تغيـر المنـــاخ ٢٠٠١:
التقرير التجميعي

ملخصـات تقاريـر الأفرقـة العاملـة

ملخصات تقارير الأفرقة العاملة والملخصات الفنية

الفريق العامل الأول: الأساس العلمي
الفريق العامل الثاني: التأثيرات والتكيف وسرعة التأثر
الفريق العامل الثالث: التخفيف

تغيـر المنـــاخ ٢٠٠١:
الأســاس العلمـــي

ملخص تقرير الفريق العامل الأول

ملخص لواضعي السياسات
تقرير الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

الملخص الفني لتقرير الفريق العامل الأول
تقرير قبله الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ دون الموافقة عليه بالتفصيل

جزء من مساهمة الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الثالث
للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

المحتويات

الصفحة

ملخص لواضعي السياسات 1

ألف – مقدمة
ألف – ١ الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ وأفرقة العمل التابعة لها 25
ألف – ٢ تقريرا التقييم الأول والثاني للفريق العامل الأول 25
ألف – ٣ تقرير التقييم الثالث: هذا الملخص الفني 26

باء – التغييرات المرصودة في النظام المناخي 28
باء – ١ التغييرات المرصودة في درجات الحرارة 28
باء – ٢ التغييرات المرصودة في التهطال ورطوبة الغلاف الجوي 32
باء – ٣ التغييرات المرصودة في الغطاء الثلجي وصفيحة الجليد الأرضي والبحري 32
باء – ٤ التغييرات المرصودة في مستوى سطح البحر 33
باء – ٥ التغييرات المرصودة في أنماط الدوران في الغلاف الجوي والمحيطات 35
باء – ٦ التغييرات المرصودة في التقلبية المناخية وأحداث الطقس والمناخ المتطرفة 35
باء – ٧ الصورة الجماعية: احترار العالم وتغيرات أخرى في النظام المناخي 35

جيم – عوامل التأثير التى تسبب تغير المناخ 36
جيم – ١ التغييرات المرصودة في تركيزات الغازات الدفيئة الممزوجة جيدا والتأثير الاشعاعي 41
جيم – ٢ التغييرات المرصودة في الغازات المشعة الأخرى الهامة من الناحية الإشعاعية 46
جيم – ٣ التغييرات المرصودة والنموذجية في الهباء الجوي 47
جيم – ٤ التغييرات المرصودة في عوامل التأثير الأخرى ذات المنشأ البشري 48
جيم – ٥ التغييرات المرصودة النموذجية في النشاط الشمسي والبركاني 49
جيم – ٦ إمكانيات احترار العالم 49

دال – محاكاة النظام المناخي وتغيراته 49
دال – ١ عمليات المناخ والتغذية المرتدة 53
دال – ٢ النظم المترابطة 55
دال – ٣ تقنيات التفاصيل الإقليمية 57
دال – ٤ التقييم العام للقدرات 57

الصفحة

هاء – تحديد التأثيرات البشرية على تغير المناخ 59
هاء – ١ معنى الرصد والعزو 59
هاء – ٢ قياس رصدي أطول مدى وأكثر تفحصا عن قرب 59
هاء – ٣ تقديرات نموذجية جديدة للتقلبية الداخلية 59
هاء – ٤ تقديرات جديدة للاستجابات للتأثيرات الطبيعية 60
هاء – ٥ الحساسية لتقديرات مؤشرات تغير المناخ 60
هاء – ٦ مجموعة شاسعة من تقنيات الرصد 61
هاء – ٧ حالات عدم اليقين المتبقية في الرصد والعزو 64
هاء – ٨ الخلاصة 64

واو – إسقاطات مناخ الأرض في المستقبل 64
واو – ١ التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات الذى وضعته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (SRES) 64
واو – ٢ إسقاطات التغييرات في المستقبل في غازات الدفيئة والهباء 65
واو – ٣ إسقاطات التغييرات المقبلة في درجات الحرارة 69
واو – ٤ إسقاطات التغييرات في التهطال في المستقبل 72
واو – ٥ إسقاطات التغييرات في الأحداث المتطرفة في المستقبل 74
واو – ٦ إسقاطات التغييرات في الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي في المحيط 76
واو – ٧ إسقاطات التغييرات في طرق التقلبية الطبيعية في المستقبل 76
واو – ٨ إسقاطات التغييرات في الجليد الأرضي (الجليديات، والغطاء الجليدي، الصفائح الجليدية والجليد البحري والغطاء الثلجي في المستقبل 76
واو – ٩ إسقاطات التغييرات في مستوى سطح البحر في المستقبل 78
واو – ١٠ إسقاطات التغييرات في الاستجابة لمستويات تثبيت تركيزات ثاني أكسيد الكربون 78

زاي – تقدم الفهم 80
زاي – ١ البيانات 81
زاي – ٢ نظم المناخ ووضع نماذجها 81
زاي – ٣ الجوانب البشرية 81
زاي – ٤ الإطار الدولي 81

مصدر المعلومات : الملخص الفني 83

قائمة المصطلحات الواردة في تقرير الفريق العامل الأول 90

تغيـر المنـــاخ ٢٠٠١
الأســاس العلمـــي

ملخص لواضعي السياسات

تقرير الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

استنادا الى مسودة أعدها:

دانييل ل. ألبريتون، وميلز ر. ألين، وألفونس ب. م. بايدي، وجون أ. شيرش، وأولريتش كوباش، وداي كزياوسو، ودنغ يهوي، وديبيتير هـ. إيهالت، وكريستوفر ك. فولاند، وفيليبو جورجي، وجوناثان م. جريجوري، ودافيد ج. جريجز، وجيم م. هايوود، وبروس هويتسون، وجون ت. هوجتون، وجوانا ي. هاوس، ومايكل هولم، وإيفار إيساكسن، وفيكتور ج. جراميللو، وأتشوثان جايارمان، وكاثرين أ. جونسون، وفورتونات جوس، وسيلفي جوساوم، وتوماس كارل، ودافيد ج. كارولي، وهارون س. كيشغي، وكورين لو كيري، وكاتي ماسكيل، ولويس ج. ماتا، وبرايانت ج. ماك أفاني، وماك مكفارلاند، وليندا أ. ميرنز، وجيرالد أ. ميهل، ول. غيلفان ميرا – فيلهو، وفالنتين ب. ميليشكو، وهوهن ف. ب. ميتشل، وبرين مور، وريتشارد ك. موجارا، وماريا نوغوير، وبرهاني س. ناينزي، ومايكل أوبينهايمر، وجويس إ. بينز، وستيفين بولوناين، ومايكل براثر، وي. كولين برينتيس، وفينكاتشالا راماسوامي، وأرماندو راميريز – روجاس، وساره س. ب. رابر، وم. جيم ساينجر، وروبرت ج. شولز، وسوزان سولومون، وتوماس ف. ستوكر، وجون م. ر. ستون، ورونالد ج. ستوفر، وكيفين إ. ترينبيرث، ومينغ – كسينغ وانج، وروبرت ت. واطسون، وكوك س. ياب، وجون زيلمان.

وبمشاركة كثير من الكتاب والمراجعين.

ملخص لواضعي السياسات

يستند تقرير التقييم الثالث للفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) إلى التقييمات السابقة ويضم نتائج جديدة مستخلصة من البحوث التي أجريت على مدى السنوات الخمس الماضية بشأن تغير المناخ.[١] وقد أسهم مئات من العلماء[٢] في إعداده ومراجعته.

ويبين هذا الملخص، الذي وافقت عليه الحكومات الأعضاء في الهيئة في شنغهاي في يناير/كانون الثاني ٢٠٠١[٣] المعدّ لواضعي السياسات الحالة الراهنة لفهم النظام المناخي ويوفر تقديرات لتطوره المتوقع وعدم اليقين المحيطة به في المستقبل. ويمكن الحصول على تفاصيل أخرى من التقرير المعنى، وتوفر مصادر المعلومات المرفقة اسناد ترافقي لأجزاء التقرير.

مجموعة متزايدة من الرصدات تعطي صورة إجمالية لعالم ترتفع فيه درجات الحرارة وحدوث تغيرات أخرى في النظام المناخي.

منذ صدور تقرير التقييم الثاني،(٤) أدت البيانات الإضافية المستمدة من الدراسات الجديدة للمناخ الحالي وعبر الزمن إلى تحسين تحليل مجموعات البيانات وزيادة دقة تقييم نوعيتها، وعقد المقارنات فيما بين مختلف المصادر مما أدى إلى زيادة فهم تغير المناخ.

المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية ارتفع منذ منتصف القرن التاسع عشر بحوالي ٠.٦°س

- ارتفع المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (متوسط درجة الحرارة القريب من السطح فوق اليابسة ودرجة حرارة سطح البحر) منذ عام ١٨٦١. وبلغت الزيادة في القرن العشرين ٠,٦ ± ٠,٢ °س (٥) (٦) (الشكل ١(أ)). ويزيد هذا الرقم بنحو ٠,١٥°س عن التقديرات الواردة في تقرير التقييم الثاني للفترة حتى عام ١٩٩٤ وذلك نتيجة للارتفاع النسبي في درجة الحرارة خلال السنوات الإضافية (١٩٩٥ الى ٢٠٠٠) وتحسين طرق معالجة البيانات. وتأخذ هذه الأرقام في الاعتبار مختلف التعديلات بما في ذلك تأثيرات جزر الحرارة في المدن. ويبين السجل قدرا كبيرا من التباين. فعلى سبيل المثال، فإن معظم الاحترار الذي حدث خلال القرن العشرين وقع خلال الفترتين ١٩١٠ إلى ١٩٤٥ و١٩٧٦ إلى ٢٠٠٠.

- من المرجح إلى حد كبير، على الصعيد العالمي، أن عقد التسعينات كان أشد العقود حرارة وأن عام ١٩٩٨ كان أشد الأعوام حرارة منذ عام ١٨٦١ (انظر الشكل ١ (أ)).

- تشير التحليلات الجديدة للبيانات التقريبية في نصف الكرة الأرضية الشمالي إلى أن من المرجح[٧] أن يكون ارتفاع درجة الحرارة في القرن العشرين هو الأعظم بين القرون الأخرى في خلال الألف عام الماضية. ومن المرجح[٧] ان عقد التسعينات كان أشد العقود حرارة في نصف الكرة الشمالي وأن عام ١٩٩٨ كان أشد الأعوام حرارة (الشكل ١(ب)). ونظرا لعدم توافر الكثير من البيانات، لا يعرف الكثير عن المتوسطات السنوية قبل ألف عام من الآن وعن الظروف السائدة في معظم أنحاء نصف الكرة الجنوبى قبل عام ١٨٦١.

- في المتوسط ازدادت درجات الحرارة الصغرى اليومية الليلية فوق اليابسة بحوالي ضعف معدل درجات الحرارة العظمى اليومية النهارية فيما بين عامي ١٩٥٠ و١٩٩٣ بنحو ٠,٢°س تقريبا (بالمقارنة مع ٠,١ °س في العقد الواحد). وقد أدى ذلك إلى إطالة الفصول التي لا يحدث فيها التجمد في الكثير من المناطق ذات خطوط العرض الوسطى والقطبية. وكانت الزيادة في درجة حرارة سطح البحر خلال هذه الفترة نحو نصف متوسط درجة حرارة سطح اليابسة.

---

(١) تشير عبارة تغير المناخ، في مصطلح الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، إلى أي تغير يحدث في المناخ عبر الزمن سواء كان ناجما عن التقلبية الطبيعية أو نتيجة للنشاط البشري وهذا المفهوم يختلف عما هو عليه في الاتفاقية الإطارية بشأن تغير المناخ حيث تشير عبارة "تغير المناخ" إلى تغير المناخ الذي يعزى بشكل مباشر أو غير مباشر إلى النشاط البشرى الذي يفضي إلى تغير في تركيب الغلاف الجوي بالإضافة إلى تقلبية المناخ الطبيعية على مدى فترات زمنية متماثلة.

(٢) بلغ مجموعهم ١٢٢ كاتبا رئيسيا منسقا وكاتبا رئيسيا و٥١٥ كاتبا متعاونا و٢١ محررا مراجعا و٤٢٠ مراجعا خبيرا.

(٣) شاركت وفود ٩٩ بلدا من البلدان الأعضاء في الهيئة الحكومية الدولية في الدورة الثامنة للفريق العامل الأول التى عقدت في شنغهاي في الفترة ١٧–٢٠٠١/١/٢٠.

(٤) يشار إلى تقرير التقييم الثاني للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بعبارة SAR في هذا الملخص المعد لواضعي السياسات.

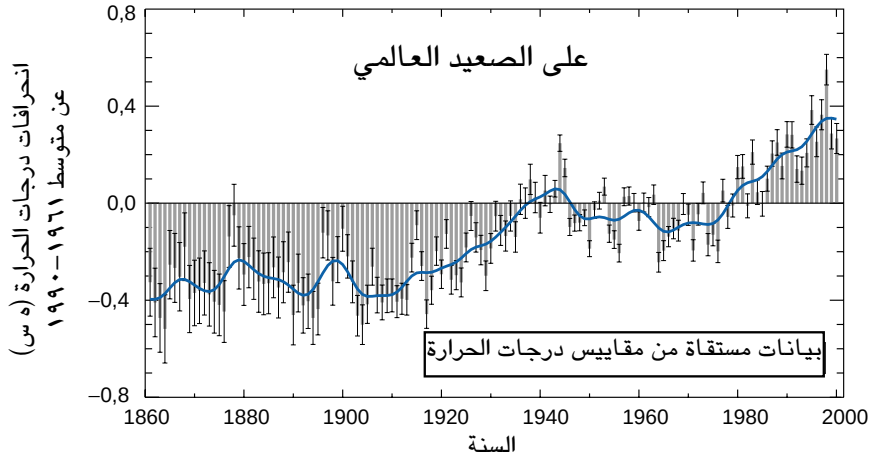
(٥) يجرى عادة تقريب اتجاهات الاحترار إلى أقرب ٠,٠٥ °س لكل وحدة زمن. وتقيد الفترات بحسب توافر البيانات.

(٦) يستخدم عموما مستوى مغزوى إحصائي قدره ٥ ٪ و ٩٥٪ من مستوى الثقة.

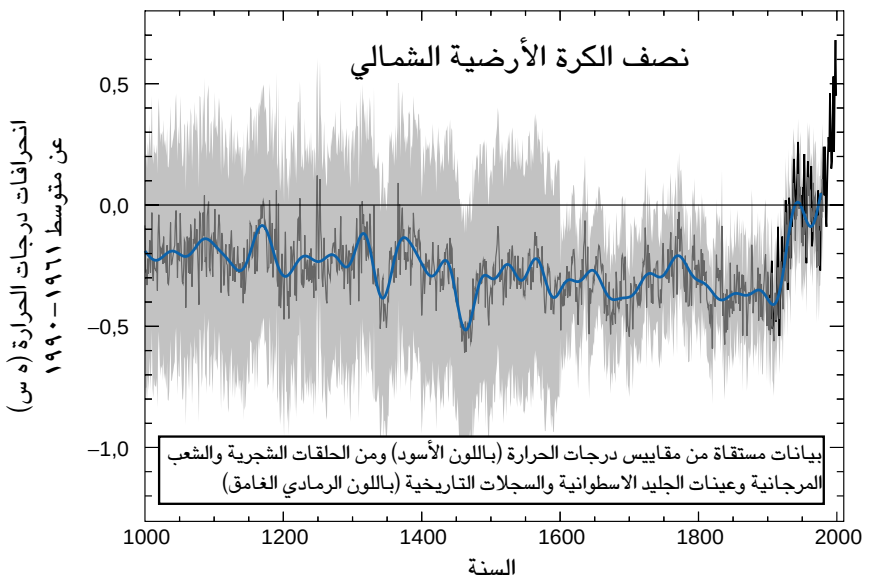
(٧) في هذا الملخص المعدّ لواضعي السياسات وفي الملخص الفني تستخدم العبارات التالية للإشارة إلى درجات تقريبية من الثقة: شبه مؤكد (النتيجة صحيحة بنسبة تفوق ٩٩ ٪)؛ مرجح للغاية (٩٠٪ – ٩٩٪)؛ مرجح (٦٦٪ – ٩٠٪)؛ مرجح بصورة متوسطة (٣٣٪–٦٦٪)؛ غير مرجح (١٠٪ – ٣٣٪)؛ غير مرجح للغاية (١٪ – ١٠٪)؛ غير مرجح بشكل استثنائي (أقل من ١٪). ويحال القارئ إلى الفصول المختلفة لمزيد من التفاصيل.

التغيرات الطارئة على درجة حرارة سطح الأرض خلال:

(أ) المائة والأربعين عاما الماضية



(ب) الألف عام الماضية



الشكل (١) التغييرات الطارئة على درجة حرارة سطح الأرض خلال المائة والأربعين عاما الماضية والألفية الماضية.

(أ) ترد درجات حرارة سطح الأرض على أساس سنوي (الأعمدة الحمراء) وعلى أساس كل عقد (الخط الأسود، وهو منحنى سنوي صافي يتلافى التقلبات التي تقل عن المستويات الزمنية العقدية). وهناك عدم يقين فيما يتعلق بالبيانات السنوية (الأعمدة السوداء الرفيعة تمثل ٩٥ في المائة من نطاق الثقة) نتيجة للفجوات في البيانات والأخطاء وعدم اليقين العشوائية الناجمة عن الأجهزة. وعدم اليقين في التصويبات المتحيزة في بيانات درجة حرارة سطح البحر وكذلك المواءمات لمراعاة التوسع العمراني على الأرض. وأفضل التقديرات خلال المائة والأربعين عاما الماضية والألف عام هي أن متوسط درجة حرارة سطح العالم قد زادت بنحو ٠,٦ + ٠,٢ ه س.

(ب) وعلاوة على ذلك، فان الاختلافات من سنة لأخرى (المنحنى الأزرق) ومتوسط خمسين عاما (المنحنى الأسود) في متوسط حرارة سطح الأرض في نصف الكرة الأرضية الشمالي خلال الألف عام الماضية أعيد بناؤها من بيانات "غير مباشرة" تم تكبيرها مقابل بيانات أجهزة قياس درجة الحرارة (انظر قائمة البيانات غير المباشرة في الشكل) ويمثل نطاق الثقة البالغ ٩٥ في المائة في البيانات السنوية (اللون الرمادي) ويزيد عدم اليقين هذا في الأزمنة البعيدة، وهو أكبر من سجل الأجهزة نتيجة لاستخدام البيانات التقريبية المتفرقة نسبيا. ومع ذلك، فإن معدل ومدة الاحترار في القرن العشرين هما الأكبر بكثير من أي قرن من القرون التسعة السابقة. كما أن من المرجح (٧) أن التسعينات كانت أشد العقود حرارة وعام ١٩٩٨ أشد السنوات حرارة في الألفية.(استنادا الى (أ) الفصل الثاني، الشكل ٢–٧ جـ و (ب) الفصل الثاني الشكل ٢–٢٠).

ارتفاع درجات الحرارة خلال العقود الأربعة الماضية في أدنى ثمانية كيلومترات من الغلاف الجوي

- كانت الزيادات في درجات حرارة العالم عامة، منذ أواخر الخمسينات (وهي الفترة التي أجريت فيها رصدات ملائمة انطلاقا من المناطق الجوية في أدنى ثماني كيلومترات من الغلاف الجوي وفي درجة حرارة سطح الأرض متماثلة عند ٠,١ ° س في العقد.

- منذ الشروع في السجل القائم على التوابع الاصطناعية في عام ١٩٧٩، تبين القياسات المستمدة من التوابع الاصطناعية والبالونات الجوية على السواء أن المتوسط العالمي لدرجة حرارة الغلاف الجوي الأسفل في أدنى ثماني كيلومترات من الغلاف الجوي قد تغير بنحو + ٠,٠٥ ٠,١٠ ° س في العقد الواحد. الا أن ارتفاع المتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحي زاد زيادة كبيرة بنحو + ٠,١٥ ٠,٠٥ ° س في العقد الواحد. ويحدث الفرق بين معدلات الاحترار، أساسا فوق المناطق المدارية وشبه المدارية.

- تتأثر أدنى ثمانية كيلومترات من الغلاف الجوي وسطح الأرض بصورة مختلفة ببعض العوامل مثل تآكل طبقة الازون التراتوسفيرية، والهباء الجوي وظاهرة النينيو. ومن هنا فإنه من الصعب توقع إمكانية حدوث فروق في اتجاهات درجات الحرارة خلال فترة زمنية قصيرة (مثل ٢٠ عاما). وعلاوة على ذلك، يمكن أن تفسر أيضا تقنيات العينة المكانية بعض الفروق في الاتجاهات الا أنه لا يمكن حلها تماما.

تناقص الغطاء الثلجي وانحسار الرقعة الجليدية

- تبين بيانات التوابع الاصطناعية أن من المرجح(٧) بدرجة كبيرة أن تكون رقعة الغطاء الثلجي قد تناقصت بنسبة تبلغ حوالي ١٠٪ منذ أواخر الستينات كما تبين الرصدات الأرضية أنه من المرجح كذلك أن تكون المدة السنوية للغطاء الجليدي فوق البحيرات والأنهار في المناطق ذات خطوط العرض الوسطى والقطبية في نصف الكرة الأرضية الشمالي قد انخفضت بما يقارب الأسبوعين خلال القرن العشرين.

- انحسرت الكتل الجليدية على نطاق واسع في المناطق غير القطبية خلال القرن العشرين.

- تناقصت رقعة الجليد البحري الربيعي والصيفي في نصف الكرة الأرضية الشمالي بنحو ١٠ الى ١٥٪ منذ الخمسينات. ومن المرجح (٧) أنه سجل نقص يقارب ٤٠٪ من سمك الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية أثناء الفترة المتراوحة بين أواخر الصيف وبداية الخريف في العقود القليلة الماضية كما سجُل نقص أبطأ بكثير في سمك الجليد البحري الشتوي.

ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر وازدياد المحتوى الحراري للمحيطات

- تشير بيانات مقياس المد إلى أن المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر قد ارتفع بما يتراوح بين ٠,١ و٠,٢ متر خلال القرن العشرين.

- ازداد المحتوى الحراري للمحيطات في العالم منذ أواخر الخمسينات، وهي الفترة التي تتوافر عنها رصدات ملائمة لدرجات الحرارة الجوفية للمحيطات.

حدثت تغيرات أيضا في جوانب هامة أخرى من المناخ

- من المرجح بشدة (٧) أن التهطال قد تزايد بنسبة تتراوح بين ٠,٥ و١٪ في العقد الواحد في القرن العشرين فوق معظم المناطق ذات خطوط العرض الوسطى والقطبية في قارات نصف الكرة الأرضية الشمالي ومن المرجح كذلك (٧) أن يكون هطول الأمطار قد تزايد بنسبة ٠,٢ إلى ٠,٣٪ للعقد الواحد في المناطق المدارية (١٠ه شمالا إلى ١٠ه جنوبا) ولم تكن الزيادة في المناطق المدارية خلال العقود القليلة الماضية واضحة. ومن المرجح أن يكون هطول الأمطار فوق الكثير من مناطق نصف الكرة الشمالي شبه المدارية قد تناقص (١٠ه الى ٣٠ ه شمالا) خلال القرن العشرين بنحو ٠,٣٪ في العقد الواحد. وعلى العكس من نصف الكرة الأرضية الشمالي، لم ترصد تغييرات منتظمة متماثلة في المتوسطات القطبية العريضة فوق نصف الكرة الأرضية الجنوبي. ولا تتوافر بيانات كافية لتحديد اتجاهات التهطال فوق المحيطات.

- ومن المرجح أن تكون قد حدثت زيادة تتراوح بين ٢ و٤٪ في وتيرة احداث التهطال الغزير في خطوط العرض المتوسطة والقطبية من نصف الكرة الأرضية الشمالي خلال النصف الأخير من القرن العشرين. ويمكن أن تنشأ الزيادة في وتيرة احداث التهطال الغزير عن عدة أسباب مثل التغييرات في رطوبة الغلاف الجوي ونشاطات العواصف الرعدية ونشاطات العواصف واسعة النطاق.

- ومن المرجح كذلك (٧) أنه كانت هناك زيادة بنسبة ٢٪ في غطاء السحاب عند خطوط العرض المتوسطة والقطبية خلال القرن العشرين. وتتصل الاتجاهات في معظم المناطق بالانخفاض المرصود في نطاق درجة الحرارة النهارية.

- من المرجح أن يكون قد حدث منذ ١٩٥٠ انخفاض في وتيرة درجات الحرارة شديدة الانخفاض مع زيادة طفيفة في وتيرة درجات الحرارة شديدة الارتفاع.

- كانت فترات الاحترار الناجمة عن ظاهرة التذبذبات ذات الصلة بظاهرة النينيو (والتي تؤثر بصورة مستمرة في التباينات الإقليمية للتهطال ودرجات الحرارة فوق معظم المناطق المدارية وشبه المدارية وبعض المناطق متوسطة الارتفاع) أكثر وتيرة واستمرارية وحدة منذ منتصف السبعينات بالمقارنة بالمائة عام السابقة.

- وحدثت زيادة طفيفة نسبيا خلال القرن العشرين (١٩٠٠ الى ١٩٩٥) في المناطق الأرضية في العالم التي تعرضت للجفاف الشديد أو الأمطار الغزيرة. وفي الكثير من المناطق، تتحكم في هذه التغييرات تقلبات مناخية متعددة العقود وعديدة مثل التحول في التذبذبات نحو أحداث أكثر حرارة.

- وفي بعض الأقاليم مثل أجزاء من آسيا وأفريقيا، لوحظ أن وتيرة وحدة حالات الجفاف قد زادت في العقود الأخيرة.

يبدو أن بعض جوانب المناخ الهامة لم تتغير

- ثمة مناطق قليلة في العالم لم ترتفع درجة حرارتها في العقود الأخيرة وذلك أساسا فوق أجزاء من محيطات نصف الكرة الأرضية الجنوبي وأجزاء من المنطقة القطبية الشمالية.

- لم تظهر اتجاهات بارزة في مناطق الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية منذ ١٩٧٨ وهي فترة القياسات الموثوق بها بالتوابع الاصطناعية.

- التغييرات العالمية في حدة العواصف المدارية وخارج المناطق المدارية ووتيرتها تتحكم فيها الفروق من عقد لآخر وبين العقود المتعددة؛ دون ظهور أية اتجاهات بارزة خلال القرن العشرين. وأدت التحليلات المتضاربة إلى تعذر استخلاص استنتاجات قاطعة بشأن التغييرات في نشاط العواصف وخاصة خارج المناطق المدارية.

- لم تظهر أية تغييرات منتظمة في وتيرة الأعاصير المدارية والأيام الرعدية أو أحداث في المناطق المحدودة التي خضعت للتحليل.

انبعاثات الغازات الدفيئة والأهباء الجوية الناجمة عن الأنشطة البشرية لا تزال تفضي إلى تآكل الغلاف الجوي بطرق تؤثر في النظام المناخي

تتواتر عدة تغيرات على المناخ نتيجة التقلبات داخل النظام المناخي وعوامل خارجية (طبيعية وبشرية). ويمكن مقارنة آثار العوامل الخارجية في المناخ، بوجه عام، باستخدام مفهوم التأثير الاشعاعي.[٨] ويؤدي التأثير الاشعاعي الموجب كذلك الذي يحدث بتزايد تركيزات غازات الدفيئة إلى احترار السطح. أما التأثير الإشعاعي السالب، الذي يمكن أن ينجم عن زيادة في بعض أنواع الأهباء الجوية (الإيروسولات) (الجسيمات المجهرية العالقة بالجو)، فيؤدي إلى تبريد السطح. كما يمكن أن تؤدي عوامل طبيعية مثل التغيرات الطارئة على إجمالي الاشعاع الشمسي أو النشاط البركاني الانفجاري إلى حدوث التأثير الاشعاعي. والتمييز بين عوامل التأثير الاشعاعي هذه وتغيراتها عبر الزمن (انظر الشكل ٢) أمر لا بد منه لفهم تغير المناخ في سياق التغيرات الطبيعية ولإسقاط نوع التغيرات المناخية التي يمكن أن تحدث في المستقبل. ويبين الشكل ٣ التقديرات الحالية للتأثير الاشعاعي الناجم عن تزايد التركيزات في مكونات الغلاف الجوي وسائر آليات التأثير.

تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي مع ما يرافقها من تأثير اشعاعي لا تزال في ازدياد نتيجة للأنشطة البشرية.

- منذ عام ١٧٥٠ ازداد تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بنسبة ٣١ في المائة. ولم يتم تجاوز التركيز الحالي لثاني أكسيد الكربون خلال الأعوام الأربعمائة والعشرين ألفا الماضية كما أن من المرجح أنه لم يتم تجاوزها خلال العشرين مليون عام الماضية. ومعدل الزيادة أمر لم يسبق له مثيل خلال العشرين ألف عام الماضية على الأقل.

- نحو ثلاثة أرباع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الأنشطة البشرية في الغلاف الجوي خلال العشرين عاما الماضية ترجع إلى حرق الوقود الأحفوري. أما الباقي فهو ناجم عن التغير الطارئ على استخدام الأراضي ولاسيما إزالة الغابات.

- تمتص المحيطات واليابسة على السواء نحو نصف انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) البشري المنشأ. وتحكم عمليات كيميائية امتصاص المحيطات لثاني أكسيد الكربون. وعلى اليابسة يتجاوز امتصاص ثاني

(٨) التأثير الاشعاعي هو مقياس لأثر عامل ما في تغيير توازن الطاقة الداخلة والخارجة في نظام الأرض – الغلاف الجوي، وهو مؤشر لأهمية العامل كآلية محتملة من آليات تغير المناخ . ويحسب على أساس الوات لكل متر مربع.

- أكسيد الكربون في الوقت الحاضر إطلاق هذا الغاز نتيجة لإزالة الغابات خلال التسعينات.

- بلغ معدل زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي نحو ١,٥ جزء في المليون [٩] (٠,٤٪) سنويا على مدى العقدين الماضيين. وخلال التسعينات، تغيرت الزيادة السنوية من ٠,٩ جزء في المليون (٠,٢٪) إلى (٠,٨جزء في المليون (٠,٨٪). ويعود قدر كبير من هذه التقلبية إلى تأثير تقلبية المناخ (مثل أحداث النينيو) على امتصاص ثاني أكسيد الكربون وإطلاقه من جانب اليابسة والمحيطات.

- ازدادت تركيزات الميثان (CH_4) في الغلاف الجوي بنحو ١٠٦٠جزء في البليون ٩ (١٥١٪) منذ عام ١٧٥٠ وهي لا تزال في ازدياد. ولم تتجاوز تركيزات الميثان في الغلاف الجوي خلال السنوات الأربعمائة والعشرين ألف سنة الماضية. وقد أصبحت الزيادة السنوية في تركيزات الميثان في الغلاف الجوي أبطأ وأكثر تغيرا في التسعينات بالمقارنة مع الثمانينات. وما يزيد قليلا من انبعاثات تركيزات الميثان حاليا يرجع إلى الأنشطة البشرية (استخدام الوقود الأحفوري والأبقار وزراعة الأرز ومقالب القمامة). وعلاوة على ذلك، جرى مؤخرا تحديد انبعاثات ثاني أكسيد الكربون باعتبارها سببا لتزايد تركيزات ثاني أكسيد الكبريت.

- ازداد تركيز أكسيد النيتروز (N_2O) في الغلاف الجوي بنحو ٤٦ جزء في البليون (١٧٪) منذ عام ١٧٥٠. وما زال في تزايد ولم يتجاوز التركيز الحالي لأكسيد النيتروز خلال الألف عام الأخيرة على الأقل. ونحو ثلث الانبعاثات الحالية من أكسيد النيتروز هي من الأنشطة البشرية (مثل التربة الزراعية وأماكن تغذية الأبقار والصناعات الكيماوية).

- ان تركيزات كثير من غازات الهالوكربون في الغلاف الجوي منذ ١٩٩٥ التي هي غازات مستنفدة للأوزون، وغازات الدفيئة إما آخذة في الانخفاض أو أنها آخذة في الزيادة بوتيرة أبطأ، استجابة للانخفاض المسجل في الانبعاثات بموجب قواعد بروتوكول مونتريال وتعديلاته. والمركبات البديلة لهذه الغازات وبعض المركبات التركيبية الأخرى (مثل الهيدروكربونات الكاملة الفلورة (PFCS) وسادس فلوريد الكبريت (SF6) هي من غازات الدفيئة أيضا وتتزايد تركيزاتها في الوقت الحاضر.

- يقدر التأثير الاشعاعي لغازات الدفيئة المختلطة جيدا بمقدار ٢,٤٣ و م –٢ خلال الفترة من ١٧٥٠ الى ٢٠٠٠، ١,٤٦ من ثاني أكسيد الكربون و٠,٤٨ و م –٢ من الميثان و٠,٣٤ و م –٢ من الهالوكربون و٠,١٥ و م –٢ من أكسيد النيتروز. (انظر الشكل ٣ حيث تظهر أيضا نقاط عدم اليقين).

- يقدر أن استنفاد طبقة الأوزون الستراتوسفيري من ١٩٧٩ إلى ٢٠٠٠ قد تسبب تأثيرا إشعاعيا سالبا (–٠,١٥ و م–٢). وإذا افترض الامتثال الكامل للقواعد الحالية الخاصة بالهالوكربون ، فإن التأثير الإشعاعي لهالوكربون سوف ينخفض مثلما سيحدث لحجم التأثير السالب من استنفاد طبقة الأوزون مع انتعاش طبقة الأوزون في القرن ٢١.

- من المقدر أن مجموع طبقة أوزون التروبوسفير قد زاد بنسبة ٣٦ ٪ منذ عام ١٧٥٠نتيجة للانبعاثات البشرية المنشأ من عدة غازات مكونة للأوزون ويعادل ذلك حدوث تأثير إشعاعي موجب هام قدره ٠,٣٥ وم–٢ . ويختلف تأثير الأوزون الاشعاعي اختلافا كبيرا باختلاف المناطق، وهو يستجيب بطريقة أسرع بكثير للتغيرات الطارئة على الانبعاثات بالمقارنة بغازات الدفيئة المعمرة مثل ثاني أكسيد الكربون.

معظم الأهباء الجوية البشرية المنشأ غير معمرة وتؤدي تأثيرا اشعاعيا سالبا

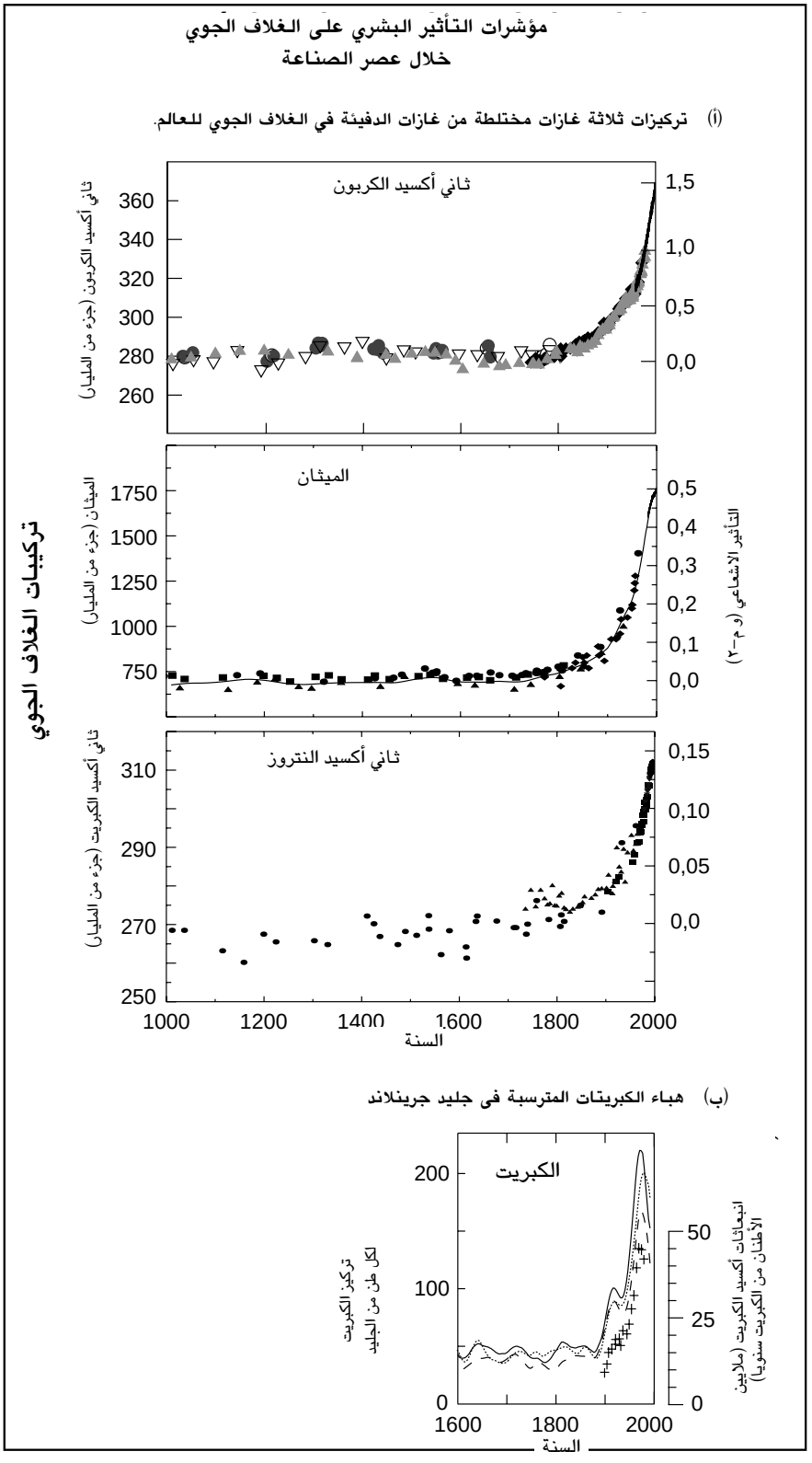
- أهم مصادر الهباء البشري المنشأ هى الوقود الأحفوري وحرق الكتلة الأحيائية. وترتبط هذه المصادر أيضا بتدهور نوعية الهواء والترسيبات الحمضية.

