

مستقبل التغير المناخي في الأردن: تحليل عصري لنماذج محاكاة المناخ

ساندي ب. هاريسون

أستاذ في التقلبات المناخية، جامعة بريستول، المملكة المتحدة

مركز التميز في أبحاث علم البيئة والتطور، جامعة ماكوارى،

أستراليا

بحث مقدم لاستكمال عقد "المساندة الفنية للتغير في المناخ، المختصون الدوليون" المُبرم بين الجمعية الملكية لحماية الطبيعة، بالنيابة عن وزارة التخطيط والتعاون الدولي / نظام الإدارة البيئية المتكاملة في مشروع وادي الأردن، والبروفيسور ساندراس باتريشا هاريسون، مستشارة، مركز هوب شابل، هوب شابل هيل، بريستول، ب س 8، 4 ن د، المملكة المتحدة.

الخلاصة الفنية:

إن فهمنا لأثر التغيرات المناخية المستقبلية على الأصناف الحياتية والنظام البيئي هو أمر جوهري جدا في مسألة التخطيط الموجه نحو الحفاظ على الموارد الطبيعية. إن مدى جدية التأثير المناخي على الأصناف الحياتية والنظام البيئي يعتمد على طبيعة البيئة السائدة وتجاوب المناخ الإقليمي لهذه التغيرات. وقبل استخدامنا لنماذج معقدة لاختبار درجة استجابة قطاع الإنبات في الأردن للتغيرات المناخية المستقبلية، من الضرورة بمكان دراسة طبيعة هذه التغيرات السائدة.

لقد قمنا بتحليل **سبعة من نماذج التنبؤ** للمناخات الإقليمية السائدة في الأردن استجابة لمعدل الاحتباس الحراري عند 4 درجات مئوية بحلول نهاية القرن الواحد والعشرين. تظهر هذه التنبؤات احتمالية حدوث احتباس نمطي عبر الدولة يتراوح بين 3 ± 0.5 درجة مئوية في الشتاء، وبين 4.5 ± 1 درجة مئوية في الصيف، بحلول نهاية القرن الواحد والعشرين. حيث سيكون التغير في الهطول السنوي قليلا جدا أو حتى معدوما. نتيجة لذلك، فإن الزيادة في درجات الحرارة التقريبية التي تمت محاكاتها ستؤدي إلى زيادة جوهريّة في ظروف الجفاف بحلول نهاية هذا القرن.

تتفق هذه الاستنتاجات الخاصة بطبيعة التغير المناخي في الأردن في القرن الواحد والعشرين مع عدد كبير من نماذج المحاكاة التي تم تطبيقها على نطاق أوسع كجزء من تقرير التقييم الرابع (AR4) الصادر عن اللجنة الدولية للتغيرات المناخية (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC).

إن التقييم الحالي يُنم عن أن أقاليم السافانا والأقاليم الصحراوية هي الأقل عرضة من بين كافة الأقاليم البيئية البرية للتغيرات المناخية المُفترضة خلال القرن الواحد والعشرين. لكن تقرير اللجنة الدولية ينتهي إلى وجود عدد من الظروف غير المؤكدة التي من شأنها التأثير على قابلية هذه الأنظمة البيئية للاستجابة للتغيرات المناخية. تتمحور اثنتان من هذه الظروف غير المؤكدة حول الأثر العام للمخصبات التي تستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 fertilization على المنافسة التي تجري بين النباتات المنتجة لمركبات الكربون C_3 و C_4 في عملياتها الحيوية في مناطق الأنظمة البيئية الجافة، والدور الذي تلعبه هذه التغيرات المحتملة في أنظمة الاحتراق. يقتصر التعامل مع هذه الظروف غير المؤكدة على استخدام نماذج الإنبات التي توظف الأثر المباشرة لثاني أكسيد الكربون على نمو النباتات، والمنافسة بينها، وتشتمل على الاحتراق كجزء واضح من نظام التغير.

المحتويات:

1. المقدمة
2. نماذج المحاكاة المناخية المستقبلية: تطبيق تقرير التقييم الرابع (AR4) بالاستناد إلى سيناريوهات SRES
جدول رقم 2.1: متوسط التغير الحراري العالمي بحلول نهاية القرن الواحد والعشرين لكل من سيناريوهات SRES الستة للانبعاثات، بالاعتماد على نموذج متعدد مشابه لنموذج AOGCM للمحاكاة المُستقى من تقرير التقييم الرابع (AR4).
3. محاكاة للمناخات المستقبلية: سيناريوهات GSI
جدول رقم 3.1: النماذج المناخية المستخدمة لاشتقاق سيناريوهات GSI النمطية المُدرجة للقرن الواحد والعشرين.
4. التغييرات في الحرارة:
جدول رقم 4.1: ملخص للتغيرات التي تمت محاكاتها في درجات الحرارة لفصلي الصيف والشتاء.
شكل رقم 4.1: التغيرات التي تمت محاكاتها لشهر كانون الثاني، مبيّنة كمتوسط لدرجة الحرارة 2070-2099 مقارنة بمتوسط درجة الحرارة المسجل خلال السنوات 1961-1990 بناء على مجموعة البيانات المحصلة من CRU.
شكل رقم 4.2: التغيرات التي تمت محاكاتها لشهر حزيران، مبيّنة كمتوسط لدرجة الحرارة 2070-2099 مقارنة بمتوسط درجة الحرارة المسجل خلال السنوات 1961-1990 بناء على مجموعة البيانات المحصلة من CRU.
5. التغييرات في الهطول
جدول رقم 5.1: ملخص للتغيرات التي تمت محاكاتها في الهطول لفصلي الصيف والشتاء.
شكل رقم 5.1: التغيرات التي تمت محاكاتها للهطول خلال فصل الصيف (تموز، حزيران، آب)، مبيّنة كمتوسط للهطول 2070-2099 مقارنة بمتوسط الهطول المسجل خلال السنوات 1961-1990 بناء على مجموعة البيانات المحصلة من CRU.
6. الخلاصة والنتائج للأبحاث المستقبلية.
7. المراجع.
8. ملحق رقم 1: قائمة بالمصطلحات والاختصارات
9. ملحق رقم 2: وصف لسيناريوهات SRES
10. ملحق رقم 3: نتائج المحاكاة الفردية

1. المقدمة: التغير المناخي واستجابة النظام الحيوي

1.1 تم إجراء التحليل الحالي كأساس يستند إليه نموذج استجابة النظم الحيوية الأردنية للتغيرات المناخية و التغيرات التابعة في ظواهر الإضطراب خلال القرن الواحد والعشرين. قمنا باختبار التغيرات المحتملة في المناخ الإقليمي – مركزين بشكل خاص على العوامل المناخية التي تؤثر في توزيع الإنبات (درجة الحرارة والهطول) – وذلك نتيجة للتغير في متوسط الاحتباس الحراري الذي سيبلغ 4 درجات مئوية بحلول نهاية القرن.

