

رِيكَار

المبادرة الإقليمية لتقييم أثر تغير المناخ على
الموارد المائية وفائدة آثار الضغوطات الاجتماعية
والاقتصادية في المنطقة العربية



يتميز مناخ السودان بتقلبات كبيرة في كل من درجات الحرارة ومعدلات هطول الأمطار، وذلك جرّاء التنوع الجغرافي في البلد، الذي تشتمل تضاريسه على صحار قاحلة في الشمال، وسهول سافانا الأكثر رطوبة في الجنوب. وتُظهر سجلات درجات الحرارة اتجاهًا واضحاً نحو الاحترار على مدى العقود الثلاثة الماضية، حيث تحولت الانحرافات عن المعدل من سنوات كانت في الغالب أبرد من المتوسط في أوائل تسعينات القرن الماضي نحو ظروف بقيت باستمرار أكثر دفئاً بعد العقد الأول من القرن الحادي والعشرين (الشكل 1). وغالباً ما تتجاوز درجات الحرارة السنوية المرتفعة 40 درجة مئوية في المناطق الشمالية خلال فصل الصيف، ما يدل على إجهاد حراري شديد في جميع أنحاء البلد.

المصدر: بالاستناد إلى بيانات من الإصدار الخامس لإعادة التحليل
(ERA5) الصادر عن المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية المتوسطة المدى
(ECMWF)، 2023.

خلاصة عن التوقعات المناخية المستقبلية



درجات الحرارة

من المتوقع أن يؤدي الاحترار إلى تعزيز التدرجات المكانية الحالية، بحيث يرتفع متوسط درجات الحرارة بمقدار 0.7 درجة مئوية في الأجل القريب وبمقدار 0.9 درجة مئوية في الأجل المتوسط في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) وبمقدار 1.0 درجة مئوية في الأجل القريب وبمقدار 2.0 درجة مئوية في الأجل المتوسط في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5). ويمثل ارتفاع بمقدار 2.0 درجة مئوية عتبة هامة، يعني تخطيها تجاوزاً متكرراً للعتبات الحرارية للمحاصيل الزراعية، وتزايد كبير في عملية التبخر والتجفاف، وتفاقم المخاطر الصحية المرتبطة بالحر الشديد.



الأيام الشديدة الحرارة

كان متوسط عدد الأيام التي تزيد فيها درجات الحرارة القصوى عن 40 درجة مئوية خلال الفترة المرجعية حوالي 53 يوماً في السنة، وتشير التوقعات إلى ازدياد عدد هذه الأيام بما يتراوح بين 16.1 و22.0 يوماً في السنة في الأجل القريب، وبما يتراوح بين 20.3 و46.1 يوماً في السنة في الأجل المتوسط، ما يشير إلى تحول واضح نحو فترات أطول للموسم الحار.



هطول الأمطار

تتأثر أنماط هطول الأمطار في السودان تأثراً قوياً بالانتقال الموسمي لمنطقة الالتقاء المداري. وتشير التوقعات إلى انخفاض طفيف في هطول الأمطار خلال الموسم المطير، بما يتراوح بين 0.7 و1.1 مليمتراً شهرياً في الأجل القريب. وتتباين التوقعات للأجل المتوسط، فتشير التقديرات إلى زيادة قدرها 1.5 مليمتراً شهرياً في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6)، وانخفاض بنحو 1.2 مليمتراً شهرياً في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5). وتشير التوقعات إلى استقرار معدلات هطول الأمطار في موسم الجفاف، التي بلغ متوسطها 1.5 مليمتراً شهرياً خلال الفترة المرجعية، وأن تبقى التقلبات في حدود ± 0.1 مليمتراً شهرياً، والاستثناء الوحيد هو ساحل البحر الأحمر، حيث يُتوقع حدوث زيادة قدرها 6 مليمتراً شهرياً في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5) في الأجل المتوسط.



الجفاف

يبلغ متوسط فترات الجفاف 155 يوماً جافاً متتالياً في السنة، ويصل إلى أكثر من 266 يوماً في أقصى الشمال. من المتوقع أن ترتفع القيمة الوسيطة لعدد الأيام الجافة المتتالية بنحو 2.5 يوم في الأجل القريب و4.8 يوم في الأجل المتوسط في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6)، وبنحو 2.2 يوم في الأجل القريب و4.7 يوم في الأجل المتوسط في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5). وتحدث أطول فترات الجفاف في المناطق الداخلية الشمالية الغربية للصحراء الكبرى، في حين تظهر انخفاضات طفيفة في الممر الشمالي لنهر النيل، حيث تؤدي موجات الرطوبة العرضية إلى تقصير فترات الجفاف.



هطول الأمطار الغزيرة

خلال الفترة المرجعية، بلغ متوسط أكبر كمية هطول للأمطار خلال يوم واحد (مؤشر Rx1day) حوالي 43 مليمتراً. وفي الأجل القريب، من المتوقع أن يرتفع هذا المعدل بشكل طفيف، بمقدار 1.0 مليمتراً في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) وبمقدار 0.1 مليمتراً في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5). وفي الأجل المتوسط، تصل الزيادات المتوقعة إلى 4.2 مليمتراً في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) و2.0 مليمتراً في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5). وقد تتجاوز الزيادات المحلية 10 مليمتراً في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) و8 مليمتراً في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5). إلى جانب طول فترات الجفاف، يشهد السودان تحولاً نحو فترات أطول خالية من الأمطار، تتخللها نوبات هطول مفاجئة وأكثر شدة تستمر ليوم واحد فقط، وهو نمط يزيد من المخاطر المناخية في المناطق القاحلة المتأثرة بالرياح الموسمية.



التبخّر

يظل معدل التبخر السنوي مستقراً عند 11 مليمتراً شهرياً، مع بقاء التغيرات المتوقعة في حدود ± 0.2 مليمتراً شهرياً، وذلك لكل فترة وفي إطار كل سيناريو.



يبلغ متوسط الجريان السطحي السنوي 3.1 مليمتراً شهرياً، وتبرز منطقة في جبل مرة يتجاوز فيها المعدل 20 مليمتراً شهرياً، ومن المتوقع أن تظل التغيرات المستقبلية طفيفة، في حدود ± 0.2 مليمتراً شهرياً.



يبلغ متوسط عدد الأيام التي تهب فيها رياح قوية 17 يوماً في السنة، مع قيم محلية تتجاوز 100 يوم في السنة في تلال البحر الأحمر، وزيادات بأكثر من 8 أيام في السنة في الأجل المتوسط في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5). وتعزى هذه الزيادات إلى أنماط الرياح الحرارية-الطوبوغرافية في الشمال الشرقي، وإلى تزايد تدرجات الضغط الجوي فوق الصحراء الكبرى في الشمال الغربي.

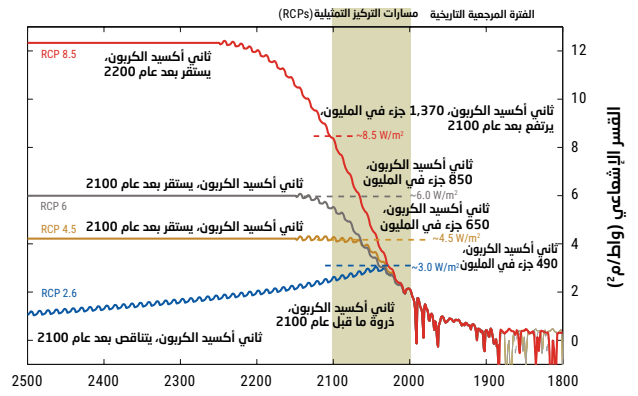
السيناريوهات المناخية

ويرتبط كل سيناريو بمستوى محدد من القسر الإشعاعي بحلول عام 2100. وقد استُخدم في هذا التحليل سيناريوهان من مختلف سيناريوهات مسارات التركيز التمثيلية، وذلك لوضع نطاق معقول للظروف المناخية المستقبلية:

- سيناريو مسار التركيز التمثيلي 2.6 أو سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6): يتسم بانخفاض الانبعاثات واتخاذ تدابير قوية للتخفيف، مع الإسراع بالحد من انبعاثات الكربون بسرعة وتراجع القسر الإشعاعي على مدار القرن.
- سيناريو مسار التركيز التمثيلي 8.5 أو سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5): يتسم بارتفاع حجم الانبعاثات وقوة القسر الإشعاعي، ويستشرف مستقبلاً يستمر فيه تنامي الانبعاثات وتبقى تدخلات السياسات العامة في القضايا المناخية محدودة.