- منذ صدور تقرير التقييم الثاني، تحقق تقدم هام فيما يتعلق بتحديد سمات الأدوار الاشعاعية المباشرة لمختلف أنواع الأهباء الجوية. ويقدر أن التأثير الإشعاعي المباشر يبلغ –٠,٤ و.م–٢ بالنسبة للكبريت و–٠,٢ و.م–٢ لهباء حرق الكتلة الاحيائية و–٠,١ و.م–٢ للكربون العضوي الناجم عن الوقود الأحفوري و–٠,٢ و.م–٢ بالنسبة لهباء الكربون الأسود (السناج) الناجم عن الوقود الأحفوري. وهناك الآن قدر أقل بكثير من الثقة في القدرة على التحديد الكمي لأثر الأهباء الجوية الإجمالي وتطوره عبر الزمن منه على القدرة على التحديد الكمي لأثر الغازات المذكورة أعلاه. كما أن الأهباء الجوية تختلف اختلافا كبيرا من منطقة لأخرى وهى تستجيب بسرعة للتغيرات الطارئة على الانبعاثات.

- علاوة على التأثير الإشعاعي المباشر، للهباء تأثير إشعاعي غير مباشر من خلال تأثيراته على السحب. وهناك الآن المزيد من الأدلة على هذا الأثر غير المباشر الذي هو سلبي على الرغم من أن ذلك يظل يكتنفه عدم اليقين الشديد.

---

(٩) ppm (جزء في المليون) أو ppb (جزء في البليون = ١٠٠٠ مليون) هى نسبة عدد جزيئيات غاز الدفيئة إلى مجموع عدد جزيئيات الهواء الجاف. فعلى سبيل المثال فان ٣٠٠ جزء في المليون تعنى ٣٠٠ جزيئ من غازات الدفيئة لكل مليون جزيئ من الهواء الجاف.

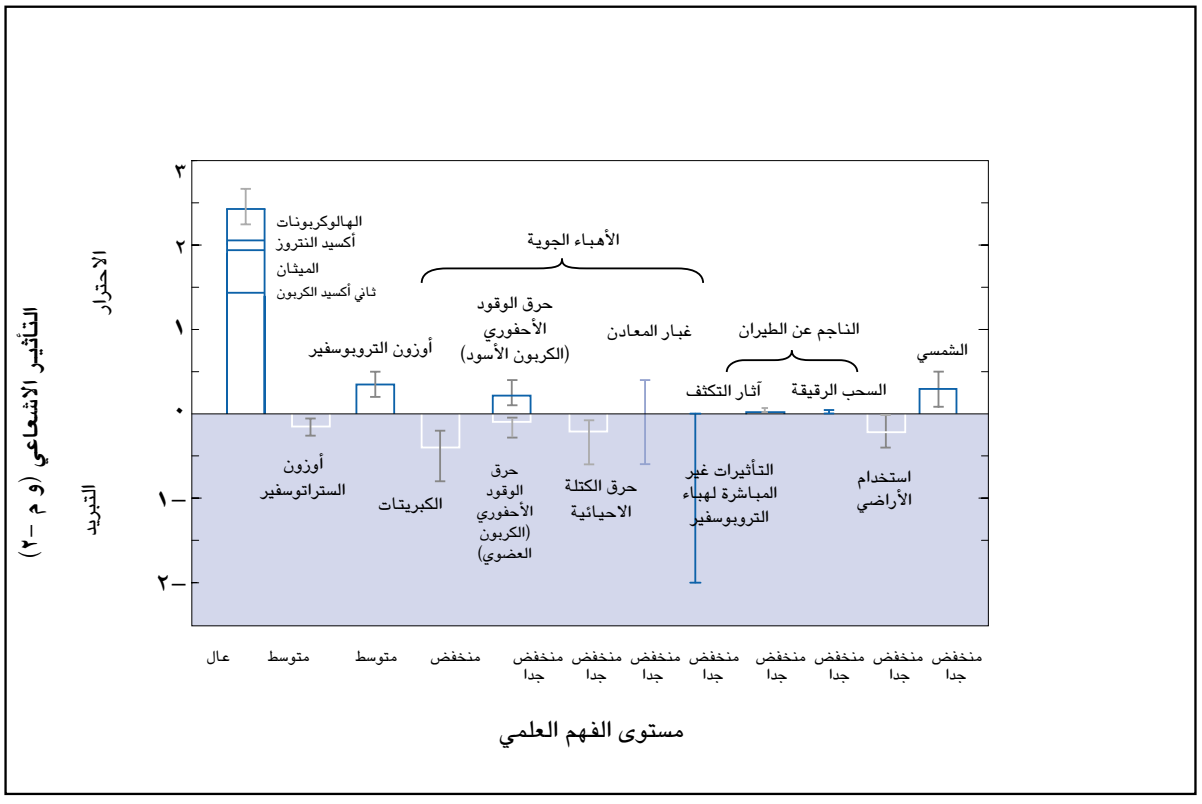


الشكل ٢: السجلات الطويلة للتغييرات في الماضي في تركيب الغلاف الجوي توفر السياق لتأثيرات الانبعاثات نتيجة للأنشطة البشرية.

(أ) يبين التغيرات في تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (CO_2) والميثان (CH_4) وثاني أكسيد النتروز (N_2O) خلال الألف عام الماضية. وتستكمل البيانات الخاصة بعينة الجليد الاسطوانية في العديد من المواقع في المنطقة القطبية الشمالية وجرينلاند (المبينة برموز مختلفة) ببيانات من عينات مباشرة من الغلاف الجوي خلال العقود الماضية (مبينة بحسب الخط الخاص بثاني أكسيد الكربون ومدرجة في المنحنى الذى يمثل متوسط الميثان في العالم). وقد حدد التأثير الإشعاعي الموجب التقديري للنظام المناخي على المقياس الوارد ناحية اليمين. ونظرا لأن لهذه الغازات عمرا يبلغ عقدا أو نحو ذلك في الغلاف الجوي، فهى مختلطة بصورة جيدة وتعكس تركيزاتها الانبعاثات من مصادر مختلفة في أنحاء العالم. وتبين السجلات الثلاثة تأثيرات النمو الكبير والمتزايد في الانبعاثات الناجمة عن الأنشطة البشرية في العصر الصناعي.

(ب)تبين تأثيرات الانبعاثات الصناعية على تركيزات الكبريتات التى تنتج تأثيرات إشعاعية سالبة. كما يظهر السجل الزمني لتركيزات الكبريت لا في الغلاف الجوي، بل في العينات الجليدية الاسطوانية في جرينلاند (المبينة في خطوط أزيلت منها التأثيرات العرضية للثوران البركانية). وتبين هذه البيانات الترسيب المحلي لهباء الكبريت في الموقع مما يعكس انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت في الارتفاعات المتوسطة في نصف الكرة الأرضية الشمالي. ويبين هذا السجل، رغم أنه ذو طابع إقليمي أكثر من غازات الدفيئة المختلطة عالميا، النمو الكبير في انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت الناجم عن الأنشطة البشرية خلال العصر الصناعي. وتشير الزيادات إلى انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت التقديرية الإقليمية ذات الصلة (المقياس على الجانب الأيمن).

[استنادا الى (أ) الفصل الثالث، الشكل ٣-٢ (ب) (ثاني أكسيد الكربون) والفصل الرابع الشكل ٤-١ (أ) و(ب) (الميثان)، والفصل ٤ الشكل ٤-٢ (ثاني أكسيد النتروز و(ب) الفصل الخامس (الشكل ٥-٤)(أ)].



الشكل ٣ – عوامل خارجية كثيرة تكمن وراء تغير المناخ.

هذه التأثيرات الاشعاعية تنجم عن التغيرات الطارئة على تركيب الغلاف الجوي وتغير معامل انعكاس السطح بسبب استخدام الأراضي وتغير إجمالي الإشعاع الشمسي. وباستثناء التغير الشمسي فإن بعض أشكال النشاط البشري مرتبط بعضها بالبعض الآخر. وتمثل الأعمدة المستطيلة تقديرات الإسهامات النسبية للتغيرات في هذه التأثيرات الإشعاعية حيث إن بعضها يؤدي إلى الاحترار والبعض الآخر إلى التبريد. أما التأثير الاشعاعي الناجم عن الانبعاثات الصادرة عن البراكين، والتى تؤدى الى تأثير اشعاعي سالب يستمر لبضع سنوات، فغير مبين. والأثر غير المباشر للأهباء الجوية يتمثل في أثرها على عمر السحب، والذي يؤدي أيضا إلى حدوث تأثير إشعاعي سالب. وأدرجت تأثيرات الطيران على غازات الدفيئة في الأعمدة المختلفة وبعض التأثيرات الاشعاعية يكتنفها قدر من اليقين أكبر بكثير من ذلك الذي يكتنف البعض الآخر. ويشير الخط العمودي حول الأعمدة المستطيلة إلى تقدير نطاق عدم اليقين وهو يسترشد، في معظم الحالات، بمدى قيم التأثيرات الاشعاعية المنشورة. ويبين الخط العمودي الواقع خارج العمود المستطيل وجود تأثير إشعاعي يتعذر إعطاء أي تقدير مركزي بشأنه نتيجة لوجود أوجه عدم يقين كبرى. ويختلف المستوى العام للفهم العلمي لكل تأثير إشعاعي اختلافا كبيرا كما أشير الى ذلك. وبعض عوامل التأثيرات الاشعاعية متداخلة جيدا في جميع أنحاء العالم مثل ثاني أكسيد الكربون مما يؤدي إلى إدخال الاضطراب على التوازن الحراري العالمى. وتمثل العوامل الأخرى اضطرابات تكتسي سمات إقليمية أقوى نظرا لتوزعها المكاني مثل الأهباء الجوية. ولهذا السبب ولأسباب أخرى، فإن مجرد حساب الأطوال الموجبة والسالبة للأعمدة لا يمكن أن ينتج الأثر الصافي على النظام المناخي. بل على العكس فإن التأثيرات الإشعاعية المقدرة كميا بشكل أفضل (مثل غازات الدفيئة الممزوجة جيدا والأوزون والأهباء الجوية الكبريتية والتأثير الإشعاعي الشمسي) قد أدرجت في النماذج المناخية. وتشير عمليات المحاكاة في تقرير التقييم هذا (الشكل ٥ مثلا) الى أن الأثر الصافي التقديري لهذه الاضطرابات أدى إلى احترار المناخ العالمي منذ عام ١٧٥٠ حيث حدثت أشد الاضطرابات وبالتالي أشد الاحترار في القرن الماضي.

[استنادا إلى الفصل السادس والشكل ٦–٦]

العوامل الطبيعية أسهمت بنسب ضئيلة في التأثير الإشعاعي على مدى القرن الماضي:

- التأثير الإشعاعي الناجم عن التغيرات الطارئة على الاشعاع الشمسي خلال الفترة الممتدة منذ عام ١٧٥٠ يقدر بنحو + ٠,٣ و.م–٢ وقد حدث معظمه خلال النصف الأول من القرن العشرين. ومنذ أواخر السبعينات، رصدت أدوات التوابع الاصطناعية تذبذبات صغيرة مردها الدورة الشمسية التي تحدث كل ١١ عاما. وقد اقترحت آليا لتضخيم التأثيرات الشمسية المؤثرة على المناخ الا أنها تفتقر إلى أساس نظري أو رصدي صارم.

- تؤدي الأهباء الجوية الستراتوسفيرية الصادرة عن ثوران البراكين إلى تأثير إشعاعي سالب يستمر لبضع سنوات. وقد حدثت عدة ثورات كبرى للبراكين في الفترات الممتدة من عام ١٨٨٠ إلى عام ١٩٢٠ وعام ١٩٦٠ إلى عام ١٩٩١.

- تشير التقديرات إلى أن التغيير التجميعي في التأثير الإشعاعي للعاملين الطبيعيين الرئيسيين (التغير الشمسي والأهباء الجوية البركانية) هو أثر سالب خلال العقدين الماضيين وربما العقود الأربعة الماضية.

تزايد الثقة في قدرة النماذج على إسقاط المناخات المستقبلية

يتعين وضع نماذج مناخية معقدة تستند إلى قواعد مادية لتوفير تقديرات مفصلة للمعلومات حول الإنعكاسات المرتقبة والجوانب الإقليمية. غير أن هذه النماذج لا تستطيع بعد أن تحاكى جميع جوانب المناخ (إذ انها مثلا لا تستطيع أن تعتمد بالكامل بعد على الاتجاه الملاحظ في الفروق في درجة حرارة السطح – التروبوسفير منذ ١٩٧٩) كما أن هناك عدم يقين خاص يرتبط بالسحب وتفاعلها مع الاشعاعات والهباء. ومع ذلك، تحسنت الثقة في قدرة هذه النماذج على توفير إسقاطات مفيدة حول المناخات المستقبلية نتيجة لأدائها الواضح في سلسلة من المقاييس المكانية والزمنية.

- تحسن فهم العمليات المناخية وتمثيلها في النماذج المناخية بما في ذلك بخار الماء وديناميات الجليد البحري وانتقال حرارة المحيطات.

- تؤدي بعض النماذج الحديثة إلى محاكاة للمناخ الحالي تبعث على الرضا دون الحاجة إلى تعديلات غير فيزيائية للتدفقات الحرارية والمائية في السطح البيني الفاصل بين المحيطات والغلاف الجوي المستخدم في النماذج السابقة .

- أنتجت عمليات المحاكاة التي تتضمن تقديرات للتأثيرات الطبيعية والبشرية المنشأ تغييرات كبيرة مرصودة في درجة حرارة الهواء السطحي خلال القرن العشرين (الشكل٤). غير أن المعطيات حول بعض العمليات والتأثيرات الاضافية قد لا تكون قد أدرجت في النماذج. ومع ذلك يمكن استخدام الاتساق واسع النطاق بين النماذج والارصادات لتوفير مراجعة مستقلة على معدلات الاحترار المسقطة خلال العقود القليلة القادمة في إطار سيناريو معين للانبعاثات الغازية.

- تحسنت بعض جوانب المحاكاة النموذجية لظاهرة التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو الجنوبي (ENSO) والرياح الموسمية في شمال المحيط الأطلسي فضلا عن بعض فترات المناخ السابقة.

هناك الآن شواهد جديدة وأقوى على أن معظم الاحترار المرصود خلال الخمسين عاما الأخيرة يعزى الى النشاطات البشرية.

خلص تقرير التقييم الثاني (SAR) الى: "أن توازن الشواهد المتاحة يشير إلى وجود تأثير بشري يمكن معاينته في المناخ العالمي". كما لاحظ ذلك التقرير أن العلامات على التأثير البشري المنشأ لا تزال تصدر من خلفية التقلبات المناخية الطبيعية. ومنذ صدور هذا التقرير، تحقق تقدم في الحد من أوجه عدم اليقين وخاصة فيما يتعلق بتمييز وتحديد حجم الاستجابات لمعظم المؤثرات الخارجية بصورة كمية. وعلى الرغم من أن الكثير من مصادر عدم اليقين التي حددت في تقرير التقييم الثاني مازالت قائمة إلى حد ما، فإن ثمة شواهد جديدة وفهم أفضل تؤيد الخروج بنتيجة محدثة.

- هناك سجل لدرجات الحرارة أطول مدى ويخضع لتفحص أوثق كما أن هناك تقديرات نموذجية جديدة للتقلبية. ومن غير المرجح[٧] بدرجة كبيرة أن يكون الاحترار خلال المائة عام الماضية راجعا إلى تقلبية داخلية فقط على النحو الذي قدرته النماذج الحالية. فإعادة تشكيل البيانات المناخية الخاصة بالألف عام السابقة (الشكل ١(ب)) تشير أيضا إلى أن هذا الاحترار كان غير عادي ومن غير المرجح أن يكون طبيعيا كليا في أساسه.

- هناك تقديرات جديدة لاستجابة المناخ للتأثير الإشعاعي الطبيعي والبشري المنشأ كما تم استخدام تقنيات جديدة للكشف. وتعثر دراسات الكشف والعزو، بشكل متناسق، على شواهد ومؤشرات بشرية المنشأ في سجل المناخ خلال السنوات ٣٥–٥٠ الأخيرة.

- ولا تفسر محاكاة الاستجابة للتأثيرات الاشعاعية الطبيعية وحدها، (أي الاستجابة الشمسية وثورات البراكين) الاحترار الذي حدث في النصف الثاني من القرن العشرين (انظر الشكل ٤(أ) مثلا)، غير أنها تشير إلى أن التأثيرات الاشعاعية الطبيعية قد تكون قد لعبت دورا في الاحترار المرصود للإشعاعات في النصف الأول من القرن العشرين.

- يمكن التعرف على تأثير غازات الدفيئة البشرية المنشأ على مدى السنوات الخمسين الماضية على الرغم من أوجه عدم اليقين التي تكتنف التأثيرات الاشعاعية الأخرى الناجمة عن هباء الكبريت البشري المنشأ والعوامل الطبيعية (البراكين والاشعاع الشمسي). فالتأثير الاشعاعي للكبريتات ساد طوال هذه المدة على الرغم من أوجه عدم اليقين التي تحيط به ومن ثم لا يمكن أن تفسر الاحترار كما أن التغيرات الطارئة على التأثير الإشعاعي الطبيعي خلال معظم هذه المدة سالبة حسب التقديرات. ومن غير المرجح أن تفسر الاحترار.

- يمكن الآن لدراسات الرصد والعزو التي تقارن التغييرات النموذجية بمعطيات السجلات المرصودة أن تراعي جوانب عدم اليقين في حجم الاستجابة النموذجية للتأثيرات الخارجية وخاصة تلك التي ترجع إلى عدم اليقين في حساسية المناخ.

- تجد معظم هذه الدراسات أن المعدل والنسبة التقديريين للاحترار، خلال الخمسين عاما الماضية، الناجمين عن زيادة تركيزات غازات الدفيئة وحدها يماثلان الاحترار المرصود أو أكبر منه. وعلاوة على ذلك، فإن معظم التقديرات النموذجية التي تأخذ في الحسبان غازات الدفيئة وهباء الكبريت تتساوق مع الرصدات في تلك الفترة.

- وجد أفضل توافق بين المحاكاة النموذجية والمعطيات المسجلة خلال المائة والأربعين عاما الماضية عندما تجتمع جميع عوامل التأثيرات الطبيعية والبشرية المنشأ المشار إليها أعلاه على النحو الوارد في الشكل ٤ ج. وتبين هذه النتائج أن التأثيرات المدرجة تكفي لتفسير التغييرات المرصودة إلا أنها لا تستبعد احتمال أن ثمة تأثيرات أخرى قد تكون قد أسهمت في ذلك.

وفي ضوء القرائن الجديدة، وبعد مراعاة جوانب عدم اليقين المتبقية، من المرجح [٧] أن يكون معظم الاحترار المرصود خلال المائة والخمسين عاما الماضية ناجما عن زيادة تركيزات غاز الدفيئة.

وعلاوة على ذلك، من المرجح بدرجة كبيرة[٧] أن يكون الاحترار الذي حدث في القرن العشرين قد أسهم اسهاما كبيرا في الارتفاع المرصود في مستوى سطح البحر من خلال الزيادة الحرارية لمياه البحر وخسارة الجليد الأرضي على نطاق واسع. وتتساوق الرصدات والنماذج، في إطار جوانب عدم اليقين الحالية في الإشارة إلى نقص التسارع الكبير في ارتفاع مستوى سطح البحر خلال القرن العشرين.

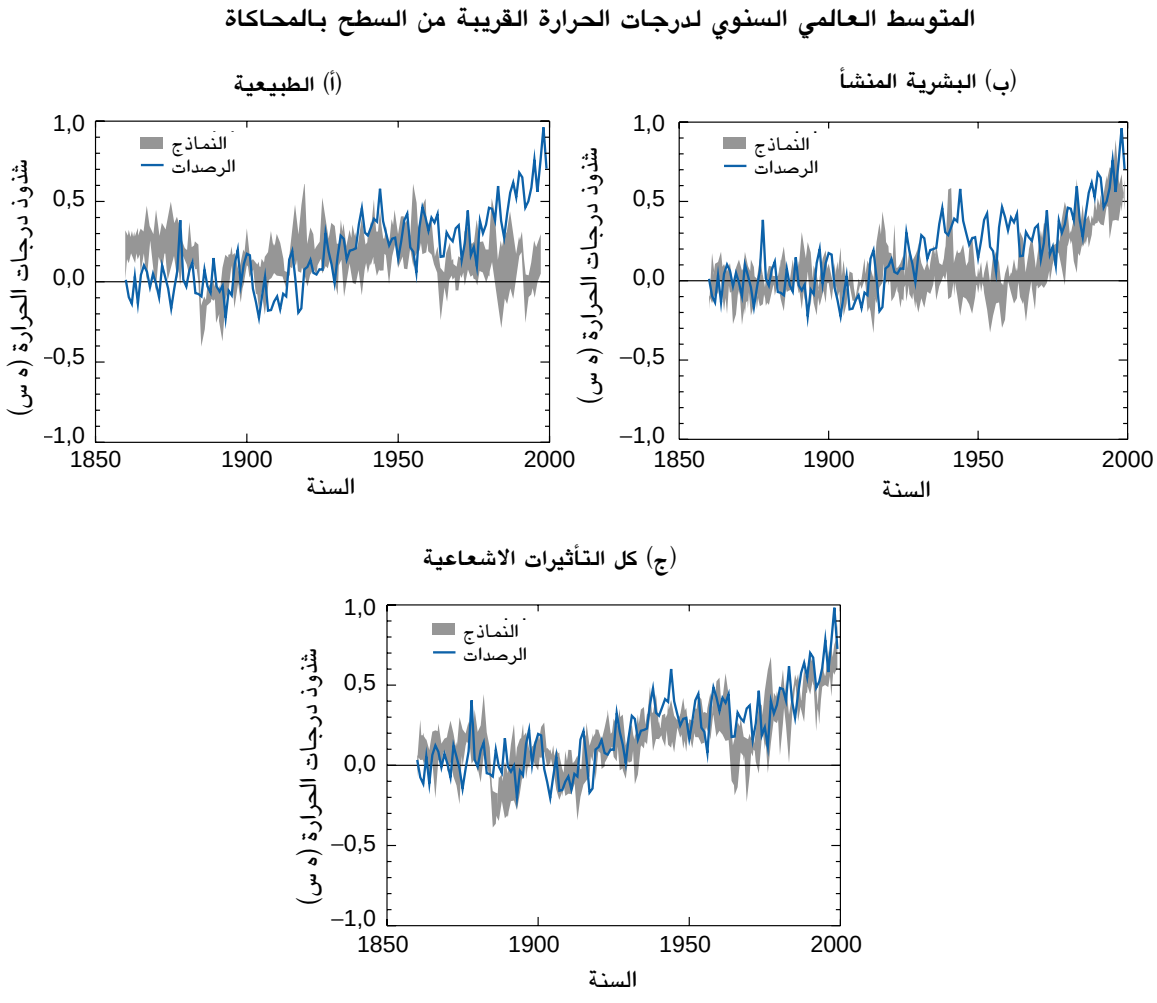
التأثيرات البشرية ستستمر في تغيير تركيب الغلاف الجوي طوال القرن الحادي والعشرين

تم استخدام نماذج مناخية لإجراء إسقاطات للمناخ في المستقبل تقوم على سيناريوهات غازات الدفيئة والأهباء الجوية الواردة في التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ عن سيناريوهات الانبعاثات (الشكل ٥). وقد وضعت هذه السيناريوهات لتحديث تلك التي وضعتها الهيئة الحكومية الدولية عام ١٩٩٢(IS92a) والتي استخدمت في تقرير التقييم الثاني وقد عرضت هنا لأغراض المقارنة في بعض الحالات .

غازات الدفيئة

- من شبه المؤكد [٧] أن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الناجمة عن حرق الوقود الأحفوري ستكون العامل المؤثر المهيمن على الاتجاهات التي ستسود تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي خلال القرن الحادي والعشرين. وبتزايد تركيز هذا الغاز في الغلاف الجوي، ستمتص المحيطات واليابسة نسبة تتدنى تدريجيا من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية المنشأ. وعلى ذلك، فإن التغذية المرتدة للتأثير الصافي لمناخ اليابسة والمحيطات على النحو الذي تبينه النماذج يشير إلى زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ المسقط من خلال تدني امتصاص المحيطات واليابسة لهذا الغاز.

- بحلول عام ٢١٠٠، تتوقع نماذج دورة الكربون حدوث تركيزات لثاني أكسيد الكربون تتراوح بين ٥٤٠ و٩٧٠ جزءا في المليون في سيناريوهات التقرير الخاص SRES لسيناريوهات الانبعاثات (٩٠ الى ٢٥٠ ٪ عن التركيز البالغ ٢٨٠ جزءا في المليون عام ١٧٥٠) . الشكل ٥ (ب). وتشمل هذه الاسقاطات التغذية المرتدة لمناخ اليابسة والمحيطات. ويسبب عدم اليقين وخاصة عن حجم التغذية المناخية المرتدة من الغلاف الجوي الأرضي فروقا تتراوح بين −١٠ و+٣٠ ٪ في كل سيناريو. ويبلغ النطاق بأكمله ٤٩٠ إلى ١ ٢٦٠ جزءا في المليون (٧٥ إلى ٣٥٠ ٪ عن تركيز عام ١٧٥٠).



الشكل ٤: محاكاة تغيرات درجات حرارة الأرض ومقارنة النتائج بالتغيرات المقيسة يمكن أن تعطي مؤشرات على الأسباب الكامنة وراء التغيرات الكبرى.

يمكن استخدام نموذج مناخي ما لمحاكاة التغيرات في درجات الحرارة التي تحدث نتيجة لأسباب طبيعية ولأسباب بشرية المنشأ على حد السواء. والمحاكاة الممثلة بنطاق في الشكل (أ) تمت مع تأثيرات إشعاعية طبيعية فقط: أي بتغير الاشعاع الشمسي وبالنشاط البركاني. وعمليات المحاكاة المشمولة بنطاق في الشكل (ب) جرت مع تأثيرات إشعاعية بشرية المنشأ: غازات الدفيئة وتقديرات للأهباء الجوية الكبريتية، أما عمليات المحاكاة المشمولة بالنطاق في الشكل (ج) فقد جرت مع كل من التأثيرات الاشعاعية الطبيعية والتأثيرات الإشعاعية البشرية المنشأ على السواء. وانطلاقا من الشكل (ب) يمكن أن نرى أن إدراج التأثيرات الاشعاعية البشرية المنشأ يعطي تفسيرا مقنعا لجزء كبير من التغيرات الطارئة على درجات الحرارة المرصودة على مدى القرن الماضي، الا أن أفضل نتيجة فيما يتعلق بالرصدات يتم الحصول عليها في الشكل (ج) حين يتم إدراج كل من العوامل الطبيعية والعوامل البشرية المنشأ على حد السواء. والنطاقات الخاصة بنتائج النماذج الممثلة هنا جاءت نتيجة لتجربة النموذج ذاته أربع مرات. ويحصل على النتائج ذاتها بتطبيق نماذج أخرى مع التأثير الإشعاعي البشري المنشأ .

[استنادا الى الفصل ١٢ والشكل ١٢–٧]

- يمكن أن تؤثر التغييرات في استخدام الأراضي في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. واذا افترض أنه يمكن إعادة كل الكربون الذي أطلق حتى اليوم نتيجة للتغييرات في استخدام الأراضي إلى الغلاف الحيوي الأرضي (عن طريق التشجير مثلا) خلال القرن، فإن من الممكن خفض تركيز هذا الغاز بما يتراوح بين ٤٠ و٧٠ جزءا في المليون.

- تتباين الحسابات النموذجية لتركيزات غازات الدفيئة غير ثاني أكسيد الكربون بحلول عام ٢١٠٠ تباينا كبيرا عبر سيناريوهات الانبعاثات الواردة في التقرير الخاص (SRES) حيث يتغير الميثان (CH_4) بما يتراوح بين – ١٩٠ و+ ١٩٧٠ (التركيز الحالي ١٧٦٠ جزءا في البليون) وثاني أكسيد الكربون (N_2O) بما يتراوح بين +٣٨ الى +١٤٤ جزءا في البليون (التركيز الحالي ٣١٦ جزءا في المليون)، وتغير مجموع طبقة الأوزون التروبوسفير بما يتراوح بين –١٢ و+٦٢٪ وحددت تغييرات واسعة النطاق في تركيزات سادس فلوريد الكبريت، و PCsوهيدروكلوريد الكربون، وكلها بالنسبة لعام ٢٠٠٠ وفي بعض السيناريوهات، تصبح طبقة الأوزون التروبوسفيري عامل تأثير إشعاعي هام مثلها مثل الميثان، وسوف تهدد، فوق أجزاء كبيرة من نصف الكرة الأرضية الشمالي تحقيق الأهداف الحالية لجودة الهواء.

- سيكون من الضروري خفض انبعاثات غازات الدفيئة والغازات التي تتحكم في تركيزاتها حتى يمكن استقرار التأثير الاشعاعي. فعلى سبيل المثال، فإن نماذج دورة الكربون تشير، بالنسبة لأهم غازات الدفيئة بشرية المنشأ، إلى أن استقرار تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عند ٤٥٠ و٦٥٠ و١٠٠٠ جزء في المليون يتطلب خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ إلى ما دون مستويات ١٩٩٠ في غضون بضعة عقود وقرن واحد أو نحو قرنين على التوالي، وأن تستمر في الانخفاض باطراد بعد ذلك. وسوف يتعين، في نهاية المطاف، خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى جزء صغير جدا من الانبعاثات الحالية.

الأهباء الجوية

- تشمل سيناريوهات الانبعاثات الواردة في التقرير الخاص (SRES) احتمالات حدوث حالات زيادة أو نقصان في الأهباء الجوية البشرية المنشأ (أهباء الكبريتات (الشكل ٥ ج) وأهباء الكتلة الاحيائية وأهباء الكربون العضوي) اعتمادا على حجم استخدام الوقود الاحفوري وسياسات خفض الانبعاثات المسببة للتلوث. وبالإضافة إلى ذلك، تشير الإسقاطات إلى زيادة الأهباء الجوية الطبيعية (مثل ملح البحر والغبار والانبعاثات المؤدية إلى إصدار أهباء الكبريتات وأهباء الكربون) نتيجة للتغيرات في المناخ.

التأثير الإشعاعي طوال القرن الحادي والعشرين

- تورد سيناريوهات الانبعاثات في التقرير الخاص (SRES) أن المتوسط العالمي للتأثير الإشعاعي الناجم عن غازات الدفيئة سيستمر في الارتفاع طوال القرن الحادي والعشرين حيث تشير الإسقاطات إلى أن الجزء الناجم عن ثاني أكسيد الكربون سيزيد من أكثر من النصف في الوقت الحاضر إلى نحو ثلاثة الأرباع. وتشير التقديرات إلى أن التغيير في التأثير الإشعاعي المباشر وغير المباشر أضأل من حيث الحجم من التأثير الإشعاعي الناجم عن ثاني أكسيد الكربون.

من المتوقع أن يرتفع متوسط درجة الحرارة في العالم ومستوى سطح البحر حسب كل سيناريوهات الانبعاثات الواردة في التقرير الخاص (SRES)

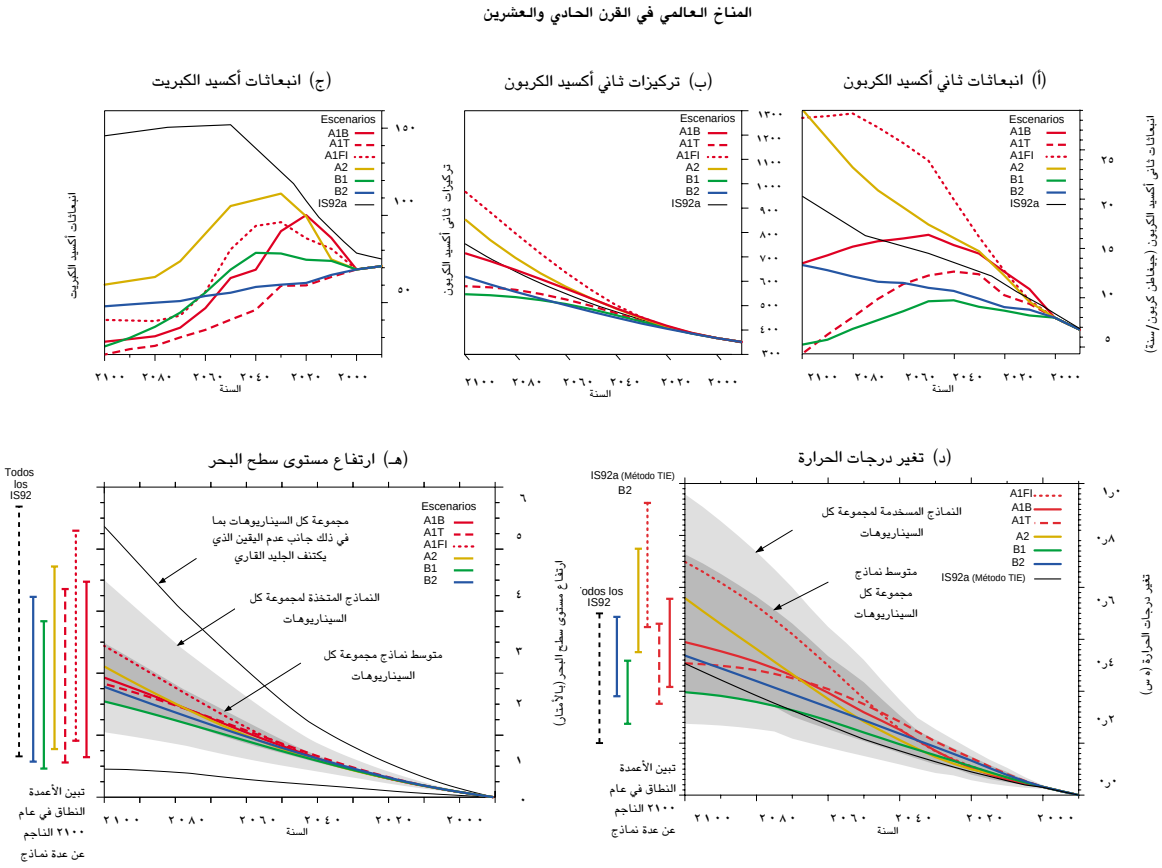
لإجراء إسقاطات للمناخ في المستقبل، تضم النماذج الانبعاثات الماضية والمقبلة لغازات الدفيئة والأهباء الجوية. وبالتالي فإنها تشمل تقديرات للاحترار حتى اليوم وجزءا من الاحترار في المستقبل الناجم عن الانبعاثات الماضية.