1.2 يبين تقرير التقييم الرابع (AR4) الصادر عن اللجنة الدولية للتغيرات المناخية (IPCC) بثقة كبيرة "أن الاستجابة للتغيير التي تدهبها كثيرًا من الأنظمة الحيوية خلال مرور هذا القرن (من حيث قدرتها على التكيف الطبيعي)، يُحتمل أن تزداد نتيجة الإمتزاج غير مسبوق في التغيرات المناخية، يترافق مع اضطرابات كبيرة (مثل الفيضانات، الجفاف، الحرائق البرية، الحشرات، ارتفاع نسبة الحموضة في المحيطات acidification)، وغيرها من محفزات التغيير العالمي (خاصة فيما يتعلق بالتغير في استغلال الأراضي، التلوث وتضاعف استخراج الموارد)، وكذلك إذا ما استمر أثر إنبعاثات الغازات الدفينة وغيرها من التأثيرات بنفس المعدل الحالي" (Fischlin et al., 2007, p.213). إن الطبيعة الأكيدة للأثر المترتب على الأنظمة الحيوية على النطاق الإقليمي هو أمر غير مُتيقن منه بنسبة كبيرة، نظرا لحالة عدم التيقن في كيفية ترجمة متوسط التغير في الاحتماس الحراري العالمي إلى تغيرات مناخية على مستويات إقليمية. من جهة أخرى، يعود السبب بذلك إلى عدم التيقن من الأثر الجوهرى لأثر الأحداث المناخية الرئيسية في إحداث تغيير على متوسط التغير المناخي الإقليمي.

1.3 إن تقرير التقييم الرابع (AR4) يشير إلى أن أقاليم السفانا والأقاليم الصحراوية الفقيرة بالأصناف الحياتية هي الأقل عُرضة للتغيرات المناخية المفترضة من بين كافة الأنظمة البيئية البرية خلال القرن الواحد والعشرين (Fischlin et al., 2007, p.214). تخضع هذه النتيجة لحالة من عدم التأكد ترتبط بـ (أ) الأثر المباشر للمخصبات التي تستخدم غاز ثاني أكسيد الكربون CO₂ fertilization، و (ب) التغيرات المناخية الناتجة عن حالات عدم الاستقرار بما في ذلك حالات الحرائق وانتشار الحشرات. إن التأثير المباشر والمحدد لتزايد نسبة ثاني أكسيد الكربون CO₂ المتواجد في الغلاف الجوي على الإنتاجية (وعليه، على التنافسية) التي تجري بين النباتات المنتجة لمركبات الكربون C₃ من شأنه أن يعمل على تعويض الأثر السلبي لضغط الجفاف المتزايد المترافق مع درجات الحرارة الزائدة (مثل e.g. Thuiller et al., 2006). مع ذلك، فإن الإنتاجية المتزايدة تؤدي كذلك إلى إنتاج المزيد من أحمال الوقود، وقد ينتج عنها مزيدًا من حوادث الحرائق التي تعمل على تدمير أنظمة الغابات الحيوية (e.g. Lenihan et al., 2003). إن إيجاد التوازن بين هذين الأثرين المتناقضين أمر يصعب تقييمه بغياب تجارب نمذجة شاملة. لقد كانت الرقابة الموجهة نحو التغييرات الأخيرة التي شهدتها الأنظمة الحيوية الصحراوية وشبه الجافة قليلة، وبذلك فإن القليل من تحليلات هذه النماذج قد ركزت على هذه الأنظمة بحد ذاتها. كما أن معظم المعلومات المتوفرة حاليا عن التغييرات المفترضة في الأنظمة الحيوية الصحراوية وشبه الجافة تستند على نماذج للأنظمة الحيوية العالمية (راجع Scholze et al., 2006).

1.4 إن فهمنا للتغييرات المحتملة في المناخ الإقليمي يعتبر ضرورة أولية حتى تتمكن من بناء النماذج المستقبلية الخاصة بدرجة تأثر الأنظمة الحيوية الأردنية بالتغييرات المناخية، والتغير المناخي المصاحبة لظواهر الإضطراب خلال القرن الواحد والعشرين. هنا (وبغياب نماذج محاكاة المناخ الإقليمي في الشرق الأوسط)، فإننا نلجأ لاستخدام نماذج محاكاة مناخية عالمية، لكنها تركز على التغييرات في درجة الحرارة والهطول عبر أرجاء الأردن والشرق الأوسط. إن التغيير المُقلد للمناخ عادة ما يُعتبر ذو دلالة إحصائية إذا كان حجم التغيير أكبر من تباين النموذج عبر السنوات مُقاسا خلال فترة 30 – 50 سنة من المحاكاة للمناخ الحديث. سيستخدم مصطلح الدلالة أو عدم الدلالة الإحصائية بهذا المعنى عند وصفنا لتغييرات مناخية تمت محاكاتها في هذا التقرير. لكن استخدام هذا المصطلح لا ينضوي بالضرورة على كون التغيير الذي تمت محاكاته هو أكبر، أو من شأنه أن يكون عظيم التأثير على الإنبات. وبالمثل، فإن التغييرات غير الدالة إحصائيا لن يتم بالضرورة تجاهلها أو اعتبارها تغييرات صغيرة.

2. نماذج المحاكاة المناخية المستقبلية: تطبيق تقرير التقييم الرابع (AR4) بالاستناد إلى سيناريوهات SRES

2.1 تم تطبيق المحاكاة المناخية للقرن الواحد والعشرين الخاصة بتقرير التقييم الرابع (AR4) باستخدام نماذج دوران الغلاف الجوي-المحيطي المزدوجة العامة coupled ocean-atmosphere general circulation models (AOGCMs) وسيناريوهات SRES المتعددة (التقرير الخاص حول سيناريوهات الانبعاثات Swart, 2000). يبين الجدول رقم 2.1 السيناريوهات الخاصة بالنموذج المتعدد لاحتراق الهواء السطحي المتوسط (وما يرتبط به من نطاق عدم التأكد) للسنوات 2090 حتى 2099 مقارنة بالسنوات 1980 حتى 1999 (Meehl et al., 2007). تم استخدام النتائج بين 16 و 21 AOGCMs لبناء نموذج متعدد لمتوسطات مشابهة بالاعتماد على سيناريوهات الانبعاثات.

2.2 تشير تقديرات النموذج المتعدد إلى تغييرات مستقبلية ممكنة، لكن حالات كبيرة من عدم التأكد ترتبط بوضوح مع عملية بناء سيناريوهات الانبعاثات. ما هو السيناريو صاحب الاحتمالية الأكبر في عكس صورة تطور الانبعاثات خلال القرن الواحد والعشرين؟ وكيف سيتم ترجمة هذه الانبعاثات للتركز الجوي من الغازات الدفيئة؟ تتفاقم هذه السيناريوهات انطلاقاً من الحقيقة القائلة باختلاف حساسية نماذج المناخات الفردية تجاه الأثر الذي تولده الغازات الدفيئة. لكن، ووفقاً لتقرير التقييم الرابع، يُحتمل أن يقع متوسط الإلتزان العالمي لاحتراق سطح الهواء عند تضاعف نسبة ثاني أكسيد الكربون الجوي (CO₂)، أو "حساسية الإلتزان المناخي"، بين 2 إلى 4.5 درجات مئوية، مع احتمالية أقوى لأن تقع القيمة عند حوالي 3 درجات مئوية (Meehl et al., 2007).

