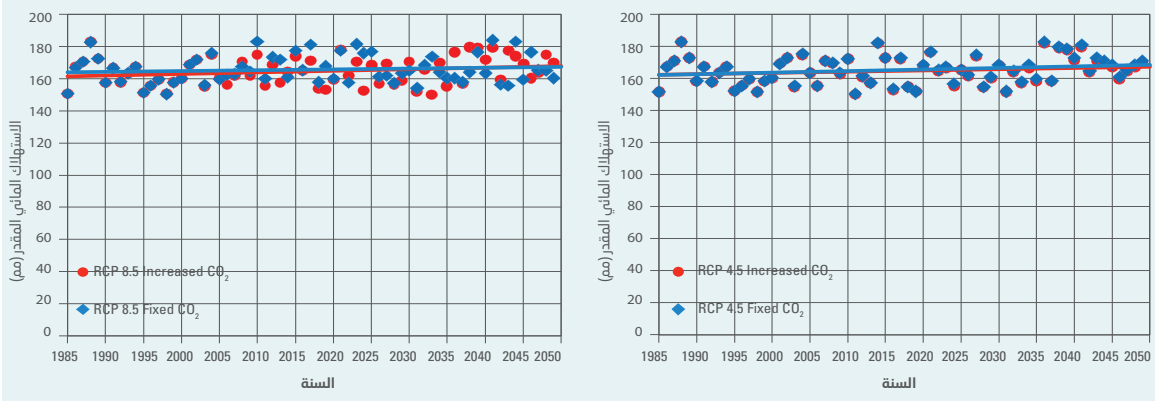
وتوضح الجداول التغييرات في الإنتاجية (طن/هكتار)، الاستهلاك المائي المتوقع (مم)، الإنتاجية المائية (مم) ودورة النمو (يوم) للذرة الشامية وفقا للنماذج المناخية للسيناريوهين (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) للفترات الزمنية 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للسمسم في منطقة الساحل الجنوبي (الكود). ويتضح من الجداول أن التغير في إنتاجية السمسم (طن/هكتار) كان معنويا في النماذج الثلاثة وفي السيناريوهين (RCP 4.5) و (RCP 8.5)، لكن الزيادة في الإنتاجية كانت عالية المعنوية عند مستوى 0.01 عند السيناريو (RCP 8.5) مقارنة بالسيناريو (RCP 4.5)، ولا يوجد اختلافات معنوية بين النماذج المناخية الثلاثة. كما أظهرت النتائج أيضا وجود زيادة معنوية في للاستهلاك المائي المتوقع (مم) للسمسم للفترات الزمنية 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 في الثلاثة النماذج المناخية، لكن أعلى معدل زيادة في الاستهلاك المائي المتوقع كانت عند النموذجين (EC-Earth) و(GFDL-ESM2M). من جهة أخرى، كانت أيضا أعلى زيادة معنوية عند السيناريو (RCP 8.5) مقارنة بالسيناريو (RCP 4.).

أما الإنتاجية المائية المتوقعة (مم) فقد سجلت تزايدا معنويا في الثلاثة نماذج للفترات الزمنية 2020-2030 و 2040-2050 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للسمسم في منطقة الساحل الجنوبي (الكود).

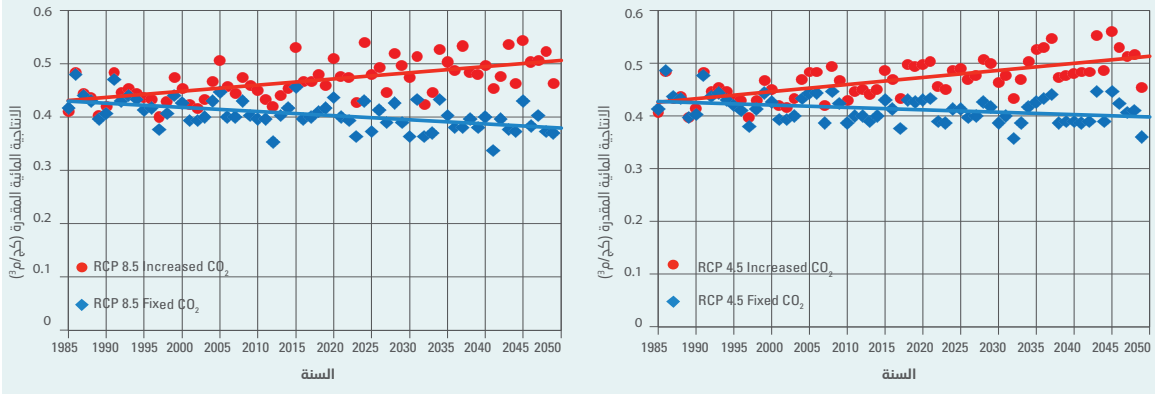
الشكل 31. العلاقة الخطية لمتوسط إنتاجية السمسم المتوقعة لثلاثة نماذج للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون



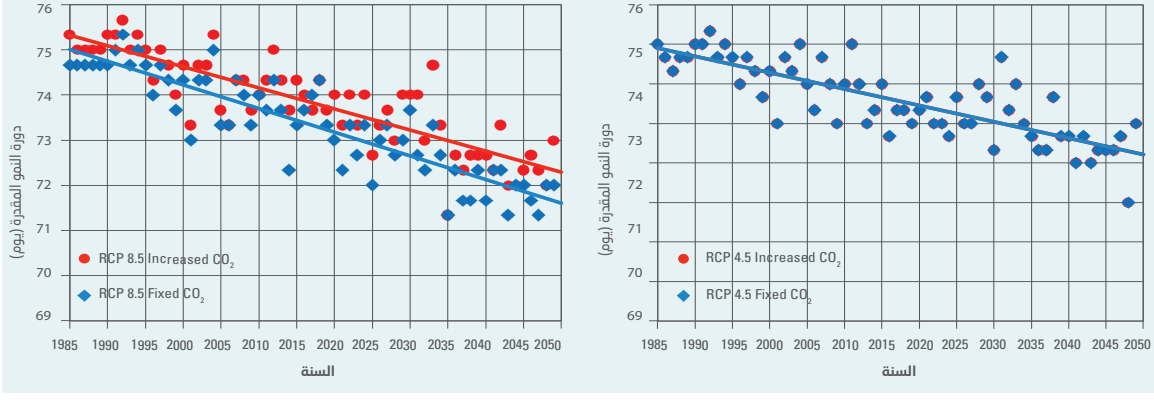
الشكل 32. العلاقة الخطية لمتوسط الاستهلاك المائي المتوقع للسمسم لثلاثة نماذج للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون



الشكل 33. العلاقة الخطية لمتوسط الانتاجية المائية المتوقعة للسمسم لثلاثة نماذج للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون



الشكل 34. العلاقة الخطية لمتوسط دورة النمو المتوقعة للسمسم لثلاثة نماذج للسيناريوهين RCP 4.5 و RCP 8.5 في حالتي التركيز المتزايد والثابت لثاني أوكسيد الكربون



غير أن أكبر زيادة معنوية تحققت كانت عند النموذج المناخي (CNRM-CM5) وعند السيناريو (RCP 8.5) مقارنة بالسيناريو (RCP 4.5). على العكس، أظهرت النتائج تناقص فترة نمو المحصول في الثلاثة النماذج غير أن أكبر طول فترة نمو كانت عند النموذج المناخي (EC-EARTH) وعند السيناريو (RCP 4.5) مقارنة بالسيناريو (RCP 8.5) كما تفوقت الفترة الزمنية 2050-2040 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 والفترة 2030-2020.

أما الإنتاجية المائية المتوقعة (مم) فقد سجلت تزايدا معنويا في الثلاثة نماذج للفترات الزمنية 2030-2020 و 2050-2040 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 للسمسم في منطقة الساحل الجنوبي (الكود)، غير أن أكبر زيادة معنوية تحققت كانت عند النموذج المناخي (CNRM-CM5) وعند السيناريو (RCP 8.5) مقارنة بالسيناريو (RCP 4.5). على العكس، أظهرت النتائج تناقص فترة نمو المحصول في الثلاثة النماذج غير أن أكبر طول فترة نمو كانت عند النموذج المناخي (EC-EARTH) وعند السيناريو (RCP 4.5) مقارنة بالسيناريو (RCP 8.5) كما تفوقت الفترة الزمنية 2050-2040 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 والفترة 2030-2020.

تشير نتائج تحليل العلاقة الخطية وجود ميل لمتوسط الإنتاجية المتوقعة للسمسم للزيادة خلال فترة 65 سنة (1986-2050) سواء عند السيناريو (RCP 4.5) أو عند السيناريو (شكل 21.9)، غير أن هذه الإنتاجية تميل للانخفاض عند ثبات (CO_2) في السيناريوهين. ومن جهة أخرى، أظهرت النتائج عدم وجود فروقات معنوية في إنتاجية السمسم سواء عند زيادة أو ثبات (CO_2) وذلك خلال الفترات الزمنية 2030-2020 و 2050-2040 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005.

وبالنسبة الاستهلاك المائي المتوقع (E+Tr) للسمسم لم تظهر النتائج وجود فرق ملحوظ في ميل الاستهلاك المائي المتوقع (E+Tr) للانخفاض عند السيناريو (RCP 4.5) أو (RCP 8.5)، وكلا الميلين في تشابه مع ثبات (CO_2) في السيناريوهين (شكل 22.9)، كما تشير النتائج التي تم الحصول عليها أن الفترة (2050-2040) أظهرت زيادة في الاستهلاك المائي المتوقع (E+Tr) مقارنة بفترة الأساس (1986-2005) وذلك عند السيناريو (RCP 4.5) بينما أظهرت زيادة معنوية عند الفترة الزمنية 2030-2020 مقارنة بفترة الأساس 1986-2005 عند السيناريو (RCP 8.5).

وأخذت العلاقة الخطية للإنتاجية المائية المتوقعة (WP) للسمسم تميل للزيادة مع تقدم السنوات (1986-2050) عند السيناريو (RCP 4.5) أو (RCP 8.5)، بينما لوحظت ميول في الانخفاض عند ثبات (CO_2) (شكل 23.9). ولوحظ أيضا عدم وجود اختلاف معنوي في الإنتاجية المائية المتوقعة للسمسم للفترتين (2050-2040) و (2030-2020) مقارنة بفترة الأساس (1986-2005) سواء عند السيناريو (RCP 4.5) أو عند استخدام (RCP 8.5)، كما لم تظهر النتائج فروقات في الزيادة أو ثبات (CO_2).

بينما تشير النتائج إلى وجود تطابق تام بين عند السيناريو (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) وثبات تركيز (CO_2) حيث كانت العلاقة الخطية تميل للانخفاض المعنوي لدورة نمو المحصول (شكل 24.9)، كما لوحظ أيضا وجود انخفاض معنوي للفترة (2050-2040) مقارنة بالفترة (2030-2020) وفترة الأساس (1986-2005) عند السيناريو (RCP 4.5) أو (RCP 8.5) وعدم وجود فروقات معنوية سواء عند زيادة أوثبات تركيز (CO_2).