درجات الحرارة

- يقدر أن المتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحي قد زادت بما يتراوح بين ١,٤ و٥,٨ ه س (الشكل ٥(د)) خلال الفترة من ١٩٩٠ إلى ٢١٠٠. وهذه النتائج تشمل جميع السيناريوهات الخمسة والثلاثين الواردة في تقرير التقييم الثاني استنادا إلى عدد من نماذج المناخ[١٠] [١١].

(١٠) تعتبر نماذج المناخ المعقدة المستندة إلى النواحي الفيزيائية الأداة الرئيسية لاسقاطات تغير المناخ في المستقبل. وحتى يمكن استكشاف كامل نطاق السيناريوهات، استكملت هذه بنماذج مناخية بسيطة ضخمت لاعطاء استجابة في درجات الحرارة ومستوى سطح البحر تعادل تلك المستخلصة من النماذج المناخية المعقدة. ويتم الحصول على هذه الاسقاطات باستخدام نموذج مناخي بسيط يتم تكبير حساسية المناخ وامتصاص حرار المحيط منه إلى مستوى كل نموذج من النماذج المعقدة السبعة. وتتراوح حساسية المناخ المستخدمة في النموذج البسيط بين ١,٧ و٤,٢ ه س وهو ما يماثل النطاق المقبول عموما البالغ ١,٥ إلى ٤,٥ ه س.

(١١) هذا النطاق لا يشمل عدم اليقين في وضع نماذج التأثير الإشعاعي مثل عدم اليقين المحيط بتأثير الهباء. وأدرجت تغذية مرتدة مناخية صغيرة من دورة الكربون.



الشكل ٥ : المناخ العالمي في القرن الحادي والعشرين سيتوقف على التغيرات الطبيعية واستجابة النظام المناخي للأنشطة البشرية.

يمكن للنماذج المناخية أن تحاكي استجابة عدد كبير من متغيرات المناخ، مثل الزيادات في درجة الحرارة السطحية في العالم ومستوى سطح البحر، لمختلف سيناريوهات انبعاثات غازات الدفيئة وغيرها من الانبعاثات ذات العلاقة بالنشاط البشري. ويبين الشكل (أ) انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الواردة في السيناريوهات التوضيحية الستة في التقرير الخاص (SRES) والتي يجري تلخيصها في الإطار الوارد صفحة ٢٨ بالإضافة إلى السيناريو (أ) للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ لعام ١٩٩٢ (IS92a) لأغراض المقارنة مع تقرير التقييم الثاني .(SAR) ويبين (ب) تركيزات ثاني أكسيد الكربون المسقطة ويبين (ج) انبعاثات ثاني أكسيد الكربون نتيجة للأنشطة البشرية. وقد أدرجت انبعاثات سائر الغازات والأهباء الجوية في النموذج ولكنها لا ترد في الشكل. ويبين (د) و(هـ) درجة الحرارة المسقطة واستجابات مستوى سطح البحر على التوالي. وتشير "النماذج المتعددة لمجموعة كل السيناريوهات" في (د) و(هـ) إلى درجة الحرارة وارتفاع مستوى سطح البحر على التوالي انطلاقا من نموذج بسيط عندما يتم توليفه مع عدد من النماذج المعقدة بسلسلة من الحساسيات المناخية. وتشير "مجموعة كل السيناريوهات" إلى سلسلة السيناريوهات الخمسة والثلاثين في التقرير الخاص. وتشير هذه العبارة إلى المتوسط المأخوذ من هذه النماذج لسلسلة السيناريوهات. ويلاحظ أن الاحترار وارتفاع مستوى سطح البحر الناجمان عن هذه الانبعاثات سيستمران بعد عام ٢١٠٠ بوقت طويل. كما يلاحظ أن هذه السلسلة لا تأخذ في الاعتبار عدم اليقين ذي الصلة بالتغييرات الجليدية الدينامية للسطح الجليدي في غرب أطلسي أو حالات عدم اليقين في إسقاط الهباء غير الكبريتي وتركيزات غازات الدفيئة [استنادا إلى (أ) الفصل الثالث الشكل ٣-١٢ و(ب) الفصل ٣ والشكل ٣-١٢ (جـ) الفصل الخامس الشكل ٥-١٣ و(ج) الفصل التاسع والشكل ٩-١٤ و(هـ) الفصل الحادي عشر والشكل ١١-١٢ والمرفق الثاني .]

- يقدر أن الزيادات في درجات الحرارة ستكون أكبر مما ورد في تقرير التقييم الثاني والتي كانت نحو ١,٠ إلى ٣,٥ ه س استنادا إلى السيناريوهات الستة التي وضعتها الهيئة الحكومية الدولية عام ١٩٩٢. ويعزى الارتفاع المسقط في درجات الحرارة واتساع نطاقها بالدرجة الأولى إلى انخفاض الانبعاث المسقطة لثاني أكسيد الكبريت في سيناريوهات التقرير الخاص بالمقارنة بسيناريوهات الهيئة الحكومية الدولية.

- والمعدل المسقط للاحترار أكبر بكثير من التغييرات المرصودة خلال القرن العشرين، ومن المرجح بدرجة كبيرة [٧] أن يكون هذا المعدل غير مسبوق خلال العشرة آلاف عام الماضية استنادا إلى بيانات المناخ التارخية.

- ويمكن، على أساس نطاقات زمنية لبضعة عقود، استخدام المعدل المرصود الحالي للاحترار لتقييد الاستجابة المسقطة لسيناريوهات انبعاثات معينة على الرغم من عدم اليقين الذي يحيط بحساسية المناخ. ويشير هذا الأسلوب إلى أن الاحترار الناجم عن الأنشطة البشرية قد يظل في حدود ٠,١ إلى ٠,٢ ° س في العقد الواحد طوال العقود القليلة القادمة في إطار سيناريو الهيئة الحكومية الدولية لعام ١٩٩٢ وهو ما يماثل السلسلة المقابلة للإسقاطات الخاصة بالنموذج البسيط المستخدم في الشكل ٥ د.

- استنادا إلى عمليات المحاكاة النموذجية العالمية الأخيرة، من المرجح بشدة أن ترتفع درجة حرارة جميع المناطق الأرضية بسرعة أكبر من المتوسط العالمي وخاصة تلك الخاصة الواقعة عند الخطوط القطبية الشمالية في الموسم البارد. وأجدر شئ بالملاحظة هو الاحترار في المناطق الشمالية من أمريكا الشمالية، وشمالي ووسط آسيا الذي يتجاوز المتوسط العالمي للاحترار بأكثر من ٤٠ في المائة في كل نموذج. وعلى العكس من ذلك، فإن الاحترار أقل من تغير المتوسط العالمي في جنوب وجنوب شرق آسيا في الصيف، وفي جنوبي أمريكا الجنوبية في الشتاء.

- يتوقع في كثير من النماذج أن تستمر الاتجاهات الأخيرة التي تشير الى أن درجة الحرارة السطحية سوف تصبح أكثر تماثلا مع ظاهرة النينيو في المناطق المدارية من المحيط الهادئ مع زيادة احترار المناطق المدارية الشرقية من المحيط الهادئ عنها في المناطق المدارية الجنوبية منه، مع تحول مقابل إلى الشرق في التهطل.

التهطال

- من المتوقع أن يزداد المتوسط العالمي من بخار الماء والتهطال خلال القرن الحادي والعشرين استنادا إلى عمليات محاكاة النماذج العالمية في الآونة الأخيرة. ومن المرجح أن يزداد التهطال فوق مناطق خطوط العرض الوسطى الشمالية وخطوط العرض القطبية في المنطقة القطبية الجنوبية في فصل الشتاء خلال النصف الثاني من القرن الحادي والعشرين. وفى مناطق خطوط العرض الاستوائية ستحدث حالات زيادة وحالات نقصان على السواء في مناطق اليابسة، ومن المرجح بشدة حدوث تباينات في التهطال من سنة لأخرى في معظم المناطق حيث يتوقع زيادة متوسط التهطال.

الأحوال الجوية المتطرفة

يتضمن الجدول ١ تقييما للثقة في التغييرات المرصودة في الأحوال الجوية والمناخية المتطرفة خلال النصف الثاني من القرن العشرين (العمود إلى اليسار)، وفى التغييرات المسقطة خلال القرن الحادي والعشرين (العمود إلى اليمين). ويعتمد هذا التقييم على دراسات الرصد ووضع النماذج فضلا عن المعقولية الفيزيائية للاسقاطات المتعلقة بالمستقبل في جميع السيناريوهات المستخدمة عموما كما يستند الى تقديرات الخبراء[٧] .

- أما بالنسبة للظواهر المتطرفة الأخرى التي للكثير منها تأثيرات هامة على البيئة والمجتمع، فلا تتوافر الآن معلومات كافية لتقييم الاتجاهات الأخيرة، وتفتقر النماذج المناخية إلى التفاصيل المكانية اللازمة لوضع إسقاطات موثوق بها. فعلى سبيل المثال، فإن ظاهرة صغيرة للغاية مثل العواصف الرعدية والأعاصير والبرد والبرق لا تجرى محاكاتها في النماذج المناخية.

النينيو

- تقل الثقة في إسقاطات التغييرات في وتيرة ونطاق أحداث النينيو وأنماطها المكانية في المناطق المدارية من المحيط الهادئ نتيجة لبعض العيوب في الطريقة التي تم بها محاكاة النينيو في النماذج المعقدة ومدى سلامتها. ولا تبين الإسقاطات الحالية سوى تغيير طفيف أو زيادة بسيطة في نطاق أحداث النينيو خلال المائة عام القادمة.

الجدول ١: تقديرات الثقة في التغييرات المرصودة والمسقطة في الأحوال الجوية والمناخية المتطرفة.

الثقة في التغييرات المرصودة (في النصف الأخير من القرن العشرين)	التغييرات في الظاهرة	الثقة في التغييرات المسقطة (خلال القرن الحادي والعشرين)
مرجح ٧	درجة حرارة قصوى أعلى وأيام أشد حرارة في جميع مناطق اليابسة تقريبا	مرجح ٧
مرجح ٧ جدا	زيادة درجة الحرارة الدنيا وانخفاض عدد أيام البرودة والصقيع في جميع مناطق اليابسة تقريبا	مرجح ٧ جدا
مرجح ٧ جدا	انخفاض نطاق درجات الحرارة النهارية في معظم المناطق	مرجح ٧ جدا
مرجح ٧ فوق الكثير من المناطق	زيادة مؤشر الحرارة (١٢) في مناطق اليابسة وتزايد شدة التهطال (ب)	مرجح ٧ جدا فوق بعض المناطق
مرجح ٧ فوق الكثير من مناطق نصف الكرة الأرضيةالشمالي ومناطق اليابسة متوسطة الارتفاع والقطبية	زيادة أحداث التهطال الأكثر شدة	مرجح ٧ جدا فوق الكثير من المناطق
مرجح ٧ في عدد قليل من المناطق	زيادة الجفاف القاري الصيفي وما يرتبط بذلك من مخاطر الجفاف	مرجح ٧ في معظم المناطق الداخلية القارية متوسطة الارتفاع. (نقص الاسقاطات المتسقة في المناطق الأخرى)
لم ترصد في التحاليل القليلة المرصودة	زيادة عنف الرياح الأعاصيرية المدارية (ج)	مرجح ٧ فوق بعض المناطق
بيانات غير كافية للتقييم	زيادة متوسط الأعاصير المدارية وشدة كميات التهطال القصوى	مرجح ٧ فوق بعض المناطق

(أ) لمزيد من التفاصيل، انظر الفصل الثاني (الرصدات) والفصل التاسع (الاسقاطات).
(ب) بالنسبة للمناطق الأخرى إما أن البيانات غير كافية أو التحليلات متناقضة.
(ج) التغييرات المناخية والمستقبلية في مواقع الأعاصير المدارية ووتيرتها غير مؤكدة.

(١٢) مؤشر الحرارة: توليفة من درجات الحرارة والرطوبة لقياس التأثيرات على راحة البشر.

- وحتى في حالة التغييرات الطفيفة أو عدم حدوث تغييرات على الاطلاق في نطاق النينيو، من المرجح أن يؤدي احترار العالم إلى زيادة حالات التطرف في الجفاف والأمطار الغزيرة وزيادة مخاطر الجفاف والفيضانات التي تواكب أحداث النينيو في كثير من المناطق المختلفة.

الأمطار الموسمية

- من المرجح[٧] أن يؤدي الاحترار المرتبط بزيادة تركيزات غازات الدفيئة إلى زيادة تقلبية التهطال الموسمي الصيفي في آسيا. وتتوقف التغييرات في متوسط مدة الأمطار الموسمية وقوتها على تفاصيل سيناريو الانبعاثات. والثقة في هذه الإسقاطات محدودة أيضا بمدى محاكاة النماذج المناخية لتفاصيل التطورات الفصلية للأمطار الموسمية.

دوران الغلاف الجوي والمحيطات

- معظم النماذج تبين حدوث بعض الضعف في الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي مما يؤدي إلى انخفاض نقل الحرارة إلى حطوط العرض القطبية في نصف الكرة الأرضية الشمالي. غير أنه حتى في النماذج التي يضعف فيها ذلك الدوران فإن الاحترار يظل فوق أوروبا نتيجة لازدياد غازات الدفيئة. ولا تبين الإسقاطات الحالية باستخدام النماذج المناخية توقفا كاملا لذلك الدوران عام ٢١٠٠. أما فيما يتجاوز هذا التاريخ، قد يتوقف الدوران المذكور تماما وربما دون عودة سواء في نصفي الكرة الأرضية اذا كان التغيير في التأثير الاسقاطي جيدا وساريا منذ فترة طويلة.

الثلج والجليد

- من المتوقع أن يزداد معدل انحسار الغطاء الثلجي ورقعة الجليد البحري في نصف الكرة الأرضية الشمالي.

- ستواصل الكتل الجليدية والقلنسوات الجليدية انحسارها على نطاق واسع خلال القرن الحادي والعشرين.

- من المرجح أن تزداد الصفيحة الجليدية في المنطقة القطبية الجنوبية نتيجة لتزايد التهطال، في حين يحتمل أن تفقد الصفحة الجليدية في جرينلاند جزءا منها نتيجة لأن الزيادة في جريان المياه ستفوق الزيادة في التهطال.

- أعرب عن القلق إزاء استقرار الصفيحة الجليدية في غربي المنطقة القطبية الجنوبية حيث أنها توجد تحت سطح البحر. غير أن من المتفق عليه على نطاق واسع الآن أن من غير المرجح بدرجة كبيرة أن تؤدي خسارة الجليد إلى ارتفاع شديد في مستوى البحر من هذا المصدر خلال القرن الحادي والعشرين على الرغم من عدم الفهم الكامل بعد لديناميته وخاصة لوضع الإسقاطات على أساس طويل الأجل.

مستوى سطح البحر

- يتوقع أن يرتفع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر بما يتراوح بين ٠,٩ و٠,٨٨ متر خلال الفترة الممتدة بين ١٩٩٠ و٢١٠٠ وذلك في جميع سيناريوهات التقرير الخاص. ويعزى ذلك بالدرجة الأولى إلى الزيادة الحرارية وخسارة أجزاء من الكتل الجليدية والقلنسوات الجليدية (الشكل ٥ هـ). ويتراوح نطاق الزيادة في مستوى سطح البحر الوارد في تقرير التقييم الثاني بين ٠,١٣ و٠,٩٤ متر استنادا الى سيناريوهات الهيئة الحكومية الدولية لعام ١٩٩٢. وعلى الرغم من إسقاطات ارتفاع التغيير في درجات الحرارة في هذا التقييم، فإن إسقاطات مستوى سطح البحر أقل بصورة طفيفة وذلك بالدرجة الأولى نتيجة لاستخدام نماذج محسنة تعطي مساهمات أقل من الكتل والقلنسوات الجليدية.

تغير المناخ الناجم عن الأنشطة البشرية سيستمر عدة قرون

- لانبعاثات غازات الدفيئة (ثاني أكسيد الكربون وأكسيد الكبريت و PFSs, SF6 ، أثر دائم على تركيب الغلاف الجوي، والتأثير الاشعاعي، والمناخ. فعلى سبيل المثال، فإنه بعد عدة قرن من حدوث انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، مازال نحو ربع الزيادة في تركيز هذا الغاز الناجمة عن هذه الانبعاثات موجودا في الغلاف الجوي.

- بعد تثبيت تركيزات غازات الدفيئة، سوف يرتفع متوسط درجات الحرارة السطحية للعالم بمعدل لا يتجاوز بضعة أعشار درجة في القرن الواحد بدلا من عدة درجات في القرن الواحد على النحو المتوقع للقرن الحادي والعشرين دون تثبيت. فكلما انخفض المستوى الذي تثبت عنده التركيزات، قل التغير في مجموع درجة الحرارة.

- يتوقع أن يستمر المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية ومستوى سطح البحر في الارتفاع نتيجة للتمدد الحراري في المحيط لمئات السنين بعد التمكن من تثبيت تركيزات غازات الدفيئة (حتى عند المستوى الحالي) نظرا لطول المدد الزمنية التي تتطلبها المحيطات العميقة لتتكيف مع تغير المناخ.

- ستواصل الصفيحات الجليدية التفاعل مع احترار المناخ والمساهمة في ارتفاع مستوى سطح البحر لآلاف السنين بعد استقرار المناخ. وتشير النماذج المناخية إلى أن من المحتمل [٧] حدوث ارتفاع في درجات الحرارة المحلية فوق جرينلاند يزيد بنحو مرة إلى ٣ مرات عن المتوسط العالمي. وتتوقع نماذج الصفيحات الجليدية أن الاحترار المحلي بأكثر من [٥٣] س إذا ما استمر لآلاف السنين سيؤدي إلى ذوبان كلي تقريبا للغطاء الجليدي في جرينلاند مما سيؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر بنحو ٧ أمتار.

- تشير نماذج دينامية الجليد الحالية إلى أن الصفيحة الجليدية لمنطقة غربي القطب الجنوبي يمكن أن تسهم بما يصل إلى ٣ أمتار في ارتفاع مستوى سطح البحر خلال الألف سنة القادمة، إلا أن هذه النتائج تعتمد اعتمادا كبيرا على افتراضات نموذجية بشأن سيناريوهات تغير المناخ وديناميات الجليد وغير ذلك من العوامل.

ثمة حاجة إلى مزيد من الإجراءات لمعالجة الثغرات الباقية في المعلومات والفهم

هناك حاجة إلى مزيد من البحوث لتحسين القدرة على رصد وعزو وفهم تغير المناخ، والحد من عدم اليقين ووضع الإسقاطات بشأن تغيرات المناخ في المستقبل. وثمة حاجة، على وجه الخصوص لرصدات منظمة ومستمرة إضافية، ووضع نماذج وإجراء دراسات. ويسود قلق بالغ إزاء نقص شبكات الرصد. وفيما يلي مجالات للعمل تحظى بأولوية متقدمة.

- الرصدات وإعادة البناء على أسس منتظمة:
  - وضع حد للتدهور في شبكات الرصد في أنحاء كثيرة من العالم.
  - دعم وتوسيع الأساس الرصدي الذي تقوم عليه الدراسات المناخية لإعطاء بيانات دقيقة طويلة الأجل متساوقة بما في ذلك تنفيذ استراتيجية للرصدات العالمية المتكاملة.
  - تعزيز عمليات إعادة البناء الخاصة بالفترات المناخية السابقة.
  - تحسين رصدات التوزيع المكاني لغازات الدفيئة والهباء.
- وضع النماذج ودراسات العمليات:
  - تحسين فهم الآليات والعوامل المؤدية إلى تغيير التأثيرات الاشعاعية.
  - فهم وتحديد سمات العمليات الهامة الباقية دون حل والتغذية المرتدة الفيزيائية منها والكيماوية الجغرافية الاحيائية في النظام المناخي.
  - تحسين طرق التحديد الكمي لحالات عدم اليقين في إسقاطات وسيناريوهات المناخ بما في ذلك المحاكات التجميعية طويلة الأجل باستخدام النماذج المعقدة.
  - تحسين الهيكل الهرمي المتكامل للنماذج المناخية العالمية والإقليمية بالتركيز على محاكاة التقلبية المناخية والتغيرات المناخية الإقليمية والأحداث المتطرفة.
  - إقامة روابط أكثر فعالية بين النماذج المناخية والنظم الفيزيائية الكيميائية الجغرافية الاحيائية ومن ثم تحسين الترابط مع أوصاف النشاطات البشرية.

وتتخلل هذه النقاط الأساسية احتياجات حاسمة تتعلق بتعزيز التعاون والتنسيق على المستوى الدولي للنهوض باستخدام الموارد العلمية والحاسوبية والرصدية. كما ينبغي أن يروج ذلك لتبادل البيانات فيما بين العلماء دون قيود. وثمة حاجة خاصة تتمثل في زيادة القدرات الرصدية والبحثية في كثير من المناطق وخاصة في البلدان النامية. وأخيرا، فإن هناك ضرورة مستمرة، حسبما الهدف من هذا التقييم، إلى بيان أوجه التقدم المحرز في مجال البحوث بأسلوب ذي صلة بعملية صنع القرار.

سيناريوهات الانبعاثات الواردة في التقرير الخاص (SRES)

A1 تصف الوقائع المنظورة وزمرة السيناريوهات A1 عالما مستقبليا ينمو فيه الاقتصاد نموا سريعا جدا ويصل فيه عدد سكان العالم إلى ذروته في منتصف القرن ويتراجع بعد ذلك وتعتمد فيه سريعا تكنولوجيات جديدة عالية الكفاءة. والمواضيع الأساسية التي تنطوي عليها هذه الوقائع المنظورة هي التقارب بين المناطق وبناء القدرات وتزايد التفاعلات الثقافية والاجتماعية وتقلص الفوارق الإقليمية في دخل الفرد تقلصا بالغا. وينقسم السيناريو A1 إلى ثلاث مجموعات تصنف اتجاهات بديلة للتغير التكنولوجي في نظام الطاقة. وتتمايز مجموعات الزمرة A1 الثلاث في التركيز التكنولوجي: الاستخدام الكثيف للوقود الأحفوري (A1FI) أو استخدام مصادر الطاقة غير الأحفورية (AIT) أو الاستخدام المتوازن لجميع المصادر (AIB) (حيث يعرف الاستخدام المتوازن بأنه عدم الاعتماد بشدة على مصدر بعينه من مصادر الطاقة بافتراض معدلات تحسن متماثلة في جميع تكنولوجيات توفير الطاقة واستخدامها النهائي).

A2 تصف الوقائع المنظورة وزمرة السيناريوهات A2 عالما شديد التغاير. والموضوع الأساسي هنا هو الاعتماد على الذات والحفاظ على الهوية المحلية. وتتقارب أنماط الخصوبة بين المناطق ببطء شديد على نحو يؤدي إلى استمرار تزايد سكان العالم. وتنحو التنمية الاقتصادية منحى إقليميا بصفة رئيسية ويتسم النمو الاقتصادي للفرد والتغير التكنولوجي بالبطء والتجزؤ أكثر مما هو الحال في الوقائع المنظورة الأخرى.

B1 تصف الوقائع المنظورة وزمرة السيناريوهات B1 عالما متقاربا يصل فيه عدد سكان العالم إلى ذروتة في منتصف القرن ويتراجع بعد ذلك، على غرار الزمرة A1، ولكن يصاحب ذلك تغيرات سريعة في الهياكل الاقتصادية نحو اقتصاد قائم على الخدمات والمعلومات وانخفاض الكثافة المادية واعتماد تكنولوجيات نظيفة وفعالة في استخدام الموارد. ويكون التركيز على إيجاد حلول عالمية للاستدامة الاقتصادية والاجتماعية والبيئية، بما في ذلك زيادة العدالة دون اتخاذ مبادرات إضافية في مجال المناخ.

B2 تصف الوقائع المنظورة وزمرة السيناريوهات B2 عالما ينصب التركيز فيه على إيجاد حلول محلية للاستدامة الاقتصادية والاجتماعية والبيئية. وهو عالم يشهد زيادة مستمرة في السكان بمعدل أدنى مما هو عليه في الوقائع المنظورة A2، كما يشهد مستويات متوسطة من التنمية الاقتصادية، وتغيرا تكنولوجيا أبطأ وأكثر تنوعا مما هو عليه في الوقائع المنظورة B1 وA1. ولئن كان هذا السيناريو موجها أيضا نحو حماية البيئة وتحقيق العدالة الاجتماعية، فإنه يركز على المستويين المحلي والإقليمي.

وقد اختير سيناريو توضيحي لكل مجموعة من مجموعات السيناريوهات الست A1B وA1FI وA1T وA2 وB1 وB2 وينبغي اعتبار أن كل هذه السيناريوهات سليمة دون تمييز بين بعضها البعض.

ولا يتضمن سيناريو التقرير الخاص أية مبادرات مناخية إضافية مما يعني أنه لم يدرج أي سيناريو يأخذ على عاتقه صراحة تنفيذ اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ أو أهداف الانبعاثات المنصوص عليها في بروتوكول كيوتو.

معلومات المصادر: ملخص لواضعي السياسات

يقدم هذا المرفق الإسناد المترافق للموضوعات الواردة في الملخص الخاص بواضعي السياسات (الصفحة والموضوع) مع الأقسام من الفصول الخاصة بالتقرير الكامل الذي يتضمن المعلومات الموسعة عن الموضوع.

مجموعة متعاظمة من الرصدات تعطي صورة إجمالية لعالم ترتفع فيه درجات الحرارة وحدوث تغيرات أخرى في النظام المناخي

الصفحة في الملخص	الإسناد: الموضوع في الملخص – الأقسام في الفصول
٣	زاد المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية بنحو ٠,٦ درجات سلسيوس طوال القرن العشرين ● الفصل ٢–٢–٢ ● الفصل ٢–٢–٢ ● الفصل ٢–٣ ● الفصل ٢–٢–٢
٥	ارتفعت درجة الحرارة خلال العقود الأربعة الماضية في أدنى ثمانية كيلومترات من الغلاف الجوي ● الفصل ٢–٢–٣ و٢–٢–٤ ● الفصل ٢–٢–٣ و٢–٢–٤ ● الفصل ٢–٢–٣ و٢–٢–٤ و ١–٢–٣–٢
٥	انحسر الغطاء الثلجي والصفحة الجليدية: الفصل٢–٢–٥ والفصل ٢–٢–٦
٥	ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر وزيادة محتوى الحرارة في المحيطات ● الفصل ١١–٣–٢ ● الفصل ٢–٢–٢ والفصل ١١–٢–١
٥	حدوث تغييرات في جوانب هامة أخرى من المناخ ● الفصل ٢–٥–٢ ● الفصل ٢–٧–٢ ● الفصل ٢–٢–٢ ● الفصل ٢–٥–٥ ● الفصل ٢–٧–٢ ● الفصل ٢–٦–٢ ● الفصل ٢–٦–٣ ● الفصل ٢–٧–٣ ● الفصل ٢–٧–٣
٦	يبدو أن بعض الجوانب الهامة في المناخ لم تتغير ● الفصل ٢–٢–٢ ● الفصل ٢–٢–٥ ● الفصل ٢–٧–٣ ● الفصل ٢–٧–٣

انبعاثات غازات الدفيئة والأهباء الجوية الناجمة عن الأنشطة البشرية لا تزال تفضي إلى تغير الغلاف الجوي بطرق تؤثر في النظام المناخي

الصفحة في الملخص	الاسناد: الموضوع في الملخص – الأقسام في الفصول
٦	عنوان رئيسي "التغيرات في المناخ....." الفصل ١، الفصل ٣–١، الفصل ٤–١، الفصل ٥–١، الفصل ٦–١، ٦–٢، ٦–٩، ٦–١١ و٦–١٣.
٦	تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي وتأثيراتها الإشعاعية استمرت في الزيادة نتيجة للأنشطة البشرية
٦	ثاني أكسيد الكربون: ● الفصل ٣–٣–١ ● الفصل ٣–٣–٢ ● الفصل ٣–٣–٣ و٣–٥–١ ● الفصل ٣–٢–٢، ٣–٢–٣، ٣–٥–١ والجدول ٣–١ ● الفصل ٣–٥–١ و٣–٥–٢ الميثان: ● الفصل ٤–٢–١

الصفحة في الملخص	الإسناد: الموضوع في الملخص – الأقسام في الفصول
٦	أكسيد النيتروز: ● الفصل ٤–٢–١ الهالوكربون: ● الفصل ٤–٢–٢ التأثير الإشعاعي من الغازات الممزوجة بصورة جيدة ● الفصل ٤–٢–١ و٦–٣ طبقة الأوزون التروبوسفيرية ● الفصل ٤–٢–٤ و٥–٦
	الهباء البشري المنشأ قصير العمر وينتج في معظم الحالات تأثيرا اشعاعيا سلبيا ● الفصل ٥–٢ و٥–٥–٤ ● الفصل ٥–١ و٥–٢ و٦–٧ ● الفصل ٥–٣–٢ و٥–٤–٣ والفصل ٦–٨
	العوامل الطبيعية قدمت اسهامات ضئيلة في التأثير الاشعاعي طوال القرن الماضي ● الفصل ٦–١١ و٦–١٥–١ ● الفصل ٦–٩ و٦–١٥–١ ● الفصل ٦–١٥–١

الثقة تتزايد في قدرة النماذج على توقع المناخ في المستقبل

الصفحة في الملخص	الإسناد: الموضوع في الملخص – الأقسام في الفصول
١٠	عنوان رئيسي: "الأسس الفيزيائية المعقدة المعتمدة" الفصل ٨–٣–٢، ٨–٥–١ ، ٨–١٠–٣ والفصل ١٢–٣–٢
٩	● الفصل ٧–٢–١ و٧–٥–٢ و٧–٦–١ ● الفصل ٨–٤–٢ ● الفصل ٨–٦–٣ والفصل ١–٢–٣–٢ ● الفصل ٨–٥–٥ ، ٨–٧–١ و ٨–٧–٥

توجد شواهد جديدة وقوية على أن منطق الاحترار المرصود خلال الخمسين عاما الماضية يعزى الى النشاطات البشرية

الصفحة في الملخص	**الإسناد: الموضوع في الملخص – الأقسام في الفصول**
١٠	عنوان رئيسي: "خلص تقرير التقييم الثاني إلى أن مجموعة القرائن تشير ● الفصل ١٢–٢–٢و ١٢–٤–٣ و١٢–٦ ● الفصل ١٢–٤–١و ١٢–٤–٢و ١٢–٤–٣ و١٢–٦ ● الفصل ١٢–٢–٣و ١٢–٤–١و ١٢–٤–٢و١٢–٤–٣ و ١٢–٦ ● الفصل ١٢–٤–٣ و ١٢–٦ ● الفصل ١٢–٦ ● الفصل ١٢–٤–٣ ● الفصل ١٢–٤–٣ و١٢–٦
١٠	"في ضوء الشواهد الجديدة ..... الفصل ١٢–٤ و١٢–٦
١٠	وعلاوة على ذلك، من ا لمرجح بشدة ..... الفصل ١١–٤

التأثيرات البشرية ستستمر في تغيير تركيب الغلاف الجوي طوال القرن الحادي والعشرين

الصفحة في الملخص	**الإسناد: الموضوع في الملخص – الأقسام في الفصول**
١١	عنوان رئيسي "تم استخدام نماذج بشرية لإجراء إسقاطات للمناخ ... الفصل ٤–٤–٥ والمرفق الثاني
١١	غازات الدفيئة ● الفصل ٣–٧–٣ والمرفق الثاني ● الفصل ٣–٧–١و ٣–٧–٢و٣–٧–٣ والمرفق الثاني

الصفحة في الملخص	الإسناد: الموضوع في الملخص – الأقسام في الفصول
	● الفصل ٣–٧–٣ والمرفق الثاني ● الفصل ٣–٢–٢– والمرفق الثاني ● الفصل ٤–٤–٥و ٤–٥ و٤–٦والمرفق الثاني ● الفصل ٣–٧–٣
١٣	الهباء ● الفصل ٥–٥–٢، ٥–٥–٣ والمرفق الثاني
١٣	التأثير الاشعاعي في القرن الحادي والعشرين ● الفصل ٦–١٥–٢ والمرفق الثاني

من المتوقع أن يرتفع متوسط درجة الحرارة في العالم ومستوى سطح البحر حسب كل سيناريوهات الانبعاثات الواردة في التقرير الخاص

١٣	درجات الحرارة: ● الفصل ٩–٣–٣ ● الفصل ٩–٣–٣ ● الفصل ٢–٢–٢، ٢–٣–٢– و٢–٤ ● الفصل ٩–٣–٣ والفصل ١٠–٣–٢ ● الفصل ٨–٦–١والفصل ١٢–٤–٣ والفصل ١٣–٥–١ و١٣–٥–٢ ● الفصل ١٠–٣–٢ والإطار ١٠–١ ● الفصل ٩–٣–٢
١٥	التهطال ● الفصل ٩–٣–١، ٩–٣–٦، الفصل ١٠–٣–٢ والإطار ١٠–١
١٥	الأحداث المتطرفة الجدول ١: الفصل ٢–١، ٢–٢، ٢–٥، ٢–٧–٢، ٢–٧–٣، الفصل ٩–٣–٦ والفصل ١٠–٣–٢ ● الفصل ٢–٧–٣ والفصل ٩–٣–٦
١٥	النينيو ● الفصل ٩–٣–٥ ● الفصل ٩–٣–٥
١٧	المونسونات ● الفصل ٩–٣–٥
١٧	الدوران....● الفصل ٩–٣–٤
١٧	الثلج والجليد...● الفصل ٩–٣–٢ ● الفصل ١١–٥–١ ● الفصل ١١–٥–١ ● الفصل ١١–٥–٤
١٧	مستوى سطح البحر ● الفصل ١١–٥–١

تغير المناخ الناجم عن الأنشطة البشرية سيستمر عدة قرون

الصفحة في الملخص	الاسناد: الموضوع في الملخص – الأقسام في الفصول
١٧	● الفصل ٣–٢–٣، الفصل ٤–٤ والفصل ٦–١٥ ● الفصل ٩–٣–٣– و٩–٣–٤ ● الفصل ١١–٥–٤ ● الفصل ١١–٥–٤ ● الفصل ١١–٥–٤

ثمة حاجة إلى مزيد من الإجراءات لمعالجة الثغرات الباقية في المعلومات والفهم

الصفحة في الملخص	الاسناد: الموضوع في الملخص – الأقسام في الفصول
١٨	كل النقاط البارزة ● الفصل ١٤، الموجز التنفيذي.

الملخص الفني

تقرير قبله الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ دون الموافقة عليه بالتفصيل

"قبول" تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في دورة للفريق العامل أو الهيئة يعني أن المادة لم تخضع للنقاش والموافقة على أساس سطر بسطر، الا أنها تقدم رغم ذلك وجهة نظر شاملة وموضوعية ومتوازنة عن الموضوع.

الكاتبان الرئيسيان المنسقان

د.ل. البريتون (الولايات المتحدة الأمريكية) ول. ج. ميرافيلو (البرازيل)

الكتاب الرئيسيون

يو. كوباش (ألمانيا)، اس. داي (الصين)، واي دينج (الصين)، دي. جي. كريجز (المملكة المتحدة)، ب. هيويتسون (جنوب أفريقيا)، جي.ت. هوفتون (المملكة المتحدة)، أي. اساكسين (النرويج)، تي. كارل (الولايات المتحدة الأمريكية)، م. ماكفارلاند (الولايات المتحدة الأمريكية)، في.بي. ميليشكو (روسيا)، جي.ف.ب. ميتشل (المملكة المتحدة)، زنوجير (المملكة المتحدة)، بي. س. نايتزى (تنزانيا)، م. أوبينهايمر (الولايات المتحدة الأمريكية)، جي. أي. بينز (الولايات المتحدة الأمريكية)، س. بولونايز (ترينيداد وتوباغو)، ت. ستوكر (سويسرا)، كي. أي. ترينبيرث (الولايات المتحدة الأمريكية).

