اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا

ريـكار

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

السويد
Sverige

الأمم المتحدة
الاسكوا
ESCWA

تقييم تأثير التغيرات في المياه المتاحة على انتاجية المحاصيل الزراعية

تقرير دراسة الحالة في تونس

منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة

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

E/ESCWA/SDPD/2019/CP.9

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 تونس

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.

19-00222

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

السيدة السيّدة نجلاء خلفون
الإدارة العامّة للموارد المائيّة

السيدة سناء الحنشي
الإدارة العامّة للإنتاج الفلاحي

السيدة منى مشري
المعهد الوطني للزراعات الكبرى

المحتويات

ص. 3 **تقديم**
ص. 5 فريق الدراسة

ص. 11 1. مقدمة
ص. 11 البلاد التونسية
ص. 11 المساحة
ص. 11 التضاريس
ص. 11 المناخ
ص. 12 إمكانيات القطاع ألفلاحي ودوره في النسيج الاقتصادي التونسي
ص. 12 أهم المحاصيل
ص. 12 أهم نقاط قوة القطاع الفلاحي في تونس
ص. 13 السياسات الإستراتيجية الزراعية ودور الزراعة في الاقتصاد الوطني
ص. 13 تلبية الاحتياجات الغذائية من خلال الإنتاج الوطني
ص. 13 استيراد وتصدير المنتجات الزّراعيّة

ص. 14 2. توصيف لمنطقة الزراعة المختارة وأهمية المحصول
ص. 14 منطقة "الشبيكة" ولاية القيروان
ص. 14 منطقة "الكدية" ولاية جندوبة
ص. 14 المحصول
ص. 15 الهدف من الدّراسة

ص. 16 3. التغيّرات المناخيّة المتوقّعة في منطقة الدّراسة
ص. 16 التوقّعات حسب الدراسات الوطنيّة
ص. 16 التوقّعات بناءَ على بيانات مشروع RICCAR

ص. 21 4. المعاملات المعتمدة المستخدمة اللازمة لتشغيل برنامج AquaCrop ومصدرها
ص. 21 البيانات المناخيّة
ص. 21 خصائص المحصول
ص. 22 خصائص التربة
ص. 23 الإدارة
ص. 24 الإنتاج

ص. 25 5. معايرة النموذج الرياضي AquaCrop
ص. 27 6. تطبيق برنامج AquaCrop ومراحل تشغيله والسيناريوهات المدروسة للتغيرات المناخية

ص. 32 7. نتائج الدراسة
ص. 32 نتائج موقع الكدية
ص. 36 نتائج موقع الشبيكة

ص. 42 8. شرح ومناقشة النتائج وانعكاساتها على الزراعة في منطقة الدّراسة
ص. 44 9. انعكاسات الدراسة على السياسات الزراعية والاقتصاد الوطني
ص. 45 10. الخطّة المستقبليّة للتوسّع في استخدام البرنامج لدراسة تأثير التغيّرات المناخيّة
ص. 46 11. التوصيات
ص. 47 12. الملحق
ص. 53 المراجع

الأشكال البيانيّة

ص. 13 **الشكل البياني 1.** نسبة إعالة الحبوب

ص. 20 **الشكل البياني 2.** توزيع الحرارة القصوى حسب النماذج الثلاث

ص. 21 **الشكل البياني 3.** اختلاف الأمطار بين محطّتين على بعد 30كلم

ص. 30 **الشكل البياني 4.** مقارنة الإنتاجيّة المقاسة و المحاكاة للموقعين و احتساب معامل التحديد

الخرائط

ص. 14 **الخريطة 1.** تحديد موقع منطقتي الدّراسة

ص. 17 **الخريطة 2.** التوقّعات الحراريّة و المطريّة على المدى المتوسّط

قائمة الجداول

ص.16 **الجدول 1.** خاصيّات النمذجة للتوقّعات المناخيّة في الدّراسة الوطنيّة

ص. 18 **الجدول 2.** تغيّر الأمطار و الحرارة بمنطقة الكدية حسب مختلف النماذج RCP4.5

ص. 18 **الجدول 3.** تغيّر الأمطار و الحرارة بمنطقة الكدية حسب مختلف النماذج RCP8.5

ص.19 **الجدول 4.** تغيّر الأمطار و الحرارة بمنطقة الشبيكة حسب مختلف النماذج RCP4.5

ص. 19 **الجدول 5.** تغيّر الأمطار و الحرارة بمنطقة الشبيكة حسب مختلف النماذج RCP8.5

ص. 20 **الجدول 6.** تغيّر أمطار الموسم الزراعي لمحصول القمح لموقع الكدية

ص. 20 **الجدول 7.** تغيّر أمطار الموسم الزراعي لمحصول القمح لموقع الشبيكة

ص. 21 **الجدول 8.** خصائص البيانات المناخيّة

ص. 22 **الجدول 9.** خصائص المحصول بموقعي الدّراسة

ص. 22 **الجدول 10.** خاصيّات التربة لموقع الكدية

ص. 23 **الجدول 11.** خاصيّات ملوحة التربة لموقع الكدية

ص. 23 **الجدول 12.** خاصيّات التربة لموقع الشبيكة

ص. 23 **الجدول 13.** جدول الريّ

ص. 24 **الجدول 14.** تطور إنتاج القمح الصلب المطري بموقع "الكدية جندوبة" (الوحدة طن/هك)

ص. 24 **الجدول 15.** تطور إنتاج القمح الصلب المروي بموقع "الشبيكة القيروان" (الوحدة طن/هك)

ص. 27 **الجدول 16.** أمثلة من بعض نتائج معايرات الكدية المنجزة

ص. 28 **الجدول 17.** أمثلة من بعض نتائج معايرات الشبيكة المنجزة

ص. 28 **الجدول 18.** نتائج الاختبارات الاحصائيّة لبعض المعايرات

ص. 29 **الجدول 19.** قيم التحقق من الاختبارات الإحصائية

ص. 30 **الجدول 20.** مقارنة الإنتاجية الحقليّة و المحاكاة لموقع الشبيكة و الكدية

ص. 31 **الجدول 21.** قيم الاختبارات الإحصائية لنتائج المعايرة النهائيّة

ص. 33 **الجدول 22.** متوسط إنتاجية القمح في الكدية والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 33 **الجدول 23.** متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 33 **الجدول 24.** التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 33 **الجدول 25.** الإنتاجية المائية 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. 33 **الجدول 26.** متوسط إنتاجية القمح في الكدية والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 34 **الجدول 27.** متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 34 **الجدول 28.** التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 34 **الجدول 29.** الإنتاجية المائية 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. 34 **الجدول 30.** متوسط إنتاجية القمح في الكدية والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 34 **الجدول 31.** متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 35 **الجدول 32.** التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 35 **الجدول 33.** الإنتاجية المائية 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. 35 **الجدول 34.** متوسط إنتاجية القمح في الكدية والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 35 **الجدول 35.** متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 35 **الجدول 36.** التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 36 **الجدول 37.** الإنتاجية المائية 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.36 **الجدول 38.** نتائج "Test-student" لموقع الكدية

ص. 37 **الجدول 39.** متوسط إنتاجية القمح في الشبيكة والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 37 **الجدول 40.** متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 37 **الجدول 41.** التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 37 **الجدول 42.** الإنتاجية المائية 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. 37 **الجدول 43.** متوسط إنتاجية القمح في الشبيكة والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 38 **الجدول 44.** متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 38 **الجدول 45.** التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 من اجل السيناريو RCP4.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 38 **الجدول 46.** لإنتاجية المائية 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. 38 **الجدول 47.** متوسط إنتاجية القمح في الشبيكة والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 38 **الجدول 48.** متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 39 **الجدول 49.** التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 39 **الجدول 50.** الإنتاجية المائية 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. 39 **الجدول 51.** متوسط إنتاجية القمح في الشبيكة والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 39 **الجدول 52.** متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 39 **الجدول 53.** التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة ثبات تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

ص. 40 **الجدول 54.** الإنتاجية المائية 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. 40 **الجدول 55.** نتائج "Test-student" لموقع "الشبيكة

ص. 41 **الجدول 56.** نتائج مخرجات النماذج المعتمدة للإنتاجية لموقع الشبيكة مع تخفيض كميّات الري بنسب 25٪ و 40٪ للسيناريو RCP4.5 CO_2 increased

ص. 41 **الجدول 57.** نتائج مخرجات النماذج المعتمدة للإنتاجية لموقع الشبيكة مع تخفيض كميّات الري بنسب 25٪ و 40٪ للسيناريو RCP4.5 CO_2 Fix

ص. 41 **الجدول 58.** نتائج مخرجات النماذج المعتمدة للإنتاجية لموقع الشبيكة مع تخفيض كميّات الري بنسب 25٪ و 40٪ للسيناريو RCP8.5 CO_2 increased

ص. 41 **الجدول 59.** نتائج مخرجات النماذج المعتمدة للإنتاجية لموقع الشبيكة مع تخفيض كميّات الري بنسب 25٪ و 40٪ للسيناريو RCP8.5 CO_2 Fix

ص. 47 **الجدول 60.** نتائج اختبار "Test-student" لموقع الكدية و لمختلف النماذج

ص. 48 **الجدول 61.** نتائج محاكاة برنامج Aquacrop لموقع الكدية للسيناريو RCP 4.5

ص. 49 **الجدول 62.** نتائج محاكاة برنامج Aquacrop لموقع الكدية للسيناريو RCP 8.5

ص. 50 **الجدول 63.** نتائج محاكاة برنامج Aquacrop لموقع الشبيكة للسيناريو RCP 4.5

ص. 51 **الجدول 64.** نتائج محاكاة برنامج Aquacrop لموقع الشبيكة للسيناريو RCP 8.5

ص. 52 **الجدول 65.** نتائج اختبار "Test-student" لموقع الشبيكة ولمختلف النماذج

1. مقدمة

يعتبر القطاع الفلاحي قطاعا استراتيجيّا وحيويّا في تونس، فهو أحد الركائز الأساسية للاقتصاد الوطني للبلاد، نظرا لأهميته في الترفيع في نسبة النمو الاقتصادي وتعزيز الأمن الغذائيّ وتطوير الصادرات وخلق مواطن شغل وتثمين الموارد الطبيعية والمحافظة عليها وكذلك امتداد هذا النشاط في مختلف مناطق البلاد ما ينعكس على التنمية الجهويّة والمحليّة وبالتالي تأمين الاستقرار الاجتماعيّ والسياسيّ.

البلاد التونسية

تقع تونس في أقصى نقطة في شمال القارة الأفريقية بين خطي العرض 30 درجة و14 دقيقة, و 37 درجة و 13 دقيقة شمال خط الاستواء وبين خطي الطول 7 درجة و32 دقيقة و 11 درجة و36 دقيقة شرق خط غرينتش .حيث تمتدّ البلاد التونسيّة على الجزء الشرقي من المغرب العربي. كما تقع شمال الصحراء الكبرى التي تؤثّر بدرجة عالية في خصائصها المناخيّة والمائية، لا سيّما في الجهات الجنوبيّة والوسطى من البلاد. ويحيط البحر الأبيض المتوسّط بتونس شمالاً وشرقًا، مُخفّفًا من حدّة التأثير المناخيّ الصحراويّ، وذلك بالزيادة في كمّيات التساقطات ورطوبة الهواء والتقليص من التّفاوت الحراريّ.

المساحة

تبلغ المساحة الاجمالية للأراضي 16.4 مليون هكتار منها:

- المساحة المحترثة: 4,9 مليون هك
- المناطق السقوية:402.000 هك
- الحبوب: 1,6 مليون هك.
- غابات الزيتون : 1,6 مليون هك

التضاريس

تختلف التضاريس اختلافا كبيرا من شمال البلاد إلى جنوبها ومن شرقها إلى غربها. حيث تتميّز تونس بسهول ساحلية تمتد بامتداد السواحل المطلة على البحر المتوسط وتتسع في الوسط، أمّا المناطق الجنوبية فهي عبارة عن امتداد للصحراء الجزائرية حيث تغطي الصحراء النصف الجنوبي من أراضي تونس.

وبالتالي تنقسم البلاد التونسية إلى ثلاث مناطق كبرى

- التل الأعلى الذي يغطي الشمال.
- الوسط التونسي، حيث السباسب العليا والمنخفضة التي تنتهي عند الساحل الشرقي.

المنطقة الداخلية التي يحدها شط الجريد شمالا، وتتميز تلك الربوع بمساحاتها الصحراوية الشاسعة وبواحاتها الغناء الملتفة حول عدد قليل من منابع الماء.

المناخ

تقع تونس جنوب المنطقة المعتدلة ويخضع مناخها للتأثيرات المتوسطية لذلك فهو مناخ معتدل ولطيف، ويبلغ متوسط ارتفاع الحرارة C°11.44 درجة في ديسمبر و C°29.3 درجة في شهر جويلية.

أما الأمطار فهي تنزل بدون انتظام وتتوزع بدون تساو بحسب الفصول والجهات. ويتجاوز معدل الأمطار 1.500 مليمتر سنويا في عين دراهم الواقعة في أقصى الشمال ، وتتدنى هذه الكميات إلى أقل من 150 مليمترا في أقصى الجنوب .

إمكانيات القطاع ألفلاحي ودوره في النسيج الاقتصادي التونسي

ساهم التنوّع الكبير في المجال المناخي التونسيّ وامتداد الأراضي الفلاحية على مساحة 10 مليون هكتار(5 مليون هكتار أراضي زراعيّة والباقي مراعي وغابات) أي ما يقارب 65 % من مساحة البلاد في أن يلعب القطاع الفلاحي دورا حيويّا على الصعيد الاقتصاديّ، فهو يؤمن 8 % من الناتج الداخلي الخام ويساهم في تشغيل حوالي 16% من اليد العاملة.تبلغ نسبة الاستثمارات الفلاحية 8 % من جملة الاستثمارات في الاقتصاد الوطنيّ بقيمة 1297,3 مليون دينار، كما تبلغ صادرات المنتجات الفلاحية 9 % من مجموع صادرات البلاد. وقد سجل القطاع الفلاحي خلال العقدين الأخيرين نموا سنويا بحوالي 2.8 % . لكن، ورغم الثراء المناخيّ للمجال الترابيّ التونسيّ، ورغم الأرقام المذكورة سابقا، وما تعكسه من أهميّة الفلاحة، إلاّ أنّها في الآن ذاته تبرز الوضعيّة الصعبة للقطاع ألفلاحي الذي عرف تراجعا كبيرا خلال السنوات الأخيرة، حيث تراجعت مساهمة القطاع ألفلاحي في الناتج المحليّ الإجمالي من 17٪ في تسعينات القرن الماضي إلى 8.3٪ في الثلاثي الثالث لسنة 2018 ، بالإضافة إلى العجز المتواصل في تغطية الواردات الغذائيّة والذي يناهز 30 ٪، (المرصد الوطني الفلاحي)

أهم المحاصيل

تتميّز تونس بتنوّع كبير في المناطق الفلاحية نظرا للاختلاف المناخي الكبير. تقع أغلب الزراعات المطرية والسقويّة شمال وشرق البلاد ، من أبرز المحاصيل :

- القوارص والخضروات، أساسا في الوطن القبلي،
- الزراعات الكبرى: ترتكز خاصّة في شمال البلاد (ولاية باجة. ، بنزرت، جندوبة ...)،
- الزياتين :تقع أغلب غابات في منطقة الساحل ومناطق جنوب شرقي البلاد ،
- الثروة الحيوانية مناطق شمال وغرب ووسط البلاد،
- التمور: جنوب البلاد.