يوفر السيناريوهان إطاراً بنوياً واضحاً لتقييم الآثار المناخية في ظل جهود صارمة للتخفيف من جهة، ومستويات مرتفعة من الاحترار من جهة أخرى.

الشكل 3. مسارات التركيز التمثيلية



المصدر: مقتبس من Meinshausen M. and others, 2011.

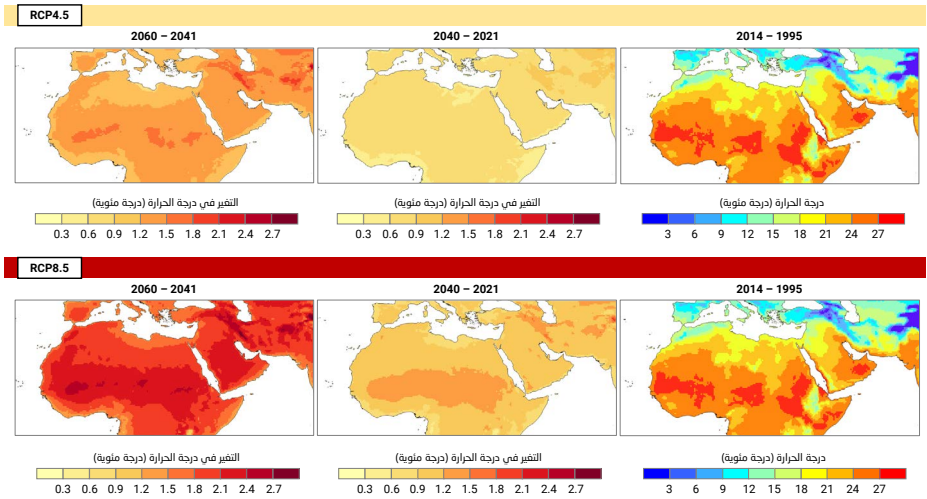
تستند السيناريوهات المناخية المستخدمة في هذا التقييم إلى مسارات التركيز التمثيلية (RCPs) التي أعدت من أجل تقرير التقييم الخامس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (الشكل 3). ويصف كل سيناريو المسارات السائغة علمياً التي قد تتخذها تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي،

لمحة عن المنطقة العربية

أسرع من المتوسط العالمي. ومن المتوقع أن ترتفع متوسطات درجات الحرارة في الأجل القريب (2021-2040) بمقدار 0.7 درجة مئوية في إطار سيناريو الانبعاثات المعتدلة (RCP4.5) و1.1 درجة مئوية في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، وذلك مقارنة بالفترة المرجعية (1995-2014) (الشكل 4). وبحلول الأجل المتوسط (2041-2060)، من المتوقع أن تصل الزيادة إلى 1.3 درجة مئوية في إطار سيناريو الانبعاثات المعتدلة (RCP4.5)، و2 درجة مئوية في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، وذلك مقارنة بالفترة المرجعية.

تشمل الأنشطة الأساسية للمبادرة الإقليمية لتقييم أثر تغير المناخ على الموارد المائية وقابلية تأثر القطاعات الاجتماعية والاقتصادية في المنطقة العربية (ريكار) إعداد توقعات عن مستقبل المناخ مخصصة لنطاق المنطقة العربية. وقد أطلق مشروع التجربة المنسقة لتقليص النطاقات المناخية الإقليمية لمنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا (CORDEX-MENA) كجزء من مبادرة ريكار بهدف توفير نتائج موحدة للنمذجة المناخية الإقليمية وبدقة مكانية تبلغ 50 كيلومتراً، وذلك بهدف دعم التعاون الإقليمي في هذا الصدد. وتشير النتائج إلى أن درجات الحرارة في جميع أنحاء النطاق العربي ترتفع بمعدل

الشكل 4. متوسط التغير في درجات الحرارة السنوية في الأجلين القريب (2040-2021) والمتوسط (2041-2060) مقارنة بالفترة المرجعية (1995-2014) في النطاق العربي



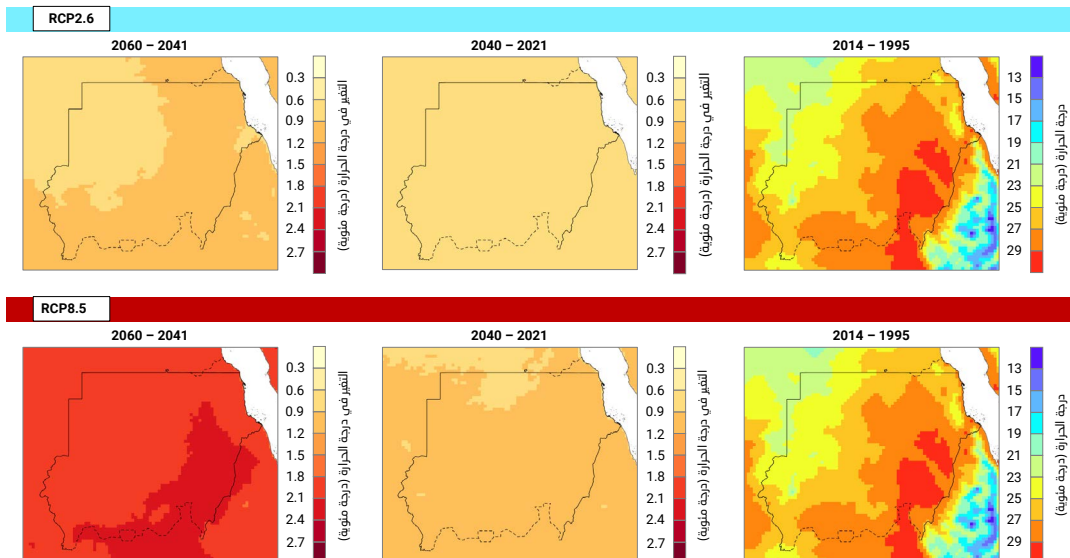
المصدر: مشروع التجربة المنسقة لتقليص النطاقات المناخية الإقليمية لمنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا (CORDEX-MENA).
إخلاء مسؤولية: الحدود والأسماء الموضحة والتسميات المستخدمة في هذه الخرائط لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً من قبل الأمم المتحدة.

درجات الحرارة

في الأجل القريب (2040-2021)، تشير التوقعات إلى أن متوسط الاحترار سيبلغ 0.7 درجة مئوية في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) و1.0 درجة مئوية في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، ما يعني تفاقمًا مبكرًا للإجهاد الحراري، حيث ستشهد المناطق الشرقية والوسطى من السودان ودول حوض النيل الأزرق ارتفاعاً في درجات الحرارة بوتيرة أسرع مقارنة بالمناطق الساحلية أو تلك الواقعة على ارتفاعات أعلى. وبحلول الأجل المتوسط (2041-2060)، تصل

خلال الفترة المرجعية (1995-2014)، بلغ متوسط درجات الحرارة السنوية المتوسطة في السودان حوالي 26.6 درجة مئوية، ما يعني أن خط الأساس كان في الأصل حاراً. ولكن ثمة تباين مكاني، من مناطق أكثر برودة تقل درجة حرارتها عن 23 درجة مئوية، إلى مناطق أكثر حرارة تزيد درجة حرارتها عن 29 درجة مئوية (الشكل 5). والمناطق الأكثر دفئاً هي عادةً المناطق المنخفضة والجافة في وسط وشمال السودان، وتشهد أشد حالات الإجهاد الحراري.