الكتاب المساهمون

م.ر. ألين (المملكة المتحدة)،أم.ب. بايدي (هولندا)، جي.أز شيرش (استراليا)، دي. هـز ايهالت (المانيا)، سي.ك. فولاند (المملكة المتحدة)، ف. جورجي (ايطاليا)، جي.م. جريجوري (المملكة المتحدة)، جي م. هايوود (المملكة المتحدة)، جي.أي.هاوس (المانيا)، م. هولم (المملكة المتحدة)، في. جي. جاراميللو (المكسيك)، أز جايارمان (الهند)، سي. أ جونسون (المملكة المتحدة)، س. جوساوم (فرنسا)، دي. جي. كارولي (استراليا)، هـز كيشغي (الولايات المتحدة الأمريكية)، سي، لي، كويري (فرنسا)، ل. جي. ماتا (المانيا)، ب. جيز ماك أفاني (استراليا)، ل."و. ميرنز (الولايات المتحدة الأمريكية)، جي. أ. ميهل (الولايات المتحدة الأمريكية) ب. مور الثالث (الولايات المتحدة الأمريكية)، ر.ك. موجارا (زامبيا)، م. براثر (الولايات المتحدة الأمريكية)، سي برينتيس (ألمانيا)، في. راماسوامي (الولايات المتحدة الأمريكية)، س. سي.بى رابر (المملكة المتحدة)، م. جي. ساالينجر (نيوزيلندا)، ر. شولز(جنوب أفريقيا)، س. سولومون(الولايات المتحدة الأمريكية)، ر. ستوفر (الولايات المتحدة الأمريكية)، م. اكس. وانج (الصين)، ر. ت. واطسون (الولايات المتحدة الأمريكية)، ك–س. ياب (ماليزيا).

المحررون المراجعون

ف. جوز (سويسرا)، أز راميريز–روجاز (فنزويلا)، جي. م.ر. ستون (كندا)، جي. زيلمان (استراليا).

الملخص الفني لتقرير الفريق العامل الأول

ألف – مقدمة

ألف – ١ الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ وأفرقة العمل التابعة لها

أنشئت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بواسطة منظمة الأرصاد الجوية العالمية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة عام ١٩٨٨. وكان الهدف، ومازال، هو توفير تقييم لفهم جميع الجوانب المتعلقة بتغير المناخ(١) بما في ذلك الكيفية التي يمكن بها للأنشطة البشرية أن تحدث هذه التغييرات وأن تتأثر بها. وقد أصبح من المسلم به على نطاق واسع أن انبعاثات غازات الدفيئة الناشئة عن مؤثرات بشرية تنطوي على إمكانيات تغيير النظام المناخي (انظر الإطار ١) مع ما قد يرتبط بذلك من تأثيرات ضارة أو نافعة. كما جرى التسليم بأن معالجة هذه القضايا العالمية تتطلب منظمة على مستوى عالمي بما في ذلك تقييم لفهم القضية من خلال دوائر خبراء عالمية.

نظمت الهيئة الحكومية الدولية خلال دورتها الأولى في ثلاثة أفرقة عاملة. والاختصاصات الحالية للأفرقة العاملة هى تولي الفريق العامل الأول معالجة الجوانب العلمية للنظام المناخي وتغير المناخ. ويعالج الفريق العامل الثاني تأثيرات تغير المناخ وعمليات التكيف معها، ويعالج الفريق العامل الثالث الخيارات ذات الصلة بالتخفيف من تغير المناخ. وقدمت الهيئة الحكومية الدولية أول تقرير تقييم رئيسي لها عام ١٩٩٠ وثاني تقرير رئيسي لها عام ١٩٩٦.

وتقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (١) تحديث أوصاف العناصر المعروفة وغير المعروفة في النظام المناخي وما يتصل بذلك من عوامل، (٢) تستند إلى معارف دوائر الخبراء الدولية و(٣) تعد بواسطة عملية مهنية مفتوحة تخضع لمراجعة خبراء نظراء، و(٤) تستند إلى المنشورات العلمية التي توجز نتائجها بأسلوب يفيد واضعي السياسات. وفي حين أن المعلومات الخاضعة للتقييم تتصل بالسياسات، فإن الهيئة الحكومية الدولية لا تحدد سياسات عامة أو تدعو لها.

ويشمل نطاق عمليات التقييم التي يجريها الفريق العامل الأول رصدات للتغيرات الحالية والاتجاهات في النظام المناخي، وإعادة تشكيل التغييرات والاتجاهات السابقة، وفهم العمليات التي تنطوي عليها هذه التغييرات، وإدراج هذه المعارف في نماذج يمكن أن تعزو أسباب التغييرات وأن تقدم محاكاة للتغييرات المستقبلية في النظام المناخي الطبيعية منها والبشرية الاستحثاث.

ألف – ٢ تقريرا التقييم الأول والثاني للفريق العامل الأول

وصف الفريق العامل الأول بصورة عامة، في أول تقرير للتقييم عام ١٩٩٠، حالة فهم النظام المناخي وتغير المناخ التي تحققت خلال العقود السابقة من البحث. وجرى تأكيد العديد من النقاط الرئيسية. فتأثيرات الدفيئة مظهر طبيعي في الكوكب، وأسسه الفيزيائية الجوهرية مفهومة بدرجة جيدة. وكانت تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي في ازدياد، نتيجة للأنشطة البشرية بالدرجة الأولى. ويتوقع أن يؤدي النمو المستمر في المستقبل في انبعاثات غازات الدفيئة إلى زيادة كبيرة في متوسط درجات الحرارة السطحية في الكوكب، وهي زيادة ستتجاوز الفروق الطبيعية التي حدثت في آلاف السنين الماضية والتي لا يمكن عكس مسارها إلا ببطء. وقد شهد القرن الماضي، فى ذلك الوقت، احترار سطح اليابسة بما يقرب من ٠.٥ °س وهو ما يتسق بصورة عامة مع توقعات النماذج المناخية للزيادة في غازات الدفيئة، وما يتماثل أيضا مع ما كان معروفا في ذلك الوقت عن الفروق الطبيعية. وأخيرا، أشير إلى أن المستوى الحالي للفهم وقدرات النماذج المناخية المتوافرة كانت تحد من توقعات التغييرات في مناخ مناطق معينة.

واستنادا إلى نتائج البحوث الإضافية والتقارير الخاصة التي صدرت في غضون ذلك، أجرى الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية تقييما لحالة الفهم الجديدة في تقرير التقييم الثاني(٢) الذي أعده في عام ١٩٩٦. وأكد التقرير أن تركيزات غازات الدفيئة مستمرة في الازدياد في الغلاف الجوي، وأنه يتعين إجراء خفض كبير للغاية في الانبعاثات لتثبيت تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي (وهو الهدف الأسمى للمادة ٢ من الاتفاقية الإطارية المعنية بتغير المناخ). وعلاوة على ذلك، استمرت الزيادة العامة في درجات حرارة العالم . وحيث كانت السنوات الأخيرة هي الأشد حرارة على الأقل منذ عام ١٨٦٠.

---

(١) تشير عبارة تغير المناخ فى استخدامات الهيئة الحكومية الدولية إلى أي تغيير يحدث فى المناخ بمرور الوقت سواء نتيجة للتقلبية الطبيعية أو نتيجة لنشاط بشري. ويختلف هذا الاستخدام عن ذلك الوارد فى الاتفاقية الإطارية التى تشير إلى تغير المناخ على أنه التغيير فى المناخ الذي يعزى بصورة مباشرة أو غير مباشرة إلى النشاط البشري الذي يغير من تركيب الغلاف الجوي للعالم، والذي يزيد عن التقلبية المناخية الطبيعية المرصودة خلال فترات متماثلة من الزمن. وللحصول على تعريف للمصطلحات العلمية والفنية انظر قائمة المصطلحات فى المرفق الأول.

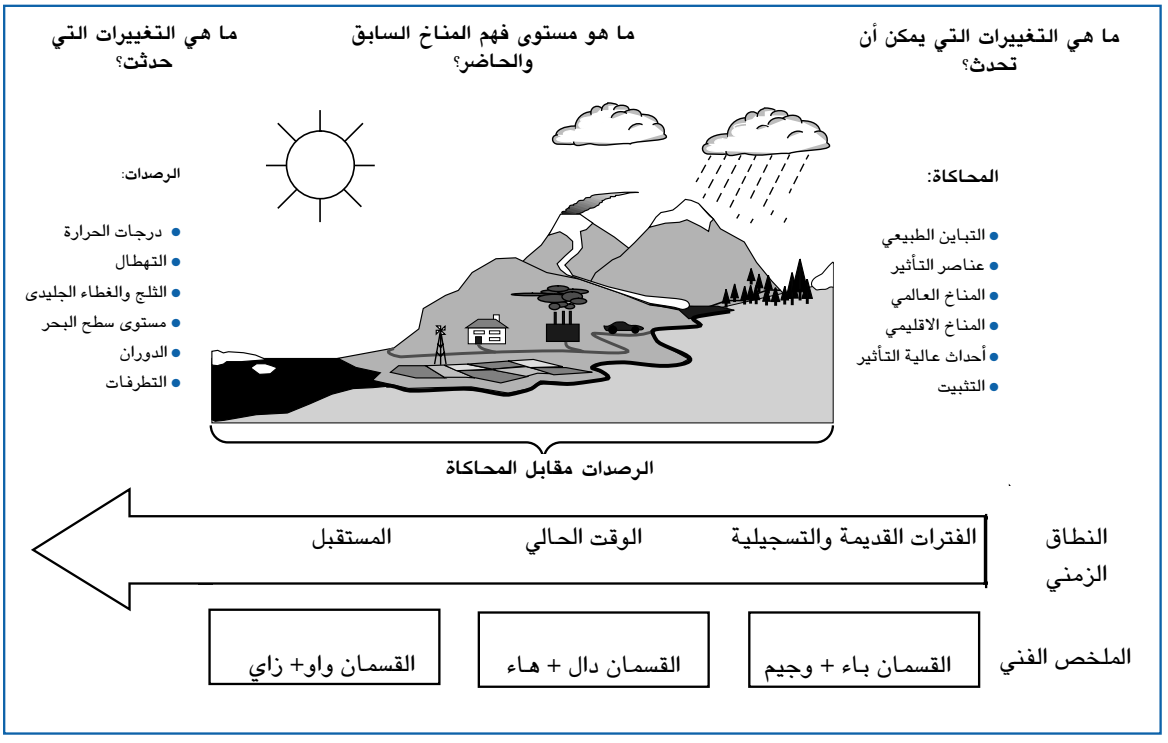
(٢) يشار إلى تقرير التقييم الثاني للهيئة فى هذا الملخص الفني بالرمز SAR.

وقد تحسنت قدرة النماذج الخاصة على محاكاة الأحداث والاتجاهات المرصودة وخاصة بعد إدراج الهباء الكبريتي والأوزون الستراتوسفيري باعتبارهما من عوامل التأثير الاشعاعي في النماذج المناخية. وخلص التقرير، مستخدما القدرة على المحاكاة لعقد مقارنة مع الأنماط المرصودة للتغييرات الإقليمية في درجات الحرارة، إلى أن القدرة على وضع تحديد كمي للمؤشرات البشرية في المناخ العالمي هي قدرة محدودة. وتنشأ هذه القيود لأن العلامات المتوقعة مازالت تنشأ عن ضوضاء التقلبية الطبيعية وبسبب عدم اليقين في عوامل رئيسية أخرى. ومع ذلك، خلص التقرير أيضا إلى أن "خلاصة الشواهد تشير إلى وجود تأثير بشري ملموس على المناخ العالمي". وأخيرا، واستنادا إلى مجموعة من السيناريوهات الخاصة بتركيزات غازات الدفيئة في المستقبل، تمت محاكاة مجموعة من الاستجابات للنظام المناخي.

ألف – ٣ تقرير التقييم الثالث: هذا الملخص الفني

يعتمد تقرير التقييم الرئيسي الثالث الصادر عن الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ على التقييمين السابقين، ويشمل نتائج البحوث المناخية التي أجريت خلال السنوات الخمس السابقة. ويستند هذا الملخص الفني إلى المعلومات الأساسية الواردة في الفصول والتي وضع لها إسناد مترافق مع مذكرات المصادر في المرفق. ويهدف هذا الملخص إلى وضع الجوانب الرئيسية (انظر الشكل ١) لفهم النظام المناخي وتغير المناخ في بداية القرن الحادي والعشرين. وعلى وجه الخصوص:

- ماذا يبين السجل الرصدي بشأن التغييرات المناخية السابقة سواء على الصعيد العالمي أو المستوى الاقليمي وكلاهما من حيث المتوسطات والتطرف؟ (القسم باء)
- كم حجم فهم العوامل التي تسبب تغير المناخ بما في ذلك تلك الظواهر الطبيعية (مثل الاختلافات الشمسية) وذات الصلة بالبشر (غازات الدفيئة) ؟ (القسم جيم).
- ما هي القدرة الحالية لمحاكاة استجابات النظام المناخي لهذه العوامل المؤثرة؟ وعلى وجه الخصوص ما مدى وصف العمليات الفيزيائية والكيماوية الجغرافية



الشكل ١: الأسئلة الرئيسية المتعلقة بالنظام المناخي وعلاقته بالبشر. وهذا الملخص الفني الذي يستند إلى المعلومات الأساسية الواردة في الفصول عبارة عن تقرير حالة عن الإجابات الواردة في الهيكل المشار إليه.

الإحيائية في النماذج المناخية العالمية الحالية؟ (القسم دال)

- ماذا تظهر المقارنة فيما يتعلق بالمؤثرات البشرية على مناخ اليوم؟ استنادا إلى بيانات الرصد وقدرات التنبؤ الحالية بالمناخ؟

- وعلاوة على ذلك، ماذا يمكن أن يكون عليه مناخ المستقبل، باستخدام أدوات التنبؤ الحالية، وعلى وجه الخصوص، ماذا يتوقع الفهم الحالي لدرجات حرارة العالم، والأنماط الإقليمية للتهطال، ومستويات سطح البحر، والتغيرات في التطرفات بالنسبة لمجموعة عريضة من الإسقاطات الخاصة بالعوامل العديدة المؤثرة في المناخ (القسم هاء).

وأخيرا، ما هي أكثر نشاطات البحوث إلحاحا الواجب معالجتها لتحسين فهمنا للنظام المناخي وللحد من عدم اليقين الذي نشعر به إزاء تغير المناخ في المستقبل.
ويعتبر تقرير التقييم الثالث للفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية نتاج مئات من العلماء، من العالم المتقدم والنامي، الذين ساهموا في إعداده ومراجعته. وفيما يلي ملخص لفهمهم للنظام المناخي.

الإطار ١: ما الذي يدفع بالتغييرات في المناخ

تمتص الأرض الإشعاعات القادمة من الشمس وذلك أساسا عند السطح. ثم تعيد الدورانات في الغلاف الجوي والمحيطات توزيع هذه الطاقة وبثها من جديد في الفضاء بأطوال موجات أطول (تحت الحمراء). وبالنسبة للمتوسط السنوي، والأرض بأسرها، تتوازن طاقة الإشعاع الشمسي القادمة بصورة تقريبية مع الإشعاع الأرضي الخارج منها. ويمكن أن يؤثر في المناخ أي عامل يغير من إعادة توزيع الطاقة داخل الغلاف الجوي وفيما بين الغلاف الجوي واليابسة والمحيطات. ويطلق على أي تغيير في الطاقة الإشعاعية الصافية المتوافرة لنظام الغلاف الجوي للأرض في العالم هنا وفي التقريرين السابقين للهيئة الحكومية الدولية التأثير الإشعاعي. وتميل التأثيرات الإشعاعية الموجبة إلى رفع درجة حرارة سطح الأرض وخفض الغلاف الجوي أما التأثيرات الإشعاعية السالبة فتميل إلى تبريدها.

وسوف تؤدي زيادة التركيزات في غازات الدفيئة إلى الحد من الكفاءة التي يصدر بها سطح الأرض الاشعاعات إلى الفضاء. ويمتص الغلاف الجوي الكثير من الإشعاع الأرضي الخارج من سطح الأرض، ويعيد بثه إلى الارتفاعات الأعلى ودرجات الحرارة المنخفضة. ويؤدى ذلك إلى تأثيرات إشعاعية موجبة تميل إلى رفع درجة الحرارة المنخفضة للغلاف الجوي. وسطح الأرض ونظرا لانخفاض كمية الحرارة التي تتسرب إلى الفضاء، وهو ما يعرف بزيادة تأثيرات الدفيئة، أى زيادة التأثير الذي يعمل في الغلاف الجوي للأرض منذ بلايين السنين نتيجة لوجود غازات الدفيئة التي تحدث بصورة طبيعية: بخار الماء، ثاني أكسيد الكربون والأوزون والميثان وأكسيد النتروز. وتتوقف كمية التأثير الإشعاعي على حجم الزيادة في تركيز غازات الدفيئة، والخصائص الإشعاعية للغازات المعنية، وتركيز غازات الدفيئة الأخرى الموجودة بالفعل في الغلاف الجوي. وعلاوة على ذلك، فإن الكثير من غازات الدفيئة يستقر في الغلاف الجوي لقرون عديدة بعد تصديره من الأرض ومن ثم ينتج إسهاما طويل الأجل في التأثير الاشعاعي الموجب.

ويمكن للهباء البشري المنشأ (الجزيئات الدقيقة التي يحملها الهواء أو القطيران) في طبقة التروبوسفير مثل تلك المستمدة من الوقود الأحفوري وحرق الكتلة الاحيائية أن يعكس الاشعاع الشمسي مما يؤدي إلى اتجاه تبريدي في النظام المناخي. ونظرا لأن هباء الكربون الأسود (السناج) يستطيع امتصاص الاشعاع الشمسي، فإنه يرفع من درجة حرارة النظام المناخي. وعلاوة على ذلك، يمكن أن تؤدي التغييرات في تركيز الهباء إلى تغيير كمية السحب، وانعكاسية السحاب من خلال تأثيراتها على خصائص السحب وعمرها. وفي معظم الحالات، يميل الهباء التروبوسفيري إلى إنتاج تأثير إشعاعي سالب ويؤدي إلى تبريد المناخ.

غير أن عمرها أقصر بكثير (أيام إلى أسابيع) من معظم غازات الدفيئة (عقود أو قرون)، والنتيجة هي أن تركيزاتها تستجيب بسرعة أكبر بكثير من التغييرات في الانبعاثات.

ويمكن للنشاط البركاني أن يحقن كميات كبيرة من الغازات المحتوية على الكبريت (أكسيد الكبريت أساسا) في طبقة الستراتوسفير حيث تتحول إلى هباء كبريتي. ويمكن أن تؤدي ثورات البراكين المختلفة إلى قدر كبير من التأثيرات الإشعاعية السالبة وإن كانت مؤقتة تميل إلى تبريد سطح الأرض وخفض الغلاف الجوي على فترات من سنوات قليلة.

ويتباين إنتاج الشمس من الطاقة بنسبة صغيرة (٠,١ ٪) على مدى دورة تستغرق ١١ عاما، وعلاوة على ذلك، قد تحدث الفروق عبر فترات طويلة. وعلى أساس نطاق زمني يمتد من عشرات إلى آلاف السنين، أدت الفروق البطيئة في مجال الأرض، والتي تخضع لفهم معتدل، إلى تغييرات في التوزيع الموسمي وعلى خطوط العرض للاشعاع الشمسي. وقد اضطلعت هذه التغييرات بدور هام في التحكم في التباينات في المناخ في الماضي السحيق مثل دورتي الجليد ومرحلة ما بين عمرين جليدين.

وعندما يتغير التأثير الاشعاعي، يستجيب النظام المناخي على فترات زمنية مختلفة. ويرجع أطولها إلى القدرة الحرارية الكبيرة للمحيطات العميقة والتكيف الديناميي لصفحات الجليد. ويعني ذلك أن الاستجابة المؤقتة للتغيير (سواء موجبة أو سالبة) قد تستمر لآلاف السنين. وسوف تؤدي أية تغييرات في التوازن الاشعاعي للأرض بما في ذلك تلك التي تعزى إلى زيادة في غازات الدفيئة أو في الهباء إلى تغيير الدور الهيدروليكي للعالم والدوران فى الغلاف الجوي والمحيطات ومن ثم التأثير في أنماط الطقس ودرجات الحرارة والتهطال الإقليمية.
وسوف تدرج أية تغييرات مستحثة من أنشطة بشرية في المناخ في خلفية التغييرات المناخية الطبيعية التي تحدث في مجموعة كاملة من الأوقات والأماكن. ويمكن أن تحدث تقلبية المناخ نتيجة للتغيرات الطبيعية في تأثيرات النظام المناخي مثل التباينات في قوة الاشعاعات الشمسية القادمة، والتغييرات في تركيزات الهباء الناشئة عن ثورات البراكين. كما يمكن أن تحدث التباينات المناخية الطبيعية في عدم وجود تغيير في التأثير الخارجي نتيجة للتفاعلات المعقدة بين عناصر النظام المناخي مثل الربط بين الغلاف الجوي والمحيطات. فظاهرة التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو مثال على هذه التقلبية "الداخلية" الطبيعية على فترات زمنية متعددة السنوات. ومن الضروري، للتمييز بين التغييرات المناخية البشرية المنشأ والتباينات الطبيعية تحديد "العلامة" البشرية المنشأ مقابل خلفية "ضوضاء" التقلبية المناخية الطبيعية.

باء – التغييرات المرصودة في النظام المناخي

هل يتعرض مناخ الأرض للتغير؟ إن الإجابة هي "نعم" دون منازع. وثمة مجموعة من الرصدات تؤيد هذه النتيجة وتوفر نظرة معمقة عن سرعة هذه التغييرات. كما أن هذه البيانات هي الأساس الذي يعتمد عليه في وضع الاجابة المتعلقة بالسؤال الأكثر صعوبة وهو "لماذا يتعرض للتغيير؟ وهو السؤال الذي تجري معالجته في الأقسام اللاحقة.

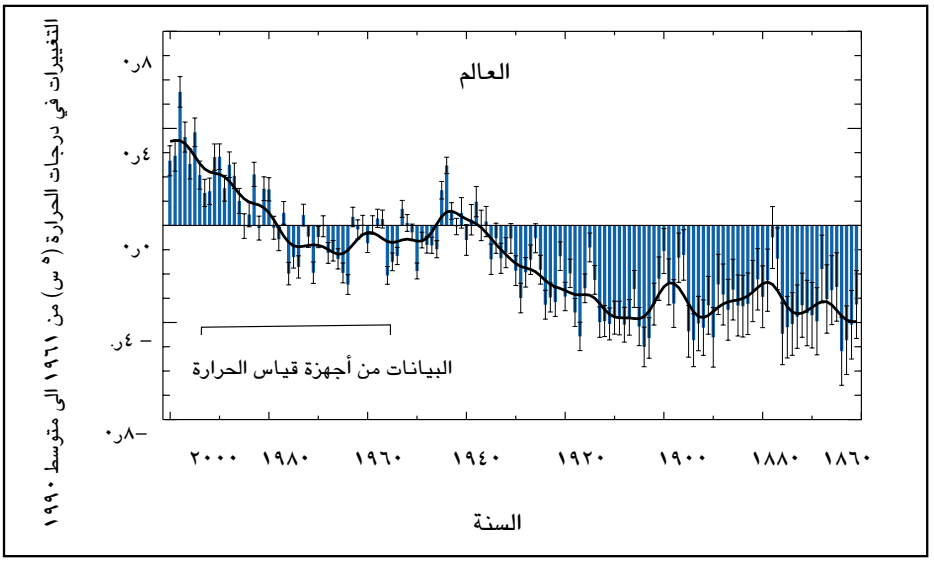
ويوفر هذا القسم موجزا مستكملا للرصدات التي تحدد الطريقة التي تغير بها المناخ في الماضي. وقيس الكثير من متغيرات النظام المناخي بصورة مباشرة أي "السجل المحدد بالآجهزة". فعلى سبيل المثال، فإن القياسات المباشرة واسعة النطاق لدرجات حرارة سطح الأرض بدأت منذ نحو منتصف القرن التاسع عشر. وأجريت رصدات عالمية تقريبا لمتغيرات "الطقس" الأخرى مثل التهطال والرياح لنحو مائة عام. وأجريت القياسات الخاصة بمستوى سطح البحر لأكثر من مائة عام في بعض الأماكن، إلا أن شبكة مقياس المد بسجلاتها الطويلة لم توفر سوى تغطية عالمية محدودة. غير أن رصدات طبقات الجو العليا لم تجر بصورة منتظمة إلا منذ الأربعينات. كما توجد سجلات طويلة للرصدات المحيطية السطحية من السفن منذ منتصف القرن التاسع عشر، وبواسطة عوامات مخصصة منذ نحو أواخر السبعينات. وتتوافر الآن قياسات درجات الحرارة المحيطية تحت السطحية ابتداء من أواخر الأربعينات. ومنذ أواخر السبعينات، استخدمت البيانات الأخرى المستمدة من التوابع الاصطناعية المخصصة لمراقبة الأرض في توفير مجموعة واسعة من الرصدات العالمية لمختلف عناصر النظام المناخي. وعلاوة على ذلك، تقدم مجموعة متزايدة من بيانات المناخات القديمة مثل حلقات الأشجار والشعب المرجانية والترسبات والجليد معلومات عن مناخ الأرض قبل قرون وآلاف السنين من الآن.

ويسند هذا القسم أهمية خاصة للمعارف الحالية عن التغييرات الماضية في المتغيرات المناخية الرئيسية: درجات الحرارة والتهطال ورطوبة الغلاف الجوي والغطاء الثلجي ومساحة الأراضي والجليد البحري وأنماط الدوران في الغلاف الجوي والمحيطات وأحداث الطقس والمناخ المتطرفة، والجوانب العامة لتقلبية المناخ. ويعقد الجزء الختامي من هذا الفصل مقارنات بين الاتجاهات المرصودة في هذه المؤشرات المناخية المختلفة ليرى ما إذا كان بالوسع الخروج بصورة جماعية. وتعتبر درجة الاتساق الداخلي عاملا حاسما في تقييم مستوى الثقة في الفهم الحالي للنظام المناخي.

باء –١ التغييرات المرصودة في درجات الحرارة

درجات الحرارة في السجلات المعتمدة على الأجهزة للياسة والمحيطات

زاد المتوسط العالمي لدرجة حرارة السطح بمقدار ٠,٦ ± ٠,٢ °س منذ أواخر القرن التاسع عشر. ومن المرجح بشدة أن التسعينات كانت أشد العقود حرارة، وأن عام ١٩٩٨ كان أشد الأعوام حرارة في السجل المعتمد على الأجهزة منذ ١٨٦١ (انظر الشكل ٢). والسبب الرئيسي لزيادة تقديرات الاحترار العالمي بمقدار ٠,١٥ °س منذ تقرير التقييم الثاني يتعلق بالاحترار القياسي في السنوات الست الإضافية (١٩٩٥ إلى ٢٠٠٠) في البيانات. وثمة



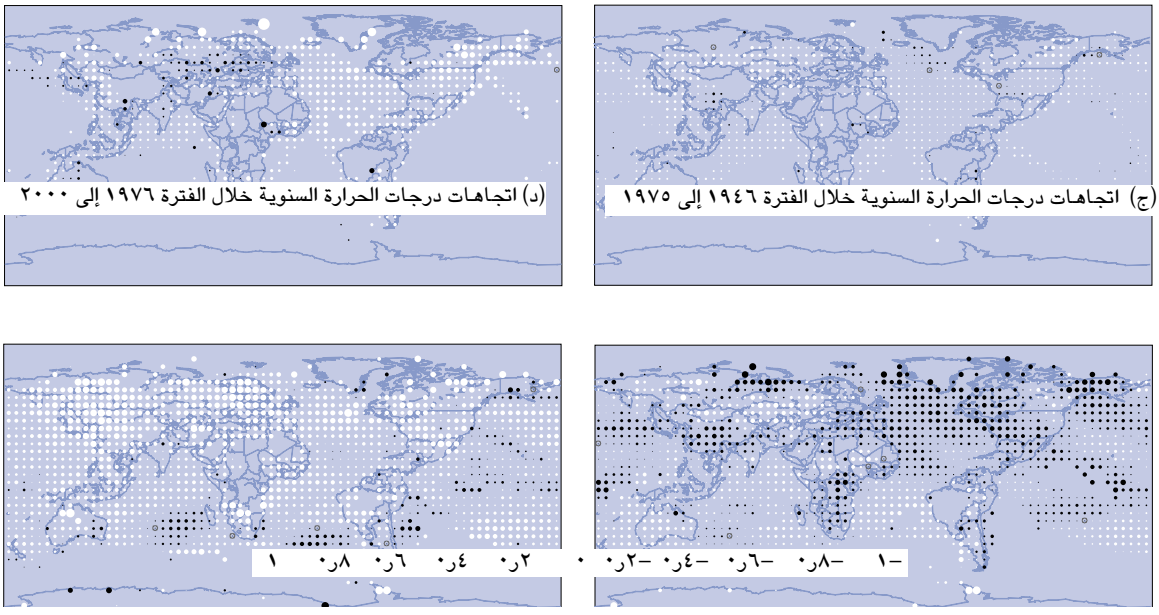
الشكل ٢: حالات الشذوذ فى درجات الحرارة السنوية لهواء سطح الأرض وسطح البحر مجتمعة (°س) فى الفترة من ١٨٦١ إلى ٢٠٠٠ مقابل ١٩٦١ إلى ١٩٩٠. وعرضت على الأعمدة الخاصة بالعدد السنوي حالات عدم اليقين

سبب ثان يتعلق بتحسن طرق تقدير التغيير. كذلك فإن نطاق عدم اليقين الحالي المرتفع عن ذي قبل بصورة طفيفة (٠,٢ ٪ في ٩٥٪ فاصل ثقة(يستند إلى أسس أكثر موضوعية. وعلاوة على ذلك، جرى تدعيم الأساس العلمي للثقة في تقديرات الزيادة في درجات حرارة العالم منذ أواخر القرن التاسع عشر منذ تقرير التقييم الثاني. ويعزى ذلك إلى التحسينات المستمدة من العديد من الدراسات الجديدة والتي تشمل اختبار مستقل للتصويبات المستخدمة في التحيزات المعتمدة على الوقت في بيانات درجات حرارة سطح البحر والتحليل الجديد لتأثيرات "الجزر الحرارية" الحضرية في اتجاهات درجات حرارة اليابسة في العالم. وكما أشير في الشكل ٢ فإن معظم الزيادة في درجات حرارة العالم منذ أواخر القرن التاسع عشر حدثت خلال فترتين مختلفتين: من ١٩١٠ إلى ١٩٤٥ ومنذ ١٩٧٦. ويبلغ معدل الزيادة في درجة الحرارة في الفترتين نحو ٠,١٥ °س في العقد الواحد. وكان الاحترار في الآونة الأخيرة أكبر على اليابسة منه في المحيطات، فالزيادة في درجة حرارة سطح البحر خلال الفترة ١٩٥٠ إلى ١٩٩٠ بلغت نحو نصف متوسط درجة حرارة الهواء على سطح الأرض. ويعتبر ارتفاع درجة حرارة العالم المرتبط بظاهرة النينيو خلال ١٩٩٧ إلى ١٩٩٨ حدثا متطرفا حتى مع مراعاة معدل الاحترار في الآونة الأخيرة.

الأنماط الإقليمية للاحترار الذي حدث في الجزء الأول من القرن العشرين تختلف عن تلك التي حدثت في الجزء الأخير منه. ويبين الشكل ٣ الأنماط الاقليمية للاحترار التي حدثت خلال القرن العشرين بأكمله فضلا عن ثلاث فترات زمنية مؤلفة منه. وأحدث فترة للاحترار (١٩٧٦ إلى ١٩٩٩) كانت عالمية تقريبا إلا أن أكبر الزيادات في درجات الحرارة حدثت في خطوط العرض المتوسطة والقطبية للقارات في نصف الكرة الأرضية الشمالي. والتبريد طوال العام أمر واضح في الجزء الشمالي الغربي من شمالي المحيط الأطلسي ووسط شمال المحيط الهادئ الا أن اتجاهات البرودة فى شمال الأطلسي انعكست في الآونة الأخيرة. وأظهرت الأنماط الاقليمية الأخيرة للتغير في درجات الحرارة أنها ترتبط، جزئيا، بمختلف مراحل التذبذبات الخاصة بالمحيط والغلاف الجوي مثل تذبذبات القطب الجنوبي – شمالي الأطلسي وربما التذبذبات العقدية في المحيط الهادئ. ولذا، فان اتجاهات درجات الحرارة الاقليمية طوال بضعة عقود قد تتأثر بشدة

(أ) اتجاهات درجات الحرارة السنوية خلال الفترة ١٩٠١ إلى ٢٠٠٠

(ب) اتجاهات درجات الحرارة السنوية خلال الفترة ١٩١٠ إلى ١٩٤٥



الاتجاه (°س في العقد الواحد).

الشكل ٣: اتجاهات درجات الحرارة السنوية للفترات ١٩٠١ إلى ١٩٩٩ و١٩١٠ إلى ١٩٤٥ و١٩٤٦ إلى ١٩٧٥ و١٩٧٦ إلى ١٩٩٩ على التوالي. تمثل الاتجاهات بمنطقة من الدائرة حيث يشير اللون الأحمر إلى الزيادة، واللون الأزرق إلى النقصان، واللون الأخضر إلى التغيير الطفيف أو عدم التغيير على الاطلاق. وقد حسبت الاتجاهات من متوسطات سنوية للاختلافات الشبكية مع شرط أن تتضمن الاختلافات السنوية بيانات عما لا يقل عن عشرة أشهر. وبالنسبة للفترة ١٩٠١ إلى ١٩٩٩ حسبت الاتجاهات بالنسبة لتلك الأطر الشبكية فقط المتضمنة حالات الشذوذ السنوية فيما لا يقل عن ٦٦ عاما من المائة عام. وكان العدد الأدنى من السنوات اللازمة للفترات الزمنية الأقصر مدى (١٩١٠ إلى ١٩٤٥ و١٩٤٦ إلى ١٩٧٥ و١٩٧٦ إلى ١٩٩٩) هو ٢٤ و٢٠ و١٦ عاما على التوالي. [استنادا إلى الشكل ٢-٩].

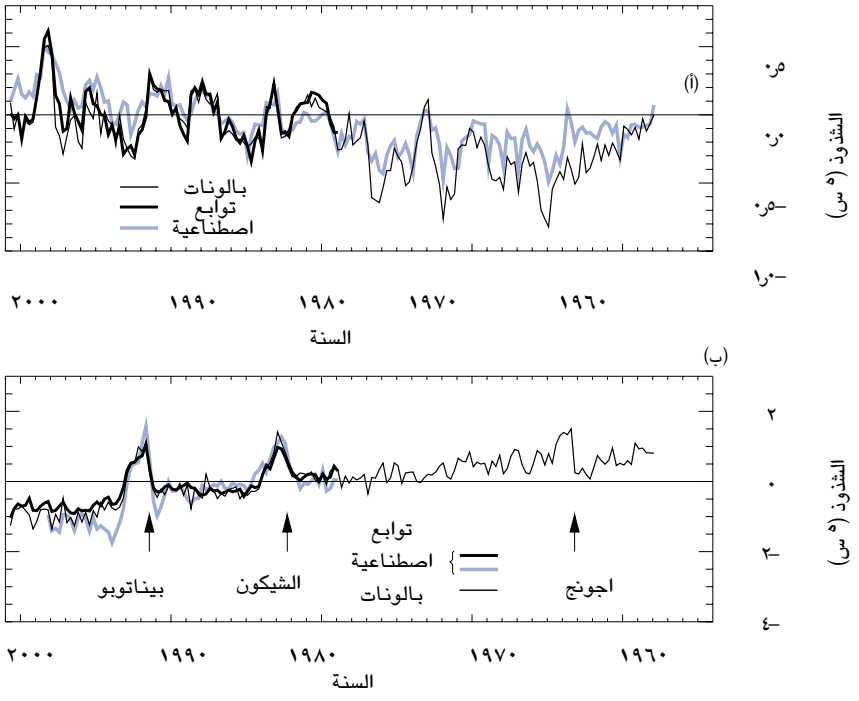
بالتقلبية الاقليمية في النظام المناخي. وقد تبتعد بصورة ملموسة عن المتوسط العالمي. وكان احترار الفترة ١٩١٠ إلى ١٩٤٥ مركزا في أول الأمر في شمال الأطلسي. وعلى العكس من ذلك، أظهرت الفترة ١٩٤٦ إلى ١٩٧٥ تبريدا كبيرا في شمالي الأطلسي فضلا عن أجزاء كبيرة من نصف الكرة الأرضية الشمالي والاحترار في أجزاء كبيرة من نصف الكرة الجنوبي.