الجدول 109. متوسط إنتاجية السمسم في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	0.60	
التغير المطلق (طن/هكتار)	+0.04	+0.09
التغير النسبي (%)	+7.48	+14.79

الجدول 110. متوسط طول موسم النمو للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	74	73	72

الجدول 111. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	353.8	363.9	369.7
التبخر نتح الفعلي (مم)	162.67	163	166.67

الجدول 112. الإنتاجية المائية للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.44	0.47	0.50

الجدول 113. متوسط إنتاجية الذرة الشامية في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	0.58	
التغير المطلق (طن/هكتار)	+0.02	+0.02
التغير النسبي (%)	+3.67	+3.15

الجدول 114. متوسط طول موسم النمو للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	74	73	72

الجدول 115. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	355.5	365.6	369.7
التبخر نتح الفعلي (مم)	158.67	163	162

الجدول 116. الإنتاجية المائية للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.44	0.44	0.45

الجدول 117. متوسط إنتاجية السمسم في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	0.58	
التغير المطلق (طن/هكتار)	+0.06	+0.07
التغير النسبي (%)	+9.78	+11.78

الجدول 118. متوسط طول موسم النمو للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	74	72.67	71.67

الجدول 119. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	354.5	366.1	375
التبخر نتح الفعلي (مم)	162.67	166.67	164

الجدول 120. الإنتاجية المائية للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2030-2020 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.43	0.45	0.47

الجدول 121. متوسط إنتاجية السمسم في الكود والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)	متوسط التغير خلال الفترة (2030-2020)
الإنتاج في فترة الأساس (طن/هكتار)	0.58	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.01	-0.05
التغير النسبي (%)	-1.71	-8.39

الجدول 122. متوسط طول موسم النمو للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
طول موسم النمو (يوم)	74	72.67	71.67

الجدول 123. التبخر-النتح المرجعي و الفعلي للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
التبخر النتح المرجعي (مم)	352.5	366.3	375
التبخر نتح الفعلي (مم)	162.67	167.33	165.33

الجدول 124. الإنتاجية المائية للسمسم في الكود خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و 2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	خلال فترة الأساس 1986-2005	خلال الفترة 2020-2030	خلال الفترة 2040-2050
الإنتاجية المائية (كجم/م^3)	0.43	0.41	0.39

7. مناقشة النتائج ومنعكساتها

القمح والذرة الرفيعة في اقليم المرتفعات (صنعاء، ذمار)

يتضح من نتائج المحاكاة الموضحة سابقا أن محصول الذرة الرفيعة يتوقع أن يتأثر أكثر من حيث تناقص الإنتاجية مقارنة بالقمح في منطقة وظروف دراسة الحالة في صنعاء وذمار ويرجع ذلك إلى عدة أسباب هي:

1. أن القمح من نباتات C3 التي يؤثر فيها تركيز CO_2 ايجابا أكثر من الذرة الرفيعة التي تندرج تحت مجموعة C4؛

2. أن المحاكاة لمحصول الذرة الرفيعة جرت تحت ظروف عدد أقل من الريات التكميلية مقارنة بالقمح، أما في ذمار فقد تمت المحاكاة تحت ظروف الزراعة المطرية وبالتالي فإنه من المتوقع أن تكون أكثر الحالات حساسية للتغيرات المناخية؛

3. أن موعد زراعة الذرة الرفيعة في موقعي صنعاء وذمار يكون متقدما على موعد زراعة القمح.

وقد لوحظ أن الامطار في الموسم الصيفي تتجه نحو التأخر إذ أن كمية الأمطار خلال موسم الذرة الرفيعة ويبدو ذلك بصورة أوضح في ذمار إذ تتناقص في كل السيناريوهات المدروسة (جدول 68.9) بينما كمية الأمطار في موسم القمح فإنها تتزايد في بعض السيناريوهات (جدول 51.9) وبالتالي فإن هذا مؤشر هام يدل على ان موسم الأمطار الصيفية سينزاح نحو التأخر بما يقارب شهر، وهذا يفسر تأثر انتاجية القمح ايجابا مقارنة بالذرة الرفيعة في كل من صنعاء وذمار؛ وبالتالي فإن تأخير موعد زراعة الذرة الرفيعة قد يقلل من التأثير السلبي للتغيرات المناخية، أو بإضافة رية تكميلية مقدارها 50 مم بعد شهر من الزراعة.

وعموما ترتفع إنتاجية المحاصيل بارتفاع درجة الحرارة وتركيز ثاني أوكسيد الكربون مع ثبات كمية الأمطار (أو رطوبة التربة في حالة الزراعة المروية)، ولكن تناقص الإنتاجية بسبب شحة الأمطار تكون أكثر تأثيرا. بينما ارتفاع الانتاجية المائية برغم تناقص الانتاجية في بعض الحالات أو أن معدل التناقص أقل من تناقص الانتاجية إلى أن تأثير التناقص في معدل الامطار الموسمية على انخفاض الاستهلاك المائي بمعدل أكبر من تأثيره على تناقص الانتاجية، إذ أن ارتفاع درجة الحرارة وتركيز CO_2 لعبت دورا معاكسا وخففت التأثير السلبي لتناقص كمية الأمطار. ويتضح أنه في ظروف دراسة الحالة تشير النتائج والتوقعات إلى أن الزراعة المطرية بشكل عام يتوقع أن تكون أكثر تأثرا بالتغيرات المناخية وسينعكس ذلك على تناقص الإنتاجية بسبب شحة وتذبذب الهطول المطري مقارنة بالزراعة المروية والزراعة التي تعتمد عل الري التكميلي ويتضح ذلك من خلال ارتفاع إنتاجية القمح في صنعاء كون المحاكاة تمت للمحصول تحت إضافة مياه الري أكثر من الحالات الأخرى. وتبين أن الذرة الرفيعة في موقع ذمار أكثر حساسية كون المحاكاة تمت باعتماد المحصول على الأمطار بشكل كامل، وبشكل عام يمكن أن نشير إلى أن زراعة القمح والذرة الرفيعة في إقليم المرتفعات الشمالية والوسطى تحت النظام المروي أو الري التكميلي في الفترات الحرجة من تأخر الأمطار يتوقع أن تتحسن من إنتاجيتها أيا كان السيناريو المناخي المتوقع، والعكس من ذلك فإن زراعة هذين المحصولين تحت النظام المطري ستنخفض الإنتاجية في معظم