أهم نقاط قوة القطاع الفلاحي في تونس

للقطاع الفلاحي في تونس العديد من مكامن القوة التي حبته بها الطبيعة أو اكتسبها عبر السياسات والإصلاحات منذ الاستقلال، وتتمثل خاصة فيما يلي:

- ارتباط تنمية الجهات والمناطق الداخلية بتنمية القطاع الفلاحي،
- تسجيل نمو متواصل في القطاع الفلاحي خلال الفترة 2011-2015 مكن من توفير منتجات فلاحيّة متنوعة ومن تزويد الأسواق الداخلية لتلبية حاجيات الاستهلاك والمساهمة في دفع التصدير،
- إحداث منشئات مائية هامة ومتنوعة تغطي أغلب مناطق البلاد وتلبي حاجيات مختلف القطاعات،
- التوسع في المساحات السقويّة وتجهيز نسبة هامة منها بتقنيات الاقتصاد في مياه الري ممّا ساهم في تطوير الإنتاج الفلاحي والحد من تأثير التقلبات المناخية،
- توفر عدد هام من منشآت البحث والتكوين الفلاحي التّي تغطي العديد من المنظومات الفلاحية وفي أغلب جهات البلاد،
- وجود بعض التجارب الناجحة في مجال العمل التعاوني على مستوى الهياكل المهنية وبعض المنظومات الفلاحية،
- الخصوصيات الطبيعية وأنظمة الإنتاج المتنوعة التي توفر إمكانيات هامة لتطوير منتجات ذات جودة خصوصية وميزات تفاضلية لها قيمة مضافة عالية خاصة بالأسواق الخارجية،
- وجود تجارب في مجال الفلاحة الحافظة وتقنيات تنمية الفلاحة المستديمة والتّي يمكن استغلالها والبناء عليها،
- تموقع عدد من المنتجات الفلاحية بالأسواق العالمية واكتساب المصدرين التونسيين للخبرة، بالإضافة إلى الفرص التي توفرها الأسواق العالمية في إطار الاتفاقيات التجارية الثنائية ومتعددة الأطراف التي صادقت عليها بلادنا،
- زيادة الطلب الداخلي على المنتجات الفلاحية والغذائيّة ذات الجودة العالية.

السياسات الإستراتيجية الزراعية ودور الزراعة في الاقتصاد الوطني

إنّ القطاع ألفلاحي مطالب بالتأقلم مع المتغيرات المتعلقة بالمحيط الخارجي باعتبار التفتح خيارا ثابتا في السياسة التنموية لبلادنا، وكذلك مع المتغيرات الداخلية من ناحية تطور الطلب الداخلي للمنتجات الفلاحية على المستويين الكمي والنوعي.

لذا فإن سياسة التنمية الفلاحية في البلاد التونسية مطالبة برفع مختلف هذه التحديات من خلال ملائمة عرض المنتجات الفلاحية مع المتطلبات الجديدة للسوق الداخلية والخارجية من الناحية الكمية والنوعية استعدادا لمزيد تحرير أسواق المنتجات الفلاحية سواء على المستوى الثنائي أو متعدد الأطراف ولما يترتب عنه من اشتداد للمنافسة في الأسواق الخارجية والداخلية.

تلبية الاحتياجات الغذائية من خلال الإنتاج الوطني

- تحسين تلبية احتياجات اللحوم والألبان والفواكه والخضراوات من الإنتاج الوطني،
- الاتجاه نحو زيادة الاعتماد على الواردات من الحبوب (القمح القاسي والقمح الطري والشعير): نسبة الإعالة بنسبة 61٪ في عام 2017 (89٪ للقمح الطري)، (الرسم البياني عدد1)،
- الاتجاه في الزيادات في الأسعار التي تؤثر على قيمة الواردات (39 ٪ من المجموع).

استيراد وتصدير المنتجات الزّراعيّة

تبلغ نسبة الاستثمارات الفلاحية 8 % من جملة الاستثمارات في الاقتصاد الوطنيّ بقيمة 1297,3 مليون دينار، كما تبلغ صادرات المنتجات الفلاحية 9.7 % من مجموع صادرات البلاد محقّقة نسبة تغطية تجاوزت 70 % من حجم واردات البلاد الغذائيّة.

الشكل البياني 1. نسبة إعالة الحبوب

2. توصيف لمنطقة الزراعة المختارة وأهمية المحصول

منطقة "الشبيكة" ولاية القيروان

تقع منطقة الشبيكة بولاية القيروان بالوسط التونسي حيث تتميز ب:

- مناخ شبه جاف
- معدل التساقطات : 300مم/سنة
- معدل الحرارة الشهرية : بين 11 درجة في شهر يناير و30 في شهر اغسطس
- مساحة الحبوب : 11 ألف هك مروية بالأساس
- معدل إنتاج الحبوب: 3.5 طن/هك

منطقة "الكدية" ولاية جندوبة

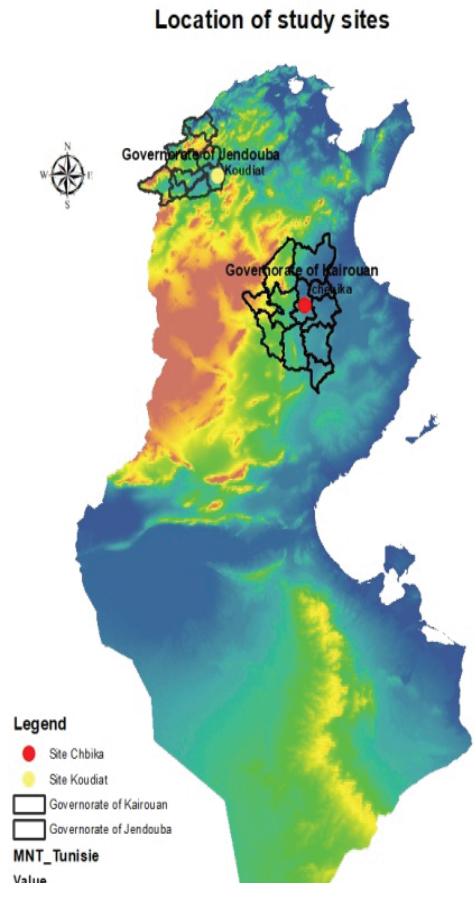
تقع منطقة الكدية بولاية جندوبة بالشمال الغربي التونسي حيث تتميز ب :

- مناخ رطب
- معدل التساقطات: 500 مم/سنة
- معدل الحرارة الشهرية: بين 9.8 درجة في شهر يناير و27.9 درجة في شهر اغسطس
- مساحة الحبوب : 65.580 هك
- معدل إنتاج الحبوب: 2.4 طن/هك

المحصول

تم اختيار محصول الحبوب بالنظر إلى ما يكتسيه قطاع الحبوب في تونس من أهمية قصوى سواء

الخريطة 1. تحديد موقع منطقتي الدّراسة



على مستوى توفير الغذاء أو على مستوى المساهمة في تدعيم وتعزيز الأمن الغذائي للبلاد، حيث :

- تغطي الحبوب حوالي ثلث المساحة الفلاحية المحترثة في بلادنا،
- يمارس 248 ألف مستغل أي حوالي نصف الفلاحين نشاط إنتاج الحبوب،
- يوفر هذا القطاع معدل 2.5 مليون يوم عمل،
- يساهم بمعدل 13 % في الناتج الفلاحي .

تهدف الرؤية الإستراتيجية لقطاع الزراعات الكبرى والحبوب خصوصا الحبوب إلى:

- تطوير الأنظمة الإنتاجية لقطاع الزراعات الكبرى من خلال اعتماد التداول الزراعي الملائم لمختلف مناطق الإنتاج بما يضمن ديمومة استغلال الأراضي والمحافظة على خصوبتها والحد من انجراف التربة
- تحسين نسبة إدماج تربية الماشية بمناطق الزراعات الكبرى،
- تطوير منظومات زراعية مستدامة ومتأقلمة مع التغيرات المناخية ،
- تأمين تغطية الحاجيات الغذائية للقطيع وذلك بتقليص العجز في الميزان العلفي بهدف تمكين القطيع من بلوغ كفاءته الإنتاجية وتوفير المواد الغذائية من أصل حيواني طبقا لاستراتيجيات الألبان واللحوم والبيض.

الهدف من الدّراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم التغيّرات المناخيّة ومدى تأثيرها على المحاصيل الفلاحيّة باستعمال نموذج AquaCrop . ويتميّز هذا النموذج بقدرته على محاكاة أداء القمح (محصول الدّراسة) ونمذجة البيئة التي سيتطوّر فيها لاحتساب امتصاص الماء وصرفه عبر الجذور ومعدّل التبخّر والنتح وإنتاج الكتلة الحيويّة وغيره . كما أن النموذج يساعد على تعديل ومقارنة سيناريوهات الري والخصوبة للحصول على أعلى الإنتاجيات. وبالتالي هو أداة للتخطيط وتحديد الاستراتيجيات للحفاظ على الأمن الغذائي.

وقد تمّ اختيار محصول القمح البعلي (المطري) بمنطقة **الكدية** بولاية **جندوبة** ومحصول القمح المروي بمنطقة **الشبيكة** بولاية **القيروان** باستعمال بيانات حقلية لعشر مواسم نمو 2007 /2017.

3. التغيّرات المناخيّة المتوقّعة في منطقة الدّراسة

التوقّعات حسب الدراسات الوطنيّة

اهتمّ المعهد الوطني للرّصد الجوّي بالتوقّعات المناخيّة على المدى القصير، المتوسّط والطويل في منطقة البحر الأبيض المتوسط وعلى وجه الخصوص تونس كما عمل على تقييم تأثير هذه التغيّرات. ولهذا الغرض استخدموا مخرجات نماذج مشروع ENSEMBLES، وقد بلغ عدد النماذج المستخدمة 21 (الجدول 1).

وتوقّع الخبراء في الإستراتيجية الوطنية لتكيف الزراعات والنظم الإيكولوجية التونسية لتغير المناخ، أن تونس ستواجه انخفاضاً بنسبة 28٪ في الموارد المائية بحلول عام 2030 ، وانخفاض بنسبة 50٪ في المياه السطحية، وانخفاض في الناتج المحلي الإجمالي الزراعي بنسبة من 5٪ إلى 10٪، وانخفاض في الإنتاج الزراعي بسبب شدة وتواتر سنوات الجفاف. كما سنشهد انخفاض في مساحات الحبوب المطريّة من 1.5 مليون هكتار إلى مليون هكتار يعني تراجع بنسبة 30 ٪.

التوقّعات الحراريّة والمطريّة بحلول سنة 2050

حسب المعهد الوطني للرّصد الجوّي ستشهد تونس ارتفاع في درجات الحرارة من 1.4 إلى 2 درجات في أقصى الجنوب. كما ستنخفض كميّات الأمطار بنسبة تتراوح بين 2٪ و16٪ في أقصى الشمال الغربي وأقصى الجنوب كما هو مبيّن في الخريطة عدد 2.

التوقّعات بناءَ على بيانات مشروع RICCAR

تشمل بيانات مشروع RICCAR كل من الأمطار و الحرارة القصوى و الدنيا لـثلاث نماذج مناخية وهي **CNRM- CM5** و**EC-Earth** و**GFDL-ESM2M** منذ بداية جانفي 1950 إلى موفّى ديسمبر 2099. وقد اقتصر في هذه الدّراسة على الفترة الممتدّة بين 1985 ونهاية 2050, وذلك حتّى تكون الفترة المرجعيّة نفسها المعتمدة في مشروع RICCAR كما تمّ تجنّب العمل على مدى طويل (2099)، لانّ توقّعات ثاني أكسيد الكربون على المحاصيل يبلغ أقصاها 500 جزء في المليون وهي إلى حد سنة 2050.

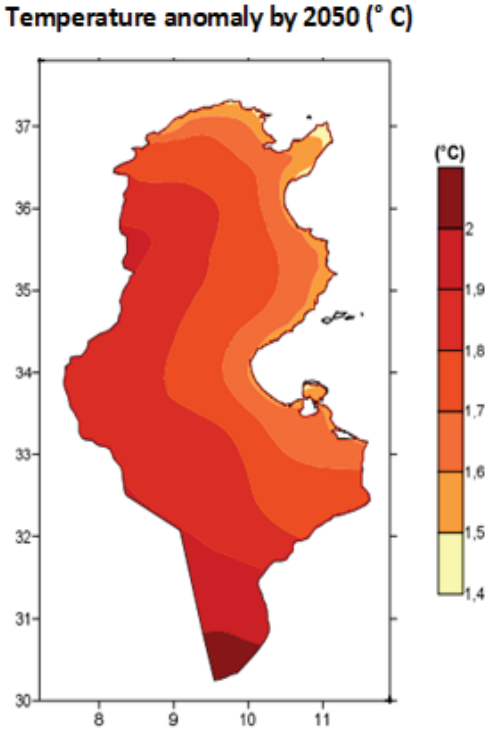
وقد اعتمد السيناريوهين الموجودين في المنظومة وهما السينـاريو المعتـدل RCP 4,5 والسيناريو الأسـوأ 8,5RCP (Représentative Concentration Path)) علما وأنّ لكل سيناريو سياسة اقتصادية وتكنولوجية واجتماعية مختلفة.

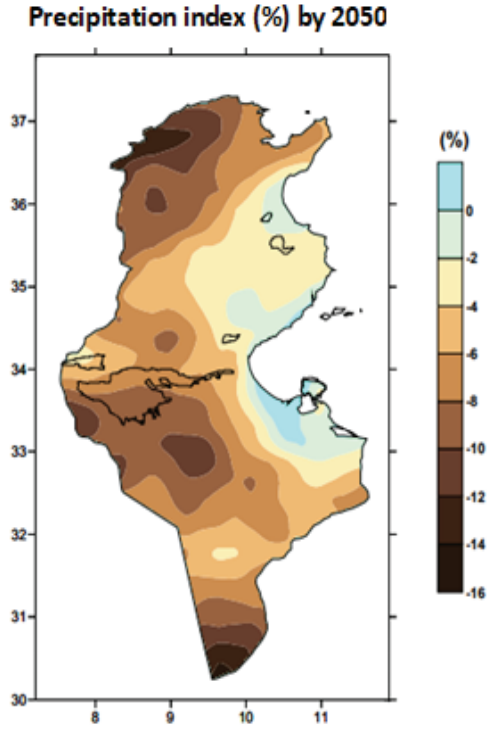
وقد لخّصت كل هذه البيانات في الجداول التـالية (من رقم **2** إلى **5**) حسب السيناريو RCP8,5 وRCP 4,5، حيث تظهر الانخفاض أو الارتفاع لكلّ من الحرارة والأمطار في المناخ المستقبلي بالنسبة للفترة المرجعيّة (1985-2005).

الجدول 1. خاصيّات النمذجة للتوقّعات المناخيّة في الدّراسة الوطنيّة

Resolution	قدرة تميّز مكاني	كلم 25
Scenario	سيناريو	A1B

الخريطة 2. التوقّعات الحراريّة والمطريّة على المدى المتوسّط





موقع الكدية

تتوافق الثلاث نماذج على ارتفاع في درجات الحرارة القصوى على المدى القريب والمتوسط تصل إلى 1,5 درجة في الفترة 2040-2050 بالنسبة للنموذج **Earth-EC** حسب السيناريو RCP 4,5 و1,9 درجة بالنسبة للسيناريو المرتفع RCP 8,5. الحرارة الدنيا أيضا سترتفع بدرجات مساوية للقصوى على المدى القريب والمتوسّط بالنسبة للنموذجين **CNRM** و .**GFDL** امّا بالنسبة للنموذج **Earth-EC** فسيكون الارتفاع في درجات الحرارة الدّنيا بنسب اقلّ من القصوى على المدى المتوسّط وتصل إلى 1.1 درجة بالنسبة للسيناريو RCP 4,5 و1.6 درجة بالنسبة ل RCP 8,5. وفيما يخصّ الأمطار، فقد اتفق نموذجان على ارتفاع كميات الأمطار على المدى القريب بينما يختلف عنهما نموذج **Earth-EC** حيث يتوقّع انخفاض في التساقطات بمعدّل 87 مم. وبالنسبة للفترة 2040-2050 يتّفق النموذجان **CNRM** و**EC-Earth** على نقص الكميّات حيث تصل إلى 106 مم بالنسبة للنموذج الثاني. بينما يبقي نموذج **GFDL** متفائلا ويتوقّع زيادة طفيفة ب 4 مم. وقد اجتمع الثلاثة نماذج على انخفاض في الأمطار بالنسبة لـ RCP8.5 يصل إلى حدود 100 مم حسب النموذج **CNRM** على المدى المتوسّط (جداول عدد **2 و3**).