تشير التحليلات الجديدة إلى أن المحتوى الحراري للمحيطات في العالم قد زاد زيادة كبيرة منذ أواخر الخمسينات. وحدث أكثر من نصف الزيادة في المحتوى الحرارة في الثلاثمائة متر العليا من المحيط وهو ما يعادل نسبة زيادة في درجات الحرارة في هذه الطبقة يبلغ نحو ٠,٠٤ °س.

التحليلات الجديدة لدرجات حرارة سطح الأرض القصوى والدنيا خلال الفترة ١٩٥٠ إلى ١٩٩٣ مازالت تبين أن هذا القياس لنطاق درجات الحرارة النهارية يتقلص بفرق شاسع وإن لم يكن في كل مكان. فدرجات الحرارة الدنيا تزيد في المتوسط بنحو ضعف معدل درجات الحرارة القصوى (٠,٢ مقابل ٠,١ °س في العقد الواحد).

سجلات درجات الحرارة فوق الطبقة السطحية مأخوذة من سجلات التوابع الاصطناعية وبالونات الطقس

تبين قياسات درجات الحرارة من سطح الأرض والبالونات والتوابع الاصطناعية أن سطح الأرض والتروبوسفير قد تعرضا للاحترار، وأن الستراتوسفير قد برد. وبالنسبة للفترة الزمنية الأقصر مدى والتي تتوافر عنها بيانات من التوابع الاصطناعية والبالونات (منذ ١٩٧٩)، تبين سجلات التوابع والبالونات انخفاض احترار طبقة التروبوسفير السفلى بدرجة كبيرة عما كان قد رصد عند السطح.وتحليلات اتجاهات درجات الحرارة منذ ١٩٥٨ بالنسبة لأدنى ثمانية كيلومترات من الغلاف الجوي وعند السطح تتوافق بدرجة كبيرة، على النحو المبين في الشكل ٤أ، مع الاحترار بنحو ٠,١ °س في العقد الواحد. غير أنه منذ بداية سجلات التوابع الاصطناعية في ١٩٧٩، تبين بيانات درجات الحرارة من كل من التوابع الاصطناعية وبالونات الطقس احترار في طبقة التروبوسفير المتوسطة والدنيا في العالم بمعدل يقارب ٠,٠٥ ٠,١٠ °س للعقد الواحد. وزاد المتوسط العالمي لدرجة حرارة سطح الأرض زيادة كبيرة بلغت ٠,١٥ ٠,٠٥ °س في العقد الواحد. والفرق في معدلات الاحترار كبير من الناحية الاحصائية. وعلى العكس من ذلك، كانت اتجاهات درجات حرارة سطح الأرض، خلال الفترة ١٩٥٨ إلى ١٩٧٨، تقترب من الصفر في حين كانت الاتجاهات في الثمانية كيلومترات الدنيا من



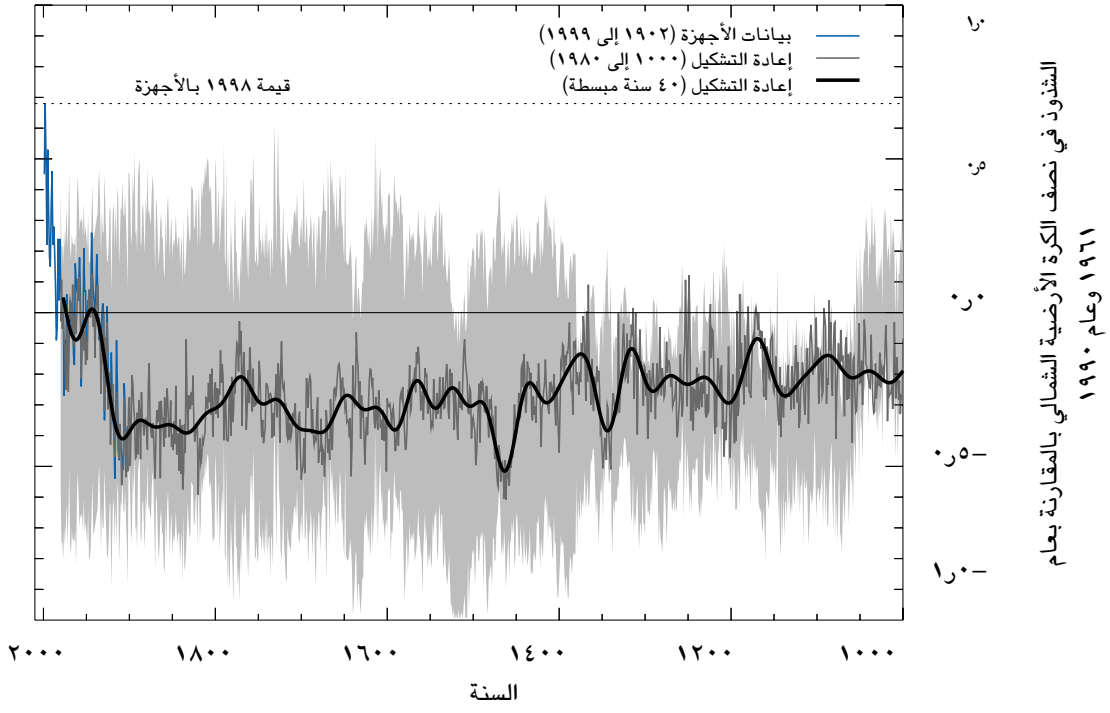
الشكل ٤: (أ) السلاسل الزمنية للاختلافات في درجات الحرارة الموسمية في طبقة التروبوسفير استنادا إلى البالونات والتوابع الاصطناعية بالإضافة إلى السطح. (ب) السلاسل الزمنية للاختلافات الموسمية في درجات الحرارة في طبقة الستراتوسفير الدنيا من البالونات والتوابع الأرضية [استنادا إلى الشكل ٢–١٢]

(٤) استخدمت الكلمات التالية في الملخص الفني والملخص لواضعي السياسات للإشارة إلى التقديرات الاجتهادية التقريبية للثقة: شبه مؤكد (النتيجة سليمة في أكثر من ٩٩ ٪ من الفرص) من المرجح بشدة (٩٠ إلى ٩٩ ٪) من المرجح (٦٦ إلى ٩٠٪) احتمال متوسط (٣٣–٦٦٪) من غير المرجح (١٠–٣٣٪) من غير المرجح بشدة (١–١٠٪) من غير المحتمل بصورة استثنائية (أقل من ١٪) ويحال القارئ إلى الفصول المختلفة لمزيد من التفاصيل.

الغلاف الجوي تقترب من ٢,٥ س في العقد الواحد. ومن المرجح[٤] أن نحو نصف الفرق المرصود في الاحترار منذ ١٩٧٩ يرجع إلى مجموعة الفروق في التغطية المكانية لرصدات السطح وطبقة التروبوسفير، والتأثيرات الفيزيائية سلسلة من ثورات البراكين وظاهرة النينيو (انظر الاطار ٤ للحصول على وصف عام التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو) التي حدثت خلال تلك الفترة. والأرجح بشدة أن الفرق المتبقي هو فرق حقيقي وليس تحيز رصدي. وينشأ بالدرجة الأولى عن الفروق في معدل التغير في درجات الحرارة فوق المناطق المدارية شبه المدارية التي كانت أسرع في الثمانية كيلومترات الدنيا من الغلاف الجوي قبل نحو عام ١٩٧٩ إلا أنه تباطأ منذ ذلك الوقت. ولا يوجد فرق كبير في معدلات الاحترار فوق المناطق القارية ذات خطوط العرض المتوسطة في نصف الكرة الشمالي. ولم ترصد في طبقة التروبوسفير العليا أية اتجاهات كبيرة لدرجات الحرارة في العالم منذ أوائل الستينات. أما بالنسبة لطبقة الستراتوسفير، فإن التوابع الاصطناعية والبالونات تبين، كما يتضح من الشكل ٤(ب) تبريد كبير تخلله فترات احترار شديد يتراوح كل منها بين سنة وسنتين نتيجة لثورات البراكين.

درجات حرارة سطح الأرض، خلال فترة ما قبل استخدام الأجهزة، من السجلات غير المباشرة

من المرجح أن يكون معدل ومدة الاحترار في القرن العشرين أكبر من أي وقت آخر خلال الألف عام الأخيرة. والأرجح أن التسعينات كانت أشد العقود حرارة خلال الألف عام الأخيرة في نصف الكرة الأرضية الشمالي، وأن عام ١٩٩٨ كان أشد الأعوام حرارة. وحدث تقدم كبير في فهم تغير درجات الحرارة الذي حدث خلال الألف عام الأخيرة وخاصة من تجمع عمليات إعادة تشكيل أحادية لدرجات الحرارة. ويرد سجل درجات الحرارة المفصل والجديد لنصف الكرة الأرضية الشمالي في الشكل ٥. وتبين البيانات فترة احترار نسبي ترتبط بالقرون الحادي عشر إلى الرابع عشر وفترة تبريد نسبية ترتبط بالقرون الخامس عشر إلى التاسع عشر في نصف الكرة الأرضية الشمالي. غير أن الشواهد



الشكل ٥: إعادة تشكيل درجة حرارة نصف الكرة الأرضية الشمالي لألف عام (رمادي غامق – حلقات شجرية، شعب مرجانية، وسجلات تاريخية)، وبيانات بالأجهزة (أزرق) من عام ١٠٠٠ بعد الميلاد إلى ١٩٩٤ ويرد في الشكل أيضا نسخة مصقولة من سلاسل نصف الكرة الأرضية الشمالي (أسود) وحدود خطأين معياريين (تظليل رمادي) [استنادا إلى الشكل ٢–٢٠].

لا تؤيد أن "فترة احترار في العصور الوسطى" وفترة "عصر الجليد الصغير" على التوالي قد تزامنتا معا في العالم. فكما يتضح من الشكل ٥ يبدو أن معدل وحدة الاحترار في نصف الكرة الأرضية الشمالي في القرن العشرين غير مسبوقة خلال الألف عام الأخيرة ولا يمكن اعتبارها ببساطة أنها مجرد انتعاش من "العصر الجليدى الصغير" في القرن الخامس عشر والتاسع عشر. وتستكمل هذه التحليلات بتحليل الحساسية للممثليات المكانية في البيانات المتوافرة عن المناخ القديم مما يشير إلى أن الاحترار في العقد الأخير يقع خارج نطاق فترة الثقة بنسبة ٩٥٪ في عدم اليقين المتعلق بدرجة الحرارة وحتى خلال أشد الفترات احترارا في الألفية الأخيرة. وعلاوة على ذلك، استكملت مؤخرا العديد من التحاليل المختلفة، ويشير كل منها إلى أن درجات حرارة نصف الكرة الأرضية الشمالي في العقد السابق كانت أكثر ارتفاعا من أي وقت مضى خلال الست إلى العشر قرون الأخيرة. وهذا نطاق زمني يمكن خلاله حساب درجات الحرارة مع تحليل مئوي باستخدام الحلقات الشجرية والعينات الجليدية والشعب المرجانية وغير ذلك من البيانات غير المباشرة المحلولة على نطاق نصف الكرة. ونظرا لنقص البيانات، لا يعرف الكثير عن المتوسطات السنوية قبيل ألف عام من الآن وعن الظروف السائدة في معظم أنحاء نصف الكرة الأرضية الجنوبي قبل عام ١٨٦١.

من المرجح حدوث تغييرات سريعة كبيرة في درجة حرارة العقد خلال العصر الجليدي الأخير ما يتصل به من ذوبان الجليد (فيما بين ٠٠٠ ١٠٠ و٠٠٠ ١٠ سنة ماضية) وخاصة في خطوط العرض القطبية في نصف الكرة الأرضية الشمالي. من المرجح حدوث ارتفاع محلي في درجات الحرارة تتراوح بين ٥ و١٠ °س على فترات قصيرة لا تتعدى بضعة عقود خلال عصر ذوبان الجليد. ثمة شواهد على حدوث تغييرات كبيرة سريعة في درجات الحرارة الإقليمية خلال العشرة آلاف عام الأخيرة كانت جزءا من التقلبية الطبيعية في المناخ.

باء -٢ التغييرات المرصودة في التهطال ورطوبة الغلاف الجوي

استمر معدل التهطال الأرضي السنوي، منذ وقت تقرير التقييم الثاني، فى الزيادة في خطوط العرض المتوسطة والقطبية في نصف الكرة الأرضية الشمالي (من المرجح بشدة أن تكون ٠,٥ إلى ١ في المائة في العقد الواحد) باستثناء فوق شرقي آسيا. وفي المناطق شبه المدارية (١٠° شمالا إلى ٣٠° شمالا) انخفضت أمطار سطح الأرض في المتوسط (يحتمل أن تكون نحو ٠,٣٪ للعقد الواحد) على الرغم من أن ذلك قد أظهر دلائل على الانتعاش في السنوات الأخيرة. وتشير قياسات التهطال على سطح الأرض في المناطق المدارية إلى أن التهطال قد يكون قد زاد بنحو ٠,٢ ٪ الى ٠,٣٪ خلال العقد الواحد طوال القرن العشرين، غير أن الزيادات ليست واضحة خلال العقود القليلة الماضية، كما أن كمية مساحة الأراضي المدارية (مقابل المحيطات) في خطوط العرض (١٠° شمالا إلى ١٠° جنوبا) كانت ضئيلة نسبيا. ومع ذلك، فإن القياسات المباشرة للتهطال وإعادة التحليل النموذجي للتهطال المستنتج تشير إلى أن هطول الأمطار قد زاد أيضا فوق أجزاء كبيرة من المحيطات المدارية. وحيثما تتوافر التغييرات السنوية في تدفق مجاري المياه فإنها ترتبط في غالب الأحيان بصورة جيدة بالتغييرات في مجموع التهطال. وثمة ارتباطات قوية بين الزيادة في التهطال في خطوط العرض المتوسطة والقطبية في نصف الكرة الأرضية الشمالي والزيادات طويلة الأجل في مجموع كميات السحب. وعلى العكس من نصف الكرة الأرضية الشمالي، لم ترصد أية تغييرات منتظمة مماثلة في التهطال في متوسطات خطوط العرض الواسعة فوق نصف الكرة الأرضية الجنوبي.

من المرجح أن يكون بخار الماء في الغلاف الجوي قد زاد بعدة نسب مئوية للعقد الواحد في كثير من المناطق في نصف الكرة الأرضية الشمالي. وقد تم تحليل التغيرات في بخار الماء خلال ما يقرب من الخمسة والعشرين عاما الماضية في مناطق مختارة باستخدام الرصدات السطحية في المواقع الطبيعية فضلا عن قياسات طبقة التروبوسفير الدنيا من التوابع الاصطناعية وبالونات الطقس. وينشأ الآن نمط من الزيادات العامة في بخار الماء السطحي وفي طبقة التروبوسفير الدنيا على امتداد العقود القليلة الماضية من مجموعة البيانات الأكثر موثوقية على الرغم من أن من المرجح أن هناك تحيزات تعتمد على الوقت في هذه البيانات والتباينات الإقليمية في الاتجاهات. كما أن من المرجح أن يكون بخار الماء في طبقة الستراتوسفير الدنيا قد زاد بنحو ١٠ في المائة للعقد الواحد منذ بداية سجل الرصد (١٩٨٠).

تشير التغييرات في مجموع كمية السحب فوق نصف الكرة الأرضية الشمالي والمناطق القارية عند خطوط العرض المتوسطة والقطبية إلى زيادة محتملة في غطاء السحب بنحو ٢ في المائة منذ بداية القرن العشرين، وهى الزيادة التي تبين الآن أنها ترتبط ارتباطا موجبا بالانخفاضات في نطاق درجات الحرارة النهارية. وظهرت تغييرات مماثلة فوق استراليا وهي القارة الوحيدة في نصف الكرة الأرضية الجنوبي التي استكمل فيها مثل هذا التحليل. ويحيط عدم اليقين بالتغييرات في مجموع كمية السحب فوق مناطق الأراضي شبه المدارية والمدارية فضلا عن فوق المحيطات.

باء -٣ التغيرات المرصودة في الغطاء الثلجي وصفيحة الجليد الأرضي والبحري

مازال الانخفاض في الغطاء الثلجي وصفيحة الجليد الأرضي ترتبط ارتباطا موجبا بالزيادة في درجات حرارة سطح الأرض.

وتبين بيانات التوابع الاصطناعية أن من المرجح بشدة أن يكون قد حدث انخفاض بنحو ١٠٪ في حجم الغطاء الثلجي منذ أواخر الستينات. وثمة ارتباط مغزوي كبير بين الزيادات في درجة حرارة الأرض في نصف الكرة الأرضية الشمالي وهذه الانخفاضات. وتتوافر الآن شواهد كثيرة تؤيد حدوث انحسار كبير في الجليديات في جبال الألب وعلى مستوى القارة استجابة لاحترار القرن العشرين. وقد أدت الزيادات في التهطال في بعض المناطق الشجرية القليلة نتيجة للتغيرات في دوران الغلاف الجوي الإقليمي إلى إخفاء الزيادات في درجات الحرارة خلال العقدين السابقين، وعودة الجليديات إلى التقدم. وتبين الرصدات الأرضية، خلال فترة المائة إلى المائة وخمسين عاما الماضية، أن من المرجح بشدة أن يكون قد حدث انخفاض مدته نحو أسبوعين في بقاء الجليد في البحيرات والأنهار في خطوط العرض المتوسطة والقطبية في نصف الكرة الأرضية الشمالي.

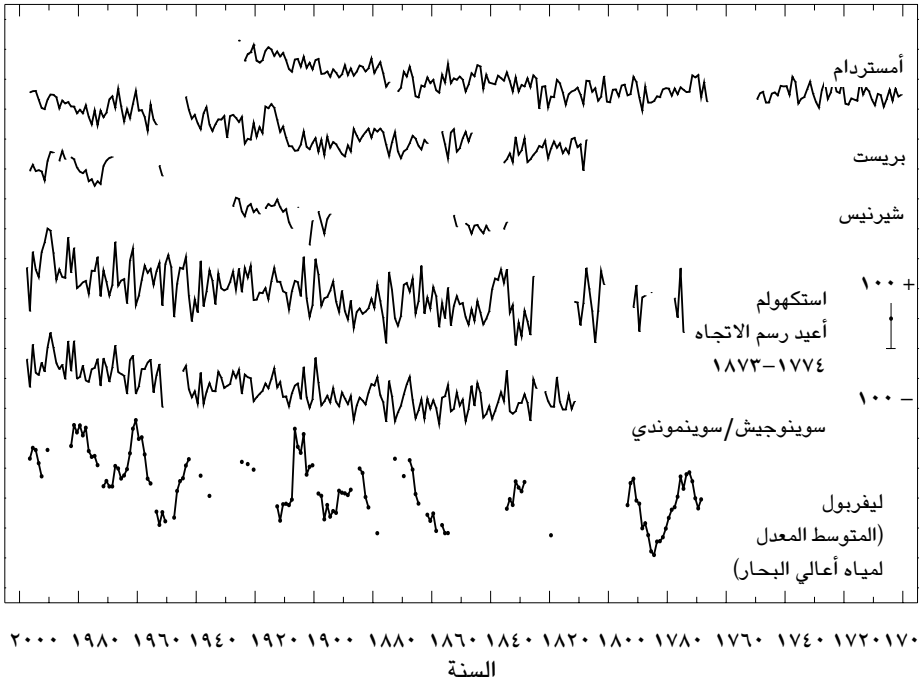
كميات الجليد البحري في نصف الكرة الأرضية الشمالي في انخفاض إلا أنه لم تظهر أية اتجاهات تذكر بالنسبة لصفيحة الجليد البحري في المنطقة القطبية الجنوبية. ويتسق الانحسار في صفيحة الجليد البحري في ربيع وصيف المنطقة القطبية الشمالية مع الزيادة في درجات الحرارة الربيعية، وإلى حد أقل مع درجات الحرارة الصيفية في خطوط العرض القطبية. ولا توجد إشارات كافية على انخفاض صفحة الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية خلال الشتاء عندما زادت درجات الحرارة في المنطقة المحيطة. وعلى العكس من ذلك، لا توجد علاقة واضحة جاهزة بين التغييرات في درجات حرارة المنطقة القطبية الجنوبية للعقد الواحد وصفحة الجليد البحري منذ عام ١٩٧٣. فبعد انحسار أولي في منتصف السبعينات، ظلت صفحة الجليد البحري في المنطقة القطبية الجنوبية ثابتة بل وزادت بصورة طفيفة.

وتشير البيانات الجديدة إلى أن من المرجح أنه كان هناك انحسار بنسبة تقارب ٤٠ في المائة في كثافة الجليد البحري للمنطقة القطبية الشمالية في أواخر الصيف وأوائل الخريف فيما بين الفترة ١٩٥٨ إلى ١٩٧٦، ومنتصف التسعينات، وأن انحسارا طفيفا للغاية قد حدث في الشتاء. غير أن القصر النسبي لطول السجلات وعدم اكتمال أخذ العينات يحدان من تفسير هذه البيانات. وقد تكون التقلبية فيما بين السنوات والتقلبية فيما بين العقود قد أثرت في هذه التغيرات.

باء –٤ التغييرات المرصودة في مستوى سطح البحر

التغيرات خلال سجل الأجهزة

استنادا إلى بيانات قياس المد، يتراوح معدل متوسط ارتفاع مستوى سطح البحر في العالم خلال القرن العشرين بين ١,٠ إلى



الشكل ٦: السلاسل الزمنية للمستوى النسبي لسطح البحر خلال الثلاثمائة عام الماضية من أوروبا الشمالية: أمستردام، هولندا، بريست، فرنسا، شيرنيس، المملكة المتحدة، استكهولم، السويد (أعيد رسم الاتجاه خلال الفترة ١٧٧٤ إلى ١٨٧٣ لإزالة أولا مساهمة الفترة بعد الجليدية) وسوينجي، بولندا (وسوينموندي في السابق، ألمانيا) وليفربول المملكة المتحدة. فالبيانات المتعلقة بالأجهزة هي للمتوسط المعدل لمياه أعالي البحار وليس لمتوسط مستوى سطح البحر، وتشمل فترة عقدية (١٨,٦ عام). ويبين عمود القياس ١٠٠مم [استنادا إلى الشكل ١١–٧].

٢,٠ مم سنويا مع قيمة وسطية تبلغ ١,٥ مم سنويا (لا ينبغي تفسير القيمة الوسطية على أنها أفضل التقديرات) (انظر الإطار ٢ للاطلاع على العوامل التي تؤثر في مستوى سطح البحر). وكما يشير الشكل ٦، فان أطول السجلات بالأجهزة (قرنان أو ثلاثة قرون على الأكثر) لمستوى سطح البحر المحلي يأتي من قياسات المد. واستنادا إلى السجلات القليلة للغاية لقياسات المد الطويل، كان المعدل المتوسط لارتفاع مستوى سطح البحر أكبر خلال القرن العشرين منه خلال القرن التاسع عشر. ولم يرصد أي تسارع يذكر في معدل ارتفاع مستوى سطح البحر في القرن العشرين. ولا يتعارض ذلك مع النتائج النموذجية نتيجة لاحتمال عوامل التعويض ومحدودية البيانات.

التغييرات خلال سجلات ما قبل الأجهزة

منذ العصر الجليدي الأعظم الأخير قبل نحو ٢٠ ٠٠٠ سنة، ارتفع مستوى سطح البحر في مواقع بعيدة عن الصفحة الجليدية الحاضرة والسابقة بأكثر من ١٢٠ م نتيجة لفقدان كتل من هذه الصفائح الجليدية. ومازالت التحركات الأرضية الرأسية، إلى أعلى وأسفل، تحدث استجابة لهذه التحويلات الكبيرة في الكتلة من الصحائف الجليدية الى المحيطات. وحدث أسرع ارتفاع في مستوى سطح البحر في العالم فيما بين ١٥ ٠٠٠ و٦ ٠٠٠ سنة مضت بمعدل متوسط يبلغ نحو ١٠ مم سنويا. واستنادا إلى البيانات الجيولوجية فإن مستوى سطح البحر (أي ما يعادل تغييرا في حجم المحيط) قد يكون قد ارتفع بمعدل متوسط قدره ٠,٥ مم في السنة خلال الستة آلاف عام الماضية وبمعدل متوسط يبلغ ٠,١ مم إلى ٠,٢ مم سنويا خلال الثلاثة آلاف عام الأخيرة. ويبلغ هذا المعدل نحو عُشر ذلك الذى حدث خلال القرن العشرين. فمن غير المرجح أن تكون التقلبات في مستوى سطح البحر في العالم قد تجاوزت ٠,٣ إلى ٠,٥ م خلال الثلاثة آلاف إلى الستة آلاف عام الأخيرة.

الإطار ٢: ما الذي يتسبب في تغير مستوى سطح البحر؟

يتحدد مستوى سطح البحر عند خط الساحل بفعل الكثير من العوامل في المناخ العالمي التي تعمل على نطاق كبير من الفترات الزمنية ابتداء من ساعات (المد) إلى ملايين السنين (التغيرات في حوض المحيط نتيجة لحركة الصفائح الأرضية والترسيب). ففي الفترات الزمنية التي تتراوح بين عقود وقرون، فإن بعضا من أكبر المؤثرات في المستويات المتوسطة لسطح البحر يرتبط بالمناخ وعمليات تغير المناخ.

أولا، فإن المحيطات تتسع مع احترار مياهها. فعلى أساس رصدات درجات حرارة المحيطات والنتائج النموذجية، يعتقد أن التمدد الحراري هو أحد العوامل المساهمة الرئيسية في التغيرات التاريخية في مستوى سطح البحر. وعلاوة على ذلك، فإن من المتوقع أن يسهم التمدد الحراري بأكبر العناصر في ارتفاع مستوى سطح البحر خلال المائة عام القادمة. فدرجات حرارة المحيطات العميقة تتغير ببطء، ولذا فإن التمدد الحراري يمكن أن يستمر لعدة قرون حتى ولو ثبتت تركيزات غازات الدفيئة.

وتتباين كمية الاحترار وعمق المياه المتأثرة بتباين المواقع. وعلاوة على ذلك، فإن المياه الأكثر احترارا تزداد بصورة أكبر من المياه الباردة بالنسبة لتغير معين في درجة الحرارة. والتوزيع الجغرافي للتغير في مستوى سطح البحر ينشأ عن التباينات الجغرافية في التمدد الحراري، والتغيرات في الملوحة، والرياح والدوران فى المحيطات. ونطاق التغير الإقليمي كبير بالمقارنة بالمتوسط العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر.

كذلك فإن مستوى سطح البحر يتغير عندما تزداد كتلة المياه في المحيطات أو تقل. ويحدث ذلك عندما تتبادل مياه المحيطات مع المياه المخزنة على اليابسة. والمخزون الأرضي الرئيسي هو المياه المجمدة في الجليديات أو صفائح الجليد.

والواقع أن السبب الرئيسي لانخفاض مستوى سطح البحر خلال العصر الجليدي الأخير هو كمية المياه المخزنة في الحجم الكبير للصفائح الجليدية في القارات الواقعة في نصف الكرة الأرضية الشمالي. فبعد التمدد الحراري، يتوقع أن يقدم ذوبان الجليديات الجبلية والقلنسوات الجليدية أكبر إسهام في ارتفاع مستوى سطح البحر خلال المائة عام القادمة. وهذه الجليديات والقلنسوات الجليدية لا تشكل سوى نسب قليلة من مساحة الجليد الأرضي في العالم إلا أنها أكثر حساسية للتغيرات المناخية من صفائح الجليد الكبيرة في جرينلاند ومنطقة القطب الجنوبي لأن هذه الصفائح في مناخات أكبر برودة مع انخفاض التهطال ومعدلات الذوبان. وعلى ذلك، فإن من المتوقع ألا تشكل الصفائح الجليدية الكبيرة سوى مساهمة واضحة صغيرة في تغير مستوى سطح البحر خلال العقود القادمة.

كما يتأثر مستوى سطح البحر بعمليات لا تتصل بصورة واضحة بتغير المناخ. فمخزون المياه الأرضي (ومن ثم مستوى سطح البحر) يمكن أن يتغير نتيجة لاستخلاص المياه الجوفية، وبناء الخزانات، والتغييرات في مستوى جريان المياه السطحية، والتسرب إلى الطبقات العميقة الحاملة للمياه من الخزانات والري. وربما تبدد هذه العوامل جزءا كبيرا من التسارع المتوقع في ارتفاع مستوى سطح البحر نتيجة للتمدد الحراري وذوبان الجليديات. وعلاوة على ذلك، فإن هبوط سواحل مناطق الدلتا يمكن أن يؤثر أيضا في مستوى سطح البحر المحلي. فحركة الأراضي الرأسية نتيجة للعمليات الجيولوجية الطبيعية مثل الحركات البطيئة لغطاء الأرض والحركة التكتونية للقشرة يمكن أن يكون لها تأثيرات على مستوى سطح البحر تماثل التأثيرات ذات الصلة بالمناخ. وأخيرا، فإن مستوى سطح البحر يستجيب، في الفترات الموسمية والعديدة السنوات والعقدية للتغييرات في دينامية الغلاف الجوي والمحيطات مع حدوث أكثر الأمثلة اثارة للدهشة خلال أحداث النينيو.

باء –٥ التغييرات المرصودة في أنماط الدوران في الغلاف الجوي والمحيطات

كان سلوك التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو (انظر الإطار ٤ للحصول على وصف عام) غير عادي منذ منتصف السبعينات بالمقارنة بالمائة عام السابقة حيث كانت فترات المرحلة الدافئة من التذبذبات الجنوبية أكثر نسبيا، في وتيرتها واستمرارها وحدتها من المرحلة الباردة المقابلة. وينعكس هذا السلوك الأخير في التباينات في التهطال ودرجات الحرارة في معظم أنحاء المناطق المدارية وشبه المدارية في العالم. ومن المرجح أن يكون التأثير الكامل عبارة عن مساهمة صغيرة في زيادة درجة حرارة العالم خلال العقود القليلة الماضية. وترتبط التذبذبات في المحيط الهادئ التي تحدث على عدة عقود وتلك التي تحدث خلال عقد بالتقلبية المناخية لعقد واحد أو لعدة عقود في حوض المحيط الهادئ. ومن المرجح أن تكون هذه التذبذبات على نسق التقلبية المناخية ذات الصلة بالتذبذبات الجنوبية المتصلة بظاهرة النينيو.

توصيف بعض جوانب الدوران الهامة الأخرى التي تؤثر في مناطق شاسعة من العالم. إذ تتصل تذبذبات شمال الأطلسي بقوة الرياح الغربية فوق المحيط الأطلسي وأوراسيا خارج المناطق المدارية. فخلال فصل الشتاء، تظهر تذبذبات شمال الأطلسي تذبذبات غير منتظمة على النطاقات الزمنية متعددة السنوات ومتعددة العقود. فمنذ السبعينات، كانت تذبذبات شمال الأطلسي في غالب الأحيان في مرحلة تسهم في تقوية الرياح الغربية التي تترابط مع احترار الموسم البارد فوق أوراسيا. وتشير الشواهد الجديدة إلى أن ذبذبات شمال الأطلسي والتغييرات في الجليد البحري في القطب الشمالي يرتبطان ارتباطا وثيقا. ويعتقد الآن أن ذبذبات شمال الأطلسي جزء من تذبذبات قطبية شمالية في الغلاف الجوي أوسع نطاقا تؤثر في أجزاء كبيرة من نصف الكرة الأرضية الشمالي خارج المناطق المدارية. وثمة ذبذبات مماثلة في القطب الجنوبي في مرحلة موجبة تعززت خلال الخمسة عشر عاما الماضية مع اشتداد الرياح الغربية فوق المحيطات الجنوبية.

باء –٦ التغييرات المرصودة في التقلبية المناخية وأحداث الطقس والمناخ المتطرفة

تبين التحليلات الجديدة أن من المرجح بشدة، في المناطق التي زاد فيها التهطال الكلي، أنه كانت هناك زيادات أكثر وضوحا في أحداث التهطال الشديد والمتطرف. والعكس أيضا صحيح. غير أن الأحداث الغزيرة والمتطرفة في بعض المناطق (المحدد بأنها ضمن العشرة في المائة العليا أو السفلى) قد زادت على الرغم من أن التهطال الكلي انخفض أو ظل ثابتا. ويعزى ذلك إلى انخفاض في وتيرة أحداث التهطال. ومن المرجح، عموما، أنه قد حدثت، في الكثير من خطوط العرض المتوسطة أو القطبية، ولاسيما في شمال نصف الكرة الأرضية الشمالي، زيادات كبيرة من الناحية الاحصائية في نسبة التهطال السنوى الكلي المستمد من أحداث التهطال الغزيرة أو المتطرفة. ومن المرجح أنه كانت هناك زيادة بنسبة تتراوح بين ٢ و٤ ٪ في وتيرة أحداث التهطال خلال النصف الأخير من القرن العشرين. وكانت هناك زيادة طفيفة نسبيا في القرن العشرين (١٩٠٠ الى ١٩٩٥) في مناطق اليابسة في العالم التي تعرضت لجفاف شديد أو أمطار غزيرة. وفي بعض المناطق، مثل أجزاء من آسيا وأفريقيا، لوحظ أن وتيرة الجفاف وحدته قد زادا في العقود الأخيرة. وفي كثير من المناطق، تهيمن التقلبية المناخية متعددة العقود أو لعدة عقود على هذه التغييرات كما يتضح من تحول التذبذبات الجنوبية الناجمة عن ظاهرة النينيو إلى أحداث أكثر دفئا. وفي كثير من الحالات، تتقلص تقلبية درجة الحرارة فيما بين الأيام، وتزيد من درجات الحرارة الدنيا اليومية في معظم مناطق خطوط العرض المتوسطة والقطبية. ومن المرجح للغاية، منذ عام ١٩٥٠ أنه كان هناك انخفاض ملموس في وتيرة درجات الحرارة الوسطى الموسمية التي تقل كثيرا عن المستوى في كثير من أنحاء العالم إلا أنه كانت هناك زيادات أقل في وتيرة الكثير من درجات الحرارة الموسمية فوق العادية.

لا توجد شواهد مقنعة تشير إلى أن خصائص العواصف المدارية وخارج المدارية قد تغيرت. وتخضع التغييرات في حدة العواصف المدارية ووتيرتها لهيمنة التباينات لعدة عقود ومتعددة العقود التي قد تكون كبيرة كما في المناطق المدارية من شمال الأطلسي. ونظرا لاستكمال البيانات ومحدودية وتضارب التحليلات، فمن غير المؤكد ما إذا كان هناك أية زيادات طويلة الأجل وواسعة النطاق في حدة ووتيرة الأعاصير خارج المدارية في نصف الكرة الأرضية الشمالي. وجرى تحديد الزيادات الإقليمية في شمال المحيط الهادئ وأجزاء من المحيط الشمالي وأوروبا خلال العقود العديدة الماضية وفي نصف الكرة الأرضية الجنوبي، لم تستكمل سوى بضعة تحليلات إلا أنها تشير إلى حدوث انخفاض في نشاط الأعاصير فوق المدارية منذ السبعينات. ولم تقدم التحليلات الأخيرة للتغيرات في أحوال الطقس المحلية العديدة (مثل الأعاصير وأيام العواصف الرعدية والبرد) في عدد قليل من المناطق المختارة أية قرائن أكيدة تشير إلى حدوث تغييرات طويلة الأجل. وإجمالا، فإن الاتجاهات في أحداث الطقس الشديد صعبة الرصد نتيجة لندرة حدوثها نسبيا وللتباين المكاني لوقوعها.

باء –٧ الصورة الجماعية: احترار العالم وتغيرات أخرى في النظام المناخي

كما أشار الملخص سلفا، فإن هناك مجموعة من التغييرات أصبحت الآن حسنة التوثيق وخاصة خلال العقود الأخيرة إلى فترة قرن من الزمان مع تزايد مجموعة القياسات المشتركة. ويبين الشكل ٧ هذه الاتجاهات فى مؤشرات درجات الحرارة (الشكل ٧أ) والمؤشرات الهيدرولوجية ذات الصلة بالعواصف (الشكل ٧ب) فضلا عن توفير إشارة على مدى اليقين بشأن هذه التغييرات.