جدول رقم 2.1: متوسط التغير الحراري العالمي بحلول نهاية القرن الواحد والعشرين لكل من سيناريوهات SRES الستة للانبعاثات، بالاعتماد على نموذج متعدد مشابه لنموذج AOGCM للمحاكاة المستقاة من تقرير التقييم الرابع (AR4).

السيناريو	نموذج المتوسطات المتعددة للتغير في درجة الحرارة العالمية	نموذج النطاقات المتعددة للتغير في درجة الحرارة العالمية
A1FI	+4.0°C	+2.4°C to 6.4°C
A1B	+2.8°C	+1.7°C to 4.4°C
A1T	2.4°C	+1.4°C to 3.8°C
A2	+3.4°C	+2.0°C to 5.4°C
B1	+1.8°C	1.1°C to 2.9°C
B2	+2.4°C	+1.4°C to 3.8°C

2.3 إنه من غير المجدي استخدام كل سيناريو من سيناريوهات التركيبات المحتملة من الانبعاثات والنماذج حتى تتمكن من اشتقاق التجارب المخطط لها، بالترافق مع نموذج احتراق النباتات المزدوج coupled vegetation-fire model لنقوم بتقييم احتمالات تأثيرات التغييرات المناخية الخاصة بالقرن الواحد والعشرين على النباتات في الأردن. لكنه من غير المجدي كذلك استخدام نتائج المعدلات التجميعية للنماذج المتعددة، إذ أن عملية المعادلة هنا تخفي حالات عدم التيقن الموجودة. لذا، فنحن نخطط لاستخدام منهجية

بديلة تستند على تقييس النتائج المتمخضة عن النماذج المناخية لتصبح نتائج تُنم عن تغييرات متوافقة في متوسط درجة الحرارة العالمية (سيناريو منهجية GSI، راجع القسم الثالث). لذلك، سنركز في التقرير على التغييرات التي تمت محاكاتها في المناخ والمبينة باتباع المنهجية البديلة، لكن تعليقنا سيرد على درجة اتفاق هذه النتائج للتغييرات المبينة في المعدلات التجميعية للنماذج المتعددة الخاص بتقرير التقييم الرابع.

3. محاكاة للمناخات المستقبلية: سيناريوهات GSI

3.1 إن أحد الطرق الممكنة لإزالة حالات عدم التيقن المرتبطة باختيارنا لسيناريوهات الانبعاثات، وكيفية ترجمة هذه الانبعاثات لتركز جوي، مع اختلاف حساسية النموذج، هي تقييد النماذج الفردية لتقوم بإعادة إنتاج نفس درجة الحرارة العالمية باستخدام منهجية التقييس النمطية. تحتفظ هذه المنهجية بالمعلومات حول الاختلافات في تنبؤات النماذج المصاحبة للاستجابات المختلفة مثل أثر الإشعاع العالمي دوره اتجاه الدوران في الغلاف الجوي atmospheric circulation. وهو يقدم بنفس الوقت تقديرا للاحتباس الحراري ليقوم المستخدم باختياره. عمل مشروع GSI على استخدام منهجية التقييس النمطية ليقوم بتقديم تغييرات تتباين مع الزمن خلال القرن الواحد والعشرين تتناسب مع سبعة من نماذج مناخ هي: CSIRO-Mk30, IPSL-CM4, MPI-ECHAM5, NCARCCSM30; UKMO-HadCM3, UKMO HadGEM1 (انظر الجدول رقم 3.1).

3.2 تستخدم سيناريوهات GSI المناخية المتغيرة سيناريوهات AIB المعيارية للانبعاثات، وذلك حتى يتمكن كل نموذج من الوصول إلى 2 درجة مئوية من الاحتباس الحراري عام 2050. إن هذه النتيجة أعلى من النتائج التي تم الحصول عليها من كافة النماذج باستثناء حالة واحدة من حالات AIB للمحاكاة. من هنا، فإن سيناريوهات التقييس النمطية هذه تقدم تقديرا أقصى للتغيرات المناخية المستقبلية التي تستند على سيناريوهات متوسطة للانبعاثات، مع بقاء احتمالية حصول التغييرات المناخية المتطرفة ممكنة وفقا لسيناريوهات الانبعاثات المرتفعة. يتم إنتاج السيناريوهات المناخية المتغيرة بإضافة متوسط التغير الشهري لعوامل مناخية معينة يتم محاكاتها في كل نموذج مقارنة بسلسلة زمنية مناخية يتم مراقبتها؛ خاصة بالنسبة للمتوسط المناخي الشهري الذي تم مراقبته للفترة 1961 – 1990، والذي أُشتق من مجموعة بيانات CRU (الوحدة البحثية المناخية، جامعة شرق إنجلترا (Climate Research Unit, University of East Anglia) (New et al., 2002). لذلك، يكمن التباين الحولي في المناخ المستخدم في السيناريوهات من الفترة بين 1961 – 1990، وذلك لا يوجد تباين حولي مع معدل التغير في المناخ خلال القرن القادم.

جدول رقم 3.1: النماذج المناخية المستخدمة لاشتقاق سيناريوهات GSI النمطية المُدرّجة للقرن الواحد والعشرين.

الدولة	مجموعة النمذجة	النموذج
كندا	مركز المناخ الكندي – كندا UK Meteorological Organisation UK	CCCMA-CGCM31
أستراليا	CSIRO أستراليا	CSIRO-Mk30
فرنسا	Institut Pierre et Simon Laplace France	IPSL-CM4
ألمانيا	معهد ماكس بلانك لعمل الأرصاد الجوية – ألماني Max Planck Institute for Meteorology	MPI-ECHAM5
الولايات المتحدة الأمريكية	المركز الوطني لأبحاث الغلاف الجوي - الولايات المتحدة الأمريكية National Centre for Atmospheric Research	NCAR-CCSM30