موقع الشبيكة

يظهر الجدولين عدد **4** و**5**، ارتفاع في درجات الحرارة القصوى بالنسبة للثلاث نماذج تصل إلى 1,5 درجة بالنسبة ل RCP4.5 و1,9 درجة بالنسبة ل RCP 8,5 حسب النموذج **Earth EC**. امّا الحرارة الدّنيا فسترتفع بنسب اقلّ من القصوى لكلّ من**CNRM** و**EC-Earth**، بينما ستكون الزيادة أكثر من القصوى في توقّعات **GFDL** بفارق 0.15 درجة لفترتي الدّراسة للسيناريو RCP 4,5. وبالنسبة للسيناريو الثاني RCP 8,5 ، فانّ أكبر زيادة متوقّعة للحرارة الدّنيا هي 0.80 درجة على المدى القريب و1.88 درجة على المدى المتوسّط ، وهذه الأرقام تخصّ **Earth-EC**.

وفيما يتعلّق بالأمطار فقد اتفق نموذجان على انخفاض كميات التساقطات على المدى القريب المتوسط بكميات متفاوتة تصل إلى 60 مم لـRCP 4,5 أمّـا بالنسبة RCP 8,5 فهناك انخفاض في الكميات تصل إلى 47مم.

بصفة عامّة نلاحظ أن نموذج **Earth-EC** هو الأكثر تشاؤما بين الثلاثة سواء للأمطار أو الحرارة، بينما النموذج **GFDL** هو الأكثر تفاؤلا حيث يتوقّع زيادة حراريّة اقلّ حدّة من الأرقام المتوقّعة الأخرى وفي المقابل يتوقّع زيادة في الأمطار بالنسبة للموقعين. وهذا ما يفسّر تأكيد الخبراء على استعمال ثلاثة نماذج فأكثر بالنسبة للتوقّعات المناخيّة حتّى يتم تفادي المغالاة آو النقص في التقدير. لكن عموما هذه القيم تنذر بمشاكل مناخيّة كبيرة تقتضي إجراءات فعالة وفوريّة للعمل عليها.

وقد تمّ رسم تراكب superposition كلّ بيانات الحرارة القصوى والدنيا والأمطار للثلاث نماذج على طول الفترة الممتدّة من بداية يناير 1985 إلى موفّى ديسمبر 2050.

الجدول 2. تغيّر الأمطار والحرارة بمنطقة الكدية حسب مختلف النماذج RCP4.5

RCP4.5			
الفترات	1985-2005	2020- 2030	2040- 2050
CNRM-CM5			
الامطار (مم)	603	+5.6	-16.1
الحرارة القصوى (C°)	25	+0.6	+1.0
الحرارة الدّنيا (C°)	12	+0.6	+1.0
EC-Earth			
الامطار (مم)	618	-87	-106
الحرارة القصوى (C°)	25	+1.2	+1.5
الحرارة الدّنيا (C°)	12	+1.0	+1.1
GFDL-ESM2M			
(الامطار (مم	597	+71	+3.6
الحرارة القصوى (C°)	25	+0.2	+0.7
الحرارة الدّنيا (C°)	12	+0.4	+0.7

الجدول 3. تغيّر الأمطار والحرارة بمنطقة الكدية حسب مختلف النماذج RCP8.5

RCP8.5			
الفترات	1985-2005	2020- 2030	2040- 2050
CNRM-CM5			
الامطار (مم)	617	+18.0	-100.5
الحرارة القصوى (C°)	25	+0.6	+1.6
الحرارة الدّنيا (C°)	12	+0.6	+1.4
EC-Earth			
الامطار (مم)	613	-79.2	-51.6
الحرارة القصوى (C°)	25	+0.9	+1.9
الحرارة الدّنيا (C°)	12	+0.7	+1.6
GFDL-ESM2M			
الامطار (مم)	590	+2.7	-47.7
الحرارة القصوى (C°)	25	+0.5	+1.1
الحرارة الدّنيا (C°)	12	+0.4	+1.0

حيث تعطي انطباعا عامّا عن الارتفاع أو الانخفاض المرتقب في مختلف البيانات كما تظهر الفروقات بين النماذج على مدى السنين. ويمثّل الرسم البياني عدد2 الحرارة القصوى المرتقبة لموقع "الكدية" و"للشبيكة".

تتغيّر أمطار الموسم الزّراعي لمحصول القمح بالنسبة لموقعي "الكدية" و" الشبيكة" حسب السيناريوهين RCP4.5 وRCP8.5 كما هو مبيّن في الجدولين التاليين (رقم **6** و7) :

- موقع "الكدية" تنخفض الأمطار لكل السيناريوهات وتصل نسبة الانخفاض بالنسبة للسيناريوRCP4.5 الى 13 ٪ للفترة 2040-2050 وإلى 19.3٪ بالنسبة للسيناريو RCP8.5.
- موقع " الشبيكة ": أقصى انخفاض سيكون ب16.4٪ بالنسبة للسيناريو RCP4.5 و23.3٪ للسيناريو RCP8.5 على المدى المتوسّط.

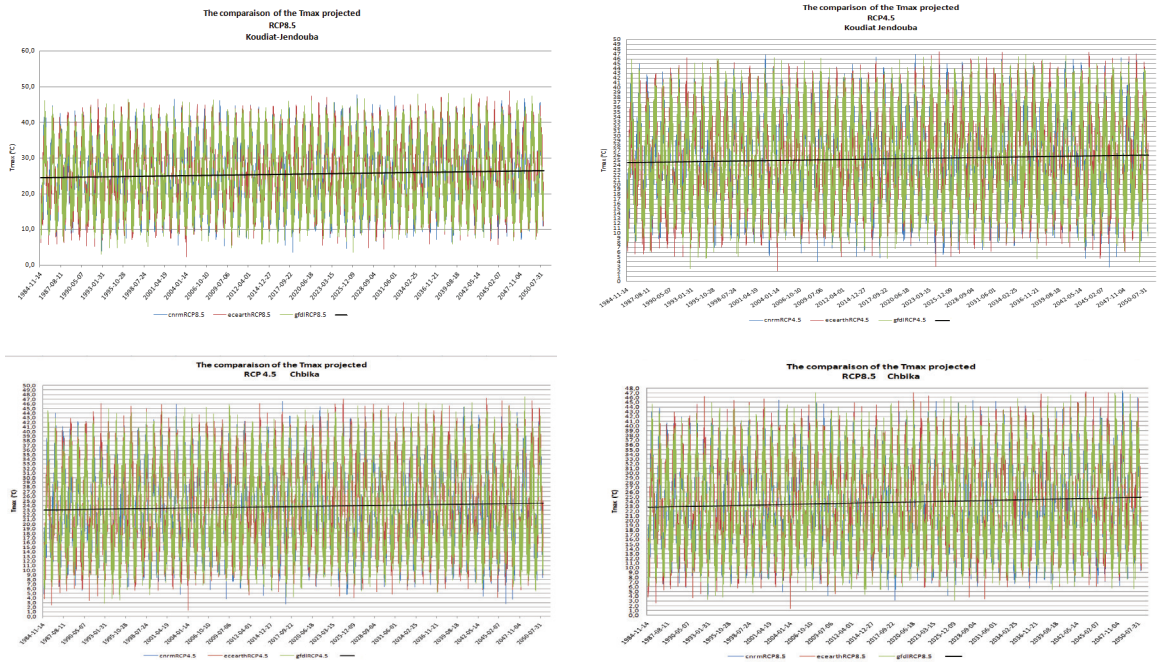
الجدول 4. تغيّر الأمطار والحرارة بمنطقة الشبيكة حسب مختلف النماذج RCP4.5

RCP4.5			
الفترات	1985-2005	2020- 2030	2040- 2050
CNRM-CM5			
الامطار (مم)	320	-1.4	-16.3
الحرارة القصوى (°C)	23	+0.66	+0.91
الحرارة الدّنيا (°C)	11	+0.67	+0.89
EC-Earth			
الامطار (مم)	326	-38	-60
الحرارة القصوى (°C)	23	+1.14	+1.53
الحرارة الدّنيا (°C)	11	+1.02	+1.32
GFDL-ESM2M			
الامطار (مم)	312	30.6	28.7
الحرارة القصوى (°C)	23	+0.22	+0.65
الحرارة الدّنيا (°C)	11	+0.37	+0.80

الجدول 5. تغيّر الأمطار والحرارة بمنطقة الشبيكة حسب مختلف النماذج RCP8.5

RCP8.5			
الفترات	1985-2005	2020- 2030	2040- 2050
CNRM-CM5			
الامطار (مم)	324	-1.7	-46.5
الحرارة القصوى (°C)	23	+0.7	+1.6
الحرارة الدّنيا (°C)	11	+0.63	+1.55
EC-Earth			
الامطار (مم)	312	-19.9	-14.4
الحرارة القصوى (°C)	23	+0.86	+1.9
الحرارة الدّنيا (°C)	11	+0.80	+1.88
الامطار (مم)	310	+21.5	-42
الحرارة القصوى (°C)	23	+0.43	+1.20
الحرارة الدّنيا (°C)	11	+0.62	+1.20

الشكل البياني 2. توزيع الحرارة القصوى حسب النماذج الثلاث



الجدول 6. تغيّر أمطار الموسم الزراعي لمحصول القمح لموقع الكدية

	متوسّط التغيير للفترة 2030-2020	متوسّط التغيير للفترة 2050-2040
RCP 4.5		
399الأمطار في الفترة المرجعيّة (مم)	399	
التغيير بالنسبة للفترة المرجعيّة (مم)	-23,2	-52,2
التغيير النسبي (٪)	-5,8	-13,09
RCP 8.5		
الأمطار في الفترة المرجعيّة (مم)	398	
التغيير بالنسبة للفترة المرجعيّة (مم)	-34,0	-76,90
التغيير النسبي (٪)	-8,5	-19,30

الجدول 7. تغيّر أمطار الموسم الزراعي لمحصول القمح لموقع الشبيكة

	متوسّط التغيير للفترة 2030-2020	متوسّط التغيير للفترة 2050-2040
RCP 4.5		
الأمطار في الفترة المرجعيّة (مم)	170	
التغيير بالنسبة للفترة المرجعيّة (مم)	-21	-28
التغيير النسبي (٪)	-12.4	-16.4
RCP 8.5		
الأمطار في الفترة المرجعيّة (مم)	169	
التغيير بالنسبة للفترة المرجعيّة (مم)	-14.8	-39.4
التغيير النسبي (٪)	-8.7	-23.3

4. المعاملات المعتمدة المستخدمة اللازمة لتشغيل برنامج AquaCrop ومصدرها

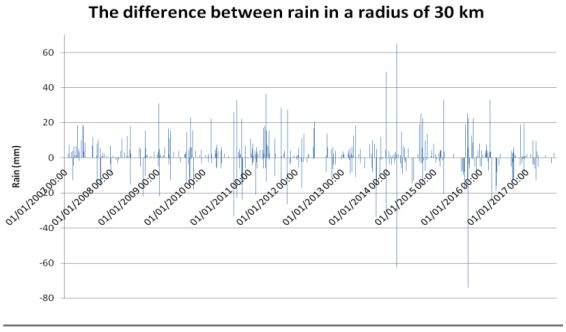
تتكوّن مدخلات البرنامج من بيانات مناخيّة وكل من خصائص التربة والمحصول وبيانات إدارة الحقل والريّ والشروط الابتدائيّة.

البيانات المناخيّة

البيانات المناخيّة "للكدية" هي بيانات يوميّة وقد أدرج في الملف المناخي كلّ من الأمطار والحرارة القصوى والدّنيا والرياح لل 10 سنوات الأخيرة من 2007 إلى 2017. أما بالنسبة "للشبيكة"، فقد اقتصر على الامطار والحرارة القصوى والدّنيا، وهي بيانات يوميّة لنفس الفترة. ونذكر أن المنظومة AquaCrop لا تقبل إلا بيانات كاملة لا نقائص فيها.

بالنسبة للأمطار لموقع "الشبيكة" فقد استعملت في مرحلة أولى الأمطار المسجّلة في محطّة "شريشيرة مدرسة " وهي تعتبر أقرب محطّة لموقع الدّراسة (في حدود 30كلم) ، إلا انّه فيما بعد تمّ التحصّل على الأمطار اليوميّة المسجّلة في الموقع ويمثّل الرسم البياني 3 التّالي مدى التباين الجغرافي للأمطار في تونس في مقارنة بين أمطار المحطتين.

الشكل البياني 3. اختلاف الأمطار بين محطّتين على بعد 30كلم



كلّ البيانات المناخيّة أخذت من المعهد الوطني للزراعات الكبرى والإدارة العامة للموارد المائية والمعهد الوطني للرصد الجوي ، وهي ملخّصة في الجدول عدد 8.

هذا مع العلم أن الرياح تقاس على ارتفاع 10م على سطح الأرض و قد أخذ بعين الاعتبار هذا الارتفاع عند إنشاء الملف المناخي.

إحداثيات المحطّات المناخيّة :

- جندوبة (الكدية) X = 8.7739 ;Y=36.4911 درجة عشريّة وZ=143m
- القيروان (الشبيكة) X = 10.10 ;Y=35.6643 درجة عشريّة وZ=59m

الجدول 8. تغيّر أمطار الموسم الزراعي لمحصول القمح لموقع الشبيكة

المحطّات	الأمطار (مم)		الحرارة (درجة)
جندوبة	يومية 2007 إلى 2017	يومية 2007 إلى 2017	يومية 2007 إلى 2017
القيروان	يومية 2007 إلى 2017	يومية 2007 إلى 2017	

خصائص المحصول

يحتوي الجدول 9 على البيانات الخّاصة بالمحصول في كلا الموقعين ورغم أنها لنفس المحصول إلا أن قيم المعاملات تختلف من منطقة إلى أخرى وذلك للأسباب التالية:

- اختلاف درجات الحرارة بين الموقعين،
- المحصول في منطقة الشبيكة يتحصّل على ريّ تكميلي بينما قمح الكدية هو محصول بعلي يقتصر على كميّات الأمطار،
- اختلاف نوع المحصول.

كلّ خصائص المحصول كان مصدرها المعهد الوطني للزراعات الكبرى ، حيث تتمّ متابعة هذه المحاصيل في حقول تجريبيّة.

خصائص التربة

تمكّن خصائص طبقات التربة من تحديد المحتوى المائي للتربة. ولقد اعتمد في هذه الدراسة على بيانات المعهد الوطني للزراعات الكبرى والتي لم تكن كافية فقد اقتصرت على هيكل التربة، يعني الطبقات المكوّنة لكلّ عمق مع النسبة لكلّ من الطين والطمي والرمل، إضافة لنسبة الملوحة في التربة والمواد العضويّة. وبالاستعانة بالبرنامج SPAW المقدّم من المنظّمة خلال الدّورة التدريبيّة، تمّ تحديد نوعيّة التربة لكلّ أفق إضافة للمحتوى المائي.