الشكل 5. متوسط التغير في درجات الحرارة السنوية في الأجلين القريب (2040-2021) والمتوسط (2041-2060) مقارنة بالفترة المرجعية (1995-2014) في السودان



المصدر: جميع المؤلفين.
إخلاء مسؤولية: الحدود والأسماء الموضحة والتسميات المستخدمة في هذه الخرائط لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً من قبل الأمم المتحدة. لم تُحدد بعد الحدود النهائية بين جمهورية السودان وجمهورية جنوب السودان. ولم يُحدد بعد الوضع النهائي لمنطقة أبيي.

الحرارة بما يزيد عن 2 درجة مئوية تحولاً من وضع مناخي يضغط تدريجياً إلى وضع إجهاد واسع النطاق، حيث تتخطى درجات الحرارة عتبات تحمل المحاصيل بتواتر متزايد، ويزداد معدل التبخر والتتح، ما يفاقم شح المياه والمخاطر الصحية المرتبطة بالحر الشديد.

إشارة درجات الحرارة إلى حد حاسم، فيصل متوسط الاحترار إلى 0.9 درجة مئوية في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6)، لكنه يرتفع إلى 2.0 درجة مئوية في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، ما يمثل عتبة تحول وظيفية مقارنة بالفترة المرجعية 1995-2014. ويشكل ارتفاع درجة

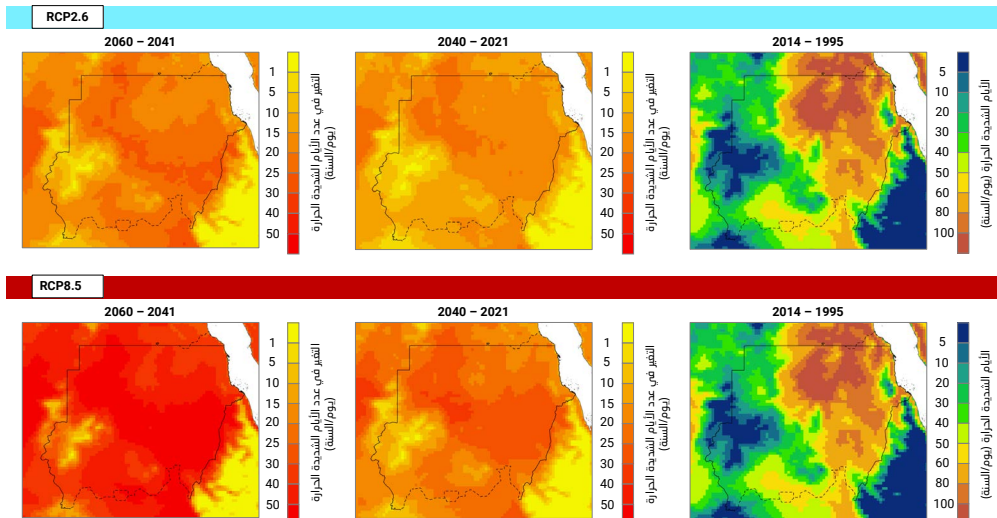


الأيام الشديدة الحرارة

وتؤدي التغيرات المتوقعة إلى تكثيف هذا النمط. وفي الأجل القريب، من المتوقع أن يرتفع متوسط عدد الأيام شديدة الحرارة بمقدار 16.1 يوماً في السنة في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) وبمقدار 22.0 يوماً في السنة في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، ما يشير إلى أن أي احتراز محدود قد يدفع درجات الحرارة، في الأيام القريبة من العتبة، إلى ما يزيد عن 40 درجة مئوية. وبحلول الأجل المتوسط، يصبح هذا الارتفاع أكثر وضوحاً، حيث يصل إلى 20.3 يوماً في السنة في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6)، وإلى 46.1 يوماً في السنة في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5). وتسجل المناطق التي تشهد بالفعل موجات حر شديدة متكررة أكبر الزيادات المطلقة، في حين تسجل المناطق الأكثر برودة ورطوبة ارتفاعاً في درجات الحرارة أيضاً، ولكن بدرجة أقل. وتشير هذه التغيرات إلى انتقال نحو مواسم إجهاد حراري أطول وأشد حدة، مع ما يترتب على ذلك من آثار على الصحة والزراعة والطلب على المياه وإنتاجية العمالة في جميع أنحاء السودان.

عدد الأيام الشديدة الحرارة، حيث تتجاوز درجة الحرارة القصوى 40 درجة مئوية، كبير في السودان أصلاً. ولكن، خلال الفترة المرجعية، لم يكن توزيع هذه الظواهر المتطرفة على مختلف مناطق البلد على نسق واحد. وخلال الفترة المرجعية (1995-2014)، بلغ المتوسط الوطني حوالي 53 يوماً في السنة، ولكن مع تباين مكاني ملحوظ: فقد سجلت أجزاء من غرب وسط السودان ما بين 5 و6 أيام من هذا النوع فقط، في حين شهدت منطقة الصحراء شديدة الجفاف أكثر من 100 يوم في السنة (الشكل 6). يعكس هذا التباين التدرجات البيئية الكبيرة في السودان. فتشهد المناطق القاحلة في الشمال والوسط ارتفاعاً سريعاً في درجات الحرارة تحت تأثير الإشعاع الشمسي المكثف، وانخفاض الرطوبة، وقلة الغطاء النباتي، ما يجعل درجات الحرارة خلال النهار تتجاوز 40 درجة مئوية بشكل متكرر. وفي الجنوب والجنوب الشرقي، يؤدي توفر الرطوبة بكميات أكبر، والغطاء السحابي الأثخن، والارتفاع الأعلى عن سطح البحر إلى تخفيف حدة درجات الحرارة القصوى، ما يؤدي إلى انخفاض كبير في عدد الأيام التي تتجاوز خلالها درجات الحرارة العتبة. تساهم هذه العوامل المناخية مجتمعة في ظهور تدرج واضح بين الشمال والجنوب في تواتر موجات الحر الشديد.

الشكل 6. متوسط التغير في العدد السنوي للأيام الشديدة الحرارة (مؤشر عدد الأيام الشديدة الحرارة؛ الأيام التي تتجاوز فيها درجة الحرارة القصوى 40 درجة مئوية) في الأجلين القريب (2021-2040) والمتوسط (2041-2060) مقارنة بالفترة المرجعية (1995-2014) في السودان



المصدر: تجميع المؤلفين.

إخلاء مسؤولية: الحدود والأسماء الموضحة والتسميات المستخدمة في هذه الخرائط لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً من قبل الأمم المتحدة. لم تُحدد بعد الحدود النهائية بين جمهورية السودان وجمهورية جنوب السودان. ولم يُحدد بعد الوضع النهائي لمنطقة أبيي.