السيناريوهات المناخية المتوقعة. وكلما كان المحصول أكثر اعتمادا على الأمطار كانت حساسيته للتغيرات المناخية أكثر وبشكل سلبي من تلك المحاصيل التي اعتمادها أكثر على الري.

يمكن صياغة استنتاج عام للتوقعات وفقا للظروف التي تم إجراء المحاكاة بأن تأثير التغيرات المناخية ستكون إيجابية في الزراعة المروية وسلبية في الزراعة المطرية للحبوب في اقليم المرتفعات. ولكن مع ارتفاع أسعار المدخلات الزراعية والمشتقات النفطية ومنافسة المحاصيل الأخرى ذات الجدوى الأعلى، وعلاوة على ذلك فإن التغيرات المناخية ستؤثر سلبا على مصادر المياه الأخرى نظرا للاتجاه العام للتوقعات بانخفاض معدل الأمطار السنوية؛ كل هذه الأسباب تقود إلى التوقع بانحسار المساحة المروية للحبوب. كما أن إنتاجية هذين المحصولين تحت النظام المطري من المؤكد أن تنخفض وفقا لمعدلات الهطول المطري التي ستنخفض بحسب السيناريوهات المناخية المتوقعة وبالتالي فإنه من المتوقع أن تتضرر زراعة هذين المحصولين الاستراتيجيين في هذه المناطق وربما محاصيل أخرى مما يعني ذلك إلى تضرر الأمن الغذائي للمزارعين بصورة خاصة والاقتصاد الوطني بصورة عامة. لذلك ينبغي اتخاذ الإجراءات التي من شأنها تخفيف الأثر السلبي للتغيرات المناخية من خلال تطوير أصناف من الذرة والقمح للزراعة المطرية، ادخال التقنيات الحديثة التي من شأنها رفع قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء ورفع كفاءه استخدام المياه والاستفادة من الاصناف المحلية والتنوع الوراثي الموجود فيها مع اجراء العمليات الزراعية للمحصولين كتحديد الموعد المناسب والجرعة السمادية المناسبة، مواعيد وكميات الري التكميلي. هذه التدابير يجب ان تؤطر ضمن برامج بحثية طارئة لتفادي أي نقص في انتاجية هذين المحصولين نتيجة التغيرات المناخية المتوقعة. كما ان وجود توصيات بحثية جاهزة للبرامج السالفة الذكر وتحديث التوصيات وقواعد البيانات المتعلقة بالمحصولين سيسهم في تحديد التدخلات المناسبة وفي الوقت المناسب.

الذرة الشامية والسمسم في اقليم الساحل الجنوبي (الكود)

تؤكد النتائج أن إنتاج الذرة الشامية ستخفض في المستقبل القريب 2020-2030 والمتوسط 2040-2050 في حين أن إنتاجية السمسم ستزداد إذا ما تم الحفاظ على التربة وظروف المياه والإدارة المحصولية الحالية كما أن السمسم لن يتأثر بالزيادة في درجة الحرارة في حين أن الذرة سيتعرض للتأثر في التغيير في درجة الحرارة القصوى خلال فترة الإزهار، وهي أكثر المراحل حساسية ،ضمن الحدود المقبولة لإنتاج المحاصيل في المستقبل، والتي تصل إلى 40 درجة مئوية لهذا المحصول، ومن ثم يمكن الحفاظ على غلة المحصول بشكل جيد وقد تزيد في حالة السمسم. ويمكن أن تحدث هذه الزيادة في الغلة أيضا بسبب الزيادة في تركيز ثاني أوكسيد الكربون على مدى الوقت كما في حالة النموذج الثاني. وفي المستقبل، قد تكون هناك أيضا ظروف مناسبة لزراعة السمسم. وقد تشجع هذه النتائج زيادة الغلة للمزارعين المحليين على الاستثمار في هذا المحصول النقدي الذي من المتوقع أن يزيد الدخل ويوفر مستوى معيشي أفضل في المستقبل .ويعزى الانخفاض في دورة النمو إلى ارتفاع درجة الحرارة الذي يؤدي إلى نضج المحاصيل في وقت مبكر وأسرع، وأيضا بسبب زيادة التبخر أو الجفاف الذي يؤدي إلى ازدهار النبات والنضج المبكر. ويصل متوسط الانخفاض في دورة النمو إلى 9 إلى 13 في المائة بالنسبة للذرة والسمسم على التوالي.