الكدية جندوبة

عند استعمال تطبيقSPAW، لوحظ بالنسبة لموقع "الكدية" انّ كلّ الطبقات هي من نوع الطّين ، فتمّ إدراجها على كونها تمثّل كلّها طبقة واحدة، ويبرز

الجدول 9. خصائص المحصول بموقعي الدّراسة

خصائص المحصول	الكدية	الشبيكة
تاريخ الزراعة	4 ديسمبر	27نوفمبر
الإنبات	15 يوم	11 يوم
الغطاء النباتي الاعظمي	124 يوم	122 يوم
كثافة الغطاء النباتي	75 %	94 %
تاريخ الإزهار	124 يوم	122 يوم
مدة الإزهار	14 يوم	10 يوم
عمق الجذور الفعال	0.6 متر	1 متر
المدة للوصول إلى عمق الجذور الفعال	107 يوم	89 يوم
النضج	180 يوم	161 يوم
الشيخوخة	160 يوم	138 يوم
مؤشر الحصاد	٪39	٪48

الجدول 10. خاصيّات التربة لموقع الكدية

نوعية التربة	النّاقلة الهيدروليكية المشبعة مم/يوم	المحتوى المائي عند الاشباع %	المحتوى المائي عند حد السعة الحقلية %	المحتوى المائي عند حد الذبول%	العمق(سم)
الطّين loam	462	46	31	14.3	0-100cm

الجدول **10** كلّ من المحتوى المائي عند حد الذبول والمحتوى المائي عند حد السعة الحقليّة والمحتوى المائي عند الإشباع والنّاقلة الهيدروليكية المشبعة Ksat:

- المواد العضويّة: 1.5 %
- ملوحة التربة: يبيّن الجدول التالي نسبة ملوحة الأرض في كلّ طبقة، وهي متقاربة بين 0.4 m/ds و0.6m/ds، جدول عدد 11.

الشبيكة القيروان

يتكوّن حقل "الشبيكة" من 5 طبقات تربة مختلفة حيث تفوق قيمة الماء المتاح TAW وقيمة النّاقلة

الجدول 11. خاصيّات ملوحة التربة لموقع الكدية

الملوحة ds/m	العمق (سم)
0.6	20cm-0
0.4	cm 40-20
0.5	cm 100-40

الهيدروليكية المشبعة 10 بين طبقتين متتاليتين. يظهر الجدول **12** خصائص تربة هذا الحقل:

المواد العضويّة: 1.5 %

- ملوحة التربة: 0.5 m/ds

الجدول 12. خاصيّات التربة لموقع الشبيكة

العمق (سم)	المحتوى المائي عند حد الذبول %	المحتوى المائي عند حد السعة الحقليّة %	المحتوى المائي عند الاشباع %	النّاقلة الهيدروليكية المشبعة مم/يوم	نوعية التربة
0-20cm	21.6	35.3	48	123.1	Clay loam
20-40cm	26.2	41.2	53.2	103	Silty clay
40-60cm	16.2	35.6	53.3	367.2	Silt loam
60-80cm	18.7	36.7	49.8	150.5	Silty clay loam
80-100cm	26.2	41.2	53.2	103	Silty clay

الجدول 13. جدول الريّ

موعد الريّ بعد تاريخ الزّراعة (يوم)	كميات الريّ (مم)
15	45
50	45
64	45
90	45
97	45
106	45
117	45
133	25
141	25
الجملة	365

المياه الجوفيّة

بالنسبة لأعماق المياه الجوفية فهي تفوق 4 م في كلتا الموقعين مما يلغي الصعود الشعري للماء.

الإدارة

كلّ بيانات الإدارة من المعهد الوطني للزراعات الكبرى.

إدارة الريّ

بالنسبة لإدارة الريّ لا توجد لموقع "الكدية" كونه محصول بعلي، امّا فيما يخصّ "الشبيكة" فقد تمّ إنشاء ملف وهو يعتمد على الجدول الآتي (عدد**13**) ، مع العلم انّه لا يوجد ريّ قبل الزرع:

مع العلم أن مياه الريّ المستعملة في هذا الموقع مصدرها بئر عميقة، وهي مياه ذات جودة عالية حيث تبلغ نسبة الملوحة 0.4 ds/m.

إدارة الحقل

تحتوي إدارة الحقل على:

- درجة خصوبة التربة وهي خصوبة قريبة من المثاليّة (optimal near) للموقعين،
- إدارة الأعشاب الضارّة لتحديد نسبة تغطيتها لسطح الأرض ونسبة قصور الغطاء النباتي. بالنسبة لحقل الكدية اخترنا إدارة متوسّطة moderate وفي حقل الشبيكة إدارة جيّدة good،
- التغطية: بالنسبة لموقعي الدّراسة لا يوجد أي نوع من التغطية،
- إجراءات تشكيل الحقل : لا يوجد أي إجراء يمكنه أن يؤثّر على الجريان السطحي في كلا الموقعين.

الإنتاج

كلّ نتائج غلّة المحصول أخذت من المعهد الوطني للزراعات الكبرى وهي تخصّ 10 سنوات من سنة 2007/2008 إلى 2016/2017. وتبيّن الجداول هذه الإنتاجية المسجّلة سنويّا في الموقعين، ونلاحظ أن بالنسبة "للكدية" يبلغ المعدّل السنوي 2.7 طن/هك. امّا فيما يخص "الشبيكة" فيبلغ المعدّل السنوي 5.8 طن/هك ،مع وجود بعض السنوات الشاذّة لكلّ من الموقعين تفسّر بنقص أو وفرة كبيرة في الأمطار خلال هذه السّنوات.

الجدول 14. تطور إنتاج القمح الصلب المطري بموقع "الكدية جندوبة" (الوحدة طن/هك)

المواسم	المردود (طن/هك)
2007/2008	1.4
2008/2009	2.8
2009/2010	2.6
2010/2011	2.6
2011/2012	-
2012/2013	2.9
2013/2014	2.7
2014/2015	2.5
2015/2016	2.8
2016/2017	3.5

الجدول 15. تطور إنتاج القمح الصلب المروي بموقع "الشبيكة القيروان" (الوحدة طن/هك)

المواسم	المردود (طن/هك)
2007/2008	5.4
2008/2009	3.65
2009/2010	5.64
2010/2011	5.56
2011/2012	6.1
2012/2013	6
2013/2014	6.02
2014/2015	5.94
2015/2016	7.09
2016/2017	7.07

5. معايرة النموذج الرياضي AquaCrop

كما افدنا سابقا فانّ مدخلات النموذج AquaCrop هي البيانات المناخيّة وخصائص التربة والمحصول وإدارة الحقل والري والشروط الابتدائيّة. وبعد تحضير كل هذه البيانات يتم إنشاء الملفّات الخاصّة بها.

بالنسبة للبيانات المناخيّة يتمّ إنشاء ملف جديد خاص بمنطقة الدراسة ويحتاج كل ملف مناخي إلى:

- درجات الحرارة الدّنيا والقصوى،
- الأمطار،
- النتح المرجعي وسرعة الرياح ان وجدت.

بعد إدخال البيانات المناخية يقوم البرنامج بإنشاء 4 ملفات تخص الأمطار والحرارة والنتح المرجعي والملف المناخي (.cli).

اما بالنسبة لباقي الملفّات فيتمّ إنشاءها عبر فتح ملفاتّ قديمة وإحداث تعديلات عليها بإدخال البيانات الخاصّة بالمحصول والحقل والإدارة والشروط الابتدائيّة. وعند إنشاء هذه الملفّات يجب التثبّت من كلّ التفاصيل ، فمثلا بالنسبة لملف المحصول يجب الشروع بضبط التقويم اليومي وعند الانتهاء من إدخال جميع المدخلات يتمّ تغييره إلى تقويم الحرارة التراكميّة. أيضا يجب تخفيض قيمة قوّة امتصاص المحصول strength sink crop الى صفر (0) حتّى نخفّف من تأثير ثاني أكسيد الكربون على الإنتاجية وأيضا لأنّها تجارب حقليّة حيث أنّ هذه القيمة تقدّر ب(50) بالنسبة للتجارب المخبريّة. وعند الانتهاء من تركيز هذه الملفّات يقع إحداث المشروع وتباشر عمليّة المحاكاة للمدّة المقترحة.

ومن هنا تبدأ عمليّة المعايرة ، حيث يتمّ تغيير قيم بعض المعلّمات وتعاد عمليّة المحاكاة للفترة المرجعيّة حتى الوصول إلى نتائج مقاربة للنتائج الفعليّة.

في هذه العمليّة لا يجب معايرة البيانات المقاسة أو المراحل الفيزيولوجيّة وانّما باقي البيانات التي يصعب قيسها أو التحصّل عليها. ويتم التأكد من جودة المعايرة بمقارنة إنتاجية المحصول بالإنتاجية الناتجة عن المحاكاة، ثمّ في مرحلة ثانية يقع اعتماد الاختبارات الإحصائية حتى تكون المقارنة علميّة. ومن ضمن هذه الاختبارات الإحصائية المستعملة نجد " معامل ارتباط بيرسون" (R) الذي يقيس كميّة التشتت. وتتراوح قيمته بين 1 - و1، ويقع اختيار القيم التي تفوق 0.5. حيث كلّما اقتربت قيمة "معامل الارتباط" من 1 ، كلّما كانت النتيجة ممتازة وتعكس مدى تقارب قيم المحاكاة والقيم الفعلية.

كما وقع استعمال أيضا "مؤشر الاتفاق" (d) agreement of index s'Willmott الذي يقيس درجة مضاهاة القيم ومطابقتها مع القيم المرصودة و"جذر متوسط مربّع الخطأ" Error Square Mean Root (RMSE) ، يقيس هذا المؤشر متوسط مقدار الفرق بين التنبؤات والمراقبات ، تتراوح قيمته بين صفر (0) وما لا نهاية (قيمة 0 = أداء جيّد) . و "جذر متوسط مربّع الخطأ المعاير" Normalized (NRMSE) (CV) Error Square Mean Root ، وهو مقياس للفرق النسبي بين نموذج المحاكاة والقيم المقاسة، ويعتبر ممتاز إذا كان أصغر من 10%. و"معامل كفاءة النموذج ناش –ساتكليف" Efficiency model Sutcliffe- Nash (EF) coefficient. ويحدّد هذا الاختبار الحجم النسبي للتفاوت مقارنة بتغيّر المراقبات وهو يشير إلى مدى تتطابق مخطّط البيانات المراقبة مع بيانات المحاكاة مع الخط. تتراوح قيمة EF بين مالا نهاية سلبي وواحد (1) وتكون النتائج ممتازة عندما تساوي EF قيمة **1**. فمن المستحسن إستعمال مجموعة مؤشرات لأنّه لكّل منها نقاط قوّة ونقاط ضعف. (أخذت تعريفات الاختبارات الإحصائية من دليل تدريب النموذج AquaCrop ومن مواقع عبر الانترنت).

عند الانتهاء من كلّ المعايرات والتحصّل على نتيجة مرضية يتمّ إنشاء الملفّات المناخيّة للتغيّرات المناخيّة. حيث يقع اعتماد بيانات RICCAR لثلاث نماذج مناخيّة وهي CNRM-CM5 وEC-Earth وGFDL-ESM2M. وهذه البيانات تشمل الحرارة القصوى والدنيا والأمطار اليوميّة ل65 سنة بداية من سنة 1985 إلى غاية سنة 2050. أمّا بالنسبة لكلّ نموذج يقع إنشاء ملفّين حسب سيناريو RCP4.5 أو RCP8.5. ومع كلّ سيناريو أنشأنا ملف لثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوّي ثابت يساوي 350 جزء بالمليون ppm. وملف يحتوي على بيانات متوقّعة لتزايد ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوّي إلى نهاية سنة 2050. وذلك لإختبار تأثيرها على إنتاجية المحصول.

بعد إنشاء ملفّات التغيّرات المناخية نقوم بإدخالها مع الحفاظ على باقي الملفات قصد تحديد أثر التغيرات المناخية على غلّة المحصول والتبخر النتح الفعلي والمرجعي وطول موسم النموّ وإنتاجية المياه ، بالنسبة لمنطقتي الدّراسـة.

وأخيرا يتمّ إنشاء عدّة مشاريع وتفعّل المحاكاة لل65 سنة، للتحصّل على نتيجة نهائيّة لكلّ مشروع تمكّن من توقّع خاصيّات المحصول المستقبلية.

كما وقع احتساب الاختبار الإحصائي "Test student" للإنتاجية، وهو اختبار لقياس الفرق المعنوي (Significant Difference) بين متوسطي عينتين سواء كانت عيّنات مستقلّة أو تابعة. استخدم في هذه الدّراسة لمقارنة متوسّط القيم المتوقّعة المستقبليّة بالنسبة لمتوسّط قيم الفترة المرجعيّة 2005-1985 ، وللتثبت من وجود اختلاف معنوي بين النتائج. كما تجدر الإشارة انّه يجب ان تفوق قيمة اختبار "Test student" 0.05.

6. تطبيق برنامج AquaCrop ومراحل تشغيله والسيناريوهات المدروسة للتغيرات المناخية

كما ذكرنا سابقا بعد إعداد كلّ الملفّات اللازمة لكلا الموقعين تبدأ عمليّة المعايرة. وبما أن المعاملات المقاسة هي معاملات ثابتة لا يمكن معايرتها فقد اقتصر العمل على معايرة المعاملات التالية بمنحها قيم مختلفة:

1. الرطوبة الابتدائية وهي حجم تخزين الماء في منطقة الجذور(TAW%)،
2. خصوبة التربة (Soil fertility SF)،
3. الأعشاب الطفيليّة (Weed)،
4. مؤشر الحصاد (Harvest Index HI)،
5. والناقليّة الهيدروليكية المشبّعة Ksat.

وفيما يلي بعض نتائج المعايرات المختلفة الخاصّة بمنطقتي الدّراسة. وقد لوحظ عبر إجراء العديد من هذه العمليّات، أن محصول الحبوب شديد الحساسية لمؤشّر الحصاد ولخصوبة التربة ولنسبة تغطية الأعشاب الضارّة لسطح التربة، وإذا كانت هذه النسبة ثابتة أو في ارتفاع طيلة فترة نموّ المحصول. يكون تأثير الرطوبة الابتدائية والناقليّة الهيدروليكية المشبّعة ضعيفا على الإنتاجية في حالة المحاصيل المروية كما يبدو من مقارنة نتائج المعايرات المختلفة لمحصول القمح المروي في الشبيكة (جدول17).

أما في حالة المحاصيل البعلية فتبقى شديدة الحساسية لمؤشّر الحصاد ولخصوبة التربة ولنسبة تغطية الأعشاب الضارّة لسطح التربة. كما لوحظ انّ تغيير الرطوبة الابتدائية اثّر على الإنتاجية في بعض السنوات التي يمكن أن يكون فيها الهطول المطري في بداية الموسم غير كاف كالأعوام 2010 و2013 و2015، كما يبيّنه جدول 16.