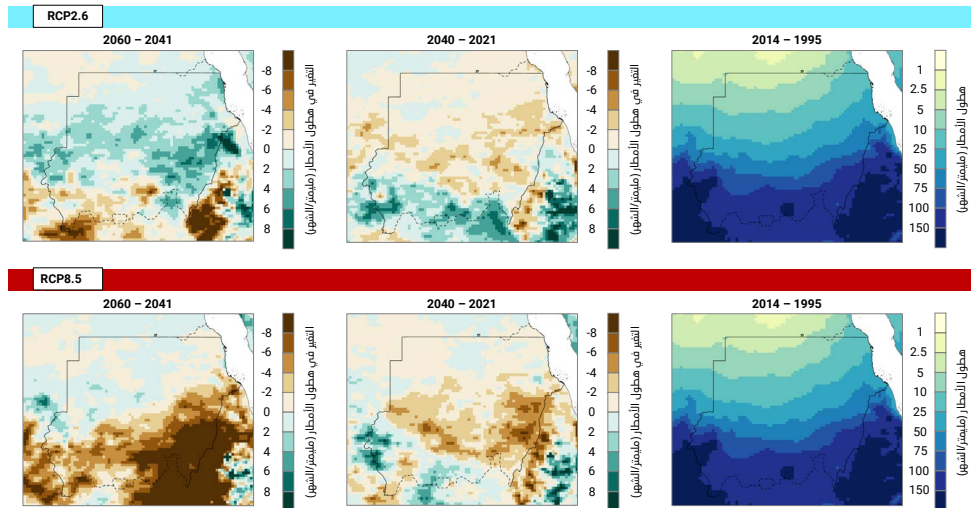
هطول الأمطار

تدرجاً واضحاً بين الشمال والجنوب يرتبط بقوة ونطاق الرياح الموسمية الصيفية. وخلال الفترة المرجعية، بلغ متوسط هطول الأمطار 57 ملمتر شهرياً، وتراوح القيم بين 3 ملمتر شهرياً في أقصى الشمال وبين أكثر من 200 ملمتر شهرياً في الجنوب الشرقي الرطب (الشكل 7). ويعود هذا النمط إلى أن الرطوبة الموسمية تتناقص بسرعة مع ارتفاع خط العرض، ما يجعل هطول الأمطار في المناطق الصحراوية وشبه الصحراوية محدوداً للغاية، في حين تستفيد المناطق الجنوبية والشرقية من الحمل الحراري المستمر والارتفاع الجوي الناتج عن التضاريس على طول مرتفعات إثيوبيا. وتشير التغيرات المتوقعة إلى تحولات طفيفة في متوسط هطول الأمطار. وفي الأجل القريب، ستنخفض كمية هطول الأمطار بدرجة طفيفة لا تتجاوز 0.7 ملمتر شهرياً في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6)، و1.1 ملمتر شهرياً في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، ما يعني ميلاً طفيفاً نحو الجفاف. وبحلول الأجل المتوسط، يتباين السيناريوهان: ففي إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) يتوقع ارتفاع طفيف بمقدار 1.5 ملمتر شهرياً، وفي إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، يتوقع انخفاض بمقدار 1.2 ملمتر شهرياً. والزيادة المتوقعة لوسط السودان، في الأجل المتوسط وفي إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) حصيلة للتوزيع الأكثر ملاءمةً للدوران الموسمي في حال وقوع هذا السيناريو، حيث يسمح الاحترار المحدود باستمرار نقل الرطوبة والنشاط الحراري عموماً بدون تغيير يُذكر. وأما في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، فيؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى زيادة ميل الغلاف الجوي لسحب الرطوبة بالتبخّر، وانخفاض رطوبة التربة،

تتأثر أنماط هطول الأمطار في السودان بالانتقال الموسمي لمنطقة الالتقاء المداري (ITCZ)، التي تحدد توقيت وشدة فترات الأمطار والجفاف في البلد. وتنتقل منطقة الالتقاء المداري إلى الشمال في أواخر فصل الربيع وأوائل فصل الصيف، ويسهم التيار الهوائي الرطب القادم من الجنوب الغربي في تعزيز الحمل الحراري وتكوين السحب وهطول الأمطار، ما يؤدي إلى موسم مطير عموماً من أيار/مايو إلى تشرين الأول/أكتوبر. ويبلغ هطول الأمطار ذروته عادةً بين شهري تموز/يوليو وأيلول/سبتمبر، حيث يشهد الجنوب والجنوب الشرقي أطول المواسم المطيرة وأكثرها غزارة. أما في وسط السودان، فيتساقط المطر خلال موسم مطير أقصر وأكثر تقلباً، في حين يظل أقصى الشمال جافاً إلى حد كبير، حيث تمتد الفترة الرئيسية لهطول الأمطار من أيار/مايو إلى تشرين الأول/أكتوبر. وعند تراجع منطقة الالتقاء المداري جنوباً في الخريف، تهيم الرياح الصحراوية الجافة القادمة من الشمال الشرقي، ما يشير إلى بدء الموسم الجاف الذي يمتد من تشرين الثاني/نوفمبر إلى نيسان/أبريل، حيث يتضاءل هطول الأمطار أو يتوقف بالكلية في معظم أنحاء البلد، وتنخفض الرطوبة بشكل حاد، وتبقى السماء صافية عموماً، ويزداد معدل التبخر. والموسم الجاف أطول وأشد قسوة في المناطق الصحراوية الشمالية والشمالية الشرقية، والرطوبة أعلى بعض الشيء في المناطق الجنوبية، لكن يبقى هطول الأمطار فيها قليلاً جداً. ويقدم هذا النمط الموسمي وصفاً واضحاً ومتسقاً مع الخصائص المناخية لنظام هطول الأمطار في السودان.

وخلال الموسم المطير الذي يمتد من أيار/مايو إلى تشرين الأول/أكتوبر، تعكس معدلات هطول الأمطار في السودان

الشكل 7. متوسط التغير في هطول الأمطار الموسمي (من أيار/مايو إلى تشرين الأول/أكتوبر) في الأجلين القريب (2021-2040) والمتوسط (2041-2060) مقارنة بالفترة المرجعية (1995-2014) في السودان



المصدر: تجميع المؤلفين.

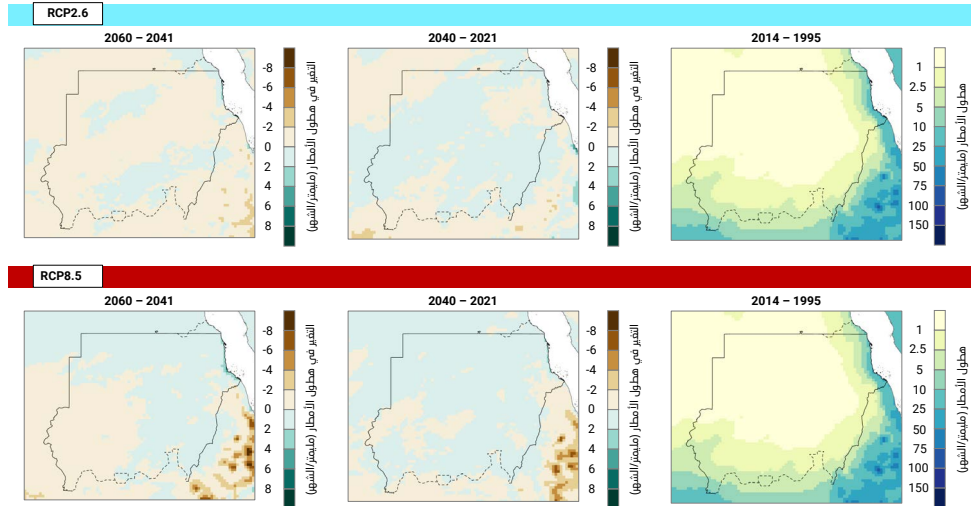
إخلاء مسؤولية: الحدود والأسماء الموضحة والتسميات المستخدمة في هذه الخرائط لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً من قبل الأمم المتحدة. لم تُحدد بعد الحدود النهائية بين جمهورية السودان وجمهورية جنوب السودان. ولم يُحدد بعد الوضع النهائي لمنطقة أبيي.

في الموسم المطير. وبالتالي، تبقى التغيرات المتوقعة خلال الموسم الجاف محدودة: القيمة الوسيطة للتغيرات، في إطار كل من سيناريوهي الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) والمرتفعة (RCP8.5)، وفي الأجلين القريب والمتوسط، تبقى في حدود ± 0.1 ملمتر شهرياً، ما يشير إلى أن التغيرات ستكون ضئيلة للغاية في معظم أنحاء البلد. والاتجاه الوحيد الجدير بالملاحظة هو الارتفاع الموضعي على طول ساحل البحر الأحمر، بما يصل إلى 6 ملمتر شهرياً بحلول الأجل المتوسط في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، وهو اتجاه متسق مع تزايد الالتقاء الجوي فوق البحر الأحمر والاضطرابات الشتوية العرضية. وعموماً، يظل الموسم الجاف في السودان قاحلاً في الغالب في كل من السيناريوهين، وتسجل المناطق الساحلية فقط زيادات طفيفة، وهو اتجاه على تناقض حاد مع النظام الموسمي للغاية لهطول الأمطار خلال الموسم المطير في البلد.