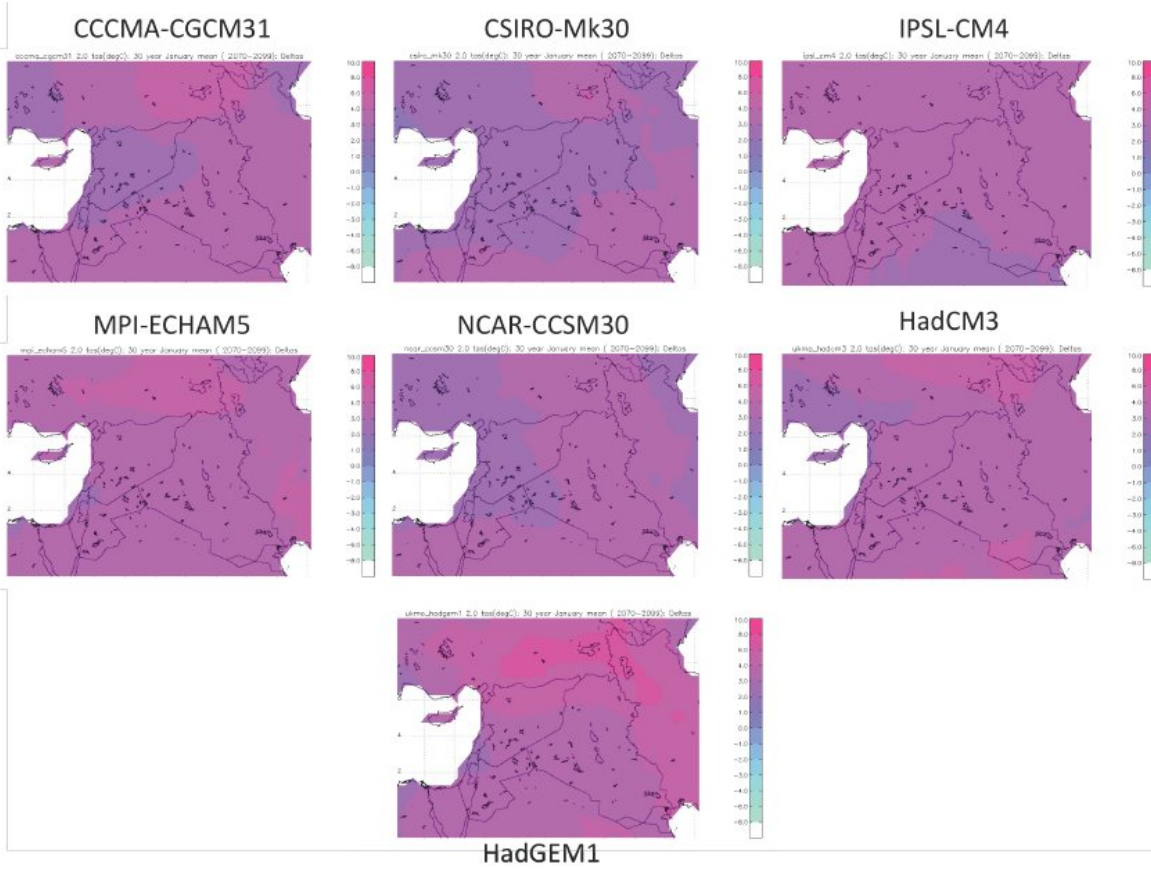
المملكة المتحدة	منظمة المملكة المتحدة للأرصاد الجوية	UKMO-HadCM3
المملكة المتحدة	منظمة المملكة المتحدة للأرصاد الجوية	UKMO-HadGEM1

4. التغيرات في درجة الحرارة

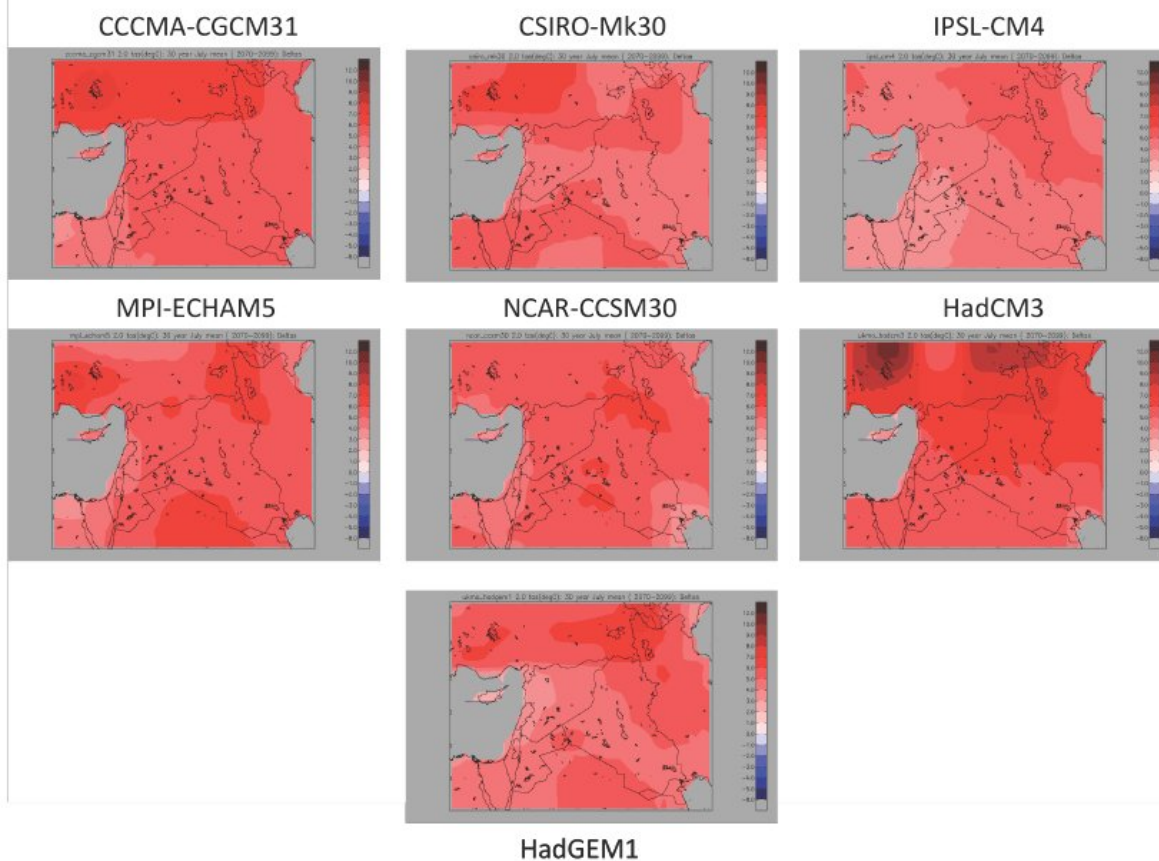
4.1 تظهر جميع عمليات المحاكاة لنموذج GSI احترارا خلال العام في نهاية القرن، إذ ستكون أعلى زيادة على درجات الحرارة في الصيف (جدول رقم 4.1). يقع التغيير الذي تمت محاكاته في درجات حرارة فصل الشتاء بين 2.8 و 3.5 درجة مئوية. أما التغيير الذي تمت محاكاته في درجات حرارة فصل الصيف فهو يقع بين 3.5 و 5.5 درجة مئوية. وبشكل عام، فإن نمط التغيير يكاد ينتظم عبر أرجاء الدولة (شكل 4.1، شكل 4.2). تظهر بعض النماذج تدرجا في درجة الاحترار، لكن الاختلاف في درجات الحرارة خلال هذا التدرج يظل دائما < 1 درجة مئوية، ولا يوجد اتفاق بين النماذج المختلفة حول الإقليم الذي سيشهد تغييرا أعلى في درجة الحرارة. لذلك، فإن السيناريو المُجمع عليه بالنسبة لاحتراق منتظم عبر أرجاء الدولة يبلغ حوالي 3 درجات مئوية في الشتاء و 4.5 درجة مئوية في الصيف خلال الجزء الأخير من القرن الواحد والعشرين. تتفق هذه النتيجة مع نتيجة المعدلات التجميعية للنماذج المتعددة في متوسط درجات الحرارة السنوية، و سيناريو B1A المبين (في حلول الأماكن الجافة) في تقرير التقييم الرابع (AR4) (Meehl et al., 2007, p. 766). إن نتائج المعدلات التجميعية للنماذج المتعددة المبين في تقرير التقييم الرابع AR4 تشير كذلك إلى أن التغييرات التي تمت محاكاتها في درجات الحرارة هي أكبر في فصل الصيف منها في فصل الشتاء.