وتدهور إنتاجية الذرة الشامية له علاقة بعدة عوامل لعل أهمها أن الاستهلاك المائي ودورة النمو ستتعرض هي الأخرى للتناقص في المستقبل القريب 2020-2030 والمتوسط 2040-2050 في حين أن زيادة إنتاجية السمسم تعود إلى ارتباطها بالزيادة في الاستهلاك المائي وإنتاجية المياه التي ستشهد في نفس الفترة وعند زراعة محصول السمسم وهي أهم المؤشرات على مستقبل إنتاجية الذرة الشامية والسمسم في المناطق الساحلية (الكود).

ففي حين كان ارتباط إنتاجية الذرة الشامية مع الاستهلاك المائي المتوقع ودورة النمو قويا ولم يكن لتأثير التغييرات المناخية على هاذين المؤشرات معنويا خلال الفترة طويلة المدى (1986-2050) لذلك فإن التوقعات بالنسبة لإنتاجية الذرة الشامية كانت تقريبا ثابتة أي أن التناقص في إنتاجية الذرة الشامية لم يكن معنويا بالرغم من أن التأثيرات المناخية كانت عالية المعنوية وموجبة ولذلك يتوقع أن تزداد الاحتياجات المائية للذرة الشامية، من جهة أخرى، فإن الارتباط السلبي لإنتاجية الذرة الشامية مع مؤشر الحصاد في ظل الارتباط المعنوي مع الإنتاجية الحيوية يدل على أن التأثيرات المناخية سيكون لها تأثير أكبر على إنتاجية الحبوب مقارنة بالإنتاجية الحيوية، وعليه فإن تقع على البحوث مهمة انتخاب أو استنباط سلالات ذرة شامية ذات مؤشر حصاد عالي، لمواجهة التأثرات المناخية السلبية في المستقبل. من جهة أخرى، يعود الزيادة المعنوية لإنتاجية السمسم في المستقبل إلى الارتباط القوي والسالبة للإنتاجية مع الاستهلاك المائي، ودورة النمو ومؤشر الحصاد والتي لم تخضع لتغيير في التغييرات المناخية بل أن المحافظة على الظروف البيئية وأهمها الري، وبذلك يضع أمام متخصصي تربية النبات تحديات كبيرة لعل أبرزها انتخاب أو استنباط سلالات مبكرة النضج ليس للسمسم بشكل خاص ولكن لكل المحاصيل. ولوحظ من النتائج أيضا أن التنبؤات على المدى القصير (2020-2030) لم تظهر تأثير معنوي للتأثيرات المناخية على الانتاجية خصوصا بالنسبة للذرة الشامية بينما ظهرت التأثيرات المناخية المعنوية المتوسطة على الإنتاجية على المدى البعيد (2050-2040) بينما كانت عالية المعنوية على المدى القريب (2020-2030) وهذا يعطي ميزة تشجيعية للمزارعين في الاستثمار في إنتاج السمسم مع المحافظة على الظروف الإنتاج بالنسبة للذرة الشامية. ولم تظهر النتائج فروقات معنوية بين الثلاثة النماذج المناخية لكن هناك فروقات معنوية بين السيناريوهين وخاصة بالنسبة للسمسم حيث يلاحظ ميول إنتاجيته للزيادة عند زيادة تركيز ثاني أوكسيد الكربون أي عند السيناريو الثاني (RCP 8.5) مقارنة بالسيناريو الأول (RCP 4.5) أي عند التركيز الأقل. من جهة أخرى تشير النتائج على عند ثبات تركيزات (CO_2) كانت العلاقة عكسية مع الإنتاجية، الاستهلاك المائي، الإنتاجية المائية ودورة النمو.

هذه النتائج تؤكد أن أداء معايرة وصلاحية النموذج (AquaCrop) لتقييم تأثيرات التغييرات المناخية على إنتاجية السمسم أو الذرة الشامية المنزرعة في المناطق الساحلية لليمن (الكود) كان منطقيا وله قدرة على التنبؤ الجيد ليس لإنتاجية المحصولين في المستقبل فحسب بل أيضا المحاصيل المختلفة المنزرعة تحت ظروف التربة والمياه لنفس المنطقة والمناطق المشابهة لها.