الجدول 16. أمثلة من بعض نتائج معايرات الكدية المنجزة

WEED25% Yield	WEED22% Yield	TAW45% Yield	TAW40% Yield	F85%+TAW40% Yield	SF85% Yield	SF80% Yield	HI46% Yield	HI50% Yield	HI48%+TAW50%+SF91% Yield	Observed Yield	
ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	YEAR
5,80	6,02	6,20	6,20	5,38	5,38	5,05	5,88	6,39	5,99	5,40	2008
5,83	6,05	6,23	6,23	5,41	5,41	5,08	5,92	6,43	6,04	3,65	2009
5,83	6,06	6,24	6,24	5,41	5,41	5,09	5,92	6,43	6,04	5,64	2010
5,83	6,05	6,24	6,24	5,44	5,44	5,09	5,93	6,45	6,04	5,56	2011
5,70	5,92	6,11	6,10	5,32	5,32	4,97	5,80	6,30	5,89	6,10	2012
5,78	6,00	6,19	6,18	5,39	5,37	5,05	5,88	6,39	5,98	6,00	2013
6,00	6,23	6,42	6,42	5,57	5,57	5,23	6,10	6,63	6,20	6,02	2014
5,89	6,12	6,30	6,30	5,47	5,46	5,14	5,98	6,50	6,10	5,94	2015
5,91	6,14	6,34	6,32	5,51	5,51	5,17	6,03	6,55	6,15	7,09	2016
5,85	6,08	6,26	6,26	5,44	5,44	5,10	5,94	6,46	6,05	7,07	2017

يمثّل العمود الأصفر الإنتاجية المقاسة في الحقل بينما تمثّل باقي الخانات أمثلة عن إنتاجيات محاكاة . ويمثّل العمود الأخضر النتيجة النهائيّة المرضيّة. وللتحصّل على النّتيجة النهائيّة، وجب مقارنة إنتاجية المحصول المحاكاة مع الإنتاجية الفعليّة باحتساب كلّ المؤشّرات الإحصائية السالف ذكرها.

وهذا مثال على نتائج هذه الاختبارات (جدول عدد 18): وتكون مقارنة الاختبارات الإحصائية بالاعتماد على الجدول التالي (عدد**19**) ، لتحديد مدى نجاحتها وللتثبّت من مدى نجاح المعايرة.

وقد اعتمد كنتيجة نهائيّة " للكدية" قيم المعلّمات التالية:

- مؤشر الحصاد HI39%،

الجدول 17. أمثلة من بعض نتائج معايرات الشبيكة المنجزة

WEED25% Yield	WEED22% Yield	TAW45% Yield	TAW40% Yield	F85%+TAW40% Yield	SF85% Yield	SF80% Yield	HI46% Yield	HI50% Yield	HI48%+TAW50%+SF91% Yield	Observed Yield	
ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	ton/ha	YEAR
5,80	6,02	6,20	6,20	5,38	5,38	5,05	5,88	6,39	6,20	5,40	**2008**
5,83	6,05	6,23	6,23	5,41	5,41	5,08	5,92	6,43	6,23	3,65	**2009**
5,83	6,06	6,24	6,24	5,41	5,41	5,09	5,92	6,43	6,24	5,64	**2010**
5,83	6,05	6,24	6,24	5,44	5,44	5,09	5,93	6,45	6,24	5,56	**2011**
5,70	5,92	6,11	6,10	5,32	5,32	4,97	5,80	6,30	6,10	6,10	**2012**
5,78	6,00	6,19	6,18	5,39	5,37	5,05	5,88	6,39	6,19	6,00	**2013**
6,00	6,23	6,42	6,42	5,57	5,57	5,23	6,10	6,63	6,42	6,02	**2014**
5,89	6,12	6,30	6,30	5,47	5,46	5,14	5,98	6,50	6,30	5,94	**2015**
5,91	6,14	6,34	6,32	5,51	5,51	5,17	6,03	6,55	6,35	7,09	**2016**
5,85	6,08	6,26	6,26	5,44	5,44	5,10	5,94	6,46	6,26	7,07	**2017**

الجدول 18. نتائج الاختبارات الإحصائية لبعض المعايرات

TAW30%+ SF85%	TAW30%	SF78% +weed20%	HI39%+SF82%+weed25%+TAW40	الكدية
0,71	0,73	0,78	0,77	r
0,56	0,52	0,58	0,54	RMSE
0,22	0,21	0,23	0,21	CV
-0,37	-0,20	-0,49	-0,26	EF
0,69	0,72	0,69	0,72	D

WEED25%	SF85%+ TAW45%	SF80%	HI48%+TAW50%+SF91	HI48%+TAW50%+SF91	الشبيكة
0,45	0,54	0,55	0,57	0,57	r
0,50	0,69	0,96	0,49	0,49	RMSE
0,08	0,12	0,16	0,08	0,08	CV
0,07	-0,81	-2,50	0,09	0,09	EF
0,28	0,45	0,40	0,37	0,37	D

- خصوبة التربة 82% وهي قريبة من المثاليّة،
- الرّطوبة الابتدائيّة في منطقة الجذور TAW=40%،
- نسبة الأعشاب الضارّة 25% وهي نسبة ثابتة طيلة الموسم،
- نسبة توسّع الغطاء النباتي في واجهة الأعشاب الضارّة CC=20% وهي نسبة مرتفعة.

وبالنسبة لموقع "الشبيكة" ففيما يلي المعلّمات النهائيّة:

- مؤشر الحصاد HI48%،
- خصوبة التربة % 91 وهي قريبة من المثاليّة،
- الرّطوبة الابتدائيّة في منطقة الجذور TAW50%،
- نسبة الأعشاب الضارّة 19% وهي نسبة جيّدة وثابتة طيلة الموسم،
- نسبة توسّع الغطاء النباتي في واجهة الأعشاب الضارّة CC=9% وهي نسبة مرتفعة.

ويبرز الجدول عدد **20** الإنتاجية الفعليّة الحقليّة والإنتاجية النهائيّة المحاكاة لكلّ من موقعي الدّراسة طيلة العشر سنوات. ونلاحظ وجود سنوات حيث تكون القيم غير اعتياديّة، فإمّا مرتفعة أو منخفضة أكثر من المعدّلات أو مفقودة.

الجدول 19. قيم التحقق من الاختبارات الإحصائية

	قيمة r	الملاحظة
Pearson correlation coefficient (R)	≥ 0.90	ممتازة
	0.80 - 0.89	جيّدة
	0.70 - 0.79	مقبولة
	0.50 - 0.69	متوسطة
	0 - 0.49	ضعيفة
	< 0	ضعيفة جدًا
Root Mean Square Error (RMSE)	قيمة RMSE	الملاحظة
	0 ?	ممتازة
Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)	قيمة NRMSE	الملاحظة
	≤ 5%	ممتازة
	6 - 15%	جيّدة
	16 - 25%	مقبولة
	26 - 35%	متوسطة
	36 - 45%	ضعيفة
	> 46%	ضعيفة جدًا
Sutcliffe model efficiency coefficient (EF)-Nash	قيمة EF	الملاحظة
	≤ 0.80%	ممتازة
	0.60 - 0.79	جيّدة
	0.40 - 0.59	مقبولة
	0 - 0.39	متوسطة
	(-10) - 0	ضعيفة
	(-10) >	ضعيفة جدًا
Willmott's index of agreement (d)	قيمة EF	الملاحظة
	≥ 0.90	ممتازة
	0.80 - 0.89	جيّدة
	0.65 - 0.79	مقبولة
	0.50 - 0.64	متوسطة
	0.25 - 0.49	ضعيفة
	< 0.25	ضعيفة جدًا

وهي تمثّل سنوات شاذّة يمكن تفسيرها بانّ المنطقة شهدت جفافا أو أمطارا تفوق المعدّلات. وبما أن الأمطار في تونس موضعيّة ومتغيّرة، خاصّة كون محطّة قياس الأمطار تبعد عن الحقل بالنسبة "للكدية". أما بالنسبة للموقع الثاني فيمكن تفسيرها بتغيّر نوع القمح المزروع على مدى العشر سنوات. هذا وقد تمّ احتساب معدّل غلاّت المحصول والمؤشّرات الإحصائية بدون قيم السّنوات الشّاذة (المدوّنة باللون الأحمر). ويبلغ الفرق بين المحصول التجريبي والمحاكي في حقل الكدية 0.07 طن/هك وفي حقل الشبيكة 0.04 طن/هك.

يساوي" معامل التحديد" (0.59 (R2 "للكدية "وهي قيمة مقبولة، بما انّ القيمة تكون مقبولة من 0.5 وكلّما اقتربت من 1 كانت اكثر جودة. لكنّنا نجده يساوي 0.32 في "الشبيكة" وهي قيمة ضعيفة (الرسم البياني عدد4). ولكن في مثل هذه المقارنات لا نعتمد مؤشّرا واحدا.

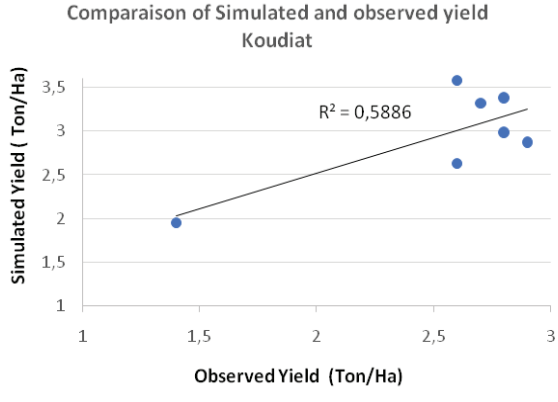
باحتساب بقيّة المؤشّرات الإحصائية كانت النتيجة كما في الجدول عدد21. حيث كانت عموما مقبولة لموقع "الكدية" : حيث انّ قيم معامل الارتباط" (r) و "مؤشّر الاتّفاق"(d) و"جذر متوسط مربّع الخطأ المعاير"CV مقبولة وهذا يعني انّ الاختلاف النسبي بين نتائج النموذج والمراقبات ضعيف نوعا ما. بالنسبة لقيم "جذر متوسط مربّع الخطأ "(RMSE) فهي متوسّطة. أمّا قيمة "معامل كفاءة النموذج ناش –ساتكليف" (EF) فقد كانت ضعيفة.

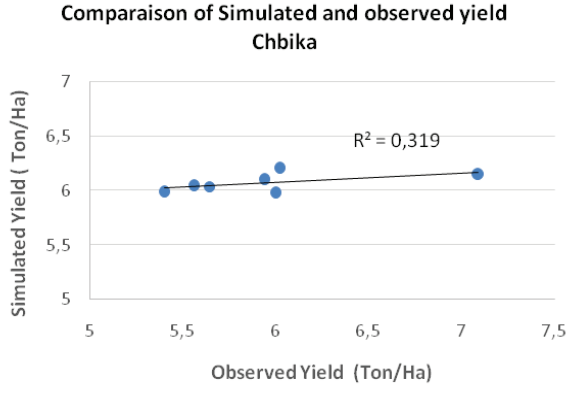
الجدول 20. مقارنة الإنتاجية الحقليّة و المحاكاة لموقع الشبيكة و الكدية

الإنتاجية المحاكاة طن/هك	الإنتاجية المقاسة طن/هك	الشبيكة
2008	5,40	5,99
2009	3,65	6,04
2010	5,64	6,04
2011	5,56	6,04
2012	6,10	5,89
2013	6,00	589
2014	6,02	6,20
2015	5,94	6,10
2016	7,09	6,15
2017	7,07	6,05
المعدّل	**6,09**	**6,05**

الإنتاجية المحاكاة طن/هك	الإنتاجية المقاسة طن/هك	الشبيكة
2008	1,4	1,959
2009	2,8	3,381
2010	2,6	2,634
2011	2,6	3,574
2012		2,127
2013	2,9	2,873
2014	2,7	3,319
2015	2,5	1,439
2016	2,8	2,986
2017	3,5	2,82
المعدّل	**2,7**	**2,77**

الشكل البياني 4. مقارنة الإنتاجيّة المقاسة والمحاكاة للموقعين واحتساب معامل التحديد





الجدول 21. قيم الاختبارات الإحصائية لنتائج المعايرة النهائيّة

نتائج الاختبارات الإحصائية :الكدية		
r	0,77	مقبولة
RMSE	0,54	متوسّطة
CV	0,21	مقبولة
EF	-0,26	ضعيفة
D	0,72	مقبولة

نتائج الاختبارات الإحصائية : الشبيكة		
r	0,57	متوسّطة
RMSE	0,49	متوسّطة
CV	0,08	ممتازة
EF	0,09	متوسّطة
D	0,37	ضعيفة

بالنسبة "للشبيكة" فنجد مؤشّر واحد وهو "جذر متوسط مربّع الخطأ المعاير" (CV) الذّي له قيمة ممتازة. وفيما يخص باقي المؤشّرات فكلّها متوسّطة فضعيفة.

وعلى اثر التحصّل على النتيجة المناسبة للموقعين تمّت إعادة إنشاء المشاريع، لكن بإدخال سيناريوهات التغيّرات المناخيّة هذه المرّة في الملفّات المناخيّة مع حفظ باقي الملفّات كما هي. وهذا بغية دراسة تأثير التغيّرات المناخيّة باستخدام البيانات الحراريّة والمطريّة المستقبليّة على المدى القريب (2020-2030) وعلى المدى المتوسّط (2040-2050) بالنسبة للمعلّمات التّالية :

- إنتاجيّة المحصول،
- إنتاجية المياه،
- طول موسم النّمو،
- مجموع الاستهلاك المائي (التبخر النتح المرجعي والتبخر نتح الفعلي).

وكما ذكرنا سابقا فقد اعتمد في هذه الدّراسة سيناريو RCP4.5 وسيناريو RCP8.5 لكلّ من النماذج الثلاثة CNRM-CM5 وEC-Earth وGFDL-ESM2M. ولكلّ سيناريو أعدّ ملف لتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوّي ثابت بقيمة 350 جزء في المليون وملف لتركيز متزايد لثاني أكسيد الكربون. وذلك لدراسة تأثير CO_2 في الغلاف الجوّي على إنتاجية المحصول.

وعلى اثر التحصّل على النتائج النهائيّة يقع احتساب معدّلات كلّ من المحصول وإنتاجية المياه وطول موسم النمو ومجموع التبخر نتح المرجعي والفعلي خلال الفصل بالنسبة للثلاث نماذج حتّى تكون القيم اقرب للواقعيّة ونتفادى آيّ شواذ في كلّ نموذج على حدة. كما صارت مقارنة القيم المستقبليّة بالنسبة للفترة المرجعيّة 1985-2005 قصد استخراج نسبة الزيادة أو النّقص على المدى القريب والمتوسّط.

ولمزيد التأكد من توافق القيم المستقبليّة مع القيم الحاليّة تمّ احتساب الاختبار الإحصائي "Test student" لمعدّل بيانات إنتاجية المحصول مع عدم اخذ الاعتبار للسّنوات الفاشلة.

7. نتائج الدراسة

البيانات المدخلة في منظومةAquaCrop هي بيانات متجانسة على كامل الحقل يعني أنها لا تأخذ بعين الاعتبار الفروقات الموجودة والمتعلّقة بالتربة أو المحصول أو حتّى إدارة الحقل، كما أنها تعتبر انّ نوع المحصول ويوم الزّراعة لا يتغيّران من سنة إلى أخرى. وهو أمر غير واقعي بالمرّة.

وقد تمّ رسم الجداول واحتساب نسب الزيادة أو الانتقاص لكلّ من إنتاجية المحصول وإنتاجية المياه وطول موسم النمو والتبخر النتح المرجعي والتبخر نتح الفعلي وأمطار موسم النموّ لفترات 2020-2030 و2040-2050 مقارنة بالفترة الأساسية 1985-2005 لكلّ نموذج على حده للمقارنة بينها (الجداول في الملحق61 - 62 بالنسبة للكدية و64-63 بالنسبة للشبيكة)، وفيما يخصّ الدراسة فهي تعتمد على نتائج الثلاث نماذج مع بعض لاجتناب المغالاة أو التقصير في القيم المقدّمة لكلّ نموذج. ولذلك تمّ احتساب معدّلات النماذج واستخراج النّسب الايجابيّة أو السلبيّة لفترات الدّراسة بالنسبة للفترة المرجعيّة وهي ملخّصة في الجداول من 22 إلى 37 بالنسبة لموقع "الكدية" ومن 39 إلى 54 بالنسبة لموقع "الشبيكة".