وإذا أخذت هذه الاتجاهات معا، فإنها تقدم صورة جماعية لعالم ترتفع درجة حرارته

- أجريت قياسات لدرجات الحرارة السطحية فوق اليابسة والمحيطات (مع تقديرين منفصلين لهذه الأخيرة) وعدلت بصورة منفصلة. وتبين جميع مجموعات البيانات اتجاهات تصاعدية متماثلة في العالم مع فترتين رئيسيتين للاحترار في العالم: ١٩١٠ إلى ١٩٤٥، ومنذ عام ١٩٧٦. وثمة اتجاه ناشئ يشير إلى تزايد درجات حرارة الهواء السطحي لليابسة فى العالم بأسرع من درجات حرارة سطح المحيطات في العالم.
- تبين قياسات بالونات الطقس أن درجات حرارة طبقة التربوسفير الدنيا في تزايد منذ عام ١٩٥٨ وإن كانت بصورة طفيفة منذ ١٩٧٩. وقد توافرت بيانات التوابع الاصطناعية منذ ١٩٧٩ وتبين اتجاهات مماثلة لتلك المأخوذة من البالونات.
- يتزامن الانخفاض في مدى درجات الحرارة النهارية القارية مع تزايد كمية السحب والتهطال وزيادة مجموع بخار الماء.
- يتسق الانحسار في الصفيحة الجليدية الجبلية وكتلة الجليد في مختلف أنحاء العالم تقريبا مع الزيادة في درجات الحرارة السطحية في العالم. وثمة استثناءات قليلة حدثت مؤخرا في المناطق الساحلية تتسق مع التباينات في الدوران في الغلاف الجوي وما يتصل بذلك من زيادة التهطال.
- يرتبط الانخفاض في الغطاء الثلجي وقصر مواسم جليد البحيرات والأنهار ارتباطا جيدا بالارتفاع في درجات الحرارة لسطح اليابسة في نصف الكرة الأرضية الشمالي.
- الانخفاض المنتظم في صفيحة الجليد البحري الربيعية والصيفية وكثافتها في المنطقة القطبية الشمالية تتسق مع الارتفاع في درجات الحرارة فوق معظم الأراضي والمحيطات المجاورة.
- زاد المحتوى الحراري للمحيطات وارتفع متوسط مستوى سطح البحر.
- تتسق الزيادة في مجموع بخار الماء في الغلاف الجوي خلال الخمسة والعشرين عاما الماضية بصورة كمية مع الزيادة في درجات حرارة طبقة التروبوسفير وزيادة الدورة الهيدرولوجية مما يسفر عن زيادة أحداث التهطال الأكثر تطرفا وغزارة فى الكثير من المناطق مع تزايد التهطال أي في خطوط العرض المتوسطة والقطبية في نصف الكرة الأرضية الشمالي.

بعض الجوانب الهامة للمناخ لم تتغير على ما يبدو

- ثمة مناطق قليلة في العالم لم تتعرض للاحترار في العقود الأخيرة وخاصة فوق بعض أجزاء محيطات نصف الكرة الأرضية الجنوبي وأجزاء من المنطقة القطبية الجنوبية.
- لم تظهر أية اتجاهات ملموسة عن صفيحة الجليد البحري في المنطقة القطبية الجنوبية طوال فترة القياسات المنتظمة بالتوابع الاصطناعية (منذ ١٩٧٨).
- استنادا إلى البيانات المحدودة المتوافرة، لا تظهر التباينات المرصودة في كثافة ووتيرة الأعاصير المدارية المناطق المدارية، والعواصف المحلية الشديدة أية اتجاهات واضحة خلال النصف الأخير من القرن العشرين على الرغم من ظهور تقلبات متعددة العقود في بعض الأحيان.

وتشير التباينات والاتجاهات فى المؤشرات المدروسة الى أن من شبه المؤكد أنه كان هناك اتجاه متزايد بصورة عامة فى درجة حرارة سطح العالم طوال القرن العشرين على الرغم من حدوث بعض الانحرافات قصيرة الأجل والاقليمية عن هذا الاتجاه.

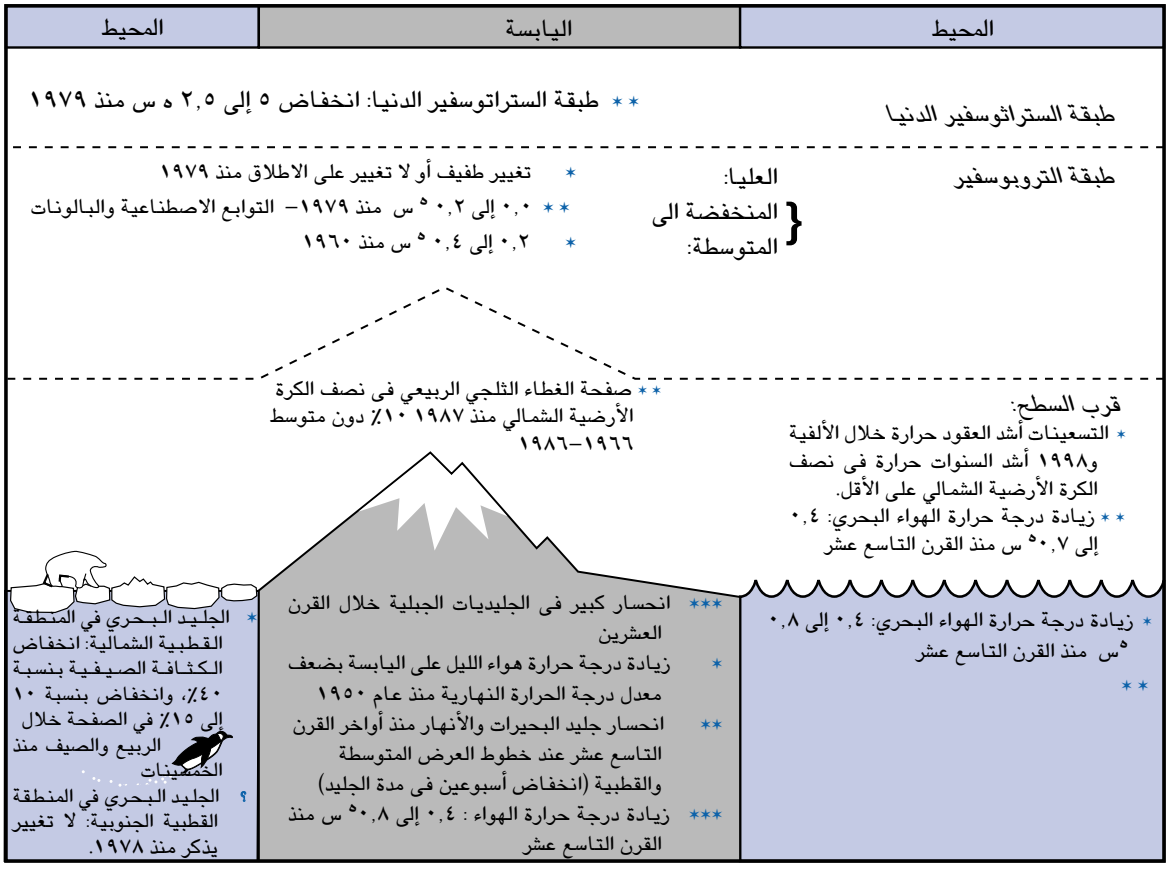
جيم – عوامل التأثير التي تسبب تغير المناخ

علاوة على التباينات والتغييرات السابقة في مناخ الأرض، وثقت الرصدات أيضا التغييرات التي حدثت في العوامل التي يمكن أن تسبب تغييرا في المناخ. وأكثر العوامل ملاحظة بينها هي الزيادات في تركيزات غازات الدفيئة والهباء (الجزيئات أو القطيرات الدقيقة التي يحملها الهواء) في الغلاف الجوي والتباينات في النشاط الشمسي، وكلاهما يمكن أن يغير موازنة إشعاع الأرض ومن ثم المناخ. والسجلات الرصدية لعوامل التأثير في المناخ تشكل جزءا من المدخلات اللازمة لفهم التغييرات المناخية الماضية التي لوحظت في القسم السابق، والآن من المهم للغاية، التنبؤ بما يمكن أن ينتظر من تغييرات مناخية في المستقبل (انظر القسم واو).

ومجموعة البيانات الخاصة بعوامل التأثير، شأنها شأن سجل التغييرات المناخية الماضية، على درجات متباينة من الطول والنوعية. ولم تتوافر القياسات المباشرة للاشعاع الشمسي إلا منذ نحو عقدين. وقد بدأت عمليات الرصد المباشر المستمر لتركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي منذ منتصف القرن العشرين وفي سنوات تالية بالنسبة لغازات الأطول عمرا حسنة المزج مثل الميثان. وتكشف بيانات الغلاف الجوي القديمة المستمدة من عينات اسطوانية جليدية التغيرات في تركيزات بعض غازات الدفيئة التي حدثت في الألفيات السابقة. وعلى العكس من ذلك، كانت قياسات السلاسل الزمنية لعوامل التأثير التي كان لها فترات بقاء زمنية قصير نسبيا في الغلاف الجوي (مثل الهباء) أحدث وأقل اكتمالا بدرجة كبيرة بالنظر إلى صعوبة قياسها واختلافاتها المكانية. وتبين مجموعات البيانات الحالية التأثيرات البشرية على التركيزات في الغلاف الجوي لكل من غازات الدفيئة طويلة العمر وعوامل التأثير قصيرة العمر خلال الجزء الأخير من الألفية الماضية. ويبين الشكل ٨ تأثيرات النمو الكبير في العصر الصناعي لانبعاثات غازات الدفيئة وأكسيد الكبريت الناجمة عن الأنشطة البشرية، وحيث كان الأخير سلف للهباء.

الشكل ٧أ: رسم تخطيطي للتباينات المرصودة في مؤشرات درجات الحرارة [استنادا إلى الشكل ٢-٣٩ أ]

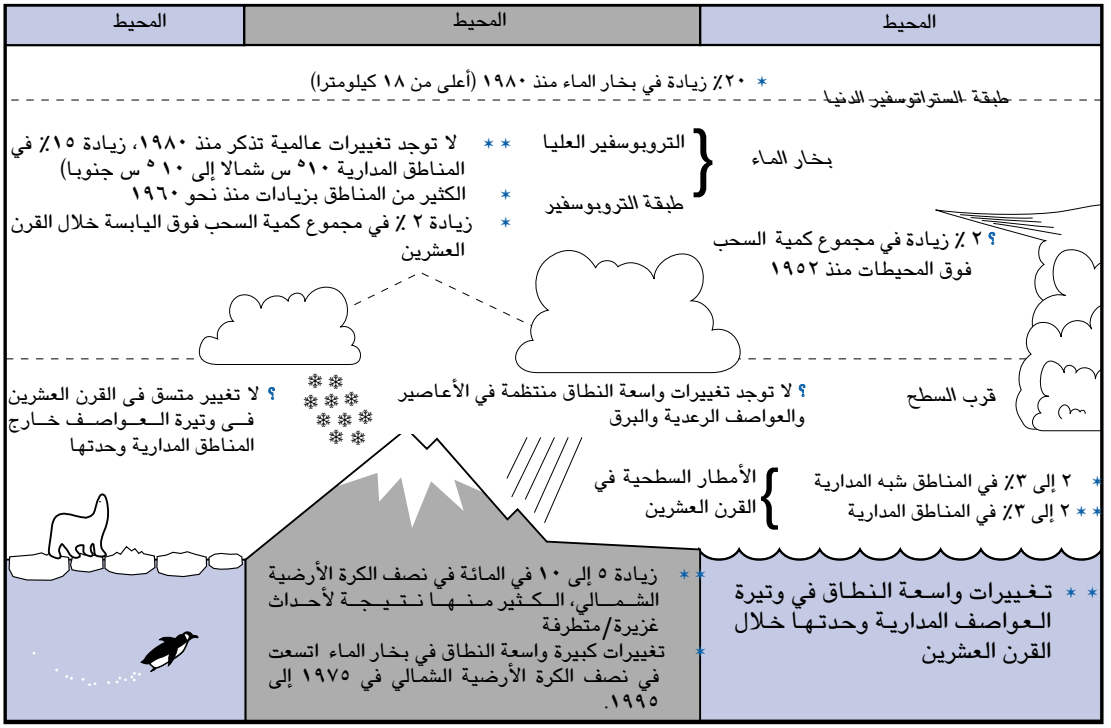
(أ) مؤشرات درجات الحرارة



الاحتمال

*** شبه مؤكد (احتمالية أكثر من ٩٩٪)
** مرجح بشدة (الاحتمالية أكثر من ٩٠٪ وأقل من ٩٩٪)
* مرجح (الاحتمالية أكثر من ٦٦٪ وأقل من ٩٠٪)
؟ احتمالية متوسطة (احتمالية أكثر من ٣٣٪ وأقل من ٦٦٪)

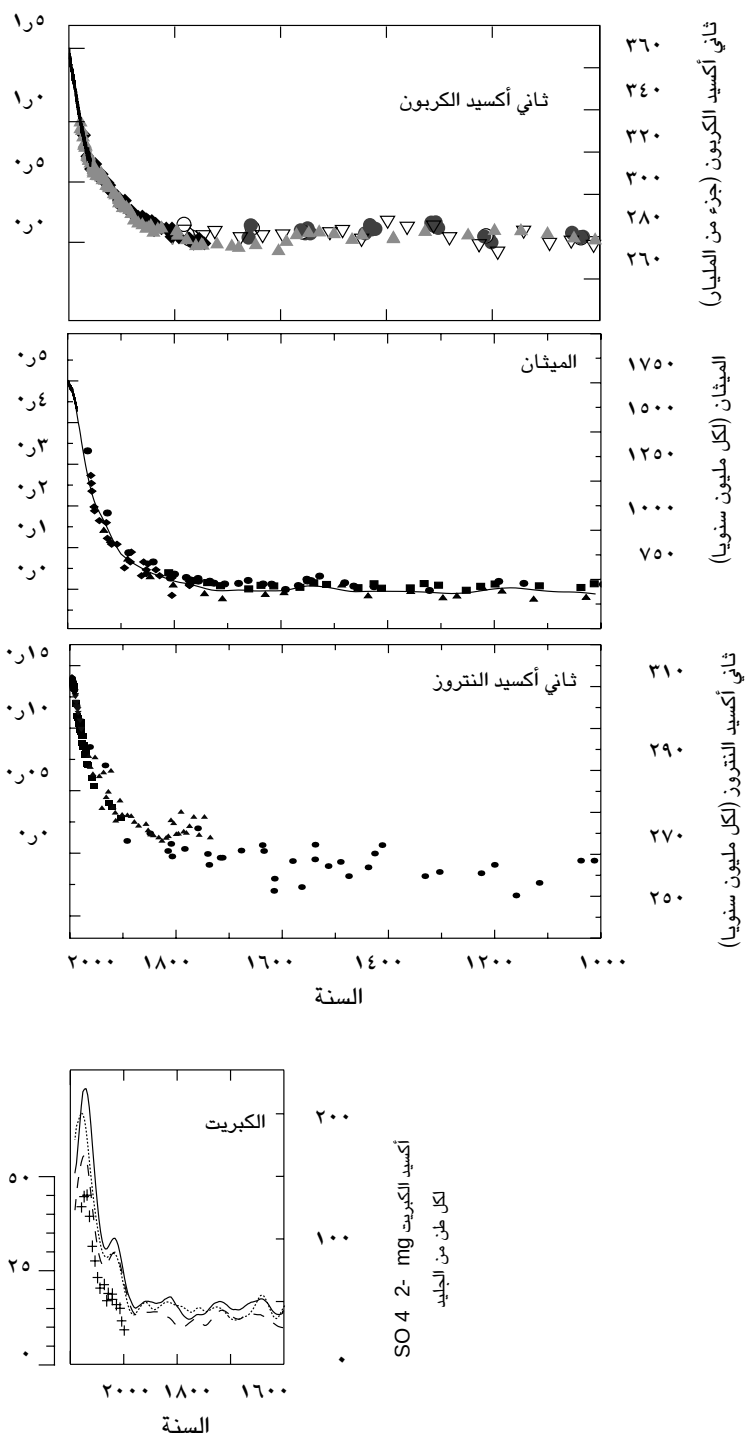
الشكل ٧ب : رسم تخطيطي للتباينات المرصودة في المؤشرات الهيدرولوجية والأعاصير ذات الصلة
[استنادا إلى الشكل ٣ – ٣٩ ب]



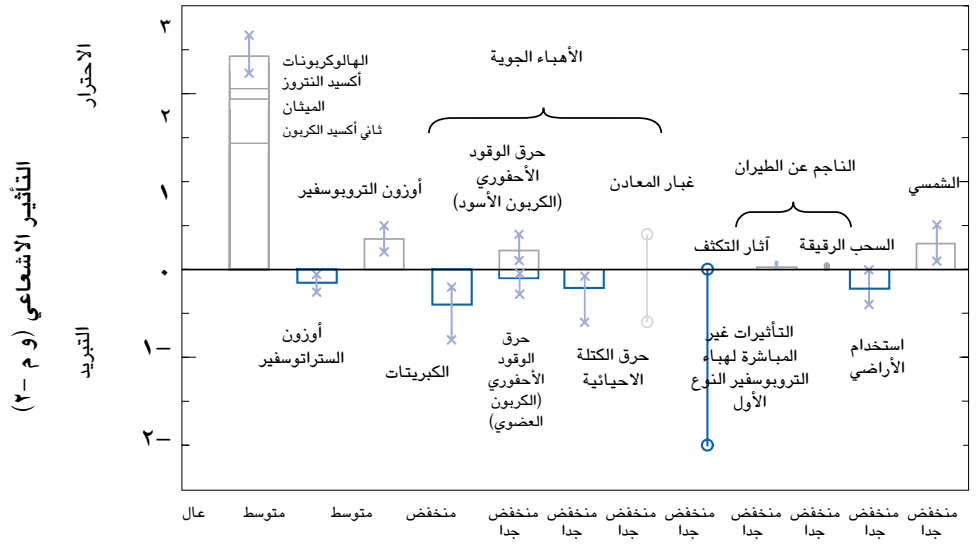
الاحتمال
*** شبه مؤكد (لاحتمالية أكثر من ٩٩٪)
** مرجح بشدة (الاحتمالية أكثر من ٩٠٪ وأقل من ٩٩٪)
* مرجح (الاحتمالية أكثر من ٦٦٪ وأقل من ٩٠٪)
؟ احتمالية متوسطة (احتمالية أكثر من ٣٣٪ وأقل من ٦٦٪)

ويسمى التغيير في الطاقة المتاحة لنظام الغلاف الجوي/اليابسة في العالم نتيجة للتغيير في هذه العوامل المؤثرة التأثير الاشعاعي (و م –٢) في النظام المناخي (انظر الاطار ١). والتأثير الاشعاعي في تغير المناخ (المعرّف بهذه الطريقة) يشكل دليلا على التأثيرات المتوسطة النسبية العالمية على نظام سطح الأرض/طبقة التربوسفير نتيجة لمختلف الأسباب الطبيعية والبشرية المنشأ. ويتولى هذا القسم تحديث المعارف عن التأثيرات الاشعاعية على تغير المناخ والتي حدثت منذ عصور ما قبل الصناعة حتى الآن. ويبين الشكل ٩ التأثيرات الاشعاعية التقديرية من بداية العصر الصناعي (١٧٥٠ وحتى ١٩٩٩) بالنسبة لعوامل التأثير الطبيعية والبشرية المنشأ التي يمكن تقديرها كميا. وعلى الرغم من أن الثورات البركانية غير مدرجة في الأرقام بسبب طابعها العرضي، فإنها مصدر آخر للتأثيرات الطبيعية الهامة. ويرد ملخص للمعلومات عن كل عامل تأثير في الأقسام الفرعية التالية.

وتتباين عوامل التأثير المدرجة في الشكل ٩ تباينا شاسعا من حيث الشكل والحجم والتوزيع المكاني، فبعض غازات الدفيئة يتصاعد إلى الغلاف الجوي مباشرة، في حين أن البعض الآخر عبارة عن منتجات كيماوية نابعة من انبعاثات أخرى. ولبعض غازات الدفيئة أوقات بقاء طويلة في الغلاف الجوي ومن ثم فانها ممزوجة بطريقة جيدة في مختلف أنحاء الغلاف الجوي في حين أن البعض الآخر قصير العمر وله تركيزات إقليمية متباينة. وتنشأ معظم الغازات من مصادر طبيعية وبشرية المنشأ. وأخيرا، وكما يتبين من الشكل ٩، فإن التأثيرات الاشعاعية لمختلف العوامل يمكن أن تنطوي على اتجاه موجب (أي اتجاه لتبريد سطح الأرض).



الشكل ٨: سجلات التغييرات في تركيب الغلاف الجوي (أ) التركيزات في الغلاف الجوي لكل من ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النتروز طوال الألف عام الماضية. وتستكمل بيانات عينات الجليد من عدة مواقع في المنطقة القطبية الجنوبية وجرينلاند (مبينة برموز مختلفة) ببيانات من عينات مباشرة من الغلاف الجوي خلال العقود القليلة الماضية (مبينة بحسب الخط الخاص بثاني أكسيد الكربون ومدرجة في المنحنى الذي يمثل المتوسط العالمي للميثان) وتبين التأثيرات الاشعاعية التقديرية من هذه الغازات على المقياس على الجانب الأيمن (ب) أزيل تركيز الكبريت في العديد من العينات الجليدية من جرينلاند مع التأثيرات العارضة لثورات البراكين (الخطوط) ومجموع انبعاثات أكسيد الكبريت من مصادر في الولايات المتحدة وأوروبا. [استنادا إلى (أ) الشكل ٣-٢(ب) (ثاني أكسيد الكربون) والشكل ٤-١(أ) و(ب) (الميثان) والشكل ٤-٢ (أكسيد النتروز) و(ب) الشكل ٤-٥(أ).]



الشكل ٩: التأثيرات الاشعاعية السنوية في العالم (و م ـ٢) نتيجة لعدد من العوامل خلال الفترة من عصر ما قبل الصناعة (١٧٥٠) حتى الآن (أواخر التسعينات، نحو ٢٠٠٠) (ترد أيضا القيم العددية في الجدول ٦–١١ في الفصل السادس). وللاطلاع على التفسيرات التفصيلية، يرجى الرجوع إلى الفصل ٦–١٣. ويبين ارتفاع العمود المستطيل القيم الرئيسية أو أفضل تقديرات القيم فى حين عدم وجودها يعنى أن أفضل التقديرات مستحيلة. ويشير الخط الرأسي فوق العمود المستطيل بالعلامة "لا" إلى تقدير مدى عدم اليقين، بالنسبة لمعظم الجزء الموجه بامتداد القيم المنشورة للتأثير. ويبين خط رأسي بدون العمود المستطيل مع علامة ("0") تأثير لا يمكن إعطاء تقدير رئيسي له نتيجة لاتساع مدى عدم اليقين. وليس لمدى عدم اليقين المحدد هنا أي أساس احصائي ومن ثم فهو يختلف عن استخدام هذا المصطلح في الأماكن الأخرى بهذه الوثيقة. ومنح كل تأثير رقم دليل "لمستوى الفهم العلمي" حيث ترد المستويات مرتفع ومتوسط ومنخفض ومنخفض للغاية على التوالى. ويمثل ذلك تقديرا ذاتيا لمدى الموثوقية في تقديرات التأثير المتضمن بعض العوامل مثل الافتراضات اللازمة لتقييم التأثير، ودرجة المعرفة بالآليات الفيزيائية والكيماوية التي تحدد التأثير، وحالات عدم اليقين التي تحيط بالتقديرات الكمية للتأثير (انظر الجدول ٦–١٢). وقد جمعت غازات الدفيئة حسنة المزج معا فى عمود مستطيل واحد مع متوسط المساهمات الأحادية من ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النتروز والهالوكربون (انظر الجدولين ٦–١ و٦–١١). وتم تقسيم حرق الوقود الأحفوري إلى عنصري "كربون أسود" و"كربون عضوي" مع أفضل التقديرات المتعلقة بكل منها على حدة والمدى. وعلامة التأثيرات الناجمة عن الغبار المعدني تعتبر ذاتها علامة على عدم اليقين. أما التأثير غير المباشر نتيجة لهباء طبقة التروبوسفير، فلم يفهم جيدا. وينطبق نفس الشئ على التأثير الناجم عن الطيران من خلال تأثيراته على الكونتريلز والسحب الرقيقة المرتفعة. ولم تجر دراسة سوى النوع "الأول" فقط من التأثيرات غير المباشرة للهباء في سياق السحب السائلة الناجمة عن تأثيراتها. أما النوع "الثاني" للتأثيرات فهو هام من الناحية المفاهيمية الا أنه لا تتوافر سوى ثقة ضئيلة للغاية في التقديرات الكمية التي تمت عن طريق المحاكاة. ومن ناحية أخرى، فإن التأثير المرتبط بالهباء الستراتوسفيري والناجم عن ثوران البراكين فهو يتغير بدرجة كبيرة خلال الفترة ولا تجرى دراسته هنا (غير أنه يمكن الرجوع إلى الشكل ٦–٨). ولجميع التأثيرات المبينة جوانب مكانية وموسمية متميزة (الشكل ٦–٧) لذا فإن المتوسطات السنوية العالمية الواردة في هذه الرقعة لا توفر صورة كاملة للاضطرابات الاشعاعية. فليس الغرض منها، نسبيا سوى إعطاء منظور أولي لحجم المتوسط السنوي العالمي ولا يمكن استخدامه بسهولة للحصول على استجابة مناخية للتأثيرات الطبيعية أو البشرية المنشأ. ويجري التركيز هنا، كما حدث في تقرير التقييم الثاني، على أن التأثيرات المتوسطة العالمية الايجابية منها والسلبية لا يمكن جمعها معا والنظر إليها على أنها تقدم معا معادلات للتأثيرات المناخية العالمية الكاملة [استنادا إلى الشكل ٦–٦].

الجدول ١: أمثلة على غازات الدفيئة المتأثرة بالأنشطة البشرية [استنادا الى الفصل ٣ والجدول ٤-١]

	CO2 ثاني أكسيد الكربون	CH4 الميثان	N2O أكسيد النتروز	CFC-11 كلوروفيل الكربون	HFC-23 الهيدروفورو كربون	CF4 البرفلورو ميثان
تركيز ما قبل العصر الصناعي	نحو ٢٨٠ جزء في المليون	٧٠٠ جزء في البليون	نحو ٢٧٠ جزء في البليون	صفر	صفر	٤٠ جزء في التريليون
تركيز ١٩٩٨	٣٦٥ جزء في المليون	١٧٤٥ جزء في البليون	٣١٤ جزء في البليون	٢٦٨ جزء في الطن	١٤ جزء في الطن	٨٠ جزء في الطن
معدل التغيير في التركيز(ب)	١,٥ جزء في المليون/سنة (أ)	٧,٠ جزء في البليون/سنة (أ)	٠,٨ جزء في البليون/سنة	-١,٤ جزء في الطن/سنة	٠,٥٥ جزء في الطن/سنة	١ جزء في الطن/سنة
البقاء في الغلاف الجوي	٥ إلى ٢٠٠ سنة(ج)	١٢ سنة (د)	١١٤ سنة (د)	٤٥ سنة	٢٦٠ سنة	أقل من ٥٠ ٠٠٠ سنة

(أ) تراوح المعدل بين ٠,٩ جزء في المليون و٢,٨ جزء في المليون سنويا وبين صفر و١٣ جزء في المليون سنويا بالنسبة للميثان خلال الفترة ١٩٩٠ إلى ١٩٩٩.

(ب) حسب المعدل للفترة ١٩٩٠ إلى ١٩٩٩ .

(ج) لا يمكن تحديد عمر واحد مفرد لثاني أكسيد الكربون لاختلاف معدلات الامتصاص من خلال مختلف عمليات الإزالة .

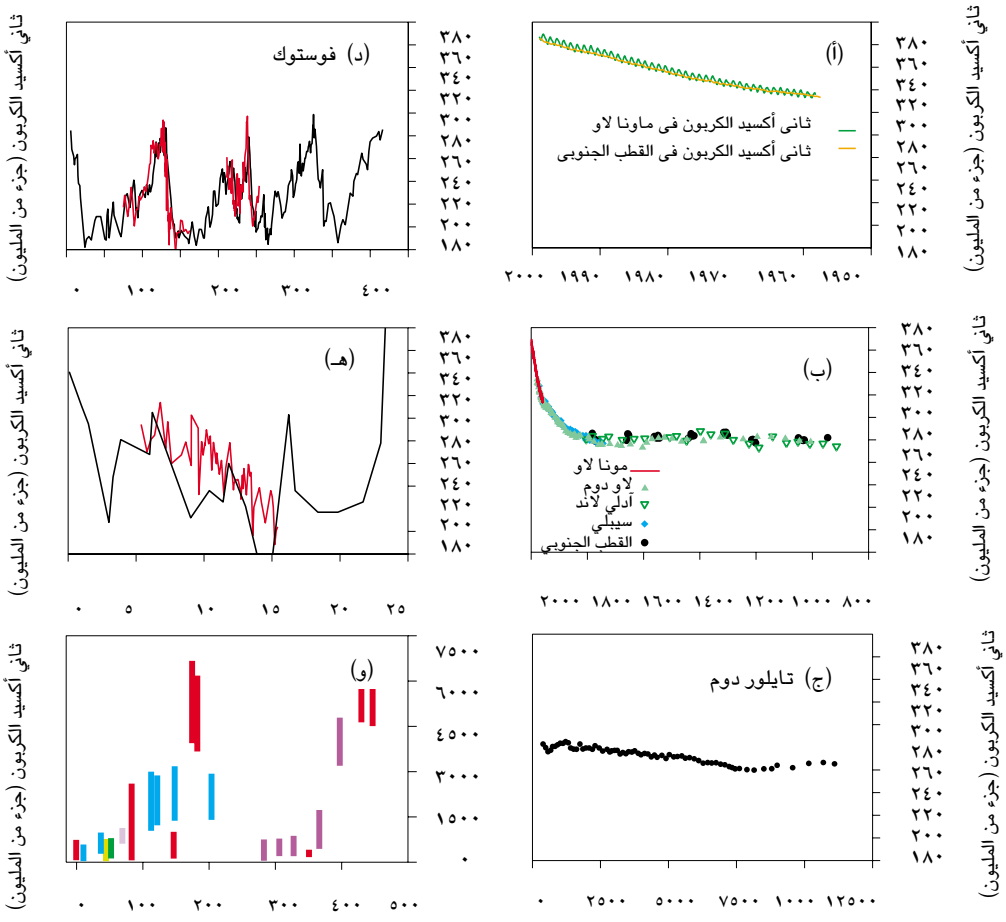
(د) حدد هذا العمر باعتباره "فترة تكيف" تراعي التأثير غير المباشر للغاز على وقت وجوده الخاص.

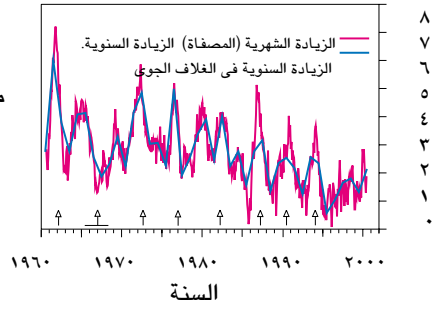
جيم ١: التغييرات المرصودة في تركيزات الغازات الدفيئة الممزوجة جيدا والتأثير الاشعاعي

ظلت تركيزات غاز الدفيئة ثابتة نسبيا طوال الألفية السابقة على العصر الصناعي. غير أن تركيزات الكثير من غازات الدفيئة زادت منذ ذلك الوقت سواء بصورة مباشرة أو غير مباشرة نتيجة للأنشطة البشرية.

ويقدم الجدول ١ أمثلة على العديد من غازات الدفيئة وملخصات لتركيزاتها في ١٧٥٠ و١٩٩٨، وتغيرها خلال التسعينات وفترة بقائها في الغلاف الجوي. وتعتمد مساهمة أحد الأنواع في التأثيرات الاشعاعية لتغير المناخ على الخصائص الاشعاعية الجزيئية للغاز وحجم الزيادة في التركيز في الغلاف الجوي وفترة بقاء الأنواع في الغلاف الجوي منذ انبعاثها. وهذا الأخير – أي مدة بقاء غاز الدفيئة في الغلاف الجوي – خاصية تتعلق بالسياسات بدرجة كبيرة – أي أن انبعاثات غازات الدفيئة التي تظل في الغلاف الجوي لفترة طويلة عبارة عن ارتباط يكاد لا يمكن عكسه بالتأثيرات الاشعاعية المستدامة طوال عقود أو قرون أو ألفيات قبيل أن تزيد العمليات الطبيعية الكميات التي انبعثت.

التباينات في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في نطاقات زمنية مختلفة





معدل الزيادة في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي

الشكل ١٠: التباين في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في نطاقات زمنية مختلفة (أ) قياسات ثاني أكسيد الكربون المباشرة في الغلاف الجوي (ب) تركيز ثاني أكسيد الكربون في العينات الجليدية في منطقة القطب الجنوبي خلال الألفية الماضية. وتظهر قياسات الغلاف الجوي التي أخذت مؤخرا (ماونا لاو) للمقارنة (ج) تركيز ثاني أكسيد الكربون في عينات جليدية من تايلور دوم بمنطقة القطب الجنوبي (د) تركيز ثاني أكسيد الكربون في العينات الجليدية في فوستوك بمنطقة القطب الجنوبي (تمثل الألوان المختلفة النتائج المستمدة من الدراسات المختلفة) (هـ حتى و) تركيزات ثاني أكسيد الكربون المستخلصة بالطرق الكيماوية الأرضية. (الأعمدة والخطوط الملونة تمثل مختلف الدراسات المنشورة) (ز) الزيادات في ثاني أكسيد الكربون السنوية في الغلاف الجوي. وتمت تصفية الزيادات الشهرية في الغلاف الجوي لإزالة الدورة الموسمية. وتبين الأسهم الرأسية ظاهرة النينيو. ويحدد خط أفقي ظاهرة النينيو الممتدة خلال الفترة ١٩٩١ إلى ١٩٩٤ [استنادا إلى الأشكال ٣-٢ و٣-٣].

ثاني أكسيد الكربون

زادت تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من ٢٨٠ جزء في المليون(٥) في ١٧٥٠ إلى ٣٦٧ جزء في المليون في ١٩٩٩ (٣١ في المائة، الجدول ١). ولم يتم تجاوز تركيز ثاني أكسيد الكربون الحالي خلال السنوات الأربعمائة والعشرين ألف سنة الماضية ويحتمل ألاّ يكون قد حدث ذلك خلال العشرين مليون سنة السابقة. فمعدل الزيادة طوال القرن الماضي غير مسبوق على الأقل خلال العشرين ألف عام الماضية (الشكل ١٠). ويبين التركيب النظائري لثاني أكسيد الكربون والانخفاض المرصود في الأكسجين أن الزيادة المرصودة في ثاني أكسيد الكربون ترجع في غالبها إلى تأكسد الكربون العضوي بواسطة احتراق الوقود الأحفوري وإزالة الغابات. وتوفر مجموعة متزايدة من بيانات المناخ القديم والغلاف الجوي من الهواء المحتجز في الغطاء الثلجي لمئات الألوف من السنين سياقا لزيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون خلال العصر الصناعي (الشكل ١٠) ولدى مقارنة تركيزات ثاني أكسيد الكربون الثابتة نسبيا (٢٨٠ ١٠ أجزاء في المليون) في آلاف السنين السابقة، يتبين أن الزيادة خلال العصر الصناعي كبيرة. إذ يبلغ متوسط المعدل السنوي للزيادة منذ ١٩٨٠ مقدار ٠,٤٪ سنويا. وهذه الزيادة هي نتيجة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وتعزى معظم الانبعاثات خلال العشرين عاما الماضية إلى حرق الوقود الأحفوري، ويرجع الباقي (١٠ إلى ٣٠ في المائة) في غالبيته إلى التغير في استخدام الأراضي وخاصة إزالة الغابات. وكما يرد في الشكل ٩، فإن ثاني أكسيد الكربون هو غاز الدفيئة الرئيسي المتأثر بالأنشطة البشرية مع تأثير إشعاعي قدره ١,٤٦ و م –٢ حيث يمثل ٦٠ في المائة من المجموع المستمد من التغييرات في تركيزات جميع غازات الدفيئة طويلة العمر والممزوجة فيها عالميا.