جدول رقم 4.1: ملخص للتغيرات التي تمت محاكاتها في درجات الحرارة لفصلي الصيف والشتاء.

النموذج	متوسط التغير في درجة الحرارة لشهر كانون الثاني (درجة مئوية °C)	أنماط التغير المكاني	متوسط التغير في درجة الحرارة لشهر تموز (درجة مئوية °C)	أنماط التغير المكاني
CCCMA-CGCM31	3.3	زيادة أقل في الشمال	5.2	زيادة أقل في الغرب
CSIRO-Mk30	2.8	زيادة أقل في الجنوب	5.1	زيادة أقل في الشمال
IPSL-CM4	3.5	زيادة نمطية	3.5	زيادة نمطية
MPI-ECHAM5	3.4	زيادة أقل في الشمال الغربي	4.9	زيادة أقل في الشمال الغربي
NCAR-CCSM30	3.1	أقل في الشمال	4.8	زيادة أقل في الغرب
HadCM3	3.5	زيادة نمطية	5.5	زيادة نمطية
HadGEM1	3.4	زيادة أقل في الغرب الشمالي	3.7	زيادة أقل في الشمال الغربي، زيادة أكبر في الشرق



شكل رقم 4.1: التغيرات التي تمت محاكاتها لشهر كانون الثاني، مبينة كمتوسط لدرجة الحرارة 2099-2070 مقارنة بمتوسط درجة الحرارة المسجل خلال السنوات 1961-1990 بناء على مجموعة البيانات المحصلة من CRU.

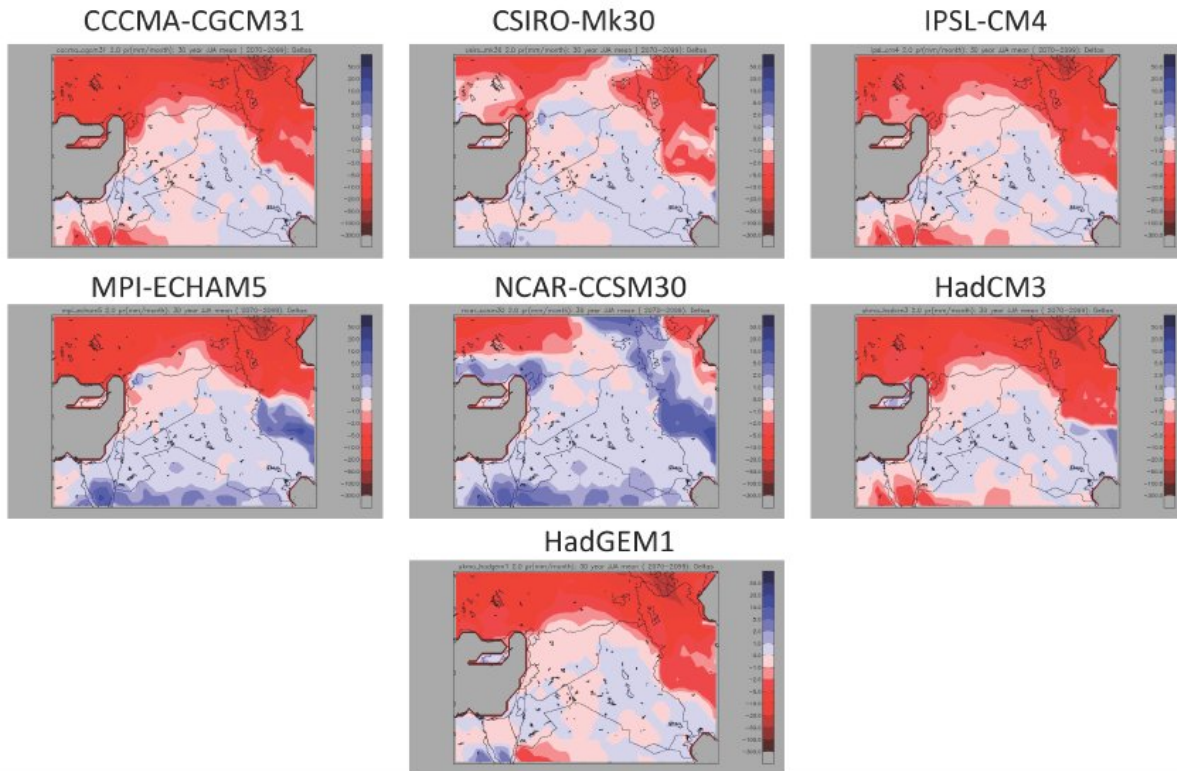


شكل رقم 4.2: التغيرات التي تمت محاكاتها لشهر حزيران، مبينة كمتوسط لدرجة الحرارة 2070-2099 مقارنة بمتوسط درجة الحرارة المسجل خلال السنوات 1961-1990 بناء على مجموعة البيانات المحصلة من CRU.

5. التغيرات في معدل الهطول

5.1 بشكل عام اتسمت التغييرات التي تمت محاكاتها في الهطول بقلتها وعدم أهميتها (جدول رقم 5.1)، إذ يتم تعويض الزيادة الصغيرة جدا من الهطول التي تحصل خلال أشهر الصيف (DJF: حزيران، تموز، آب) بنقص مشابه أو أكبر منها نوعا ما خلال فصل الشتاء (DJF: كانون الثاني، كانون الأول، شباط). وبغياب الزيادة الهامة في الهطول، فإن الزيادة التي تمت محاكاتها خلال العام في درجات الحرارة، ستؤدي إلى زيادة معتبرة في ظروف الجفاف. إن نتائج المعدلات التجميعية للنماذج المتعددة لـ A1B تشير أيضا إلى نقص ملحوظ في الهطول في فصل الشتاء في الشرق الأوسط، بالرغم من عدم أهمية التغير في الهطول خلال فصل الصيف (Meehl et al., 2007, p. 767).