8. منعكسات الدراسة على السياسات الزراعية والاقتصاد الوطني

- أبدى النموذج AquaCrop أداء جيد ومرضي في محاكاة أربعة معايير للمحاصيل القمح، الذرة الرفيعة والذرة الشامية والسمسم حيث أكدت هذه نتائج المعايرة أن AquaCrop تمكن من المحاكاة بدقة ممتازة إلى مقبولة ومرضية.
- محصول الذرة الرفيعة يتوقع أن يتأثر أكثر من حيث تناقص الإنتاجية مقارنة بالقمح في منطقة وظروف دراسة الحالة في صنعاء وذمار.
- موسم الأمطار الصيفية سينزاح نحو التأخر بما يقارب شهر، وهذا يفسر تأثر إنتاجية القمح إيجابا مقارنة بالذرة الرفيعة في صنعاء، وكذلك الحال في ذمار فإن معدل التناقص في الأمطار في موسم زراعة القمح يكون أقل حدة عنه في موسم زراعة الذرة الرفيعة؛ وبالتالي فإن تأخير موعد زراعة الذرة الرفيعة قد يقلل من التأثير السلبي للتغيرات المناخية أو بإضافة رية تكميلية مقدارها 50 مم بعد شهر من زراعة الذرة الرفيعة في ذمار هذه الإجراءات خففت كثيرا من التأثير السلبي للتغيرات المناخية.
- ترتفع إنتاجية المحاصيل بارتفاع درجة الحرارة وتركيز ثاني أوكسيد الكربون مع ثبات كمية الأمطار (أو رطوبة التربة في حالة الزراعة المروية)، ولكن تناقص الإنتاجية بسبب شحة الأمطار تكون أكثر تأثيرا.
- يتوقع أن تتأثر الزراعة المطرية بشكل عام بالتغيرات المناخية من الزراعة المروية وسينعكس ذلك على تناقص الإنتاجية بسبب شحة وتذبذب الهطول المطري مقارنة بالزراعة المروية والزراعة التي تعتمد عل الري التكميلي ويتضح ذلك من خلال ارتفاع إنتاجية القمح في صنعاء كون المحاكاة تمت للمحصول تحت إضافة مياه الري أكثر من الحالات الأخرى.
- تؤكد النتائج أن إنتاجية الذرة الشامية ستخفض انخفاضا غير معنويا في المستقبل المتوسط-2050 2040 وبذلك لن تتعرض للتدهور بسبب عدم تأثير التغييرات المناخية على الاستهلاك المائي والإنتاجية المائية والتي ستظل في الحدود الطبيعية بالرغم من ميل الاستهلاك المائي للزيادة الغير معنوية والإنتاجية المائية للانخفاض الغير معنوي أيضا التبكير في النضج لمدة تصل إلى 4.73 يوما. وبالرغم من أن الموسم الزراعي للذرة الشامية سيتأثر بسبب الارتفاع في درجة الحرارة العظمى (3.37-2.89 م0) والدنيا (2.69-1.91 م0) في فترة التزهير وتكوين الكيزان وهذا مما قد يستدعي التبكير في ميعاد زراعة الذرة الشامية أو اعتماد أصناف تتحمل الإجهاد الحراري والمائي وإذا ما تم الحفاظ على التربة وظروف المياه والإدارة المحصولية الحالية.
- النتائج المتحصل تعطي توقعات بأن إنتاجية السمسم ستزداد إلى حوالي (10%) على المدى القصير-2030 2020 و(14.79%) على المدى المتوسط 2040-2050 وهذا مرتبط بتأثير التغييرات المناخية على الاستهلاك المائي الايجابي على الإنتاجية المائية التي ستشهد ارتفاعا يصل إلى (13%) والبقاء على الاستهلاك المائي في الحدود الطبيعية وأيضا التأثيرات على دورة نمو المحصول والتبكير في النضج لمدة تصل إلى 3.09 يوما. وبالرغم من أن الموسم الزراعي للسمسم سيتأثر بسبب الارتفاع في درجة الحرارة العظمى (4.3-3.1 م0) والدنيا (3.37-2.89 م0) في فترة التزهير وتكوين القرون وهذا مما يعني أن صنف السمسم المحلي يتحمل الإجهاد الحراري والرطوبي ويمكن أن تحدث هذه الزيادة في الغلة أيضا بسبب الزيادة في تركيز ثاني أكسيد الكربون في المستقبل.
- في معظم الحالات يكون تأثير السيناريو RCP 8.5 أوضح سواء التأثير السلبي أو الايجابي.
- النموذج المناخي GFDL-ESM2M أكثر النماذج ذات تأثير سلبي.
- في كل الحالات لوحظ انخفاض إنتاجية المحاصيل المذكورة ودورة نمو المحاصيل عند ثبات تركيز (CO_2).

9. الخطة المستقبلية المقترحة في استخدام البرنامج

- التوسع في استخدام برامج المحاكاة وخاصة برنامج AquaCrop بحيث يشمل مناطق ومحاصيل عديدة لرسم سياسة شاملة على مستوى الأقاليم تشمل كل المحاصيل الاستراتيجية وفقا للسيناريوهات المتوقعة المتاحة.

- تنفيذ مشاريع من هذا النوع ودراسة كل التوقعات المتاحة والمستجدة للخروج بتوصيات تكون جاهزة لمواجهة أي سيناريو متوقع.

- اقتراح حلول من قبل الخبراء ونمذجتها لمعرفة مدى مساهمتها في تخفيف الأثر السلبي للتغيرات المناخية كتحديد أنسب المواعيد الزراعية للمحاصيل المختارة، وتحديد انسب المواعيد للإضافة في حالة الري التكميلي مع تحديد الكمية المناسبة، اضافة الى إدخال تقنيات حديثة تهدف الى ترشيد استخدام المورد (مياه وتربة).

- توثيق وانشاء قاعدة بيانات تشمل أكبر قدر ممكن من المناطق لتصبح متاحة بعد سنوات لإجراء عملية المعايرة تمهيدا لتنفيذ عمليات محاكاة أكثر شمولية للمحاصيل ومناطق عديدة.

- تنفيذ عمليات محاكاة لأصناف الحبوب والمحاصيل الأخرى الاستراتيجية (سواء الموجودة حاليا أو التي سيتم استنباطها مستقبلا من خلال برامج التربية والتحسين) واختبار مدى تأقلمها وتكيفها للتغيرات المناخية ومدى ملائمتها للمناطق والأقاليم المختلفة ضمن برامج ومشاريع التكيف مع التغيرات المناخية.