وتبين القياسات المباشرة لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي التي أجريت خلال الأربعين عاما الماضية أن التقلبات بين عام وآخر في معدل الزيادة في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي كبيرة. ففي التسعينات، تباينت المعدلات السنوية لزيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من ٠,٩ إلى ٢,٨ جزء في المليون سنويا أي ما يعادل ١,٩ إلى ٦,٠ جيغاطن/سنويا، ويمكن إرجاع هذه التغييرات إحصائيا إلى التقلبية المناخية قصيرة الأجل التي تغير المعدل الذي يمتص به ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وإطلاقه في المحيطات واليابسة. وكانت أعلى معدلات الزيادة في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عادة خلال سنوات ظاهرة النينيو القوية (الاطار ٤). ويمكن أن تفسر هذه المعدلات العالية للزيادة بصورة معقولة في ضوء انخفاض امتصاص الأرض لثاني أكسيد الكربون (أو اطلاق الغازات من الأرض) خلال سنوات ظاهرة النينيو مما زاد من ميل المحيطات إلى امتصاص قدر من ثاني أكسيد الكربون يزيد عن المعتاد. تقسيم ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ بين الزيادة في الغلاف الجوي وامتصاص اليابسة والمحيطات خلال العقدين الماضيين يمكن حسابه الآن من رصدات الغلاف الجوي. ويقدم الجدول ٢ موازنة ثاني أكسيد الكربون في العالم في الثمانينات (التي يتبين أنها مماثلة لتلك التي وضعت بمساعدة نتائج نموذج المحيطات في تقرير التقييم الثاني) وللتسعينات. واستخدمت قياسات الانخفاض في الأكسجين في الغلاف الجوي وتزايد ثاني أكسيد الكربون في وضع هذه الموازنات الجديدة. وتتسق النتائج المستمدة من هذا النهج مع التحليلات الأخرى المستندة إلى التركيب النظائري لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وبتقديرات مستقلة تستند إلى قياسات ثاني أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكربون١٣ في مياه البحار. وتستند موازنة التسعينات إلى القياسات المتوافرة حديثا وعمليات تحديث الموازنات في الفترة ١٩٨٩ إلى ١٩٩٨ المستخلصة باستخدام منهجية تقرير التقييم الثاني في التقرير الخاص الذي أعدته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن استخدام الأراضي والتغيرات في استخدام الأراضي والغابات (٢٠٠٠).

وحصل البيوسفير الأرضي ككل على كربون خلال الثمانينات والتسعينات أي أن ثاني أكسيد الكربون الذي أطلق بفعل التغيير في استخدامات الأراضي (وخاصة ازالة الغابات المدارية) كان أكثر من أن تستوعبه الامتصاصات الأرضية الأخرى التي يحتمل أن توجد في كل من خارج المناطق المدارية الشمالية والمناطق المدارية. ومازال هناك عدم يقين كبير يرتبط بتقدير إطلاق ثاني أكسيد الكربون نتيجة للتغير في استخدام الأول (ومن ثم بحجم الامتصاص الأرضي المتبقي) إلى أن أتاح وضع النماذج على أساس العمليات (نماذج الكربون الأرضي والمحيطي) إجراء تقديرات كمية أولية للآليات في دورة الكربون العالمية. وتشير نتائج النموذج الأرضي إلى أن النمو النباتي المعزز نتيجة لارتفاع ثاني أكسيد الكربون (تخصيب ثاني أكسيد الكربون، وترسب النتروجين البشري المنشأ قد أسهم إسهاما كبيرا في امتصاص ثاني أكسيد الكربون أي أنه مسؤول ضمنيا عن الامتصاص الأرضي المتبقي المشار إليه أعلاه، بالاضافة إلى الآليات المقترحة الأخرى مثل التغييرات في أساليب إدارة الأراضي. غير أن التأثيرات النموذجية لتغير المناخ خلال الثمانينيات على الامتصاص الأرضي كانت طفيفة وذات طابع يحيط به عدم اليقين.

(٥) تركيزات الغازات النذرة في الغلاف الجوي المشار إليها على أنها كسر جزيئي(نسبة الخلط الجزيئي) للغاز مقابل الهواء الجاف (الجزء من المليون = ١٠$^{-٦}$ جزء من المليون = ١٠$^{-٩}$ من الطن = ١٠$^{-١٢}$ يشار إلى الحمل في الغلاف الجوي على أنه مجموع كتلة الغاز(أي طن متري = ط ج = ١٠^{١٢}) دورة الكربون العالمي محسوبة على أساس بج سي = جيغا طن .(PgC=GtC)

الجدول ٢: موازنات ثاني أكسيد الكربون العالمية (جيغا طن/سنويا) استنادا إلى قياسات ثاني أكسيد الكربون والأكسجين. القيم الموجبة عبارة عن تدفقات إلى الغلاف الجوي والقيم السالبة تمثل الامتصاص من الغلاف الجوي [استنادا إلى الجدولين ٣–١ و٣–٣]

	تقرير التقييم الثاني (أ) (ب) ١٩٨٠ إلى ١٩٨٩	هذا التقرير (أ) ١٩٨٠ إلى ١٩٨٩	١٩٩٠ إلى ١٩٩٩
الزيادة في الغلاف الجوي	٥,٥ ± ٠,٣	٣,٣ ± ٠,١	٣,٢ ± ٠,١
الانبعاثات (الوقود الأحفوري، الاسمنت)	٣,٣ ± ٠,١	٥,٤ ± ٠,٣	٦,٣ ± ٠,٤
التدفقات من المحيطات للغلاف الجوي	−٠,٢ ± ٠,٦	−١,٩ ± ٠,٦	−١,٧ ± ٠,٥
التدفقات من اليابسة إلى الغلاف الجوي	−٠,٢ ± ٠,٦	−٠,٢ ± ٠,٧	−١,٤ ± ٠,٧

(أ) يلاحظ أن حالات عدم اليقين المشار إليها في هذا الجدول هي ١ خطأ معياري. أما حالات عدم اليقين المشار إليها في تقرير التقييم الثاني فكانت ١,٦ خطأ معياري (أي ما يقرب من ٩٠ في المائة من درجة الثقة). وجرى تكييف حالات عدم اليقين المأخوذة من تقرير التقييم الثاني مع الخطأ المعياري ١ . وتبين أعمدة الخطأ عدم اليقين وليس التقلبية بين السنوات التي هي أكبر من ذلك بكثير.

(ب) موازنات الكربون السابقة التي وضعتها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ حسبت كمية امتصاص المحيطات من نماذج، واستنتجت تدفقات الغلاف الجوي – اليابسة من الفرق.

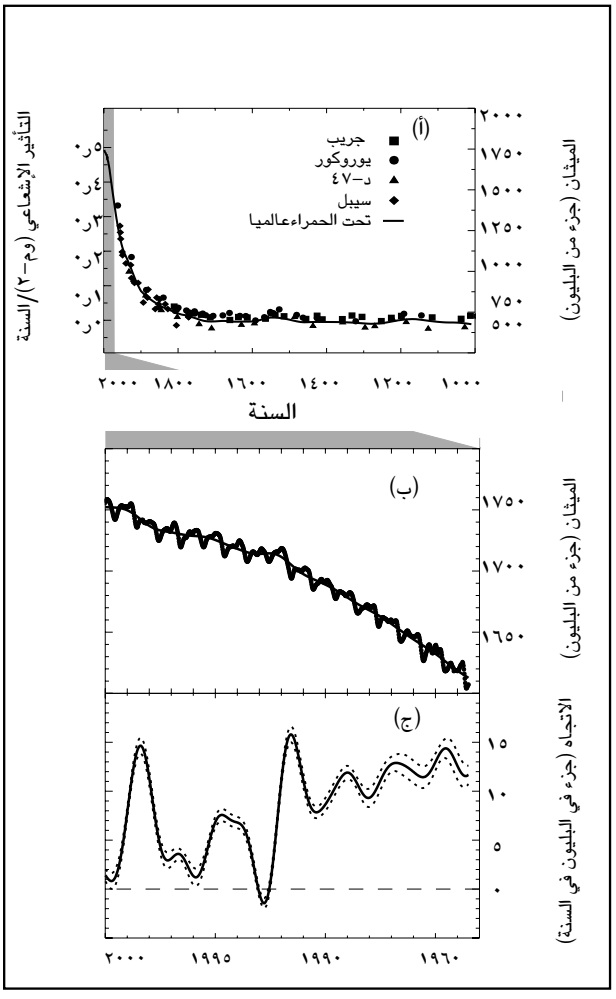
(ج) عدل بند انبعاثات الوقود الأحفوري في الثمانينات هبوطيا بصورة طفيفة منذ تقرير التقييم الثاني.

(د) يمثل تدفق الغلاف الجوي – اليابسة توازن بند إيجابي نتيجة للتغير في استخدام الأراضي والامتصاص الأرضي المتبقي. ولا يمكن الفصل بين البندين على أساس قياسات الغلاف الجوي الجارية باستخدام تحليلات مستقلة لتقدير عنصر التغير في استخدام الأراضي في ١٩٨٠ إلى ١٩٨٩. ويمكن استخلاص الامتصاص الأرضي المتبقى على النحو التالي: التغيير في استخدام الأراضي ١,٧ جيغا طن كربون/سنة (٠,٦ إلى ٢,٥) الامتصاص الأرضي المتبقي ١,٩ – جيغا طن كربون/سنة (٣,٨ إلى ٠,٣) . البيانات المقابلة للتسعينات غير متوافرة بعد.

الميثان *(CH4)*

زادت تركيزات غاز الميثان في الغلاف الجوي بنحو ١٥٠ في المائة (١,٠٦٠ جزء في البليون) منذ ١٧٥٠. ولم يتجاوز التركيز الحالي للميثان خلال الأربعمائة والعشرين ألف عام الماضية. والميثان غاز من غازات الدفيئة ذات مصادر التأثير الطبيعية (مثل الأراضي الغدقة) والبشرية (مثل الزراعة وأنشطة الغازات الطبيعية ومدافن القمامة). وأكثر قليلا من نصف الانبعاثات الحالية من الميثان نتيجة لأنشطة بشرية. وتسحب هذه الانبعاثات من الغلاف الجوي من خلال التفاعلات الكيماوية. وكما يبين الشكل ١١، فإن القياسات التمثيلية العالية لتركيز الميثان في الغلاف الجوي كانت تجري منذ ١٩٨٣، وتم تمديد سجل التركيزات في الغلاف الجوي إلى الأزمنة الأولى من خلال الهواء المستخلص من العينات الجليدية ومن طبقات الجليد. والتأثير الإشعاعي المباشر الحالي البالغ ٠,٤٨ و م – ٠٢ من الميثان يشكل ٢٠ في المائة من مجموع جميع غازات الدفيئة الممزوجة طويلة الأجل والعالمية (انظر الشكل ٩).

ويواصل تركيز غاز الميثان في الغلاف الجوي يواصل زيادته من نحو ١٦١٠ أجزاء في البليون في ١٩٨٣ إلى ١٧٤٥ جزءا في البليون في ١٩٩٨ إلا أن الزيادة السنوية المرصودة انخفضت خلال هذه الفترة. وكانت الزيادة متقلبة بصورة كبيرة خلال التسعينات، واقتربت من الصفر في ١٩٩٢، وزادت حتى ١٣ جزءا في البليون في ١٩٩٨. ولا تتوافر تفسيرات كمية واضحة لهذه التقلبية منذ تقرير التقييم الثاني. وقد تحسنت التقديرات الكمية لبعض مصادر الميثان بشرية المنشأ مثل تلك الصادرة عن إنتاج الأرز.



الشكل ١١: (أ) التغييرات فى تركيز الميثان (كسر جزيئى، بالجزء في البليون = ١٠–٩) المحدد من العينات الجليدية والثلج، والجليد وعينات الهواء الكامل المبينة للألف عام الآخيرة. ورسمت التأثيرات الاشعاعية بيانيا، مقربة على أساس النطاق الخطي منذ عصر ما قبل الصناعة، على المحور الأيمن (د) ورسمت المتوسطات العالمية لتركيز الميثان (المتغيرات الشهرية) والميثان غير المحدد المواسم (الخط المنتظم) للفترة من ١٩٨٣ إلى ١٩٩٩ (هـ) وحسب معدل النمو السنوي الفوري (ج ب/سنويا) في تركيز الميثان في الغلاف الجوي من ١٩٨٣ إلى ١٩٩٩ كمستخلص من منحنى الاتجاه غير المحدد المواسم أعلاه. وكانت حالات عدم اليقين (الخطوط المنقطة) تعادل + ١ من الانحراف المعياري [استنادا إلى الشكل ٤–١].

معدل زيادة الميثان في الغلاف الجوي يرجع إلى عدم توازن طفيف بين المصادر المصنفة بصورة سيئة ومصادر الامتصاص مما يجعل التنبؤ بالتركيزات في المستقبل أمرا حافلا بالمشكلات.

وعلى الرغم من أنه قد يكون قد تم تحديد العوامل المساهمة الرئيسية في موازنة الميثان في العالم، فإن معظمها يحيط به عدم اليقين من الناحية الكمية نتيجة لصعوبة تقدير معدلات انبعاث المصادر البيوسفيرية شديدة التقلبات. ذلك أن قوة قيود مصادر الميثان المقدرة كميا والمصنفة بصورة سيئة تعوق التنبؤ بتركيزات الميثان في المستقبل (ومن ثم مساهمتها في التأثير الاشعاعي) في أي سيناريو للانبعاثات البشرية المنشأ وخاصة بالنظر إلى أن الانبعاثات الطبيعية وسحب الميثان يمكن أن تتأثر بصورة كبيرة بتغير المناخ.

أكسيد النتروز

زاد تركيز أكسيد النتروز في الغلاف الجوي باطراد خلال العصر الصناعي ويزيد الآن ١٦ ٪ (٤٦ جزء في البليون) عما كان عليه في ١٧٥٠. ولم يحدث تجاوز للتركيز الحالي لأكسيد النتروز خلال الألف سنة الأخيرة على الأقل. وأكسيد النتروز عبارة عن غاز آخر من غازات الدفيئة التي لها مصادر طبيعية وبشرية في نفس الوقت، ويزال من الغلاف الجوي بفعل التفاعلات الكيماوية. وتواصل تركيزات أكسيد النتروز زيادتها في الغلاف الجوي بمعدل ٠,٢٥ في المائة سنويا (١٩٨٠ إلى ١٩٨٨). ورصدت تباينات كبيرة متعددة السنوات في الاتجاه التصاعدي لتركيزات أكسيد النتروز، أي انخفاض بنسبة ٥٠ ٪ في معدل الزيادة السنوية من ١٩٩١ إلى ١٩٩٣. والأسباب المقترحة لذلك متعددة الجوانب: انخفاض استخدام الأسمدة المعتمدة على النتروجين، وانخفاض الانبعاثات الطبيعية، وزيادة خسائر الستراتوسفير نتيجة لتغيرات الدورات المستحثة بركانيا. وعادت الزيادة في تركيزات أكسيد النتروز منذ ١٩٩٣ إلى المعدلات القريبة من تلك المرصودة خلال الثمانينات. وفي حين أن هذا التباين المرصود متعدد السنوات قد وفر بعض النظرات المتعمقة المحتملة للعمليات التي تتحكم في سلوك أكسيد النتروز في الغلاف الجوي، فإن الاتجاهات متعددة السنوات لهذا الغاز من غازات الدفيئة ظلت دون تفسير إلى حد كبير.

الموازنة العالمية لأكسيد النتروز تحقق توازنا أفضل مما كانت عليه في تقرير التقييم الثاني الا أن حالات عدم اليقين في الانبعاثات من المصادر المختلفة مازالت كبيرة. ويقدر أن المصادر الطبيعية لأكسيد النتروز قد اقتربت من تيرغرام نتروز/سنة (١٩٩٠) حيث تشكل التربة نحو ٦٥ ٪ من المصادر، والمحيطات نحو ٣٠ ٪. وأدت التقديرات المرتفعة الجديدة للانبعاثات من المصادر البشرية المنشأ (الزراعة وحرق الكتلة الاحيائية والأنشطة الاصطناعية وإدارة الثروة الحيوانية) البالغة ما يقرب من ٧ تيراغرام نتروز/سنة إلى الاقتراب بتقديرات المصادر/الامتصاص من التوازن بالمقارنة بتلك الواردة في تقرير التقييم الثاني. غير أن الفهم التنبؤي المرتبط بهذا الغاز من غازات الدفيئة طويل العمر والكبير لم يتحسن بصورة كبيرة منذ التقييم السابق. ويقدر التأثير الاشعاعي بمقدار ٠,١٥ وم–٢ أي ٦ ٪ من مجموع غازات الدفيئة الممزوجة عالميا وطويلة الأجل (انظر الشكل ٩).

الكربون الهالوجيني والمركبات ذات الصلة تركيزات الكثير من تلك الغازات التي هي تستنزف طبقة الأوزون ومن غازات الدفيئة في الغلاف الجوي إما تتناقص (CFC-11, CFC-113, CH3CC13 and CC14) أو تتزايد بصورة أكثر بطئا (CFC-12) في استجابتها للانبعاثات المنخفضة التي تحكمها قواعد بروتوكول مونتريال وتعديلاته. والكثير من أنواع الكربون الهالوجيني هذه من غازات الدفيئة أيضا الفعالة من الناحية الاشعاعية وطويلة العمر. والكربون الهالوجيني عبارة عن مركبات كربونية تحتوي على الفلورين والكلورين والبرومين أو اليود. والأنشطة البشرية هي المصدر الوحيد لمعظم هذه التركيبات. والكربون الهالوجيني الذي يحتوي على كلووين (مثل الكلوروفلوروكربون CFCs) والبروم (مثل الهالون) يتسبب في استنزاف طبقة الأوزون في الستراتوسفير، ويتم التحكم فيها بمقتضى بروتوكول مونتريال. وقد وصلت التركيزات المجتمعة للغازات المستنزفة للأوزون في طبقة التروبوسفير ذروتها في ١٩٩٤ ثم أخذت تتناقص ببطء. ووصلت تركيزات بعض غازات الكربون الهالوجيني الدفيئة الرئيسية ذروتها على النحو المبين في الشكل ١٢ بالنسبة للأنواع .CFC-11 وتتسق تركيزات غازات CFC والكلوركربون في التروسفير مع الانبعاثات المبلغة. وتسهم غازات الكربون الهالوجيني بتأثير إشعاعي قدره ٠,٣٤ وم –٢ وهو ما يعادل ١٤٪ من التأثير الاشعاعي الناجم عن جميع غازات الدفيئة الممزوجة عالميا (الشكل ٩).

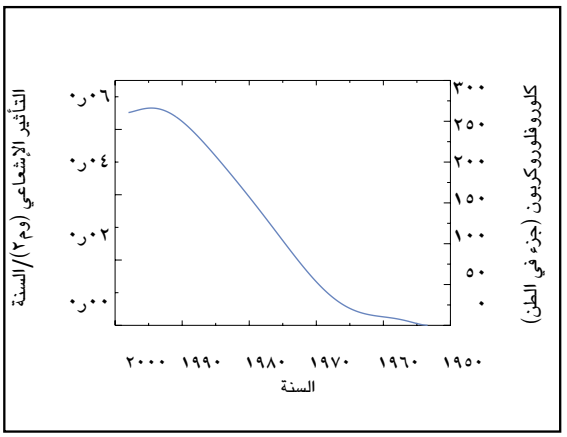
تتزايد تركيزات بدائل غازات CFC المرصودة في الغلاف الجوي وبعض هذه المركبات هي من غازات الدفيئة. وتتزايد تركيزات الهيدروكلور فلوروكربون (HCFCs) والهيدروفلوروكربون (HFCs) نتيجة لاستمرار استخداماتها السابقة واستخدامها كبدائل لغازات .CFCs فعلى سبيل المثال، فإن تركيزات غازات HFC-23 زادت بأكثر من عنصر من ثلاثة فيما بين ١٩٧٨ و١٩٩٥. ونظرا لأن التركيزات الحالية منخفضة نسبيا، فإن مساهمة غازات HFCs الحالية في التأثير الاشعاعي صغيرة نسبيا. كما أن المساهمة الحالية لغازات HCFCs في التأثير الاشعاعي صغيرة أيضا نسبيا، وقيّد بروتوكول مونتريال من انبعاثات هذه الغازات في المستقبل.

البرفلوروكربونات PFCs مثل CF4 و C2F6 والهكسافلوريد الكبريت SF6 ، لها مصادر بشرية وأزمنة بقاء طويلة للغاية في الغلاف الجوي، كما أنها عوامل امتصاص قوية للاشعاعات تحت الحمراء. ولذا فإن هذه المركبات، حتى مع بعض الانبعاثات الصغيرة نسبيا تنطوي على إمكانيات التأثير في المناخ في أزمنة بعيدة في المستقبل. فغازات البيرفلوروميثان تبقى في الغلاف الجوي لما لا يقل عن ٥٠ ٠٠٠ سنة. ولهذه الغازات خلفية طبيعية. غير أن الانبعاثات البشرية المنشأ الحالية تتجاوز الانبعاثات الطبيعية بنسبة من ١٠٠٠ مرة أو أكثر وهي مسؤولة عن الزيادة المرصودة. كما أن غازات هكسافلوريد الكبريت أكثر فعالية كغازات دفيئة بنحو ٢٢ ٢٠٠ مرة عن ثاني أكسيد الكربون على أساس الكيلوغرام الواحد. والتركيزات الحالية في الغلاف الجوي صغيرة للغاية (٤,٢ ج ط) إلا أنها تنطوي على معدل زيادة كبير ٠,٢٤ ج.ط/سنويا). وثمة توافق جيد بين معدل الزيادة المرصودة لهكسافلوريد الكبريت في الغلاف الجوي والانبعاثات المعتمدة على بيانات المبيعات والتخزين المعدلة.

جيم – ٢ التغييرات المرصودة في الغازات المشعة الأخرى الهامة من الناحية الاشعاعية

الأوزون في الغلاف الجوي *(O3)*

ألاوزون غاز هام من غازات الدفيئة يوجد في كل من طبقة الستراتوسفير وطبقة التروبوسفير. ويعتمد دور الأوزون في موازنة الإشعاع في الغلاف الجوي اعتمادا كبيرا على الارتفاع الذي تحدث فيه التغييرات في تركيزات الأوزون. كما أن التغييرات في تركيزات هذا الغاز تتغير مكانيا. وعلاوة على ذلك، فإن الأوزون ليس من الأنواع التي تصدر انبعاثات مباشرة، بل إنه يتكون في الغلاف الجوي من عمليات كيماوية ضوئية تشمل أنواعا سابقة طبيعية ومن تأثير البشر. وما أن يتكون هذا الغاز، فإن فترة بقائه في الغلاف الجوي قصيرة نسبيا وتتراوح بين أسابيع وأشهر. ولذا فإن تقديرات الدور الإشعاعي للأوزون أكثر تعقيدا وأقل يقينا من غازات الدفيئة الممزوجة جيدا عالميا وطويلة العمر المشار إليها أعلاه.



الشكل ١٢: المتوسط العالمي لتركيزات الكلوروفلوروكربون (CFC-11) في الغلاف الجوي (جزء في الطن) من ١٩٥٠ إلى ١٩٩٨ استنادا إلى القياسات المنتظمة ونماذج الانبعاثات ويرد التأثير الاشعاعي للكلوروفلوروكربون في المحور على اليمين [استنادا إلى الشكل ٤–٦].

الخسائر المرصودة في طبقة أوزون الستراتوسفير خلال العقدين الأخيرين تتسبب في تأثير سالب قدره ٠,١٥ ٠,١ وم-٢ (أي اتجاه نحو تبريد) نظام التروبوسفير السطحي. وأشير في تقرير إلى تغير المناخ في ١٩٩٢:. التقرير التكميلي المقدم للتقييم العلمي للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ إلى أن استنزاف طبقة الأوزون من خلال الكربون الهالوجيني بشري المنشأ تتسبب في تأثير إشعاعي سالب. وكانت التقديرات الواردة في الشكل ٩ أكبر بصورة طفيفة من حيث الحجم من تلك الواردة في تقرير التقييم الثاني وذلك نتيجة لاستنزاف الأوزون الذي استمر طول السنوات الخمس السابقة، وزاد تأكيد ذلك من نتائج العدد المتزايد من الدراسات النموذجية التي أجريت. وتشير الدراسات التي تمت بمساعدة نماذج الدوران العامة أنه على الرغم من عدم التجانس في خسائر الأوزون (أى انخفاض الستراتوسفير في خطوط العرض القطبية)، فإن هذا التأثير السالب يتعلق بانخفاض درجة الحرارة السطحية بالتناسب مع حجم التأثير السالب. ولذا فإن هذا التأثير السالب بدد طوال العقدين الماضيين بعضا من التأثير الموجب الذي يحدث من غازات الدفيئة الممزوجة جيدا عالميا وطويلة الأجل (الشكل ٩)، ويرجع مصدر كبير لعدم اليقين في تقدير التأثير السالب إلى عدم اكتمال المعارف عن استنزاف الأوزون قرب التروبوسفور. وتشير الحسابات النموذجية إلى أن زيادة تغلغل الأشعة فوق البنفسجية في التروبوسفير نتيجة لاستنزاف أوزون الستراتوسفير تؤدي إلى زيادة معدلات سحب الغازات مثل الميثان ومن ثم تضخيم التأثير السالب نتيجة لاستنزاف الأوزون. ومع انتعاش طبقة الأوزون خلال العقود القادمة نتيجة لتأثيرات بروتوكول مونتريال، بالمقارنة بالحاضر، يتوقع تحول التأثير الاشعاعي المرتبط بأوزون الستراتوسفير في المستقبل إلى تأثير موجب.

يقدر أن المتوسط العالمي للتأثير الاشعاعي الناجم عن زيادة أوزون التربوسفير منذ ما قبل عصر الصناعة قد عزز من تأثيرات غازات الدفيئة بشرية المنشأ بمقدار ٠,٣٥ ٠,٢ و م-٢ الأمر الذي يجعل أوزون التروبوسفير يحتل المرتبة الثالثة بين أهم غازات الدفيئة بعد ثاني أكسيد الكربون والميثان. ويتكون الأوزون نتيجة لتفاعلات كيماوية ضوئية، وسوف يتحدد تغيره في المستقبل بانبعاثات من بينها الميثان والملوثات (على النحو الموضح فيما بعد). وتستجيب تركيزات الأوزون بسرعة نسبية للتغيرات فى انبعاثات الملوثات. واستنادا الى الرصدات المحدودة والعديد من الدراسات النموذجية، يقدر أن أوزون التروبوسفير قد زاد بنحو ٣٥٪ منذ عصر ما قبل الصناعة مع تعرض بعض المناطق لزيادات أكبر والبعض الآخر لزيادة أقل. ولم تحدث إلا زيادات مرصودة قليلة في تركيزات الأوزون في التروبوسفير في العالم منذ منتصف الثمانينات في معظم المواقع النائية القليلة التي يقاس فيها بانتظام. ويرتبط النقص في الزيادات المرصودة في أمريكا الشمالية وأوروبا بانعدام الزيادة المستمرة في انبعاثات ما قبل الأوزون من هاتين القارتين. غير أن بعض المحطات الآسيوية أشارت إلى احتمال زيادة أوزون التروبوسفير، الذي يمكن ارجاعه إلى الزيادة في الانبعاثات في شرقي آسيا. ونتيجة لزيادة الدراسات النموذجية عن ذى قبل، تتوافر الآن ثقة متزايدة في تقديرات تأثيرات أوزون التروبوسفير. غير أن هذه الثقة مازالت أقل بكثير من تلك التي تحيط بغازات الدفيئة الممزوجة بصورة جيدة إلا أنها أكثر مما يحيط بتأثير الهباء. وينشأ عدم اليقين نتيجة لضعف المعلومات عن توزيعات أوزون ما قبل عصر الصناعة، وضعف المعلومات اللازمة لتقييم الاتجاهات العالمية المعتمدة على النماذج في العصر الحديث (أي بعد ١٩٦٠).

الغازات التي لها تأثيرات إشعاعية غير مباشرة فقط

يتحكم العديد من غازات التفاعل الكيماوي بما فى ذلك أنواع النيتروجين التفاعلي، وأول أكسيد الكربون والمركبات العضوية المتطايرة، جزئيا، في قدرة التروبوسفير على الأكسدة وتركيز الأوزون. وتعمل هذه الملوثات في صورة غازات دفيئة غير مباشرة من خلال تأثيراتها لا على الأوزون بمفرده، بل وعلى العمر الزمني للميثان وغازات الدفيئة الأخرى. وتهيمن الأنشطة البشرية على انبعاثات أنواع النيتروجين التفاعلية وأول أكسيد الكربون.

أول أكسيد الكربون يحدد بأنه أحد غازات الدفيئة الهامة غير المباشرة. تشير الحسابات النموذجية إلى أن انبعاث ١٠٠ طن متري من أول أكسيد الكربون يعادل من حيث اضطرابات غازات الدفيئة انبعاث نحو ٥ أطنان مترية من الميثان. ويبلغ تركيز أول أكسيد الكربون في نصف الكرة الأرضية الشمالي نحو ضعف ذلك الموجود في نصف الكرة الأرضية الجنوبي، وقد زاد في النصف الثاني من القرن العشرين مع زيادة التصنيع وعدد السكان.

أنواع النيتروجين التفاعلي وأكسيد الكربون (الذى يعطي مجموعة أنواع النيتروجين التفاعلي) مركبات رئيسية في كيمياء التروبوسفير، إلاّ أن تأثيراتها الاشعاعية تظل صعبة التحديد كميا. وترجع أهمية أنواع النيتروجين العضوي التفاعلي في موازنة الاشعاعات إلى أن الزيادة في تركيزات هذه الأنواع تؤدي إلى اضطراب العديد من غازات الدفيئة، مثل الانخفاض في الميثان والهيدروفلوروكربون، وزيادة أوزون التروبوسفير. ويؤدي ترسب المنتجات التفاعلية لأنواع النيتروجين العضوي التفاعلية إلى تخصيب البيوسفير ومن ثم خفض ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. وعلى الرغم من صعوبة تحديدها كميا ، فإن الزيادات في أنواع النيتروجين العضوي التفاعلية مرتقبة ، حتى عام ٢١٠٠، وسوف تسبب تغييرات كبيرة في غازات الدفيئة.

جيم – ٣ التغييرات المرصودة والنموذجية في الهباء الجوي

من المعروف أن الهباء (وهو جسيمات وقطيرات صغيرة للغاية يحملها الهواء) تؤثر بصورة كبيرة في الموازنة الاشعاعية

للغلاف الجوي والأرض. وتحدث التأثيرات الاشعاعية للهباء بطريقتين مختلفتين (١) التأثير المباشر حيث يتناثر الهباء ذاته ويمتص الأشعة الشمسية والحرارية تحت الحمراء و(٢) التأثير غير المباشر حيث يعدل الهباء من الخصائص الفيزيائية الدقيقة ومن ثم الاشعاعية وكمية السحب. وينتج الهباء عن مجموعة من العمليات الطبيعية (بما فى ذلك العواصف الترابية والنشاط البركاني، وبشرية المنشأ (حرق الوقود الأحفوري والكتلة الاحيائية). ويعتقد أن تركيزات هباء التروبوسفير في الغلاف الجوي قد زادت خلال السنوات الأخيرة نتيجة لزيادة انبعاثات الجسيمات بشرية المنشأ والغازات السابقة لها مما يؤدي إلى زيادة التأثير الاشعاعي. ويوجد الجانب الأكبر من الهباء في طبقة التروبوسفير السفلي (تحت كيلومترات قليلة) إلا أن التأثيرات الاشعاعية لكثير من أنواع الهباء حساسة للتوزيع الرأسي. ويتعرض الهباء لتغيرات كيماوية وفيزيائية أثناء وجوده في الغلاف الجوي وخاصة داخل السحب ويزال بدرجة كبيرة وبسرعة نسبية من خلال التهطال (عادة في غضون أسبوع). ونظرا لفترة البقاء القصيرة هذه، وعدم تجانس مصادره، فإن توزيع الهباء غير متجانس في التروبوسفير مع وجود أقصى كمياته بالقرب من المصادر. وتتوقف التأثيرات الاشعاعية الناجمة عن الهباء لا على هذه التوزيعات المكانية فحسب، بل وكذلك على حجم وشكل الجسيمات ومختلف جوانب (مثل تكوينات السحب) الدورة الهيدرولوجية وتركيباتها الكيماوية. ولذا فإن الحصول على تقديرات دقيقة لهذه التأثيرات كان نتيجة لجميع هذه العوامل وتحديا كبيرا سواء من وجهة النظر الرصدية أو النظرية.

ومع ذلك، تحقق تقدم كبير في تحديد التأثير المباشر لمجموعة أوسع من أنواع الهباء المختلفة بصورة أفضل. وقد تناول تقرير التقييم الثاني التأثيرات المباشرة لثلاثة فقط من أنواع الهباء البشرية المنشأ – هي هباء الكبريت وهباء حرق الكتلة الاحيائية والكربون الأسود (السناج) الناجم عن حرق الوقود الأحفوري. وقد أثبتت الرصدات الآن أهمية المواد العضوية في كل من هباء كربون الوقود الأحفوري وهباء كربون حرق الكتلة الاحيائية. ومنذ تقرير التقييم الثاني، أدى إدراج تقديرات تركيز هباء الكربون العضوي الناجم عن الوقود الأحفوري إلى زيادة مجموع العمق البصري المتوقع (وما ينجم عن ذلك من تأثير سالب) المرتبط بالهباء الاصطناعي. وأتاح التقدم في الرصدات وفي نماذج الهباء والاشعاع وضع تقديرات كمية لهذه العناصر المنفصلة فضلا عن تقديرات نطاق التأثير الاشعاعي المرتبط بالغبار المعدني على النحو المبين في الشكل ٩. ويقدر أن التأثير الاشعاعي المباشر يبلغ –٠,٤ و م –٢ للكبريت و–٠,٢ و م –٢ لهباء حرق الكتلة الاحيائية و –٠,١ و م –٢ للكربون العضوي الناجم عن الوقود الأحفوري و + ٠,٢ و م –٢ لهباء الكربون الأسود الناجم عن الوقود الأحفوري.غير أن عدم اليقين سيظل كبيرا نسبيا. وينشأ عدم اليقين هذا عن الصعوبات في تحديد تركيزات هباء الغلاف الجوي وخصائصه الاشعاعية والجزء من الهباء البشري المنشأ وخاصة معرفة مصادر الهباء الكربوني. ويؤدي ذلك إلى ظهور فوارق كبيرة (أي عامل يتراوح بين اثنين وثلاثة) في الأحمال، والفوارق الكبيرة في التوزيع العمودي (عامل من عشرة). كذلك فإن الهباء الغباري البشري المنشأ محدد كميا بطريقة سيئة. وتمكن الرصدات بالتوابع الاصطناعية مقترنة بالحسابات النموذجية من تحديد العلامات المكانية لمجموع التأثيرات الاشعاعية للهباء في السموات الصافية، غير أن الحجم الكمي مازال غير مؤكد.

تقديرات التأثيرات الاشعاعية غير المباشرة للهباء البشري المنشأ

مازالت موضع جدل على الرغم من أن الشواهد الرصدية تشير إلى تأثيرات غير مباشرة سالبة مستحثة من الهباء في السحب الدافئة. ويتوافر أسلوبان مختلفان لتقدير التأثيرات غير المباشرة للهباء هما الطرق التجريبية والطرق الميكانيكية. فقد طبقت الطرق الأولى لتقدير تأثيرات الهباء الاصطناعي في حين طبقت الطرق الثانية لتقدير تأثيرات الكبريت والهباء الكربوني الناجم عن الوقود الأحفوري وهباء الكتلة الاحيائية. وعلاوة على ذلك، استخدمت نماذج التأثيرات غير المباشرة لتقدير تأثيرات التغير الأولى في حجم القطيرات والتركيزات (التأثيرات غير المباشرة الأولى) فضلا عن تأثيرات التغييرات اللاحقة في كفاءة التهطال (التأثير الثاني غير المباشر). وتوفر الدراسات الممثلة في الشكل ٩ تقديرات متخصصة لنطاق التأثيرات الأولى منها، وأصبح النطاق أوسع الآن بصورة طفيفة مما جاء في تقرير التقييم الثاني، في حين أن الاضطراب الاشعاعي المرتبط بالتأثير غير المباشر الثاني من نفس السمة، ويمكن أن يكون من نفس الحجم مقارنة بالتأثير الأول.