النموذج	معدل التغير في الهطول في فصل الشتاء (DJF) (ملم / شهر)	معدل التغير في الهطول في فصل الصيف (JJA) (ملم / شهر)
CCCMACGCM31	لا يوجد تغيير جوهري ($< 1 \pm$ ملم / شهر)	لا يوجد تغيير جوهري ($< 1 \pm$ ملم / شهر)
CSIRO-Mk30	لا يوجد تغيير جوهري ($< 1 \pm$ ملم / شهر)	لا يوجد تغيير جوهري ($< 1 \pm$ ملم / شهر)
IPSL-CM4	نقصان صغير (-1.5 ملم / شهر) في الشمال الغربي البعيد	لا يوجد تغيير جوهري ($< 1 \pm$ ملم / شهر)
MPI-ECHAM5	نقصان صغير (-1.5 ملم / شهر) في الشمال الغربي	زيادة صغيرة (ca 1 ملم / شهر)، الزيادة الأكبر (ca 1.5 ملم / شهر) في الغرب
NCAR-CCSM30	لا يوجد تغيير جوهري ($< 1 \pm$ ملم / شهر)	نقصان صغير (1.2 ملم / شهر)، الزيادة الأكبر (تصل إلى 3.5 ملم / شهر) في الجنوب
HadCM3	لا يوجد تغيير جوهري ($< 1 \pm$ ملم / شهر)	زيادة صغيرة (> 1 ملم / شهر)
HadGEM1	لا يوجد تغيير جوهري ($< 1 \pm$ ملم / شهر)	لا يوجد تغيير جوهري ($< 1 \pm$ ملم / شهر)



شكل رقم 5.1: التغيرات التي تمت محاكاتها للهطول خلال فصل الصيف (تموز، حزيران، آب)، مبينة كمتوسط للهطول 2099-2070 مقارنة بمتوسط الهطول المسجل خلال السنوات 1990-1961 بناء على مجموعة البيانات المحصلة من CRU.

6. الخلاصة والنتائج للأبحاث المستقبلية

دأب هذا التقرير على اختبار طبيعة التغييرات المناخية عبر أرجاء الأردن، ليكون ذلك قاعدة لتنبؤات لاحقة يحتمل أن تؤثر على أنماط الإنبات، وتوزيع الأصناف الحياتية. قمنا باستخدام المعدلات التجميعية للنماذج المتعددة لدراسة سيناريوهات المناخات المستقبلية الواردة في مشروع GSI نظرا لأنه سيتم استخدام هذه السيناريوهات العصرية فيه كمدخلات لمحاكاة النماذج الخاصة بالإنبات. مع ذلك، فقد أظهرت المحاكاة التي تمت وفقا لنموذج IPCC AOGCM أنماطا مشابهة من التغييرات المناخية في الشرق الأوسط. تشير تحليلاتنا إلى أن المشكلة الحقيقية المتعلقة بالتنوع والحفاظ على الطبيعة في الأردن تكمن في زيادة الجفاف، الذي يعتبر نتيجة تترافق مع ارتفاع درجات الحرارة على مدار السنين. يُقدر التغيير في درجة الحرارة بـ 0.5 ± 3 درجة مئوية خلال فصل الشتاء، و 1 ± 4.5 درجة مئوية خلال فصل الصيف بحلول نهاية القرن الواحد والعشرين. ولن يكون هناك تغيير كبير في مقدار الهطول، أو سيكون تغيير قليل للتعويض عن الزيادات الكبيرة في درجات الحرارة.

Fischlin, A., G.F. Midgley, J.T. Price, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, M.D.A.

Rounsevell, O.P. Dube, J. Tarazona, A.A. Velichko, 2007: Ecosystems, their properties, goods, and services. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.

Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, pp. 211-272.

Lenihan, J.M., R. Drapek, D. Bachelet and R.P. Neilson, 2003: Climate change effects on vegetation distribution, carbon, and fire in California. *Ecological Applications*, **13**, 1667.

Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp.747-845.

Nakićenović, N., and R. Swart (Eds.), 2000: *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 599 pp.

New, M., D. Lister, M. Hulme and I. Makin, 2002: A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research*, **21**, 2217–2238.

Scholze, M., W. Knorr, N.W. Arnell and I.C. Prentice, 2006: A climate change risk analysis for world ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, **103**, 13116-13120.

Thuiller, W., G.F. Midgley, G.O. Hughes, B. Bomhard, G. Drew, M.C. Rutherford and F.I. Woodward, 2006: Endemic species and ecosystem sensitivity to climate change in Namibia. *Global Change Biology*, **12**, 759-776.

ملحق رقم 1: قائمة بالمصطلحات والاختصارات

سيناريو A1B للانبعاثات: هو أحد سيناريوهات SRES للانبعاثات (انظر الجدول أدناه)، يتصف بالنمو الاقتصادي والسكاني السريع، حيث تصل قمة الكثافة السكانية العالمية إلى تسعة بليون نسمة عام 2050 ثم تبدأ بالتناقص. كما يتصف بالانتشار السريع للتقنيات السريعة والفاعلة، وبزيادة المستويات المتشابهة من الدخل وأنماط الحياة بين أقاليم العالم، وكذلك بكثافة في التفاعل الاجتماعي والثقافي عبر مناطق العالم، وبالتوازن في استخدام الوقود الحجري ومصادر الطاقة المتجددة. وغالبا ما يستخدم هذا السيناريو في تقييم أثر التغيرات المناخية، لقلة التطرف الذي يحتويه مقارنة بسيناريوهات أخرى (بما في ذلك أثره على التجارة، أو انتهاء استخدام الوقود الحجري)، إضافة لأثاره وميوله الاقتصادية – الاجتماعية المحتملة.

نموذج دوران الغلاف المحيطي العام، **AOGCM: Atmosphere-ocean general circulation models**: وهو يُعبر عن التبادل بين الماء والطاقة، والدوران الذي يترافق معه في الغلاف الجوي والمحيطات من ناحية رقمية. بالرغم من وجود نماذج مناخية تعبر عن عمليات إضافية، كالتغير طويل الأمد في نمو النباتات، أو أثر العمليات الكيميائية التي تحدث ضمن الغلاف الجوي على تركيب الغلاف مثلا، فإن نموذج **AOGCM** يمثل حالة عصرية من النمذجة المناخية المستخدمة في تقرير التقييم الرابع للجنة الدولية للتغيرات المناخية.

AR4: The Fourth Assessment Report: تقرير التقييم الرابع (AR4) الصادر عن اللجنة الدولية للتغيرات المناخية.

نباتات **C₃**: هي النباتات التي تستخدم شكلا من أشكال التركيب الضوئي بطريقة تؤدي عملية تثبيت الضوء فيها إلى إنتاج مادة ذات ثلاث ذرات من الكربون. وقد كان هذا هو النوع الأول من التركيب الضوئي الذي تطور، ولا تزال حوالي 85% من النباتات الوريديّة **vascular plants** تستخدمه. تعتبر نباتات **C₃** هي النباتات المفضلة في ظروف الحرارة المعتدلة، والجفاف الأقل، والمستويات المرتفعة من ثاني أكسيد الكربون **CO₂**.