نتائج موقع الكدية

سيناريو RCP4.5

أظهرت نتائج المحاكاة أنّ تأثيرات تغير المناخ ستكون سلبية للسيناريو RCP4.5 Fix بالنسبة لإنتاجية المحصول حيث يصل الانخفاض إلى 7 % في الفترة 2020-2030 ، كما يبيّن اختبار" Test-student " عدم وجود فروق معنويّة للمتوسّطات حيث يفوق الاختبار مستوى الثقة ($\alpha = 0.05$)، جدول عدد38. كما أنّ ارتفاع الحرارة أدّى إلى نقص طول موسم النمو (3.4 % على المدى المتوسط). وفيما يخصّ مجموع الاستهلاك المائي فسيشهد التبخر نتح الفعلي انخفاض لمقدار 6.6% ، والتبخر النتح المرجعي انخفاض لمقدار 4%.

عند تزايد تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوّي سيكون هناك تغير ايجابي للمحصول حيث أنّه سيرتفع لنسبة 17.41% خلال فترة 2040-2050 و كنتيجة لذلك يكون اختبار"Test-student" أقلّ من 0.05. كما سيكون هناك ارتفاع للإنتاجية المائيّة لنسبة 26 % في فترة 2040-2050. أمّا بالنسبة لباقي المعلّمات فستنخفض كلّها خاصّة على المدى المتوسّط.

سيناريو RCP8.5

- انعكاسات هذا السيناريو ستكون زيادة المحصول بشكل ملحوظ في الفترة الزمنية المستقبلية بنسبة تصل إلى 13.9% لثاني أكسيد الكربون متغيّر. لكن في حالة ثباته فستنخفض الإنتاجية لنسبة 4.4% على مدى قريب بينما سترتفع بنسبة ضعيفة تساوي 0.2 % على المدى المتوسّط. وتنعكس هذه النتائج على اختبار "T" حيث تفوق كل قيمه المستوى المعنوي ($\alpha = 0.05$) في جميع حالات ما عدى السيناريو RCP8.5 ولثاني أكسيد الكربون متغيّر بالنسبة للفترة 2040-2050.

- بالنسبة للإنتاجية المائيّة فسترتفع في جميع الحالات لتصل لنسبة 33.3% في حدود 2040-2050 ولتركيز ثاني أكسيد الكربون متغيّر .

- وقد اتفقت جميع السيناريوهات على انخفاض طول موسم النمو يبلغ أقصاه نسبة 4.4% سواء كان تركيز ثاني أكسيد الكربون ثابت أو متزايد.

الجدول 22. متوسط إنتاجية القمح في الكدية والتغير المتوقع في الإنتاجية من 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 سنة الأساس (طن/هكتار) ((طن/هكتار)	2,72	
التغير المطلق (طن/هكتار)	0,15	0,47
التغير النسبي (%)	5,69	17,41

الجدول 23. متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 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)	169	165	163
التغير المطلق (يوم)	-	-3,64	-5,79
التغير النسبي (%)	-	-2,15	-3,42

الجدول 24. التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 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)	512,25	499,18	491,94
التغير النسبي (%)	-	-2,6	-4,0
التبخر نتح الفعلي (مم)	398,4	389,1	391,4
التغير النسبي (%)	-	-2,3	-1,8

الجدول 25. الإنتاجية المائية خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 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 (كغ/م^3) (مم)المائية(مم)	0,81	0,90	1,01
التغير النسبي (%)	-	11,3	26,0

الجدول 26. متوسط إنتاجية القمح في الكدية 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(2040-2050)
الإنتاج في سنة الأساس (طن/هكتار) (طن/هكتار) (((طن/هكتار)	2,63	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0,2	-0,1
التغير النسبي (%)	-7,0	-2,8

الجدول 27. متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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)	169	165	163
التغير المطلق (يوم)	-	-3,8	-5,8
التغير النسبي (%)	-	-2,2	-3,4

الجدول 28. التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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)	512,25	499,2	491,9
التغير النسبي (%)	-	-2,6	-4,0
التبخر نتح الفعلي (مم)	335,2	315	313,2
التغير النسبي (%)	-	-6,0	-6,6

الجدول 29. الإنتاجية المائية 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 (كغ/م^3)	0,78	0,76	0,81
التغير النسبي (%)	-	-2,5	3,7

الجدول 30. متوسط إنتاجية القمح في الكدية والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)	متوسط التغير خلال الفترة(2040-2050)
الإنتاج في سنة الأساس (طن/هكتار)	2.65	
التغير المطلق (طن/هكتار)	0,1	0,4
التغير النسبي (%)	4,2	13,9

الجدول 31. متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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)	169	165	162
التغير المطلق (يوم)	-	-3,8	-7,4
التغير النسبي (%)	-	-2,3	-4,4

الجدول 32. التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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)	526,9	515,8	498,4
التغير النسبي (%)	-	-2,1	-5,4
التبخر نتح الفعلي (مم)	338,8	313,2	301,8
التغير النسبي (%)	-	-7,6	-10,9

الجدول 33. الإنتاجية المائية خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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 (كغ/م^3)	1,60	1,97	2,14
التغير النسبي (%)	-	22,9	33,3

الجدول 34. متوسط إنتاجية القمح في الكدية 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 سنة الأساس (طن/هكتار)	2.59	
التغير المطلق (طن/هكتار)	-0.11	0.006
التغير النسبي (%)	-4.4	0.2

الجدول 35. متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050من 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)	169	165	161
التغير المطلق (يوم)	-	-3,82	-7,40
التغير النسبي (%)	-	-2,26	-4,38

الجدول 36. التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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)	526,9	515,8	498,4
التغير النسبي (%)	-	-2,1	-5,4
التبخر نتح الفعلي (مم)	338,83	314,03	303,61
التغير النسبي (%)	-	-7,32	-10,4

الجدول 37. الإنتاجية المائية 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 (كغ/م^3)	0,75	0,729	0,76
التغير النسبي (%)	-	-2,98	1.74

يبيّن الجدول الموالي (رقم 38) نتائج اختبار"Test-student" لإنتاجية القمح لموقع "الكدية":

الجدول 38. نتائج "Test-student" لموقع الكدية

Student test for Koudiat		
	المقارنة بين الفترة المرجعيّة وفترة 2020/2030	المقارنة بين الفترة المرجعيّة وفترة 2040/2050
RCP4.5 inc	0,32	0,01
RCP4.5 Fix	0,18	0,62
RCP8.5 inc	0,51	0,04
RCP8.5 Fix	0,40	0,49

كما تمّ احتساب هذا المؤشّر لكلّ نموذج على حده (النتائج في الملحق جدول عدد60) للمقارنة بينها. وحسب هذه النتائج فقد كان اختبار "Test-student" في معظم السيناريوهات يفوق مستوى الثقة ويشير إلى عدم وجود فروق كبيرة بين الإنتاجية المستقبليّة على المدى القريب والمتوسّط والإنتاجية في الفترة المرجعيّة .

نتائج موقع الشبيكة

- أوضحت النتائج (جداول من 39 إلى 54) أنّ عائد القمح المروي سيشهد ارتفاعا بالنسبة لجميع السيناريوهات، وستكون زيادة المحصول أعلى في حالة تزايد ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوّي وتبلغ أعلى النسب 19.3% بالنسبة للسيناريو 4,5 RCP و21.4% بالنسبة للسيناريو 8,5 RCP للفترة 2040-2050. وهو ما يعكس أهمية الريّ التكميلي في زيادة الإنتاجية مقارنة بالموقع الأول. ويبيّن اختبار " T " أن في ظلّ تركيز متزايد لثاني أكسيد الكربون فانّ النتائج اقل من مستوى الثقة 0.05. وهذا يفسّر بوجود فروق ذات دلالة إحصائية للمتوسّطات جدول عدد 55.
- بالنسبة لإنتاجية المياه فهي سترتفع أيضا لجميع السيناريوهات، حيث ستبلغ 28.2 % بالنسبة للسيناريو RCP 4,5 و36.3 % بالنسبة للسيناريو RCP 8,5 للفترة 2040-2050 ولثاني أكسيد الكربون متزايد.
- أمّا طول موسم النمو فسينخفض لجميع السيناريوهات، ويصل النقصان إلى 4.4 % بالنسبة ل RCP 4,5 و6 % بالنسبة لRCP 8,5 . ويفسّر نقص طول موسم النمو بالنسبة للموقعين بارتفاع درجات الحرارة التّي تسرّع عمليّة النموّ ومرحلة الشيخوخة.
- بالنسبة للتبخر نتح الفعلي فسينخفض لمقدار 5.2 % بالنسبة للسيناريو RCP 4,5 في الفترة (2050-2040) وبنسبة 8.7% للسيناريو التّشاؤمي RCP 8,5.
- وفيما يخص التبخر النتح المرجعي فسينخفض لنسبة 6.6 ٪ بالنسبة للسيناريو RCP 4,5 ولنسبة 11.1 ٪ بالنسبة للسيناريو RCP 8.5 مع تزايد ثاني أكسيد الكربون.

الجدول 39. متوسط إنتاجية القمح في الشبيكة والتغير المتوقع في الإنتاجية من 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 سنة الأساس (طن/هكتار)	5.38	
التغير المطلق (طن/هكتار)	0.66	1.04
التغير النسبي (%)	12.3	19.3

الجدول 40. متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050من 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)	152	148	145
التغير المطلق (يوم)	-	-4,2	-6,7
التغير النسبي (%)	-	-2,8	-4,4

الجدول 41. التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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)	394	379	373
التغير النسبي (%)	-	-3,8	-5,2
التبخر نتح الفعلي (مم)	338	326	316
التغير النسبي (%)	-	-3,6	-6,6

الجدول 42. الإنتاجية المائية 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 (كغ/م^3) (مم)المائية(مم)	1.6	1.9	2.1
التغير النسبي (%) (%)	-	16,2	28,2

الجدول 43. متوسط إنتاجية القمح في الشبيكة 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(2040-2050)
الإنتاج في سنة الأساس	5.21	
التغير المطلق (طن/هكتار)	0.01	0.06
التغير النسبي (%)	0.1	1.1

الجدول 44. متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050من 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)	152	148	145
التغير المطلق (يوم)	-	-4,2	-6,7
التغير النسبي (%)	-	-2,8	-4,4

الجدول 45. التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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	379	373
التغير النسبي (%)	-	-3,8	-5,2
التبخر نتح الفعلي (مم)	338	329	321
التغير النسبي (%)	-	-2,8	-5,3

الجدول 46. لإنتاجية المائية 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 (كغ/م^3)	1.55	1.6	1.65
التغير النسبي (%) (%)	-	2.5	6.3

الجدول 47. متوسط إنتاجية القمح في الشبيكة والتغير المتوقع في الإنتاجية من اجل السيناريو RCP8.5 لحالة تغير تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون

	متوسط التغير خلال الفترة (2020-2030)	متوسط التغير خلال الفترة (2040-2050)
الإنتاج في سنة الأساس (طن/هكتار)	5.39	
التغير المطلق (طن/هكتار)	0.76	1.15
التغير النسبي (%)	14.2	21.4

الجدول 48. متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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)	152	149	143
التغير المطلق (يوم)	-	-3,24	-9,1
التغير النسبي (%)	-	-2,1	-6

الجدول 49. التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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)	394	379	360
التغير النسبي (%)	-	-3,8	-8.7
التبخر نتح الفعلي (مم)	340	323	302
التغير النسبي (%)	-	-4.8	-11.1

الجدول 50. الإنتاجية المائية خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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 (كغ/م^3) (مم)المائية(مم)	1.6	1.9	2.18
التغير النسبي (%) (%)	-	19	36

الجدول 51. متوسط إنتاجية القمح في الشبيكة 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 سنة الأساس (طن/هكتار)	5.23	
التغير المطلق (طن/هكتار)	0.033	0.08
التغير النسبي (%)	0.6	1.5

الجدول 52. متوسط طول موسم النمو خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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)	152	149	143
التغير المطلق (يوم)	-	-3,24	-9,1
التغير النسبي (%)	-	-2,1	-6

الجدول 53. التبخر-النتح المرجعي والفعلي خلال فترة الأساس 1986-2005 وخلال الفترات 2020-2030 و2040-2050 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)	394	377	359
التغير النسبي (%)	-	-4.0	-8.7
التبخر نتح الفعلي (مم)	340	328	311
التغير النسبي (%)	-	-3.5	-8.4

الجدول 54. الإنتاجية المائية 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 (كغ/م^3)	1.6	1.6	1.71
التغير النسبي (%)	-	3.6	10.6

ويبيّن الجدول 55 نتائج اختبار "Test-student". كما تظهر النتائج لكلّ نموذج على حده (النتائج في الملحق جدول عدد65)، أنّ بالنسبة لهذا الموقع فانّ القيم تفوق المستوى المعنوي ($\alpha = 0.05$) بالنسبة لكل السيناريوهات في حالة ثبات ثاني أكسيد الكربون . أما في حالة تغير ثاني أكسيد الكربون فان قيم اختبار "T" اقل من 0.05 هذا لانّ الاختلاف في القيم المستقبليّة سيكون كبيرا نوعا ما مقارنة بالفترة المرجعيّة.

الجدول 55. نتائج "Test-student" لموقع "الشبيكة"

Student test for Chbika		
	المقارنة بين الفترة المرجعيّة وفترة 2020/2030	المقارنة بين الفترة المرجعيّة وفترة 2040/2050
RCP4.5 inc	3,04E-12	4,02E-17
RCP4.5 Fix	0,88	0,14
RCP8.5 inc	1,44E-12	2,13E-18
RCP8.5 Fix	0,41	0,05

تؤكّد جميع الدراسات التي أجريت في مجال التغيّرات المناخيّة وتأثيرها على الموارد الطبيعيّة للبلاد التّونسيّة على تراجع في كميّات الموارد المائيّة السطحيّة منها والجوفيّة، نظرا للانخفاض المتوقّع للتساقطات. وهو ما سينعكس سلبا على نسب المياه المخصّصة للريّ مع إعطاء الأولويّة لمياه الشرب خاصّة أنّ تونس تعاني بالفعل من الإجهاد المائي ومن التقلّبات المناخيّة. ولذلك كان من الضروري دراسة تأثير نقص كميّات مياه الريّ على إنتاجية المحصول. وقد تمّ الاعتماد على الدّراسات الوطنيّة كمرجع لتقدير نسب نقص كميّات الري، وهي كالتّالي: المحافظة على الكميات المستعملة حاليا للفترة المرجعيّة 1985-2005، نقص ب25٪ للفترة 2020-2030 و ب40٪ على المدى المتوسّط 2040-2050. وتبيّن الجداول من56 إلى 59 نتائج متوسّط مخرجات النماذج الثلاثة لجميع السيناريوهات.

السيناريو RCP4.5

سيكون هناك انخفاض في إنتاجية المحصول مقارنة بالفترة المرجعيّة بالنسبة للفترة 2020-2030 بالنسبة لثاني أكسيد الكربون ثابت (6.7- ٪) بينما ستشهد ارتفاعا لثاني أكسيد الكربون متزايد (4.7٪) بالرغم من نقص كميّات الأمطار،

أمّا على المدى المتوسّط، فسترتفع الإنتاجية مع تزايد ثاني أكسيد الكربون لتصل 11.7٪ ولكن مع ثبات ثاني أكسيد الكربون فسيكون هناك انخفاض بنسبة 5.5٪ .