وإضعاف تغلغل الرياح الموسمية، ما يؤدي إلى تراجع هطول الأمطار. وتتفاوت معدلات هطول الأمطار في الموسم المطير من الناحية المكانية، وتتوقع لها انخفاضات طفيفة في الأجل القريب، وأما في الأجل المتوسط، فتختلف التوقعات من سيناريو إلى آخر، وتحددها دورات الرياح الموسمية.

في المقابل، تشهد الفترة من تشرين الثاني/نوفمبر إلى نيسان/أبريل معدلات هطول محدودة للغاية، ما يعكس الانحسار التام لتأثير الرياح الموسمية. وخلال الفترة المرجعية، بلغ متوسط هطول الأمطار 1.5 ملمتر شهرياً فقط، ولم تشهد معظم أنحاء السودان أي هطول للأمطار تقريباً (الشكل 8). وحتى في أقصى الجنوب، حيث تُسجل ذروة معدلات هطول الأمطار في الموسم الجاف، لم تتجاوز كميات الأمطار المتساقطة 29 ملمتر شهرياً، ما يمثل جزءاً ضئيلاً من كميات الأمطار المتساقطة

الشكل 8. متوسط التغير في هطول الأمطار الموسمي (من تشرين الثاني/نوفمبر إلى نيسان/أبريل) في الأجلين القريب والمتوسط (2040-2021) والمتوسط (2060-2041) مقارنة بالفترة المرجعية (1995-2014) في السودان



المصدر: تجميع المؤلفين.

إخلاء مسؤولية: الحدود والأسماء الموضحة والتسميات المستخدمة في هذه الخرائط لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً من قبل الأمم المتحدة. لم تُحدد بعد الحدود النهائية بين جمهورية السودان وجمهورية جنوب السودان. ولم يُحدد بعد الوضع النهائي لمنطقة أبيي.



الجفاف (عدد الأيام الجافة المتتالية)

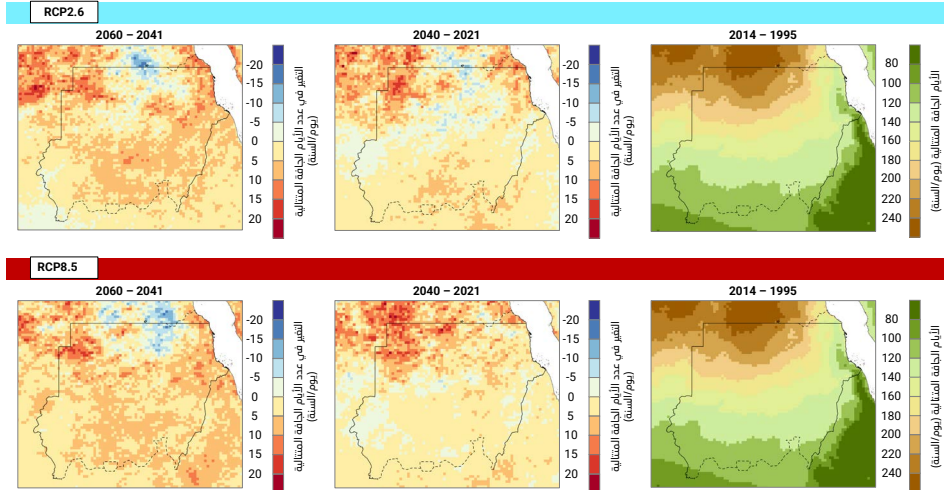
وبالمقابل، تظهر في أجزاء من ممر النيل الشمالي والهضبة الصحراوية المجاورة انخفاضات طفيفة في عدد الأيام الجافة المتتالية. وتقع هذه المنطقة في العمق الشرقي للصحراء الكبرى، وهي أشد تعرضاً لنشاط الحمل الحراري المتقطع ونقل الرطوبة من البحر الأحمر والمرتفعات الشرقية. وقد تؤدي الزيادات الطفيفة في كميات هطول الأمطار خلال الموسم المطير، التي تشير إليها بعض التوقعات، إلى قطع التسلسل الطويل لفترات الجفاف، فيقع انخفاض طفيف في عدد الأيام الجافة المتتالية، على الرغم من أن المناخ العام ينحو نحو الجفاف. وتعزز التغيرات في القيمة الوسيطة هذه التباينات المكانية. من المتوقع أن ترتفع القيمة الوسيطة لعدد الأيام

يعكس نمط الأيام الجافة المتتالية في السودان التدرجات المناخية الكبيرة في البلد ونظام هطول الأمطار الموسمي للغاية. وخلال الفترة المرجعية، بلغ المتوسط الوطني 155 يوماً في السنة، لكن القيم تجاوزت 266 يوماً في السنة في أقصى الشمال، ما يمثل أكثر من 7 أشهر من الجفاف المتواصل، ويغطي الموسم الجاف بأكمله، من تشرين الثاني/نوفمبر إلى نيسان/أبريل، إلى ما بعده بكثير (الشكل 9). وتحدث فترات الجفاف الاستثنائية الطول في المناطق الداخلية الشمالية الغربية من الصحراء الكبرى، حيث تسود ظروف الجفاف الشديد، والسماء الصافية باستمرار، والرطوبة المنخفضة للغاية، وحيث تشير التوقعات المستقبلية إلى زيادة طول هذه الفترات مع اشتداد الجفاف.

التغيرات إلى أن ارتفاع درجات الحرارة يؤدي إلى إطالة فترات الجفاف في معظم أنحاء السودان، حيث تسجل أكبر الزيادات في الصحراء الشمالية الغربية، بينما لا تحدث انخفاضات إلا في مناطق محدودة، حيث تقطع الزيادات الطفيفة في هطول الأمطار فترات الجفاف الطويلة.

الجافة المتتالية بنحو 2.5 يوم في السنة في الأجل القريب و4.8 يوم في السنة في الأجل المتوسط في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6)، وبنحو 2.2 يوم في السنة في الأجل القريب و4.7 يوم في السنة في الأجل المتوسط في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5). وتشير هذه

الشكل 9. متوسط التغير في أقصى عدد سنوي للأيام الجافة المتتالية في الأجلين القريب (2021-2040) والمتوسط (2041-2060) مقارنة بالفترة المرجعية (1995-2014) في السودان



المصدر: تجميع المؤلفين.

إحلاء مسؤولية: الحدود والأسماء الموضحة والتسميات المستخدمة في هذه الخرائط لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً من قبل الأمم المتحدة. لم تُحدد بعد الحدود النهائية بين جمهورية السودان وجمهورية جنوب السودان. ولم يُحدد بعد الوضع النهائي لمنطقة أبيي.



هطول الأمطار الغزيرة (أكبر كمية هطول للأمطار خلال يوم واحد)

في السودان، حتى وإن كانت تقع في إطار مناخ موسمي للغاية يتأثر بالرياح الموسمية.

تشير التوقعات المستقبلية إلى زيادة عامة في قيمة مؤشر أكبر كمية هطول للأمطار خلال يوم واحد، ولكن بكميات تتباين من منطقة إلى أخرى في البلد. وبحلول الأجل القريب، من المتوقع أن ترتفع القيمة الوسيطة لمؤشر أكبر كمية هطول للأمطار خلال يوم واحد بمقدار 1.0 ملمتر في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) وبمقدار 0.1 ملمتر في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5). وفي الأجل المتوسط، تصل الزيادات المتوقعة إلى 4.2 ملمتر في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6)، وإلى 2.0 ملمتر في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5). قد تكون التغيرات الموضعية أكبر بكثير، حيث تتجاوز 10 ملمتر في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) و8 ملمتر في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، ما يعني أن بعض المناطق قد تشهد أحداثاً أشد لهطول الأمطار الغزيرة في يوم واحد.