نباتات **C₄**: هي النباتات التي تستخدم شكلا من أشكال التركيب الضوئي بطريقة تؤدي عملية تثبيت الضوء فيها إلى إنتاج مادة ذات أربع ذرات من الكربون. يعتبر هذا النوع من التركيب الضوئي مثاليا للنمو السريع، والنباتات عالية المحصول في الأقاليم شبه الاستوائية. وهي النباتات المفضلة في ظروف الجفاف، نظرا لفاعليتها في استخدام المياه، في ظروف الحرارة العالية وارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون **CO₂**.

نموذج **CCCMA-CGCM31**: يمثل الإصدار المُحدّث من نموذج المركز الكندي للمناخ، يترافق استعماله مع نموذج (الغلاف الجوي للمحيطات **AOGCM: Atmosphere-ocean General circulation models**).

تخصيب ثاني أكسيد الكربون **CO₂**: تتطلب النباتات وجود ثاني أكسيد الكربون **CO₂** لتنمو، وتعتبر عملية تخصيب ثاني أكسيد الكربون **CO₂** العملية التي يتعزز فيها نمو النباتات بوجود مستويات أعلى من ثاني أكسيد الكربون **CO₂**، بأشترط عدم تدخل عوامل النمو الأخرى لتحد من هذا النمو، حيث يستخدم ثاني أكسيد الكربون **CO₂** في نشاطات البيوت البلاستيكية التجارية. بهدف النوعية والإنذار، وبالرغم من أن ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون **CO₂** في الجو قد تؤدي لزيادة الإنتاجية الطبيعية، أو يكون من شأنها التأثير على التنافس بين النباتات المنتجة لمركبات الكربون **C₃** وغاز الميثان **C₄**، فإن هذه الزيادة في الإنتاجية غير قادرة على التعويض عن الآثار السلبية على المناخ والأجواء العامة التي تترافق مع زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون **CO₂**.

نموذج **CSIRO-Mk30**: هو الإصدار الحالي من نموذج منظمة الاتحاد الاسترالي العلمية والبحثية **Australian Commonwealth Scientific and Research Organization (CSIRO)** المناخي (الغلاف الجوي للمحيطات **AOGCM: Atmosphere-ocean**).

مجموعة بيانات **CRU** المناخية **CRU (climate) data set**: تقدم وحدة الأبحاث المناخية في جامعة شرق إنجلترا – المملكة المتحدة **The Climate Research Unit (CRU) at the University of East Anglia, UK** مجموعات من البيانات حول العوامل المناخية لفترات زمنية تاريخية ومعاصرة، وضمن شبكات متباينة. غالبا ما يُنظر إلى هذه المجموعات

من البيانات على أنها أفضل وصف للمناخ وعلى نطاق العالم. وهي تستخدم على نطاق واسع بين مُحللي المناخ، وتمثل أساساً لتقييماتهم. يتوفر مزيد من التفصيل حول هذه المجموعات من البيانات في الموقع الإلكتروني: <http://www.cru.uea.ac.uk/>

حساسية التعادل المناخي *Equilibrium climate sensitivity* : هو التغير في متوسط درجة الاحتباس الحراري والنتائج عن تضاعف كمية ثاني أكسيد الكربون CO₂ في الغلاف الجوي.

ضغط الإشعاع العالمي: يستخدم هذه المصطلح في تقييمات اللجنة الدولية للتغيرات المناخية Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) للتعبير عن اضطراب في ميزانية الطاقة على كوكب الأرض ككل (ولذلك يسمى بضغط الإشعاع العالمي)، والذي من شأنه أن يؤدي فيما بعد إلى تغييرات في المؤشرات المناخية العالمية أو الإقليمية. قد يترافق هذا الأثر مع تغييرات في الإشعاع الشمسي، كما هي الحالة في التغير المناخي في القرن الواحد والعشرين، والتغيرات الناتجة في تركيبة الغلاف الجوي.

الغازات الدفيئة Greenhouse Gases : هي الغازات الموجودة في الغلاف الجوي للأرض، والتي تقوم بامتصاص الإشعاعات وبنها ضمن نطاق الأشعة الحرارية تحت الحمراء. عادة ما يُشار إلى الغازات الدفيئة على أنها "الغازات الإشعاعية النشطة" لأنها تؤثر في توازن الإشعاع لسطح الأرض، أي أنها تؤثر في التوازن بين الإشعاعات الداخلة والصادرة في قمة الغلاف الجوي. إن الأنواع الرئيسية من هذه الغازات الموجودة في الغلاف الجوي للأرض هي بخار الماء، ثاني أكسيد الكربون CO₂، غاز الميثان (CH₄)، أول أكسيد النيتروجين (N₂O)، وغاز الأوزون (O₃).

GSI: هو مشروع الآثار العالمية الممتدة للتغيرات المناخية Global Scale Impacts of Climate Change Project ، الذي يموله برنامج (فهم وتقييم نظام الأرض QUEST (Quantifying and Understanding the Earth System) program) التابع لمجلس بحوث البيئة الطبيعية البريطانية. يتمثل الهدف الرئيس من هذا المشروع بمحاولة وضع التحديد الأمثل لتأثير التغيرات المناخية بطريقة نمطية تشمل كوكب الأرض كله، وعبر مجموعة من القطاعات البيئية: كموارد المياه، والفيضانات، والمحاصيل الزراعية، وصحة الإنسان. نتج عن مشروع GSI مجموعة من السيناريوهات المناخية المستقبلية، تتميز بحساسية محددة تجاه الاحتباس الحراري، ومجموعات معينة من البيانات التي تستخدم أنماطاً معينة من التقييم (انظر أدناه). تتوفر مزيد من المعلومات حول مشروع GSI في الموقع الإلكتروني: <http://www.met.reading.ac.uk/research/quest-gsi/>

اللجنة الدولية للتغيرات المناخية (IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change): تقوم اللجنة بنشر الخلاصات الرئيسية حول كل ما يُعرف عن التغير المناخي وأثره، بالاستناد إلى تحليلات عن عمليات خاصة من المحاكاة، وباستخدام نماذج مناخية عصرية، ومراجعة يتم الاتفاق عليها تجري للأعمال العلمية في هذه المجال.

تخضع تقارير التقييم لدراسة معمقة، من قبل المجتمع العلمي، وخبراء يتم دعوتهم لهذا الغرض خصيصاً، يتم ترشيحهم من قبل ممثلين عن حكومات العالم. قم بزيارة الموقع الإلكتروني: <http://www.ipcc.ch/> لمزيد من الشرح حول عملية التقييم هذه ونتائجها.

نموذج IPSL-CM4: هو الإصدار الرابع من نموذج معهد Pierre et Simon Laplace (IPSL) ، يترافق استعماله مع النموذج المناخي (الغلاف الجوي للمحيطات AOGCM: Atmosphere-ocean).