- يمكن تحقيق كل ما سبق بتنفيذ مشروع/ مشاريع يقوم تهدف إلى:

  - استكمال اختبار برنامج AquaCrop على محاصيل ، أصناف، مواعيد الزراعة، تسميد، وإجهادات مائية وغيرها.
  - جمع البيانات اللازمة لتشغيل AquaCrop للمحاصيل الاستراتيجية حبوب ، بقوليات ، محاصيل صناعية وبستانية ومعايرة النموذج وتحديد آثار التغيرات المناخية المستقبلية.
  - تنفيذ أنشطة بحثية استباقية لمواجهة التحديات في مجال تغير المناخ، مثل إدخال واختبار أصناف جديدة للمحاصيل انفة الذكر تتميز بكفاءة عالية في استخدام ثاني أوكسيد الكربون ومتحملة للإجهادات الحيوية والاحيوية.
  - رفع مقترحات وتوصيات لصانعي القرار في الوزارات المعنية في الدولة لاتخاذ الإجراءات اللازمة في تحسين إنتاجية المحاصيل الاستراتيجية.
  - تبني وسائل وتقنيات حديثة في إدارة المياه ووضع سياسات زراعية تهدف الى رفع كفاءة استخدام المياه المضافة في الري الزراعي وهذا بدوره سيعزز من توفير المياه واستخدامه لمساحات جديدة.
  - تقديم معلومات مبسطة عن AquaCrop للمشتغلين على البرنامج والمهتمين كأداة تعليمية فيما يتعلق باستجابة المحاصيل للظروف البيئية.

10. التوصيات

- يمكن تطبيق النموذج AquaCrop في ظروف مناخية زراعية مختلفة وبيئات مختلفة .
- يمكن استخدام النموذج كأداة تخطيط أو للمساعدة في جعل صناع القرار الإداري لوضع الخطط الاستراتيجية المستقبلية.
- تحسين الممارسات الحقلية والإدارة المحصولية وعليه نرى ضرورة إجراء معايرة تفصيلية للأصناف السائدة للمحاصيل المدروسة في مناطق الدراسة وتحديد أفضلها تمهيدا لإجراء تجارب تتعلق بتحديد الموعد المناسب واختيار الصنف، وإدارة التسميد ، وحصاد المياه الأمطار ، وإدارة الأعشاب الضارة وتحديد أفضل جرعة سمادية وموعد إضافتها على أساس مراحل النمو للأصناف المختارة.
- الاستفادة من التنوع الوراثي للمحاصيل في اليمن وعمل دراسة تأقلم للأصناف المجمعة في المناطق المستهدفة وفقا للمخرجات التي يقدمها النموذج (AquaCrop) والاستفادة من التصورات والتنبؤات التي تقدمها النماذج المناخية لمواجهة التغييرات التي ستشهدها بعض المناطق مثل اقتراح أفضل الأصناف ومواعيد زراعية لتحديد وأفضل موعد وربما تعديل تاريخ الزراعة أيضا.
- انشاء مشروع أو مكون في هذا المشروع يعنى بإدارة مياه الري وفقا للتغيرات المناخية من خلال إجراء عمليات نمذجة لتحديد كميات ومواعيد الري التكميلي للمحاصيل.
- ضرورة اجراء دراسة تفصيلية للأصناف السائدة للمحاصيل المدروسة في مناطق الدراسة وتحديد افضلها تمهيدا لإجراء تجارب تتعلق بتحديد الموعد المناسب لأفضل صنف/ اصناف.
- الاستفادة من التنوع الوراثي للمحاصيل في اليمن وعمل دراسة تأقلم للأصناف المجمعة في المناطق المستهدفة ضمن مواعيد زراعية لتحديد افضل الاصناف وافضل موعد.
- دعم بحوث الري التكميلي للمحاصيل ومن ضمنها محصول الذرة الرفيعة والقمح في المناطق المختارة من حيث التوقيت، الكمية والجدوى الاقتصادية.
- ادخال التقنيات الحديثة للحفاظ على رطوبة التربة.
- رفع كفاءه استخدام المياه يجب ان يكون ضمن اولويات العمل في الجانب الزراعي.
- ضرورة اتخاذ التدابير المناسبة فيما يخص الذرة الشامية في اقليم الساحل الجنوبي للحفاظ على التوازن المائي وتحسين أو استنباط سلالات قصيرة النمو لها القدرة على ملاءمة التغير المناخي.
- تشجيع المزارعين على زراعة السمسم والاستثمار فيه حيث إنها ستكون مربحة بالنسبة للمزارعين المحليين وبالتالي زيادة الدخل وتحسين مستوى معيشتهم.

المراجع

الأشول، حازم، 2017، توزيع رطوبة التربة وكفاءة استخدام المياه للذرة الشامية تحت نظام الري الجزئي، رسالة ماجستير، كلية الزراعة، جامعة صنعاء

الهيئة العامة للبحوث والارشاد الزراعي، التقارير الفنية للسنوات 1998-2015 للمحطة الاقليمية للبحوث الزراعية في المرتفعات الشمالية ومحطة بحوث المرتفعات الوسطى.

الخرساني، محمد عبدالواسع، 2005، دليل المناخ الزراعي في اليمن، مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، الهيئة العامة للبحوث والارشاد الزراعي، ذمار-الجمهورية اليمنية.

وزارة التخطيط والتعاون الدولي .الجهاز المركزي للإحصاء كتاب الإحصاء السنوي 2015-2007م.

وزارة التخطيط والتنمية، استراتيجية التخفيف من الفقر 2005-2003 م

وزارة الزراعة والري، 2008، كتاب الإحصاء الزراعي لعام 2007، الإدارة العامة للإحصاء الزراعي.

وزارة الزراعة والري، 2010، كتاب الإحصاء الزراعي لعام 2009، الإدارة العامة للإحصاء الزراعي.

وزارة الزراعة والري، a2014، التقرير الزراعي السنوي لعام 2013، وزارة الزراعة والري.

وزارة الزراعة والري، b2014، كتاب الإحصاء الزراعي لعام 2013، الإدارة العامة للإحصاء الزراعي.