السيناريو RCP8.5

- نلاحظ ارتفاعا ب 4.4٪ في إنتاجيّة المحصول على المدى القصير ول CO_2متزايد رغم تراجع كميّات الأمطار ب15 مم، و انخفاضا ب8.1 ٪ ل CO_2 ثابت ،
- وبالنسبة للفترة 2040-2050 سيزداد المردود بما يقارب 12.3٪ لثاني أكسيد الكربون متزايد رغم انخفاض الأمطار ب39 مم، في حين يشهد انخفاضا ب 5.5٪ لثاني أكسيد الكربون ثابت.

ونلاحظ من هذه النتائج تأثير تزايد تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوّي على ترفيع إنتاجيّة المحصول كما نستنتج أيضا أنّه مع نقص كميّات الريّ المخصّصة سواء

ب25٪ أو 40٪ و تراجع الأمطار مع ثبات CO_2 فإنّ الإنتاجية ستنخفض بنسب متفاوتة بين 5٪ و 8٪. كما نلاحظ ان الفروقات في الانتاجيات بين نقص الري ب25 ٪ و 40٪ ضعيفة وتكاد لا تحتسب.

الجدول 56. نتائج مخرجات النماذج المعتمدة للإنتاجية لموقع الشبيكة مع تخفيض كميّات الري بنسب 25٪ و40٪ للسيناريو RCP4.5 CO_2 increased

RCP 4.5 CO_2 increased		
	متوسّط التغيير للفترة 2030-2020 مع انخفاض في كميّات الريّ ب25٪	متوسّط التغيير للفترة 2050-2040 مع انخفاض في كميّات الريّ ب40٪
محصول الفترة المرجعيّة (طن/هك)	5,38	
التغيير بالنسبة للفترة المرجعيّة (طن/هك)	0.25	0.63
التغيير النسبي (٪)	4.7	11.7
كميّة تغيّر الأمطار بالنسبة للفترة المرجعيّة (مم)	-21,1	-27,9

الجدول 57. نتائج مخرجات النماذج المعتمدة للإنتاجية لموقع الشبيكة مع تخفيض كميّات الري بنسب 25٪ و40٪ للسيناريو RCP4.5 CO_2 Fix

RCP 4.5 CO_2 Fix		
	متوسّط التغيير للفترة 2030-2020 مع انخفاض في كميّات الريّ ب25٪	متوسّط التغيير للفترة 2050-2040 مع انخفاض في كميّات الريّ ب40٪
محصول الفترة المرجعيّة (طن/هك)	5,21	
التغيير بالنسبة للفترة المرجعيّة (طن/هك)	-0.35	-0.28
التغيير النسبي (٪)	-6.7	-5.5
كميّة تغيّر الأمطار بالنسبة للفترة المرجعيّة (مم)	-21,1	-27,9

الجدول 58. نتائج مخرجات النماذج المعتمدة للإنتاجية لموقع الشبيكة مع تخفيض كميّات الري بنسب 25٪ و40٪ للسيناريو RCP8.5 CO_2 increased

RCP 8.5 CO_2 increased		
	متوسّط التغيير للفترة 2030-2020 مع انخفاض في كميّات الريّ ب25٪	متوسّط التغيير للفترة 2050-2040 مع انخفاض في كميّات الريّ ب40٪
محصول الفترة المرجعيّة (طن/هك)	5,39	
التغيير بالنسبة للفترة المرجعيّة (طن/هك)	0.23	0.66
التغيير النسبي (٪)	4.4	12.3
كميّة تغيّر الأمطار بالنسبة للفترة المرجعيّة (مم)	-14,8	-39,4

الجدول 59. نتائج مخرجات النماذج المعتمدة للإنتاجية لموقع الشبيكة مع تخفيض كميّات الري بنسب 25٪ و40٪ للسيناريو RCP8.5 CO_2 Fix

RCP 8.5 CO_2 Fix		
	متوسّط التغيير للفترة 2030-2020 مع انخفاض في كميّات الريّ ب25٪	متوسّط التغيير للفترة 2050-2040 مع انخفاض في كميّات الريّ ب40٪
محصول الفترة المرجعيّة (طن/هك)	5,23	
التغيير بالنسبة للفترة المرجعيّة (طن/هك)	-0.42	-0.29
التغيير النسبي (٪)	-8.1	-5.5
كميّة تغيّر الأمطار بالنسبة للفترة المرجعيّة (مم)	-14,8	-39,4

8. شرح ومناقشة النتائج وانعكاساتها على الزراعة في منطقة الدّراسة

أظهرت النتائج أنّ بالنسبة للقمح البعلي فإنّ خسارة المحصول سالبة بشكل ملحوظ في الفترة الزمنية المستقبلية مع تركيز ثابت لـ CO_2 يساوي 350ppm لكل من السيناريو RCP 5,4 وRCP 8,5. حيث أنّ ارتفاع الحرارة خاصّة القصوى و انخفاض الأمطار تخلق ظروف زراعيّة جافّة و توصل النبتة إلى حالة الإجهاد المائي و بالتّالي الحدّ من إنتاجيتها.

كما أنّ ارتفاع درجات الحرارة يمكن أن يسبّب مخاطر أخرى كالحرق واضطراب الزهر والتلقيح وفترات الإثمار.

ويجدر بالذكر أنّ موقع الدّراسة يعود بالمتابعة المستمرّة للمعهد الوطني للزراعات الكبرى ممّا يعني أنّ المحصول لا يتعرّض لأي إجهاد آخر غير الإجهاد المائي (كإجهاد الآفات الزراعيّة أو الأعشاب الضارّة أو الخصوبة). وهذه الإجهادات هي معلمات يكون النموذج AquaCrop شديد الحساسية عليها .وهذا ما يثير القلق بالنسبة لباقي الأراضي حيث إضافة لإجهادات الخصوبة والأسمدة التي تشهدها التربة، ستؤثر التغيرات المناخية بإجهادات مائية إضافية ستكون لها منعكسات خطيرة وستكون نسب خسارة المحصول أكثر بكثير من هذا الموقع.

بينما على عكس موقع "الكدية" ، موقع "الشبيكة" سيشهد زيادة في المحصول وذلك كون الري التكميلي يعوض نقص الأمطار وحتّى بعد الحصاد هناك زرع لمحاصيل أخرى سقويّة ممّا يوفر رطوبة إبتدائيّة مثالية لنمو المحصول.

في المقابل نلاحظ من نتيجة الموقعين أنّ مع افتراض وجود تزايد لتركيز ثاني أكسيد الكربون فهو يساعد على ارتفاع إنتاجية المحصول ويفسّر ذلك بأنّه يعزّز نشاط التمثيل الضوئي للنباتات ويحدّ من النتح الذي يؤدي إلى كفاءة أفضل لاستخدام المياه وسيؤدي الجمع بين هذه العوامل إلى زيادة كبيرة في إنتاج الكتلة الحيويّة المحتملة. ولكن هذا لا يشجّع على الترفيع في تركيز ثاني أكسيد الكربون لأنّه رغم تأثيره الايجابي على الإنتاجية إلا انّه يؤدي إلى تقليل جودة التغذية للمحصول من قصور في الزنك والحديد والبروتين وماله من انعكاسات سلبية على صحّة المستهلكين .

أيضا بالنسبة لموقع الشبيكة فقد تمّ استنتاج أنّ الاقتصاد في مياه الريّ بنسبة 25٪ على المدى القصير و40٪ للفترة 2040-2050 لن يضرّ بإنتاجية المحصول بالنسبة لثاني أكسيد الكربون متزايد بل بالعكس سيكون هناك ارتفاع في الغلات وهذا نتيجة تأثير ثاني أكسيد الكربون، بينما أظهرت المحاكاة انخفاضا في المحصول بنسب لا تتعدّى ٪ 8 لمختلف السيناريوهات. كما انه لا يوجد اختلاف ملحوظ بين إنتاجيات نقص الري ب 25٪ و40٪، مما يمكّن من تحديد نسب المياه التي يمكن توفيرها في حالة اللجوء إلى سياسة الاقتصاد في المياه دون المس بكميات الغلات المنتظرة.

أما فيما يخص طول موسم النمو فسينخفض في الموقعين لجميع السيناريوهات وذلك نظرا لتأثير ارتفاع الحرارة التي تؤدي إلى تعجيل معظم العمليّات الفسيولوجيّة وتسرّع عمليّة النمو بتسريع مرحلة الشيخوخة.

وكملخّص لتطبيق سيناريوهات التغيّر المناخي فإننا نلاحظ انّ آثار ارتفاع الحرارة ونقص الأمطار على غلات المحاصيل خاصّة منها البعليّة ستكون جسيمة، وتشكل مخاطر كبيرة على المزارعين بالخصوص الصغار وذوي الدّخل المحدود. وبالتالي هي تشكّل

خطرا على الأمن الغذائي الإقليمي خاصة بالنظر إلى النمو السكاني السريع وتقلّص نسبة الأراضي الفلاحية لفائدة التهيئة العمرانيّة ، مما يستدعي زيادة الإنتاج الغذائي .كما نلاحظ انّ السيناريو التشاؤمي RCP8.5 ستكون انعكاساته أخطر سواء على كميّة المحصول أو على نوعيّته وهو ما سيلحق مشاكل عجز غذائي كمّي ونوعي. لذا يكمن الحل في التخفيف من أسباب تغير المناخ وتطبيق طرق التكيّف اللازمة لا سيّما تغيير مواعيد الزراعة وتغيير أصناف المحاصيل وزيادة استخدام الأسمدة في المزارع مع المراقبة لانعكاساتها السّلبيّة على الصحّة وعلى تلوّث الموائد المائيّة. وبمزيد من إجراء المحاكاة بمنظومة AquaCrop الذي سيساعد على تحليل الأمور وإعطاء نتائج قريبة من الواقع لصانعي القرارات وأغلبية المزارعين.

9. انعكاسات الدراسة على السياسات الزراعية والاقتصاد الوطني

تظهر هذه الدّراسة مدى تأثير ارتفاع الحرارة ونقص الأمطار المستقبليّة على محصول الحبوب من ناحية نقص الكميات وحتى تأثر جودة المحصول والتي تبرز في نقص طول موسم النمو، إضافة للتأثير السلبي للحرارة المرتفعة على النبات. ويجدر بالذكر أن هذا الانعكاس السّلبي سيخصّ في مرتبة أولى الحبوب البعلية ثمّ الحبوب المرويّة، نظرا أنّ نقص التساقطات ستؤثّر على كميّات المياه المخزّنة سطحيّا وجوفيّا، وهي مصادر توفير مياه الريّ . وبما أنّ الحبوب في تونس هي زراعة إستراتيجية. فهذا ينبئ بمشاكل كبيرة من ناحية الميزان الاقتصادي ومن ناحية الأمن الغذائي الوطني، ويبرز مدى هشاشة قطاع الحبوب تجاه الانعكاسات المتوقعة للتغيرات المناخية. وإضافة لارتفاع درجات الحرارة خاصّة الحرارة القصوى ونقص الأمطار فانّ بلادنا ستشهد زيادة حدّة وتواتر الظواهر المناخية القصوى على غرار الجفاف الطويل المدى وهو ما تشهده في الثلاث السنوات الأخيرة، وموجات الحرّ الشديدة والعواصف والفيضانات التي ستزيد من الضغوطات الحالية على الفلاحين وعلى خصوبة التربة والموارد المائية والمساحات المزروعة. وهي كلّها تهديد بيئي يتعيّن على تونس مواجهته. لذلك من الضروري الأخذ بعين الاعتبار لهذه التأثيرات في تحديد السياسات الزراعية والاقتصاد الوطني التونسي.

كما تمكّن هذه الدّراسة من معايرة جدول الري بالنسبة للمحاصيل المروية وهو ما يمكن من فحص والتحقق من كميات المياه اللازمة لتحقيق نفس الإنتاجية المقاسة. وغالبا ما تكون نتيجة هذه المعايرة كميات أقلّ من المياه المستعملة لنفس الإنتاجية ، وهو ما يفيد سياسة الاقتصاد في الري المعتمدة لبلادنا.

من ناحية أخرى يمكن الإستفادة من نموذج AquaCrop بمحاكاة عدّة أنواع أخرى من الحبوب في حقول مطرية أو مروية قصد المقارنة بينها لمعرفة اي الأنواع هي الأكثر تأقلما مع الأوضاع المناخية المستقبليّة مع نقص الأمطار وارتفاع الحرارة.

أيضا يمكننا مقارنة عدة أنواع بالنسبة للحقول المروية لمعرفة أي الأنواع يمكنها إنتاج غلة محصول أكثر بنفس كميات الري المستعملة. هذا النوع من التمرين يمكّن من إختيار المحاصيل الأكثر ديمومة مع التغيرات المناخية. كما يمكّن من اختيار الحبوب ذات طاقة إنتاج عالية خاصّة وانّ المخطط الخماسي 2016-2020 لقطاع الحبوب يسعى إلى تحقيق معدل إنتاج في حدود 19.6 مليون قنطار مقابل 19 مليون قنطار تم إنجازها خلال الفترة 2011-2015، أي بنسبة نمو سنوية بحوالي 13%. كما يهدف المخطط إلى ضمان مستوى إنتاج أدني بـ 13 مليون قنطار خلال السنوات الجافة.

10. الخطّة المستقبليّة للتوسّع في استخدام البرنامج لدراسة تأثير التغيّرات المناخيّة

بما أنّ نموذجAquaCrop اثبت نجاحه في موقعي الدراسة فمن المقترح توسيع مجال الدراسة بتطبيق البرنامج في عدة مواقع لزراعة الحبوب للحصول على رؤيا شاملة لهذا المحصول بجميع أنواعه و في عدّة ظروف مختلفة، و لمزيد التثبت من فاعلية النموذج و مدى ملاءمته لبيئات مختلفة.

وفي نفس هذا النطاق يعني مزيد التثبت من مدى نجاحةAquaCrop يجب اقتراح تطبيق ومحاكاة بعض النماذج الأخرى الرياضية قصد المقارنة مثلما هو الحال للنماذج المناخية. هذه المقارنة يمكنها أن تكون مفيدة وثرية للنموذج كما يمكن تعديل بعض النقائص إن وجدت.

من ناحية أخرى مثلما كان النموذج ذو فعالية مع محصول الحبوب فيمكن فتح أفق البحث بتطبيقه على عدّة محاصيل أخرى لتحديد أيّ الزراعات هي أكثر تأثّرا وحساسية وأيّها الأكثر ملائمة والأكثر فاعلية مع الانعكاسات السلبية للتغيّر المناخي. كما تمكن من فرز الأنواع الأقلّ استهلاكا لمياه الري، وتحديد كميّات الريّ اللازمة فعليّا للحصول على نفس الإنتاجية ويندرج هذا ضمن الرؤى المستقبلية لتحسين وترشيد التصرّف في الموارد المائية التي يستهلك منها ثمانون بالمائة في القطاع الفلاحي.

وستكون نتائج هذه الدراسة بمثابة تطوير البحوث الوطنية في المجال الزراعي بشأن آثار تغير المناخ ودعما للخطة المستقبلية لقطاع الفلاحة والصيد البحري خلال الفترة 2016-2020 في دعم موقعه ودوره في الاقتصاد الوطني ومساهمته في التنمية الجهوية والريفية وفي ضمان دخل جيد للفلاح وتعزيز الأمن الغذائي، وذلك من خلال إكسابه قيمة مضافة عالية وقدرة تنافسية وجاذبية للاستثمار مع الحرص على ضمان استدامة الموارد الطبيعية في ظل التغيرات المناخية. ولتجسيم هذا التوجه سترتكز السياسة التنموية لهذا القطاع على أهداف إستراتيجية نذكر من ضمنها:

- استدامتها والحد من تأثيرات التغيرات المناخية،
- النهوض بمنظومات الإنتاج وتعزيز قدرتها التنافسية وضمان ديمومتها.