حساسية النموذج: عادة ما يُستخدم هذا المصطلح في الدراسات الخاصة بالآثار المناخية كاختصار لحساسية المناخ (راجع أعلاه) تجاه نموذج معين. كما يمكن أن يستخدم أحيانا للإشارة إلى الحساسية العامة لنموذج معين تجاه التغير في عوامل أخرى محددة في تحليل الحساسية. أي أنه تحليل للتغير (حالة عدم التأكد) في ناتج النموذج الرياضي بالنسبة لمصادر مختلفة للتغير في مدخلات النموذج من ناحية كمية.

نموذج **MPI-ECHAM5**: هو الإصدار الخامس من نموذج المناخ المزودج لمعهد ماكس بلانك للرصد الجوي **Max Planck Institute for Meteorology (MPI)**، الذي تم تطويره بناء على نموذج **ECMWF** للتنبؤ في مدينة هامبورغ.

النموذج المتعدد للمتوسطات المشابهة **Multi-Model Ensemble Average**: إن الاختلاف في حساسية المناخ وفي عملية التقييم الفردية يعني أنه يُمكن لنماذج المناخ الفردية أن تُفضي إلى حساسية مختلفة للمناخ تجاه نفس الضغط الإشعاعي العالمي. من هنا، فقد شاع استخدام هذا النموذج في تقرير اللجنة الدولية للتغيرات المناخية **IPCC**، وفي غيرها من عمليات تقييم التغير المناخي، بهدف تقديم تقييمات للتغيرات المناخية تستند إلى متوسط لنتائج كافة النماذج المستخدمة. تُعرف هذه التقديرات بأنها النموذج المتعدد للمتوسطات المشابهة، ويمكن التعبير عنها بمتوسط رقمي (ذو انحراف معياري) أو على شكل نطاق حسابي.

نموذج **NCAR-CCSM30**: هو الإصدار الأحدث من نموذج محاكاة المناخ الاجتماعي **Community Climate Simulation Model (CCSM)** الصادر عن المعهد الوطني لبحوث الغلاف الجوي في الولايات المتحدة **National Centre for Atmospheric Research (NCAR)**.

سيناريوهات التقييم المناخي النمطي **Pattern-scaled climate scenarios**: هو تعريف لأنماط التغير المناخي الإقليمية المرتبطة بتغيرات عالمية محددة في المناخ ضمن نموذج مناخي محدد. يتطلب هذا النموذج استخدام تحويلات معقدة لتيارات طرد الهواء للتمكن من تحليل المجموعات الصغيرة من المناخات التي تمت محاكاتها من ذلك النموذج. مع ذلك، فإنه عندما يتم تطبيق هذا النوع من التحليل، يمكن اشتقاق التقديرات للاستجابات الخاصة بنموذج معين تجاه التباين في المؤشرات الفردية دون الاضطرار لتشغيل النموذج المناخي نفسه. يتزايد استخدام هذا التقييم النمطي للتمكن من اكتشاف الاستجابات المناخية عبر نطاق واسع من التشويش، بحيث لا يمكن التوصل لذلك بغيره من النماذج.

الدلالة الإحصائية لمحاكاة التغيرات المناخية: عادة ما يُعتبر النموذج ذو دلالة إحصائية إذا كان حجم التغير أكبر من تباين النموذج عبر السنوات مقياسا خلال فترة 30 – 50 سنة من المحاكاة للمناخ الحديث.

سيناريوهات **SRES** (التقرير الخاص حول سيناريوهات الانبعاثات) **SRES scenarios (Special Report on Emission Scenarios)**: هي السيناريوهات الخاصة بتطور انبعاثات الغازات الدفيئة خلال القرن الواحد والعشرين، والمبينة في التقرير الخاص حول سيناريوهات الانبعاثات (**Nakićenović and Swart, 2000**). تستند هذه السيناريوهات على ما يسمى بالقصص المروية حول كيفية تطور المجتمعات الإنسانية خلال المئة سنة القادمة، واحتمالية تأثير هذه التطورات على استخدام الطاقة، وبالتالي على انبعاثات الغازات الدفيئة. تكمن القوى المُحرّكة لتلك السيناريوهات بالتغيرات السكانية، والاقتصادية، والتقنية، واستخدامات الطاقة، والأراضي والزراعة. تتوفر أربع مجموعات (أو عائلات) لهذه السيناريوهات هي: سيناريو **A1** الذي يصف حالة يتوفر فيها مزيد من التكامل في العالم مقارنة بيومنا هذا؛ سيناريو **B1**، الذي يصف عالما يستخدم تقنيات أكثر رفقا بالبيئة، سيناريو **A2**، الذي يركز على التطور الإقليمي مع محدودية الارتباط بين مختلف أجزاء العالم. أما سيناريو **B2**، فيقدم وصفا ذو تركيز محلي يتم فيه استخدام تقنيات أكثر رفقا بالبيئة.

نموذج *UKMO-HadCM3*: هو الإصدار الثالث من نموذج مكتب المملكة المتحدة للرصد الجوي – مركز هاردلي
United Kingdom Meteorological Office (UKMO) Hadley Centre (Had)، يتزافق استعماله مع
النموذج المناخي (الغلاف الجوي للمحيطات *AOGCM*: Atmosphere-ocean).

نموذج *UKMO HadGEM1*: هو الإصدار الأول من نموذج مكتب المملكة المتحدة للرصد الجوي – نموذج مركز هاردلي
United Kingdom Meteorological Office (UKMO) Hadley Centre Global للنبيئة العالمية
Environmental Model (HadGEM).

ملحق رقم 2: وصف لسيناريوهات SRES

B2	B1	A2	A1T	A1B	A1F1	
	نمو متسارع لكنه يتحول نحو الخدمات واقتصاد المعلومات		نمو سريع مع استقرار التركيبة الاقتصادية الحالية			النمو الاقتصادي
يتزايد باستمرار لكن بوتيرة أقل مما هي عليه في A2	قمة النمو تصل عند 9 بليون عام 2050، ثم تبدأ بالتناقص	زيادة متواصلة خلال القرن الواحد والعشرين	قمة النمو تصل عند 9 بليون نسمة عام 2050، ثم تبدأ بالتناقص			النمو السكاني
تطور تقني أقل تسارعا وتشرذما عما هو في B1 و A1	اقتراح تقنيات فاعلة في استخدامها للموارد	تطور تقني أبطأ وأكثر تشرذما مما هو في A1 و B1	نمو متسارع وفعال في التقنيات الحديثة			التغير التقني
نمو اقتصادي متوسط	تقليل في كثافة المواد	تطور اقتصادي موجه إقليميا	تحولات في نمط الحياة وتباين الدخل بين الأقاليم			التحول الإقليمي
خليط متوازن من الوقود	خليط متوازن من الوقود	خليط متوازن من الوقود	تركيز على الطاقة الجديدة	خليط متوازن من الوقود الحجري	تركيز على الوقود الحجري	خليط الوقود
التركيز على الحلول المحلية بدلا من العالمية منها	أمم تدير نفسها باستقلالية	أمم تدير نفسها باستقلالية	تعاون وتخطيط دوليين			النمط

ملحق رقم 3: نتائج المحاكاة الفردية

CCCMA-CGCM31