وزارة الزراعة والري، 2016، كتاب الإحصاء الزراعي لعام 2015، الإدارة العامة للإحصاء الزراعي.

Abedinpour, M., Sarangi, A., Rajput, T., & Singh, M. (2014). Prediction of maize yield under future water availability scenarios using the AquaCrop model. The Journal of Agricultural Science, 152(04), 558-574.

Abedinpour, M., Sarangi, A., Rajput, T. B. S., Singh, M., Pathak, H. and Ahmad, T. (2012). Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. Agricultural Water Management, 110, 55-66.

Al- Abed, A. (2016). Response of three maize cultivars (Zea maize L.) to sowing Dates and Deprive under Abyan Delta conditions. Ph.D thesis in Agriculture Science (Agronomy). Nasser's Faculty of Agriculture Science, University of Aden.

Al-dobaee, Hanan Sh. 2016. Assessing the influence of climate change on cereal crop production in Dhamar. Msc. Thesis, water and environment center, sana›a university.

Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K. M., Kebede, A. and Dejene, T. (2010). Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated Barley (Hordeumvulgare). Agricultural Water Management, 97, 1838–1846.

Binsalim, A.H.S. and Farag, M.S. (2004). Determination of critical period for application of supplemental irrigation and its effect on yield of Sesame crop (Sesimumindicum L.). Yemeni Journal of Agricultural Research and Studies.

Binsalim, A.H.S. Sacran, S.S. and Ahmed, A.A. (2004). Effect of irrigation rate and scheduling on yield of maize (Zea mays L.) and its economic return. Yemeni Journal of Agricultural Research and Studies.

Greaves, G. E., & Wang, Y.-M. (2016). Assessment of FAO AquaCrop Model for Simulating Maize Growth and Productivity under Deficit Irrigation in a Tropical Environment. Water, 8(12), 557.

Geerts, S.; Raes, D.; Garcia, M.; Miranda, R.; Cusicanqui, J.A.; Taboada, C.; Mendoza, J.; Huanca, R.;Mamani, A.; Condori, O.; et al. Simulating yield response of quinoa to water availability with AquaCrop. Agron. J. 2009, 101, 499–508.

Hadebe, S. T., Modi, A. T., &Mabhaudhi, T. (2017). Calibration and testing of AquaCrop for selectedsorghum genotypes. Water SA, 43, 209-221.

Hsiao, T.C.; Heng, L.; Steduto, P.; Rojas-Lara, B.; Raes, D.; Fereres, E. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. Agron. J. 2009, 101, 448–459.

Khoshravesh, M., Mostafazadeh-Fard, B., Heidarpour, M., &Kiani, A.-R. (2012). AquaCrop modelsimulation under different irrigation water and nitrogen strategies. Water Science and Technology,67(1), 232-238.

Mainuddin, M., Kirby, M., & Chu Thai, H. (2013). Impact of climate change on rainfed rice and options for adaptation in the lower Mekong Basin. Natural Hazards, 66(2), 905-938. doi: 10.1007/s11069-012-0526-5

Mainuddin, M., Mac, K., &Hoanh, C. T. (2012). Water productivity responses and adaptation to climate change in the lower Mekong basin. [Article]. Water International, 37(1), 53-74. doi:10.1080/02508060.2012.645192

Ministry of Agriculture and Irrigation .(1999-2008). Statistical year book. General Administration of statistic.

Mu ALLEM, AB.S and Molaaldoila, Y.A.A. 2010. Effect of Geographical Structure on Crop Production in Abyan Governorate. Yemeni Journal of Agricultural Research and Studies. 20 (2): 35-78.

Ngetich, K. F., Raes, D., Shisanya, C. A., Mugwe, J., Murcheru-Muna, M., Mugendi, D. N., &Diel, J.(2012). Calibration and validation of AquaCrop model for maize in sub-humid and semi-aridregions of central highlands of Kenya. Research Application Summary, 1525-1547.

Salemi, H.; Soom, M.A.M.; Lee, T.S.; Mousavi, S.F.; Ganji, A.; KamilYusoff, M. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of Winter wheat in arid region. Afr. J. Agric. Res. 2011, 6, 2204–2215.

Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., Fereres, E., Izzi, G., Heng, L. and Hoogeveen, J. (2012). Performance review of AquaCrop - the FAO crop-water productivity model. ICID 21st International Congress on Irrigation andDrainage, Iran, 231-248.

Steduto, P., T. C. Hsiao, D. Raes, and E. Fereres. 2007. On the conservative behaviour of biomass water productivity. Irrigation Science, 25(3):189-207. Steduto, P., T. C. Hsiao, D. Raes, and E. Fereres. 2009.AquaCrop-The FAO Crop model to simulate yield response to water. I. Concepts and underlying principles. Agronomy Journal, 101(3): 426-437.

Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Saab, M.-T. A., Stöckle, C., &Steduto, P. (2009). Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under differentwater regimes. Agronomy Journal, 101(3), 509-521.

Toumi, J.; Er-Raki, S.; Ezzahar, J.; Khabba, S.; Jarlan, L.; Chehbouni, A. Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. Agric. Water Manag. 2016, 163, 219–235.

World Bank. 2010. Assessing impact of climate change on water resources and agriculture in Yemen.

Yi, L.; Shenjiao, Y.; Shiqing, L.; Xinping, C.; Fang, C. Growth and development of maize (Zea mays L.) in response to different field water management practices: Resource capture and use efficiency.Agric. For. Meteorol. 2010, 150, 606–613.

19-00082