قد تبدو الزيادات الأكبر في إطار سيناريو الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) غير متوقعة، لكنها قد تكون مرتبطة بديناميات الرياح الموسمية: ففي ظل سيناريوهات الانبعاثات المنخفضة،

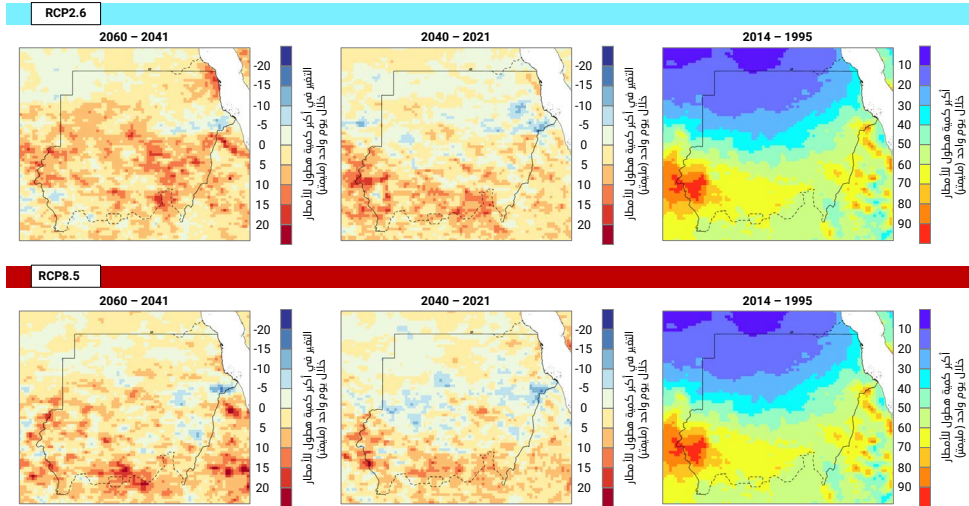
السودان معرض بشدة لهطول الأمطار في نوبات قصيرة مكثفة، ما يؤدي في الكثير من الأحيان إلى فيضانات مدمرة. وغالباً ما تقع هذه الأحداث في شكل وابل قصير ومركز، لا يدوم سوى بضع ساعات أو طوال الليل. وقد وقع حدث بارز في آب/أغسطس 2020، عندما سُجلت كميات أمطار تراوحت بين 70 و80 ملمتر في غضون 24 ساعة في كلٍّ من الخرطوم وأم درمان، فاكنتسحت شبكات الصرف الصحي، وتسببت في فيضانات واسعة النطاق في المناطق الحضرية، وساهمت في ارتفاع منسوب مياه النيل إلى مستويات قياسية¹.

يلتقط مؤشر أكبر كمية هطول للأمطار خلال يوم واحد (مؤشر Rx1day) هذا الاتجاه نحو هطول الأمطار الغزيرة خلال فترات قصيرة. وخلال الفترة المرجعية (1995-2014)، بلغ متوسط المؤشر في السودان 43 ملمتر، مع تباين مكاني ملحوظ (الشكل 10). وتتسق التباينات المكانية هذه مع نظام هطول الأمطار في البلد. وسُجلت قيم أعلى في الجنوب الشرقي الرطب، حيث يكون الحمل الحراري المرتبط بالرياح الموسمية أكثر وضوحاً، بينما سُجلت قيم أقل في الشمال القاحل، حيث يكون هطول الأمطار نادراً، لكنه قد يكون بكميات كبيرة وخلال يوم واحد. ويتبين من هذه النتائج أن هناك قدراً لا يستهان به أصلاً من أحداث الهطول الغزير للأمطار اليومية

إلى جانب التوقعات بتزايد عدد الأيام الجافة المتتالية، تشير هذه التغيرات إلى تحول نحو فترات جفاف أطول يتخللها هطول أمطار بكميات غزيرة متطرفة خلال يوم واحد. ويشير تزامن هذه التوقعات إلى تزايد التقلبات المائية والمناخية في المناطق القاحلة وشبه القاحلة المتأثرة بالرياح الموسمية، وإلى تزايد المخاطر الهيدرولوجية والجوية التي يواجهها السودان.

يظل انتقال الرطوبة ونشاط الحمل الحراري قويين بما يكفي لدعم اشتداد هطول الأمطار الغزيرة. وفي إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، يؤدي ارتفاع درجة الحرارة بشكل أكبر إلى زيادة ميل الغلاف الجوي لسحب الرطوبة بالتبخّر، وانخفاض رطوبة التربة، وضعف تدفق الرياح الموسمية، ما يحد من احتمال حدوث موجات حمل حراري حادة، على الرغم من زيادة الرطوبة في الغلاف الجوي.

الشكل 10. متوسط التغير في أكبر كمية هطول للأمطار خلال يوم واحد (مؤشر Rx1day) سنوياً في الأجلين القريب (2040-2021) والمتوسط (2060-2041) مقارنة بالفترة المرجعية (1995-2014) في السودان



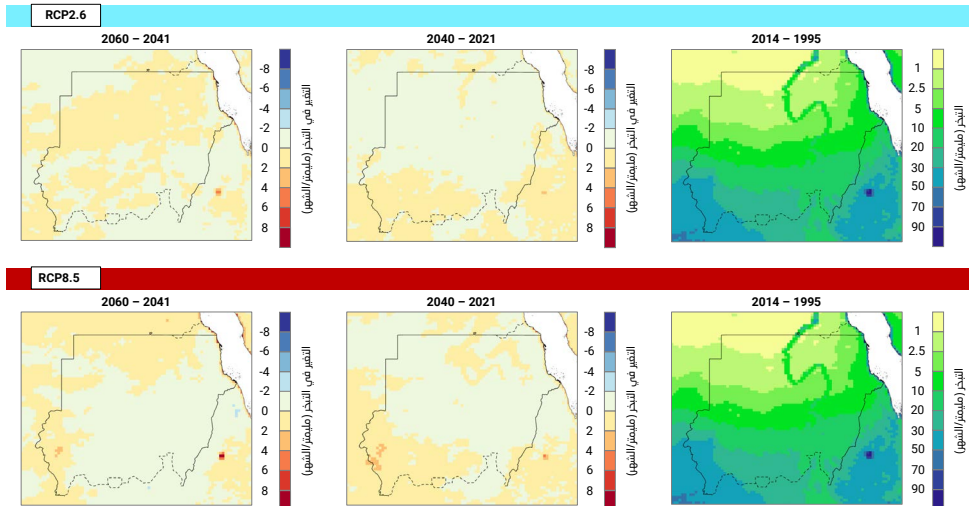
المصدر: تجميع المؤلفين.

إخلاء مسؤولية: الحدود والأسماء الموضحة والتسميات المستخدمة في هذه الخرائط لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً من قبل الأمم المتحدة. لم تُحدد بعد الحدود النهائية بين جمهورية السودان وجمهورية جنوب السودان. ولم يُحدد بعد الوضع النهائي لمنطقة أبيي.



التبخّر

الشكل 11. متوسط التغير في التبخر السنوي في الأجلين القريب (2040-2021) والمتوسط (2060-2041) مقارنة بالفترة المرجعية (1995-2014) في السودان



المصدر: تجميع المؤلفين.

إخلاء مسؤولية: الحدود والأسماء الموضحة والتسميات المستخدمة في هذه الخرائط لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً من قبل الأمم المتحدة. لم تُحدد بعد الحدود النهائية بين جمهورية السودان وجمهورية جنوب السودان. ولم يُحدد بعد الوضع النهائي لمنطقة أبيي.