وتتطلب هذه الأهداف مزيدا من العمل لتطوير الإنتاجية باستعمال أصناف البذور المحسنة عالية الإنتاج وتطبيق الحزم الفنية المناسبة في مجال مكافحة الأعشاب الطفيلية والتسميد واستعمال الميكنة الفلاحية، والتركيز على الترفيع في مستوى استعمال البذور الممتازة للحبوب خاصة في المناطق السقوية والمناطق الملائمة ذات طاقة إنتاج عالية بالإضافة إلى اعتماد التداول الزراعي وإدماج زراعة البقوليات ونشاط تربية الماشية للمحافظة على خصوبة الأرض وضمان ديمومة النشاط.

أخيرا لإنجاح التوسع في استخدام هذا البرنامج وجب تدريب فريق موسّع ونقل المعرفة بالنموذج إلى عدّة أشخاص سواء كانوا موظفين في الإدارات العامّة أو من مؤسسات البحوث الفلاحية أو الجامعات من خلال إجراء أبحاث الدكتوراه ومشاريع نهاية الدراسة.

أيضا يجب إجراء قياسات ومتابعة حقلية لمختلف بيانات النموذج حتى تكون المحاكاة أقرب للظروف الواقعية للمحصول وتكون بيانات ثابتة في النموذج.

11. توصيات

- كلّ الدراسات التي تم إعدادها على المستوى الوطني تؤكّد مدى التأثير السّلبي للتغيرات المناخية على الموارد المائية والنظم الفلاحية وعلى الاقتصاد بصفة عامة. ويتوقع أن تزيد التغيرات المناخية من الضغوطات الحالية على الفلاحين والمساحات التي يستغلونها. كما أن العديد من الأنشطة الفلاحية قد لا يمكن لها في المستقبل أن تتأقلم مع التغيرات المناخية. لذلك من الضروري الأخذ بعين الاعتبار لهذه التغيرات في تحديد السياسات الزراعية والاقتصاديّة والاستراتيجيّات القطاعيّة، وهو ما عملت عليه حكومتنا منذ سنوات رغم وجود بعض النقائص.
- فيما يتعلق بالتكيف، ينبغي تشجيع المؤسسات الاقتصادية والمالية بشكل خاص على المحافظة على المياه وإعادة استغلالها. ويجب الإسراع بتفعيل صندوق الجوائح الطبيعيّة كنظام للتأمين ضد المخاطر المناخية لحماية المزارعين من مخاطر خسارة رأس المال بسبب الظواهر الجوية والمناخية. يجب أيضا تركيز جهاز لمراقبة وتقييم لسياسة المناخ حيث ينبغي أن يستند نظام تسيير السياسات المناخية على أنظمة لمراقبة وتقييم كل الجوانب الأفقية للتخفيف والتكيف. تشمل هذه الأدوات تعزيز الوحدة النموذجية للأرصاد المناخية في المرصد الوطني للرصد الجوي، وإنشاء نظام للرصد وتبادل المعارف وأخيرا تطوير البحوث الوطنية بشأن آثار تغير المناخ (المادية، الاجتماعية والاقتصادية، وما إلى ذلك) .
- كما يجب إنشاء و/ أو تعزيز أنظمة لرصد آثار تغير المناخ في مختلف القطاعات والبيئات، وكذلك رسم خرائط قابلية التأثر بتغير المناخ ودمجها في مواضيع مختلفة.
- وفيما يخص الفلاحة يجب تشجيع إرساء منظومات زراعية مستدامة نظرا لأهميتها في بإمكانية تقليل المخاطر المقترنة بتغير المناخ، حيث أصبح من الضروري دمج الزراعة المستدامة في السياسة الزراعية .
- وبما ان زيادة تقلبات الطقس والصدمات المناخية ستؤثر سلبًا على إنتاجية المحاصيل الزراعية، فهذا يستوجب اتخاذ إجراء عاجل لدفع التغير في أنظمة الإنتاج الزراعي.
- الحفاظ على التنوّع البيئي وتطويره مع المبادرة ببرنامج تشجير موسّع للغابات.
- تشجيع الفلاحة البيولوجية والأعمال الفلاحية الأكثر ديمومة خاصّة عبر مسارات الترسيم البيئي للمزارع والمنتوجات الفلاحية.
- حماية الموارد المائية والحالة الإيكولوجية لمجموع الأحجام المائية سواء منها المياه السطحية أو الجوفية. إنّ الماء مورد أصبح تدريجيا نادرا في بلادنا، ينبغي تحسين وترشيد التصرّف فيه خصوصا في الفلاحة بصفتها أكبر المستهلكين للمياه المتوفّرة حاليّا.
- العمل على تثمين الموارد المائية الغير التقليدية.

12. الملحق

الجدول 60. نتائج اختبار " Test-student " لموقع الكدية ولمختلف النماذج

Student test for Koudiat			
النموذج		المقارنة بين الفترة المرجعيّة وفترة 2030/2020	المقارنة بين الفترة المرجعيّة وفترة 2050/2040
CNRM	RCP4.5 inc	0,21	0,24
	RCP4.5 Fix	0,96	0,67
	RCP8.5 inc	0,57	0,74
	RCP8.5 Fix	0,59	0,30
Ec-EARTH	RCP4.5 inc	0,28	0,15
	RCP4.5 Fix	0,05	0,36
	RCP8.5 inc	0,45	0,12
	RCP8.5 Fix	0,05	0,62
GFDL	RCP4.5 inc	0,03	0,03
	RCP4.5 Fix	0,47	0,68
	RCP8.5 inc	0,20	0,07
	RCP8.5 Fix	0,92	0,79

الجدول 61. نتائج محاكاة برنامج Aquacrop لموقع الكدية للسيناريو RCP 4.5

	القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985	
	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040
	Earth-EC			CNRM			GFDL		
المحصول Yield (طن/هك)	2,722	2,027	2,520	2,646	2,633	2,523	2,645	2,690	2,641
إنتاجية المياه Wpet(كغ/م^3)	0,795	0,683	0,819	0,790	0,805	0,799	0,757	0,795	0,808
طول موسم النموّ (يوم) Cycle	171	160	162	169	166	164	167	170	163
التبخرالنتح المرجعي(مم) ETO	512,600	497,636	491,455	509,450	491,091	489,091	514,700	508,818	495,273
التبخر نتح الفعلي E+Tr (مم)	340,200	284,000	307,182	333,300	324,182	307,818	332,000	336,818	324,636
الأمطار (مم)	424,250	292,455	334,455	380,500	418,909	353,364	392,450	416,182	352,727
1/ سيناريو RCP4.5 CO_2 Increased									

	القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985	
	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040
	Earth-EC			CNRM			GFDL		
المحصول Yield (طن/هك)	2,81	2,587	3,172	2,73	3,085	3,136	2,74	3,154	3,273
إنتاجية المياه Wpet(كغ/م^3)	0,819	0,805	1,036	0,815	0,946	0,999	0,781	0,936	1,007
طول موسم النموّ (يوم) Cycle	171	160	162	169	166	164	167	170	163
التبخرالنتح المرجعي(مم) ETO	512,600	497,636	491,455	509,450	491,091	489,091	514,700	508,818	495,273
التبخر نتح الفعلي E+Tr (مم)	340	283	306	333	324	306	332	336	323
الأمطار (مم)	424,250	292,455	334,455	380,500	418,909	353,364	392,450	416,182	352,727
2/ سيناريو RCP4.5 CO_2 Fixed									

الجدول 62. نتائج محاكاة برنامج Aquacrop لموقع الكدية للسيناريو RCP 8.5

	القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985	
	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040
	Earth-EC			CNRM			GFDL		
المحصول Yield (طن/هك)	2,580	2,587	3,030	2,757	2,958	2,892	2,610 ,956	2,956	3,132
إنتاجية المياه Wpet(كغ/م^3)	0,725	0,751	0,955	0,816	0,884	0,924	0,785	0,965	1,065
طول موسم النموّ (يوم) Cycle	171	162	160	168	166	159	168	167	165
التبخرالنتح المرجعي(مم) ETO	556,200	543,364	513,909	510,300	503,091	486,091	514,250	500,909	495,273
التبخر نتح الفعلي E+Tr (مم)	351,450	309,909	313,091	335,800	325,455	300,545	329,150	304,273	291,727
الأمطار (مم)	422	327	353	386	410	301	387	356	310

3/ سيناريو RCP8.5 CO_2 Increased

	القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985	
	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040
	Earth-EC			CNRM			GFDL		
المحصول Yield (طن/هك)	2,500	1,980	2,379	2,670	2,504	2,477	2,53	2,50	2,46
إنتاجية المياه Wpet(كغ/م^3)	0,703	0,628	0,743	0,791	0,745	0,718	0,75	0,69	0,73
طول موسم النموّ (يوم) Cycle	171	162	160	168	166	159	168	167	165
التبخرالنتح المرجعي(مم) ETO	556,200	543,364	513,909	510,300	503,091	486,091	514,250	500,909	495,273
التبخر نتح الفعلي E+Tr (مم)	351,450	310,545	315,364	335,900	326,545	302,545	338,83	314,03	303,61
الأمطار (مم)	422	327	353	386	410	301	387	356	310

4/ سيناريو RCP8.5 CO_2 Fixed

الجدول 63. نتائج محاكاة برنامج Aquacrop لموقع الشبيكة للسيناريو RCP 4.5

	القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985	
	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040
	Earth-EC			CNRM			GFDL		
المحصول Yield (طن/هك)	5,218	5,194	5,261	5,236	5,241	5,252	5,18	5,22	5,30
إنتاجية المياه Wpet(كغ/م^3)	1,5395	1,575	1,643	1,57	1,60	1,66	1,5	1,6	1,6
طول موسم النموّ Cycle (يوم)	153	144	143	151	146	145	151	153	147
التبخرالنتح المرجعي(مم) ETO	394,7	372,9	369,6	392,0	374,4	374,6	394,0	388,5	375,6
التبخر نتح الفعلي E+Tr (مم)	339,7	331,4	322,1	335,81	325,45	319,60	340,33	334,00	327,10
الأمطار (مم)	185	109	141	168	172	152	156	166	133
1/ سيناريو RCP4.5 CO_2 Fixed									

	القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعيّة 2005/1985	
	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040
	Earth-EC			CNRM			GFDL		
المحصول Yield (طن/هك)	5,38	6,01	6,40	5,40	6,07	6,39	5,35	6,04	6,45
إنتاجية المياه Wpet(كغ/م^3)	1,589	1,844	2,045	1,62	1,88	2,07	1,6	1,8	2,0
طول موسم النموّ Cycle (يوم)	153	144	143	151	146	145	151	153	147
التبخرالنتح المرجعي(مم) ETO	396,6	372,9	369,6	392,0	374,4	374,6	394,0	388,5	375,6
التبخر نتح الفعلي E+Tr (مم)	340,35	327,5	315,0	335,62	321,5	312,8	340,2	330,2	320,1
الأمطار (مم)	185	109	141	168	172	152	156	166	133
2/ سيناريو RCP4.5 CO_2 Increased									

الجدول 64. نتائج محاكاة برنامج Aquacrop لموقع الشبيكة للسيناريو RCP 8.5

	القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعية 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعية 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعية 2005/1985	
	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040
	Earth-EC			CNRM			GFDL		
المحصول Yield (طن/هك)	5,248	5,276	5,346	5,21	5,17	5,20	5,224	5,333	5,372
إنتاجية المياه Wpet(كغ/م^3)	1,5	1,6	1,8	1,56	1,57	1,64	1,553	1,661	1,699
طول موسم النموّ (يوم) Cycle	153	147	140	151	150	142	152	149	148
التبخرالنتح المرجعي(مم) ETO	394,7	376,1	341,6	392,38	379,18	364,80	392,3	376,7	370,8
التبخر نتح الفعلي E+Tr (مم)	343,0	331,0	300,2	338,10	331,20	316,30	337,6	320,5	317,0
الأمطار (مم)	186	151	161	164	164	113	157	149	116

3/ سيناريو RCP8.5 CO_2 fixed

	القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعية 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعية 2005/1985		القيم الأساسية للفترة المرجعية	التغيير النسبي ٪ مقارنة بالفترة المرجعية 2005/1985	
	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040	2005-1985	2030-2020	2050-2040
	Earth-EC			CNRM			GFDL		
المحصول Yield (طن/هك)	5,412	6,173	6,587	5,38	6,06	6,41	5,39	6,24	6,64
إنتاجية المياه Wpet(كغ/م^3)	1,584	1,875	2,270	1,60	1,86	2,09	1,60	1,97	2,18
طول موسم النموّ (يوم) Cycle	153	147	140	151	150	142	152	149	147
التبخرالنتح المرجعي(مم) ETO	394,7	376,1	341,6	392,38	383,00	364,80	392,33	376,73	370,80
التبخر نتح الفعلي E+Tr (مم)	342,90	326,5	291,0	338	327	307	337	316	308
الأمطار (مم)	186	151	161	164	164	113	157	149	116

4/ سيناريو RCP8.5 CO_2 Increased

الجدول 65. نتائج اختبار "Test-student" لموقع الشبيكة ولمختلف النماذج

Student test for Chbika			
النموذج		المقارنة بين الفترة المرجعيّة وفترة 2030/2020	المقارنة بين الفترة المرجعيّة وفترة 2050/2040
CNRM	RCP4.5 inc	6,34E-07	1,16E-11
	RCP4.5 Fix	0,95	0,82
	RCP8.5 inc	3,46E-05	3,61E-14
	RCP8.5 Fix	0,62	0,84
EC-Earth	RCP4.5 inc	9,03E-07	3,60E-13
	RCP4.5 Fix	0,77	0,49
	RCP8.5 inc	2,23E-12	1,44E-12
	RCP8.5 Fix	0,55	0,16
GFDL	RCP4.5 inc	1,73E-08	2,67E-13
	RCP4.5 Fix	0,61	0,09
	RCP8.5 inc	6,39E-10	6,05E-16
	RCP8.5 Fix	0,12	0,01

المراجع

ايهاب جناد ومازن نعمان (المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والاراضي القاحلة " اكساد") : دليل تدريب استخدام النموذج الرياضي Aquacrop لتقييم اثر التغيرات المناخية على انتاجية المحاصيل الزراعيّة، 2017.

ايهاب جناد ومازن نعمان وخالد حيدر (المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والاراضي القاحلة " اكساد") : دليل المستخدم للنموذج الرياضي Aquacrop ، 2017.

قاعدة بيانات المعهد الوطني للرصد الجوّي

قاعدة بيانات الادارة العامّة للموارد المائيّة

قاعدة بيانات المعهد الوطني للزراعات الكبرى

Haythem Belghrissi : Etude des tendances et des projections climatiques en Tunisie

GIZ et Ministère d'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche : Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques ; 2007: الإستراتيجية الوطنية لتكيف الزراعات والنظم الإيكولوجية التونسية لتغير المناخ

https://journals.openedition.org/quaderni/525 : Le changement climatique : conséquences pour les végétaux. Bernard Seguin. Hiver 2009-2010.

http://www.onagri.nat.tn/actualites المرصد الوطني الفلاحي

https://fr.climate-data.org/afrique/tunisie/jendouba-385/#example1

https://fr.climate-data.org/afrique/tunisie/kairouan/kairouan-3549/

https://www.espacemanager.com/tunisie-defis-et-enjeux-du-secteur-agricole-quelle-vision-pour-lavenir.html

http://www.jybaudot.fr/Stats/indicecarts.html: Les indicateurs d'écarts

https://masterchemoinfo.u-trasbg.fr/Documents/Statistiques/Cours/ChapRegLin.pdf Cours de Statistique, G.Marcou,P.Jost. 7 Juillet 2011

19-00222