التوقعات المستقبلية هذا الاستقرار: حيث تظل التغيرات في القيم الوسيطة، لكل من الأجلين القريب والمتوسط، في حدود ± 0.2 مليمتراً شهرياً في إطار كل من سيناريوهي الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) والانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، ما يعني أن السودان لن يشهد تغيرات ملحوظة في إجمالي معدلات التبخر السنوية على الرغم من ارتفاع درجات الحرارة.

يتبع نمط التبخر في السودان التدرجات المناخية للبلد، لكنه يظل منخفضاً نسبياً ومستقراً على النطاق السنوي. وقد بلغ متوسط الفترة المرجعية 11 مليمتراً شهرياً، على الرغم من أن هذه القيمة المتوسطة تخفي تفاوتات موسمية بين الموسم الجاف الطويل وموسم الرياح الموسمية الأقصر (الشكل 11). ويظل معدل التبخر السنوي متواضعاً، ولن يسجل سوى تغير طفيف في الأجل الطويل. وتؤكد



الجريان السطحي

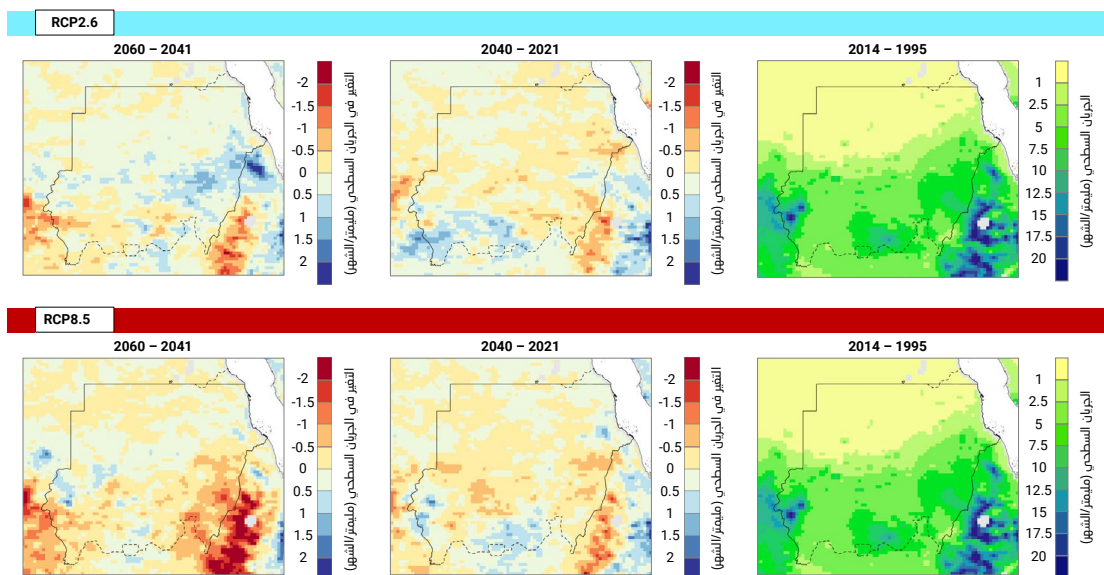
الظروف تكون جريان سطحي فعال، ما يعني أن هطول الأمطار، حتى وإن كان بكميات متواضعة، قد يُنتج تدفقاً سطحياً كبيراً.

وتبقى التغيرات المتوقعة في الجريان السطحي السنوي ضئيلة، فلا تتجاوز ± 0.2 مليمتراً شهرياً في إطار كل من سيناريوهي الانبعاثات المنخفضة (RCP2.6) والانبعاثات المرتفعة (RCP8.5). لكن التوازن الهيدرولوجي يتغير مع تغير الفصول. وتؤدي فترات الجفاف الطويلة إلى انخفاض المستوى الأساسي لربطية التربة، في حين أن هطول الأمطار الغزيرة يزيد من احتمال حدوث الجريان السطحي الوميضي. ونتيجة لذلك، قد تظل إجماليات الجريان السطحي السنوية مستقرة بشكل عام، حتى مع تزايد التقلب في توقيت وشدة الجريان السطحي الذي يزيد من احتمال وقوع أحداث خطيرة.

يعكس الجريان السطحي في السودان التدرج المناخي بين الشمال والجنوب في البلد، لكن متوسط مساهمته السنوية في الميزان المائي الوطني لا يزال ضئيلاً نسبياً ومتأثراً بشدة بالعوامل الموسمية. وبلغ متوسط الجريان السطحي خلال الفترة المرجعية 3.1 مليمتراً شهرياً فقط (الشكل 12)، ما يعكس تركيز الجريان السطحي في الموسم المطير القصير من أيار/مايو إلى تشرين الأول/أكتوبر، مع تسجيل كميات ضئيلة خلال بقية العام.

ويوجد استثناء واضح في مرتفعات جبل مرة، حيث يتجاوز الجريان السطحي السنوي 20 مليمتراً شهرياً. ولا يعزى هذا الارتفاع في القيم إلى كميات أمطار خارجة عن المعتادة، بل إلى العواصف الموسمية الشديدة والقصيرة الأمد التي تضرب المنطقة، والتضاريس الشديدة الانحدار، والتربة ذات معدل الترشيح المنخفض. حيث تُيسر هذه

الشكل 12. متوسط التغير في الجريان السطحي السنوي في الأجلين القريب (2040-2021) والمتوسط (2060-2041) مقارنة بالفترة المرجعية (1995-2014) في السودان



المصدر: تجميع المؤلفين.
إخلاء مسؤولية: الحدود والأسماء الموضحة والتسميات المستخدمة في هذه الخرائط لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً من قبل الأمم المتحدة. لم تُحدد بعد الحدود النهائية بين جمهورية السودان وجمهورية جنوب السودان. ولم يُحدد بعد الوضع النهائي لمنطقة أبيي.

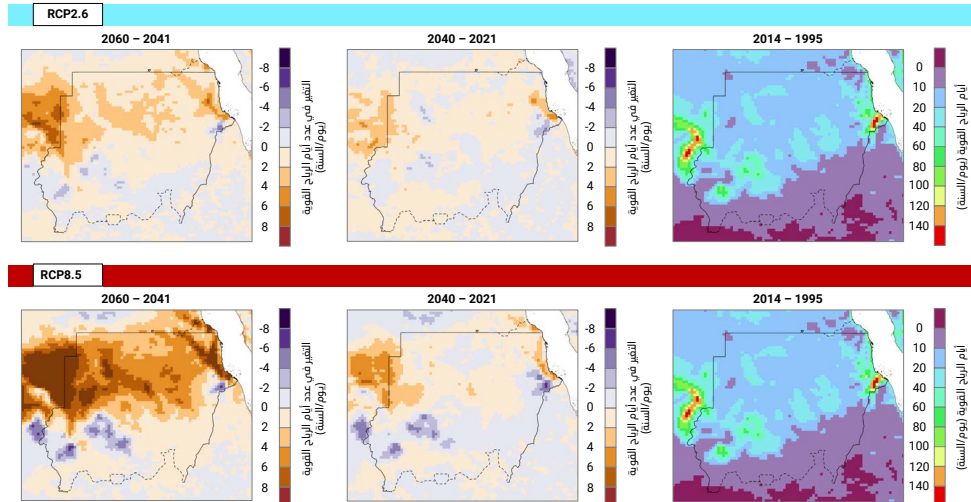


أيام الرياح القوية

وتشير التوقعات إلى زيادة عامة في عدد أيام الرياح القوية. وتشهد منطقة شمال شرق السودان أكبر ارتفاع، وذلك بسبب عوامل جغرافية، مثل جرف الجبال، وانحدار الأودية الشديد، وأنظمة الرياح الحرارية الطوبوغرافية القوية. وعلى النحو ذاته، من المتوقع أن يشهد الطرف الشمالي الغربي للصحراء الكبرى في السودان المزيد من أيام الرياح القوية بسبب اشتداد التدرجات الضغطية الصحراوية وزيادة الجفاف. وبحلول الأجل المتوسط في إطار سيناريو الانبعاثات المرتفعة (RCP8.5)، تشير التوقعات إلى زيادة بأكثر من 8 أيام في السنة.

الرياح القوية من المخاطر المناخية الهامة في السودان، حيث تؤثر على نشاط الغبار، والرؤية، وسلامة النقل، والصحة، كما قد تؤثر على نشاط عواصف الحمل الحراري. وتشتد آثار هذه الرياح في المناطق التي تتسم بالتضاريس القاحلة، والرواسب السائبة، وفترات الجفاف الطويلة. تُعرّف أيام الرياح القوية بأنها الأيام التي تتجاوز فيها السرعة القصوى للرياح 10.5 متر في الثانية، وقد بلغ متوسط عددها خلال الفترة المرجعية 17 يوماً في السنة، وقد سجلت قيم محلية تتجاوز 100 يوم في السنة في تلال البحر الأحمر، حيث يسهم كل من وعورة التضاريس والجفاف ورياح الوديان الموجهة في تكوين مناطق مركزة تشهد نشاطاً ريحياً قوياً (الشكل 13).

الشكل 13. متوسط التغير في العدد السنوي لأيام الرياح القوية (بسرعة تزيد على 10.5 متر في الثانية) في الأجلين القريب (2040-2021) والمتوسط (2060-2041) مقارنة بالفترة المرجعية (1995-2014) في السودان



المصدر: تجميع المؤلفين.

إخلاء مسؤولية: الحدود والأسماء الموضحة والتسميات المستخدمة في هذه الخرائط لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً من قبل الأمم المتحدة. لم تُحدد بعد الحدود النهائية بين جمهورية السودان وجمهورية جنوب السودان. ولم يُحدد بعد الوضع النهائي لمنطقة أبيي.

نبذة عن التوقعات المناخية

الذي تم تطويره في إطار التجربة المنسقة لتقليص النطاقات المناخية الإقليمية التابعة للبرنامج العالمي للبحوث المناخية. وبالنسبة إلى نطاق أفريقيا (الشكل 14)، تُجرى عمليات المحاكاة بدقة أفقية تبلغ حوالي 25 كيلومتر، باستخدام مصفوفة مكونة من ثلاثة نماذج مناخ عالمية وثلاثة نماذج مناخ إقليمية، ما يسفر عن مجموعة تتألف من تسعة أعضاء. ويوفر هذا الترتيب عينة وافية من أوجه عدم اليقين الهيكلي في أنظمة النمذجة العالمية والإقليمية.

ويمتد نطاق أفريقيا في المجموعة الأساسية الخاصة بالتجربة المنسقة لتقليص النطاقات المناخية الإقليمية (CORDEX-CORE)

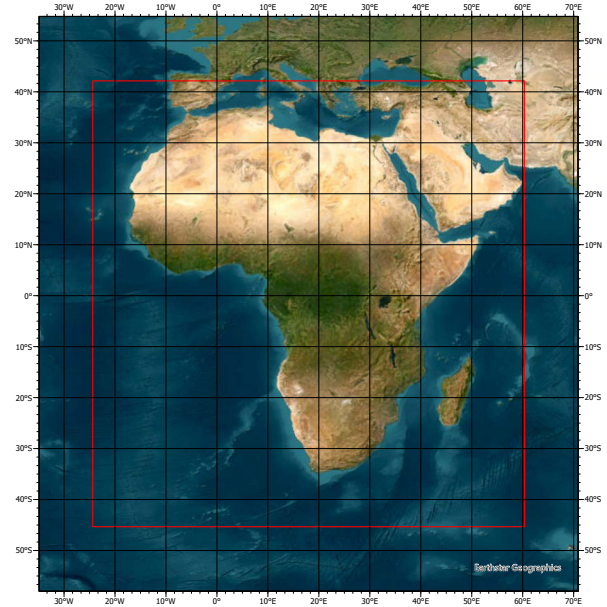
اقتُبست البيانات التاريخية المتعلقة بالظروف المناخية لدرجات الحرارة وهطول الأمطار (الشكلان 1 و2) من الإصدار الخامس لإعادة التحليل (ERA5) الصادر عن المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية المتوسطة المدى (ECMWF). والغرض من الإصدار الخامس من إعادة التحليل هو إجراء عملية إعادة بناء متسقة من الناحية الفيزيائية للظروف الجوية السابقة، ويُستخدم على نطاق واسع كخط أساس مرجعي لتقييمات المناخ الإقليمية.

واستُمدت التوقعات المناخية المستقبلية من نموذج المناخ الإقليمي للمجموعة الأساسية الخاصة بالتجربة المنسقة لتقليص النطاقات المناخية الإقليمية (CORDEX-CORE)،

CORE) ليشمل القارة بأكملها، ما يتيح إجراء تقييم متسق لأنماط الدوران الجوي على نطاق واسع، وللتدرجات الإقليمية، وللعمليات المناخية الدقيقة المتصلة بتحليل الآثار والتكيف. وعند تفسير الخرائط، تجدر الإشارة إلى أنّ الفترة المرجعية التاريخية المستخدمة في محاكاة CORDEX-Africa قد تختلف عن منتجات إعادة التحليل ومجموعات البيانات الرصدية، حيث إن خطوط الأساس مستمدة مباشرة من النماذج المناخية. وهذه الاختلافات متوقعة وتعكس الفرق المنهجي بين الدراسات المناخية القائمة على النماذج والسجلات المقيدة بالبيانات الرصدية.

ومن المتوقع أيضاً ظهور اختلافات بين توقعات CORDEX-CORE ومجموعات البيانات المستمدة من نماذج المناخ العالمية التابعة للمرحلة السادسة من مشروع مقارنة النماذج المتقارنة (CMIP6). وتعمل نماذج المناخ العالمية المطورة في إطار مشروع مقارنة النماذج المتقارنة بدرجات استبانة أصلية أقل دقة، وحتى بعد تقليص النطاق الإحصائي أو تصحيح الانحراف، فقد لا تتمكن من إعادة إنتاج السمات المتوسطة النطاق، أو هطول الأمطار الناجم عن التضاريس، أو الظواهر الشديدة المحلية بشكل كامل، وهي سمات تُمثّل بشكل أفضل من خلال خفض النطاق الدينامي إلى دقة مكانية قدرها 25 كيلومتر.

الشكل 14. التجربة المنسقة لتقليص النطاقات المناخية الإقليمية – نطاق أفريقيا



المصدر: CORDEX, Region 5: Africa.
إخلاء مسؤولية: الحدود والأسماء الموضحة والتسميات المستخدمة في هذه الخرائط لا تعني إقراراً أو قبولاً رسمياً من قبل الأمم المتحدة.

المراجع

Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store (2019). [CORDEX regional climate model data on single levels](#). Accessed on 12 May 2025.

Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store (2023). [Complete ERA5 global atmospheric reanalysis](#).

Meinshausen, M., and others (2011). "The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300". *Climatic Change*, vol. 109, pp. 213-241.

United Nations Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA) and others (2017). Arab Climate Change Assessment Report – Main Report. Beirut. [E/ESCWA/SDPD/2017/RICCAR/Report](#).

World Meteorological Organization (WMO) (2021). [State of the Climate in Africa 2020](#).

الحواشي

1. WMO, 2021.



رؤيتنا: طاقات وابتكار، ومنطقتنا استقرار وعدل وازدهار

رسالتنا: بشفّع وعزم وعقل: نبتكر، ننتج المعرفة، نقدّم المشورة، نبني التوافق، نواكب المنطقة العربية على مسار خطة عام 2030.

يداً بيد، نبني غداً مشرقاً لكلّ إنسان.

www.unescwa.org



E/ESCWA/CL1.CCS/2026/RICCAR/Factsheet/Sudan - 2600342A

إخلاء مسؤولية: الآراء الواردة في هذه الوثيقة لا تعبر بالضرورة عن آراء الصندوق العربي أو حكومة السويد.