أصبح التأثير الاشعاعي غير المباشر للهباء يفهم الآن على أنه يشمل التأثيرات على الجليد وسحب المرحلة المختلطة الا أن من غير المعروف حجم أى من هذه التأثيرات غير المباشرة على الرغم من احتمال أن تكون موجبة. ومن غير المحتمل تقدير عدد النقاط الجليدية البشرية المنشأ في الوقت الحاضر. ولا تعرف بعد آليات تكوين الجليد في هذه السحب باستثناء ما يحدث في درجات الحرارة الباردة (دون –٤٥ ° س) حيث يتوقع أن يهيمن التكوين النووي المتجانس.

جيم – ٤ التغييرات المرصودة فى عوامل التأثير الأخرى ذات المنشأ البشري

التغييرات في استخدام الأراضي (البياض)

يبدو أن التغييرات في استخدام الأراضى، حيث تشكل إزالة الغابات العامل الرئيسي، أحدثت تأثيرات إشعاعية سالبة مقدارها –٠,٢ ٠,٢ و م –٢ (الشكل ٨). ويقدر أن أكبر التأثيرات حدثت عند خطوط العرض القطبية. وذلك لأن إزالة الغابات قد تسببت في أن تختفي الغابات المغطاة بالثلوج وذات البياض المنخفض نسبيا. وتحل مكانها المناطق المفتوحة المغطاة بالثلوج ذات البياض الأكثر ارتفاعا. ويستند التقدير الوارد أعلاه إلى عمليات محاكاة حيث استعيض عن الغطاء النباتي السائد

قبل العصر الصناعي بأنماط استخدام الأراضي الراهنة. غير أن مستوى فهم هذا التأثير شديد الانخفاض، ولم يجر الا القليل جدا من التحريات بشأن هذا التأثير بالمقارنة بالتحريات التي أجريت للعوامل الأخرى التي درست في هذا التقرير.

جيم – ٥ التغييرات المرصودة النموذجية في النشاط الشمسي والبركاني

يقدر التأثير الاشعاعي للنظام المناخي نتيجة للتغير في الاشعاع الشمسي بمقدار ٠,٣ ٠,٢ و م –٢ للفترة ١٧٥٠ حتى الآن (الشكل ٨)، ويقدر أن معظم التغير قد حدث خلال النصف الأول من القرن العشرين. والمصدر الأساسي لجميع الطاقة في النظام المناخي للأرض هو الاشعاع القادم من الشمس. ولذا فإن التباين في إجمالي الاشعاع الشمسي يمثل عامل تأثير إشعاعي. ولا يعرف أن القيمة المطلقة لحدوث مجموع الاشعاع الشمسي المتكامل طيفيا على الأرض تزيد عن نحو ٤ و م –٢ الا أن الرصدات بالتوابع الاصطناعية منذ أواخر السبعينات تبين أن الفروق النسبية طوال الدورتين الماضيتين للنشاط الشمسي اللتين يبلغ كل منهما ١١ عاما تبلغ نحو ٠,١٪ وهو ما يماثل الفرق في التأثير الاشعاعي البالغ نحو ٠,٢ و م –٢. ولم تكن تتوافر، قبيل هذه الرصدات بالتوابع الاصطناعية أية قياسات مباشرة موثوق بها للاشعاع الشمسي الا أنه لم يتسن اجراء تدقيق كاف للتقنيات المستخدمة لاعادة تكوين القيم التاريخية لمجموع الاشعاع الشمسي المتكامل طيفيا من رصدات تقريبية (مثل البقع الشمسية). وتتباين الفروق الشمسية بدرجة أكبر في المنطقة فوق البنفسجية، وتشير الدراسات التي أجريت بالنماذج المناخية أن إدراج الفروق في الاشعاعات الشمسية المحلولة طيفيا، والتغيرات في أوزون الستراتوسفير المستحثة شمسيا قد تحسن من واقع المحاكاة النموذجية لتأثير التقلبية الشمسية على المناخ. واقترحت آليات أخرى لتضخيم التأثيرات الشمسية على المناخ إلا أنه لم يكن لها سند نظري أو رصدي مؤكد.

ويؤدي هباء الستراتوسفير الناجم عن الثورات البركانية المتفجرة إلى تأثيرات سالبة تستغرق بضع سنوات. وقد حدث العديد من الثورات البركانية المتفجرة في الفترات من ١٨٨٠ إلى ١٩٢٠ ومن ١٩٦٠ إلى ١٩٩١، ولم تحدث أية ثورات متفجرة منذ ١٩٩١. وأسفر المحتوى المعزز من هباء السستراتوسفير الناجم عن الثورات البركانية بالاضافة إلى الفروق الصغيرة في الإشعاع الشمسي عن تأثير إشعاعي طبيعي سالب واضح طوال العقدين بل ربما حتى الأربعة عقود الأخيرة.

جيم – ٦ إمكانيات احترار العالم

يتضمن الجدول ٣ التأثيرات الإشعاعية وإمكانيات احترار العالم بالنسبة لمجموعة واسعة من الغازات. وإمكانيات الاحترار العالمي عبارة عن مقياس للتأثيرات الاشعاعية النسبية لمادة معينة بالمقارنة بثاني أكسيد الكربون مجمعا طوال نطاق زمني مختار. وتشمل فئات الغازات الجديدة الواردة في الجدول ٣ الجزيئات العضوية المعالجة بالفلور والتي يتكون معظمها من الاثير الذى يقترح أن يكون بديلا للكربون الهالوجيني. وتنطوي بعض إمكانيات احترار العالم على عدم يقين أكثر من البعض الآخر وخاصة تلك الغازات التي لا تتوافر عنها بعد بيانات مختبرية مفصلة عن عمرها. وقد حسبت إمكانيات احترار العالم بالمقارنة بثاني أكسيد الكربون باستخدام حسابات محسنة للتأثير الاشعاعي لهذا الغاز، ودالة الاستجابة الواردة في تقرير التقييم الثاني عن تذبذب ثاني أكسيد الكربون، والقيم الجديدة للتأثير الاشعاعي والعمر الزمني لعدد من أنواع الكربون الهالوجيني. وتوضع أيضا تقديرات لإمكانيات احترار العالم غير المباشرة الناشئة عن التأثيرات الإشعاعية غير المباشرة لعدد من الغازات الجديدة، بما في ذلك أول أكسيد الكربون. ويقدر أن إمكانيات احترار العالم المباشرة الخاصة لتلك الأنواع التي حدد عمرها الزمني بصورة جيدة تعتبر دقيقة في حدود ٣٥٪ وإن كانت تلك غير المباشرة أقل يقينا.

دال – محاكاة النظام المناخي وتغيراته

تناول القسمان السابقان المناخ ابتداء من الماضي السحيق وحتى يومنا هذا من خلال رصدات متغيرات المناخ وعوامل التأثير التي تتسبب في تغير المناخ. وينتقل هذا القسم إلى المناخ في المستقبل من خلال وصف الأداة الوحيدة التي توفر تقديرات كمية لتغيرات المناخ في المستقبل وهي النماذج العددية. ويعنى الفهم الأساسي لتوازن الطاقة في نظام الأرض أن النماذج البسيطة يمكن أن توفر تقديرات كمية عريضة لبعض المتغيرات التي وضعت لها متوسطات عالمية، إلا أن التقديرات الأكثر دقة للتغذية المرتدة والتفاصيل الإقليمية لا تأتي إلا من خلال نماذج مناخية أكثر تقدما. فالتعقيد الذي تنطوي عليه عمليات النظام المناخي تحول دون استخدام استقراء الاتجاهات الماضية، والتقنيات الاحصائية أو التجريبية الخالصة في الإسقاطات. ويمكن استخدام النماذج المناخية لمحاكاة استجابات المناخ لمختلف سيناريوهات المدخلات الخاصة بعوامل التأثير في المستقبل (القسم زاى). كذلك فإن إسقاطات مصير ثاني أكسيد الكربون المنبعث (أي الامتصاص النسبي في مختلف المستودعات) وغير ذلك من غازات الدفيئة يتطلب فهم العمليات الكيماوية الاحيائية الأرضية المشاركة وإدراجها في نموذج عددي لدورة الكربون. والنموذج المناخي عبارة عن عرض حسابي مبسط للنظام المناخي للأرض (انظر الاطار ٣). وتتوقف الدرجة التي يستطيع بها نموذج محاكاة استجابات النظام المناخي، إلى حد كبير جدا، على مستوى فهم العمليات الفيزيائية والفيزيائية الأرضية والكيماوية والبيولوجية التي تحكم هذا النظام. ومنذ تقرير التقييم الثاني، حقق الباحثون تحسينات كبيرة في محاكاة النظام المناخي للأرض من خلال النماذج. فأولا يرد هنا موجز للفهم الحالي لبعض من أهم العمليات التي تحكم النظام المناخي ومدى تمثيلها في النماذج المناخية الحالية. ثم يقدم هذا القسم تقييما للقدرة العامة لهذه النماذج على وضع إسقاطات مفيدة للمناخ في المستقبل.

الجدول ٣: إمكانيات احترار العالم المباشرة بالمقارنة بثاني أكسيد الكربون (بالنسبة للغازات التي حددت أعمارها الزمنية بصورة كافية). وإمكانيات احترار العالم عبارة عن دليل لتقدير مساهمة احترار العالم النسبية نتيجة لانبعاث كيلوغرام واحد من أحد غازات الدفيئة في الغلاف الجوي مقابل انبعاث كيلوغرام واحد من ثاني أكسيد الكربون. وتظهر إمكانيات احترار العالم المحسوبة لمختلف النطاقات الزمنية تأثيرات فترات بقاء مختلف الغازات في الغلاف الجوي [استنادا إلى الجدول ٦–٧].

الغاز		فترة البقاء بالسنوات	إمكانيات احترار العالم (النطاق الزمني بالسنين) ٢٠ سنة	١٠٠ سنة	٥٠٠ سنة
ثاني أكسيد الكربون	CO_2		1	1	1
الميثان (أ)	CH_4	12,0[b]	62	23	7
أكسيد النتروز	N_2O	114[b]	275	296	156
(الهيدروفلورو كربون)					
HFC-23	CHF_3	260	9.400	12.000	10.000
HFC-32	CH_2F_2	5,0	1.800	550	170
HFC-41	CH_3F	2,6	330	97	30
HFC-125	CHF_2CF_3	29	5.900	3.400	1.100
HFC-134	CHF_2CHF_2	9,6	3.200	1.100	330
HFC-134a	CH_2FCF_3	13,8	3.300	1.300	400
HFC-143	CHF_2CH_2F	3,4	1.100	330	100
HFC-143a	CF_3CH_3	52	5.500	4.300	1.600
HFC-152	CH_2FCH_2F	0,5	140	43	13
HFC-152a	CH_3CHF_2	1,4	410	120	37
HFC-161	CH_3CH_2F	0,3	40	12	4
HFC-227ea	CF_3CHFCF_3	33	5.600	3.500	1.100
HFC-236cb	$CH_2FCF_2CF_3$	13,2	3.300	1.300	390
HFC-236ea	CHF_2CHFCF_3	10	3.600	1.200	390
HFC-236fa	$CF_3CH_2CF_3$	220	7.500	9.400	7.100
HFC-245ca	$CH_2FCF_2CHF_2$	5,9	2.100	640	200
HFC-245fa	$CHF_2CH_2CF_3$	7,2	3.000	950	300
HFC-365mfc	$CF_3CH_2CF_2CH_3$	9,9	2.600	890	280
HFC-43-10mee	$CF_3CHFCHFCF_2CF_3$	15	3.700	1.500	470
Especies totalmente fluoradas					
SF_6		3.200	15.100	22.200	32.400
CF_4		50.000	3.900	5.700	8.900
C_2F_6		10.000	8.000	11.900	18.000
C_3F_8		2.600	5.900	8.600	12.400
C_4F_{10}		2.600	5.900	8.600	12.400
C_4F_8		3.200	6.800	10.000	14.500
C_5F_{12}		4.100	6.000	8.900	13.200
C_6F_{14}		3.200	6.100	9.000	13.200
Éteres y éteres halogenados					
CH_3OCH_3		0,015	1	1	<<1
HFE-125	CF_3OCHF_2	150	12.900	14.900	9.200
HFE-134	CHF_2OCHF_2	26,2	10.500	6.100	2.000
HFE-143a	CH_3OCF_3	4,4	2.500	750	230
HCFE-235da2	$CF_3CHClOCHF_2$	2,6	1.100	340	110
HFE-245fa2	$CF_3CH_2OCHF_2$	4,4	1.900	570	180
HFE-254cb2	$CHF_2CF_2OCH_3$	0,22	99	30	9
HFE-7100	$C_4F_9OCH_3$	5,0	1.300	390	120
HFE-7200	$C_4F_9OC_2H_5$	0,77	190	55	17
H-Galden 1040x	$CHF_2OCF_2OC_2F_4OCHF_2$	6,3	5.900	1.800	560
HG-10	$CHF_2OCF_2OCHF_2$	12,1	7.500	2.700	850
HG-01	$CHF_2OCF_2CF_2OCHF_2$	6,2	4.700	1.500	450

(أ) تشمل إمكانيات احترار العالم للميثان مساهمة غير مباشرة من إنتاج الـ H2O و O3 في الغلاف الجوي.

(ب) قيم الميثان وأكسيد النتروز تتعلق بأزمنة مكيفة تضم التأثيرات غير المباشرة للانبعاثات الخاصة بكل غاز في فترة بقائه الخاصة.

الاطار ٣ – النماذج المناخية: كيف توضع وكيف تستخدم؟

تعتمد النماذج المناخية الشاملة على القوانين الفيزيائية الممثلة في معادلات رياضية تحل باستخدام شبكة ثلاثية الأبعاد حول العالم. ولا بد لمحاكاة المناخ من تمثيل العناصر الرئيسية للنظام المناخي في النماذج الفرعية (الغلاف الجوي، والمحيطات وسطح الأرض، وكريوسفير والبيوسفير) جنبا إلى جنب العمليات التي تتم داخلها وفيما بينها. وقد استمدت معظم النتائج الواردة في هذا التقرير من نتائج النماذج التي تشمل بعضا من تمثيل جميع هذه العناصر.

كما تعرف نماذج المناخ في العالم التي جمعت فيها عناصر الغلاف الجوي والمحيطات معا باسم نماذج الدوران العامة في الغلاف الجوي والمحيطات. ففي نموذج الغلاف الجوي، مثلا، تحل المعادلة التي تتناول نشوء قوة الدفع والحرارة والرطوبة على نطاق واسع. كما تحل المعادلات الخاصة بالمحيطات. ويبلغ تحليل جزء الغلاف الجوي في النموذج العادي، في الوقت الحاضر، نحو ٢٥٠ كيلومترا أفقيا ونحو كيلومتر واحد رأسيا فوق طبقة الحدود. ويبلغ تحليل نموذج المحيطات العادي نحو ٢٠٠ إلى ٤٠٠ متر رأسيا والتحلل الأفقي نحو ١٢٥ إلى ٢٥٠ كيلومترا أفقيا. وتحل المعادلات عادة بالنسبة لكل نصف ساعة من تكامل النموذج. ويحدث الكثير من العمليات الفيزيائية مثل تلك ذات الصلة بالسحب أو المحيطات حاملة الحرارة، في حيز مكاني أقل من شبكة النموذج ومن ثم لا يمكن رسمها في النموذج وحلها بصورة صريحة. وتدرج تأثيراتها المتوسطة، بصورة تقريبية، وبطريقة بسيطة من خلال الاستفادة من العلاقات الفيزيائية مع المتغيرات واسعة النطاق. وتعرف هذه التقنية بوضع المعايير. ومن الضروري، لوضع إسقاطات كمية لتغير المناخ في المستقبل من استخدام نماذج مناخية تحاكي جميع العمليات الهامة التي تحكم تطور المناخ في المستقبل. وقد تطورت النماذج المناخية خلال العقود القليلة الماضية مع تزايد القوى الحاسوبية. فخلال ذلك الوقت، وضعت نماذج العناصر الرئيسية والغلاف الجوي والأراضي والمحيطات والجليد البحري بصورة منفصلة ثم ضمت تدريجيا إلى النماذج. وهذا التجميع لمختلف العناصر يعتبر عملية صعبة. ولم تدرج عناصر دورة الكبريت إلا مؤخرا لتمثيل انبعاثات الكبريت، وكيفية أكسدتها لتشكل جسيمات هبائية.

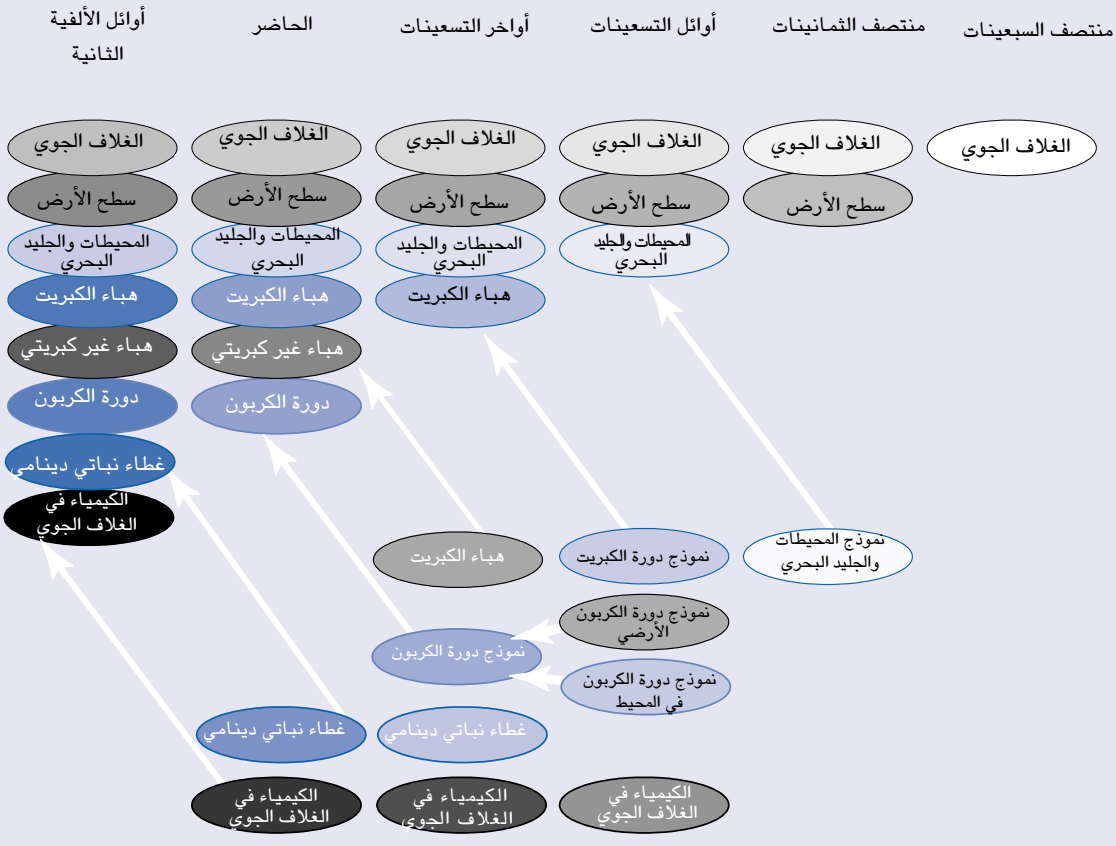
ويجري حاليا، في عدد قليل من النماذج، الجمع بين دورة الكربون الأرضي ودورة الكربون المحيطي. ويجري وضع نماذج حاليا لعنصر الكيمياء في الغلاف الجوي خارج النموذج الرئيسي للمناخ. والهدف النهائي من ذلك هو بالطبع، وضع نموذج لأكبر قدر ممكن من النظام المناخي الكامل للأرض حتى يمكن أن تتفاعل جميع العناصر. وبذلك فإن التنبؤ بتغير المناخ يراعي باستمرار تأثير التغذية المرتدة بين العناصر. وتبين الأرقام الواردة أعلاه تطور نماذج المناخ في الماضي والحاضر والمستقبل.

وتعوض بعض النماذج الأخطاء والاختلالات في التدفق السطحي من خلال "عمليات تكييف التدفق" وهي عمليات تكيف منتظمة تتحدد بصورة عملية في الوصلة المشتركة بين الغلاف الجوي والمحيطات يحتفظ بها ثابتة من الناحية الزمنية للاقتران بالمناخ الخاضع للمحاكاة من الحال المرصودة. وقد صممت استراتيجية طريقة مناخية تزيل معظم تأثيرات بعض الأخطاء النموذجية على النتائج. وما يتخذ عادة هو أولا إجراء محاكاة مناخية "للمراقبة" باستخدام النموذج. ثم تجرى عملية محاكاة تجربة تغير المناخ، وذلك مثلا، بزيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي النموذجي. وأخيرا، يؤخذ الفرق على أنه يوفر تقديرا للتغير في المناخ نتيجة للاضطرابات. وتزيد تقنية وضع الفروق معظم تأثيرات أي عمليات تكييف اصطناعية في النموذج فضلا عن الأخطاء المنتظمة المشتركة في كلا العمليتين. غير أن عقد مقارنة بين نتائج النماذج المختلفة يوضح أن طبيعة بعض الأخطاء مازالت تؤثر في النتائج.

والكثير من جوانب النظام المناخي للأرض يتسم بعدم الانتظام. إذ أن تطوره حساس للاضطرابات الصغيرة في الظروف الأولية. وتحد هذه الحساسية من القدرة على التنبؤ بالتطور التفضيلي للطقس لفترة تبلغ الأسبوعين. غير أن القدرة على التنبؤ بالمناخ ليست محدودة للغاية نظرا للتأثيرات المنتظمة على الغلاف الجوي من جانب عناصر النظام المناخي التي تتباين ببطء. ومع ذلك، فإن من المستحسن، للتمكن من وضع تقديرات موثوق بها في وجود الظروف الأولية وعدم اليقين النموذجي، إعادة التنبؤ مرات عديدة من مختلف الحالات المضطربة الأولية وباستخدام مختلف النماذج العالمية. فهذه التجميعات هي أساس التنبؤات الاحتمالية بحالة المناخ.

والواقع أن نماذج الدوران العام الشاملة في الغلاف الجوي والمحيطات معقدة للغاية ويستحوذ إجراؤها على موارد حاسوبية كبيرة. وتستخدم النماذج البسيطة على نطاق واسع أيضا لاستكشاف مختلف السيناريوهات الخاصة بانبعاثات غازات الدفيئة وتأثيرات الافتراضات أو التقريبات في المعايير الواردة في النموذج بقدر أكبر من الدقة. وقد تشمل عملية التبسيط تحليل أعمق وديناميه مبسطة وعمليات فيزيائية. وتشكل النماذج البسيطة والوسيطة والشاملة، معا، "سلم هرمي للنماذج المناخية"، وكلها ضرورية لاستكشاف الخيارات المدرجة في عملية وضع المعايير، وتقييم مدى قوة تغير المناخ.

تطور نماذج المناخ في الماضي والحاضر والمستقبل



الإطار ٣ – الشكل ١: وضع نماذج مناخية للسنوات الخمسة والعشرين الماضية يبين كيفية وضع العناصر المختلفة بصورة منفصلة أولا ثم جمعها بعد ذلك في نماذج مناخية شاملة.

دال–١ عمليات المناخ والتغذية المرتدة

تحدد العمليات الواردة في النظام المناخي التقلبية الطبيعية لهذا النظام واستجابته للاضطرابات مثل زيادة تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي. وهناك الكثير من عمليات المناخ الأساسية المهمة معروفة بصورة جيدة ويجري إدخالها في النماذج بطريقة جيدة للغاية. وتضخم عمليات التغذية المرتدة (التغذية المرتدة الموجبة) أو تخفض (التغذية المرتدة السالبة) التغييرات في الاستجابة للاضطرابات الأولية ومن ثم فهي مهمة جدا للمحاكاة الدقيقة لتطور المناخ.

بخار الماء

ثمة تغذية مرتدة كبيرة تتسبب في الاحترار الكبير الذي تتنبأ به نماذج المناخ استجابة لزيادة في ثاني أكسيد الكربون هي الزيادة في بخار الماء في الغلاف الجوي. فالزيادة في درجة حرارة الغلاف الجوي تزيد من قدرته على الاحتفاظ بمائه. غير أنه بالنظر إلى أن معظم الغلاف الجوي ليس مشبعا بالقدر الكافي، فإن ذلك لا يعني تلقائيا أن يزيد بخار الماء في حد ذاته. ففي إطار الطبقة الحدودية (الكيلو متر أو الكيلو مترين الأدنى في الغلاف الجوي تقريبا)، يزيد بخار الماء مع زيادة درجة الحرارة. أما في طبقة التروبوسفير الحرة فوق طبقة الحدود، حيث تحظى تأثيرات الدفيئة على بخار المياه بأكبر قدر من الأهمية، فإن التحديد الكمي للوضع أكثر صعوبة. فكمية بخار الماء المرتدة، على النحو المستمد من النماذج الحالية، تبلغ ضعف الاحترار تقريبا الذي كان يمكن أن ينتج من بخار الماء الثابت. وقد أحدثت تحسينات كبيرة منذ تقرير التقييم الثاني في معالجة بخار الماء في النماذج على الرغم من أن إعاقة الرطوبة من السحب ظلت محاطة بعدم اليقين، وتوجد اختلافات بين توزيع بخار الماء النموذجية وتلك المرصودة. والنماذج قادرة على محاكاة أقاليم الرطوبة وتلك الجافة للغاية المرصودة في المناطق المدارية وشبه المدارية والكيفية التي تنمو بها مع تعاقب الفصول ومن سنة لأخرى. غير أن ذلك رغم ما يبعثه من اطمئنان، لا يوفر وفقا للكميات المرتدة على الرغم من أن مجموعة الشواهد تحبذ بخار الماء المرتد في سماء صافية وإيجابية من الحجم المماثل لذلك الذي وجد في المحاكاة.

السحب

كما كان الحال في تقرير التقييم الأول للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في ١٩٩٠، فإن من المرجح أن أكبر قدر من عدم اليقين في إسقاطات المستقبل المعنية بالمناخ ينشأ عن السحب وتفاعلها مع الاشعاع. فبوسع السحب أن تمتص وأن تعكس الاشعاع الشمسي (ومن ثم تبريد السطح) وأن تمتص إشعاعات الموجة الطويلة وأن تصدرها (ومن ثم تتسبب في احترار السطح). ويتوقف التنافس بين هذه التأثيرات على ارتفاع السحب وكثافتها وخصائصها الإشعاعية. وتتوقف خصائص السحب الإشعاعية وتطورها على توزيع بخار الماء في الغلاف الجوي، وقطران الماء، وجسيمات الجليد وهباء الغلاف الجوي وكثافة السحب. وقد تحسن الأساس الفيزيائي لعملية وضع معايير السحب بدرجة كبيرة في النماذج من خلال إدراج تمثيل كبير للخصائص الفيزيائية الصغيرة للسحب في معادلة توازن مياه السحب على الرغم من أنه يظل هناك عدم يقين كبير. وتمثل السحب مصدرا كبيرا للأخطاء المحتملة في محاكاة المناخ. ومازال احتمال تقليل النماذج من شأن الامتصاص الشمسي المنتظم في السحب مسألة موضع جدل. فعلامة كمية السحب المرتدة الصناعية مازالت مسألة يحيط بها عدم اليقين، وتعرض مختلف النماذج امتدادات كبيرة لهذه المسألة. كما تنشأ حالات عدم اليقين الأخرى من عمليات التهطال وصعوبة محاكاة الدورة النهارية وكميات التهطال ووتيرته بصورة سليمة.

الستراتوسفير

لقد تزايد الإدراك بأهمية طبقة الستراتوسفير في النظام المناخي بسبب التغييرات في هيكلها، والاعتراف بالدور الحيوي للعمليات الإشعاعية والدينامية. فالجانب الرأسي من التغير في درجة الحرارة في الغلاف الجوي، بما فى ذلك الستراتوسفير يعد مؤشرا هاما في دراسات الرصد والعزو. فمعظم الانخفاض المرصود في درجات حرارة طبقة الستراتوسفير الدنيا كانت نتيجة لنقص الأوزون الذي يعتبر "ثقب الأوزون" في منطقة القطب الجنوبي جزءا منها. وليس بفعل زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون. والموجات التي تنشأ في طبقة التروبوسفير يمكن أن تستنبت في الستراتوفير حيث يجري امتصاصها. ولذا، فإن التغييرات في الستراتوسفير تحدث حيثما وأينما امتصت هذه الموجات، وقد تمتد التأثيرات هبوطيا لتصل إلى طبقة التروبوسفير. وتؤدي التغييرات في الإشعاع الشمسي، وأساسا الأشعة فوق البنفسجية – إلى تغييرات في الأوزون مستحثة بطرق كيماوية ضوئية ومن ثم تغير معدلات احترار الستراتوسفير مما يؤدي إلى تغيير الدوران في التروبوسفير. وتزيد القيود المتعلقة بالتحليل والانخفاض النسبي في مستوى تمثيل بعض عمليات الستراتوسفير من عدم اليقين في النتائج النموذجية.

المحيطات

حدثت تحسينات كبيرة في وضع نماذج عمليات المحيطات وخاصة انتقال الحرارة. وكانت هذه التحسينات التى اقترنت بزيادة التحليل، هامة في الحد من الحاجة إلى تعديل التدفقات في النماذج والخروج بمحاكاة واقعية لأنماط الدورات الطبيعية واسعة النطاق وتحسين محاكاة ظاهرة النينيو (انظر الاطار ٤). فالتيارات المحيطة تحمل الحرارة من المناطق المدارية إلى خطوط العرض القطبية. فالمحيطات تتبادل الحرارة والماء (من خلال البخار والأمطار) وثاني أكسيد الكربون مع الغلاف الجوي. ونظرا لضخامة كتلة المحيطات وقدرتها الحرارية المرتفعة، فإنها تبطئ من تغير المناخ وتؤثر في النطاقات الزمنية للتقلبية في نظام الغلاف الجوي–المحيطات. وقد أحرز تقدم كبير فى فهم عمليات المحيطات ذات الصلة بتغير المناخ. فالزيادة في التحليل

فضلا عن تحسين التمثيل (وضع المعايير) للعمليات الهامة على مستوى الشبكات الفرعية (مثل الدوامات ذات النطاق المتوسط) زادت من واقعية المحاكاة. غير أنه مازال هناك عدم يقين كبير إزاء تمثيل العمليات الصغيرة النطاق مثل التدفقات الزائدة (التدفقات من خلال قنوات ضيقة مثل بين غرينلاند وايسلندا)، والتيارات الحدودية الغربية [مثل التيارات الضيقة واسعة النطاق على طول الخطوط الساحلية] حاملة الحرارة والمختلطة. فالتيارات الحدودية في عمليات المحاكاة المناخية أضعف وأكثر اتساعا مما هي في الواقع على الرغم من أن نتائج ذلك على المناخ غير واضحة.

الكريوسفير

يستمر تمثيل عمليات الجليد البحري في التحسن بعد أن أصبح العديد من النماذج المناخية يشتمل الآن على معالجات فيزيائية لدينامية الجليد. ومازال تمثيل عمليات الجليد الأرضي في نماذج المناخ العالمية في بدايته. وتتألف طبقة الكريوسفير من تلك المناطق في الأرض التي تغطيها الثلوج والجليد بصورة موسمية أو دائمة. والجليد البحري مهم حيث يعكس كميات من أشعة الشمس القادمة تزيد عما يفعله سطح البحر (أي أن له بياض أعلى) كما أنه يحمي البحر من أن يفقد الحرارة في فصل الشتاء. ولذا، فإن خفض الجليد البحري يعطي تغذية مرتدة إيجابية لاحترار المناخ عند خطوط العرض القطبية. وعلاوة على ذلك، فإنه نظرا لأن جليد البحر يحتوي على أملاح تقل عن تلك الموجودة في مياه البحر، فإنه عندما يتكون يزيد المحتوى الملحي (الملوحة) وكثافة الطبقة السطحية في المحيط. ويزيد ذلك من تبادل الماء مع الطبقات الأعمق من المحيط مما يؤثر في دوران المحيط. ويؤدي تكوين الجبال الجليدية وذوبان الأجراف الجليدية إلى إعادة المياه العذبة من اليابسة إلى المحيطات. ومن ثم فإن التغييرات في معدلات هذه العمليات يمكن أن يؤثر في دوران المحيطات من خلال تغيير الملوحة السطحية. وللثلوج بياض أعلى من سطح اليابسة ومن ثم فإن نقص الغطاء الثلجي يؤدي إلى تغذية بياضية مرتدة موجبة مماثلة على الرغم من أنها أضعف من الجليد البحري. ويجري في بعض النماذج المناخية إدخال تقلبية الخطط الثلجية والنطاق دون الشبكي المطردة التعقيد في الغطاء الجليدي وكثافته مما يمكن أن يؤثر بصورة كبيرة في البياض وتبادلات الغلاف الجوي والمحيط.

سطح اليابسة

تشير البحوث بالنماذج الذي تتضمن أحدث أنواع التمثيل الخاصة بسطح اليابسة إلى أن التأثيرات المباشرة لزيادة ثاني أكسيد الكربون على فيزيولوجية النباتات قد تؤدي إلى خفض نسبي في التبخر الناتج فوق القارات المدارية مع ما يرتبط بذلك من زيادة احترار المناطق الجافة عما كان متوقعا لتأثيرات الاحترار الناجم عن الاحتباس الحراري التقليدي. وتوفر التغييرات في سطح اليابسة تغذية مرتدة هامة حيث ستؤثر التغييرات في سطح اليابسة (مثل ارتفاع درجات الحرارة، والتغييرات في التهطال، والتغييرات في الحرارة الإشعاعية الصافية، والتأثيرات المباشرة لثاني أكسيد الكربون) في حالة سطح اليابسة (مثل رطوبة التربة والبياض والخشونة والغطاء النباتي) ويمكن تحديد عمليات تبادل الطاقة وقوة الدفع والمياه والحرارة والكربون بين سطح اليابسة والغلاف الجوي في النماذج في صورة دالات لنوع وكثافة الغطاء النباتي المحلي وعمق الخصائص الفيزيائية للتربة– وكلها تستند إلى قواعد بيانات سطح اليابسة التي تحسنت بعد استخدام رصدات التوابع الاصطناعية. وقد استخدم التقدم المحرز مؤخرا في فهم التمثيل الضوئي للغطاء النباتي واستخدام المياه في تجميع الطاقة الأرضية والمياه ودورات الكربون ضمن جيل جديد من وضع المعايير الخاصة بسطح اليابسة والذي اختير في ضوء الرصدات الميدانية ونفذ في عدد قليل من نماذج الدوران العامة مع تحسينات ملحوظة في محاكاة تدفقات الغلاف الجوي واليابسة. غير أنه مازالت هناك مشكلات كبيرة يتعين حلها في مجالات عمليات رطوبة التربة وتنبوءات انسياب المياه، وتغيير استخدام الأراضي ومعالجة التباين بين الثلوج والنطاق الشبكي الفرعي.

ويمكن أن تؤثر التغييرات فى غطاء سطح اليابسة فى المناخ العالمي بعدة طرق. فقد حددت إزالة الغابات على نطاق واسع في المناطق المدارية الرطبة (مثل أمريكا الجنوبية وأفريقيا وجنوب شرق آسيا) على أنها أهم عملية جارية على سطح اليابسة حيث أنها تخفض من التبخر وتزيد من درجة حرارة السطح. وقد توصلت معظم النماذج إلى هذه النتائج. غير أن هناك عدم يقين واسع النطاق مازال مستمرا بشأن التأثيرات الكمية لإزالة الغابات على نطاق واسع على الدورة الهيدرولوجية وخاصة فوق الأمازون.

دورة الكربون

أدت التحسينات الأخيرة في نماذج دورة كربون اليابسة والمحيطات المستندة إلى العمليات وتقييمها في ضوء الرصدات إلى زيادة الثقة في استخدامها في دراسات سيناريو المستقبل. فثاني أكسيد الكربون الطبيعي يدور طبيعيا بسرعة بين الغلاف الجوي والمحيطات واليابسة، غير أن إزالة اضطرابات ثاني أكسيد الكربون التي يضيفها النشاط البشري من الغلاف الجوي تأخذ فترة أطول. ويرجع ذلك إلى العمليات التي تحد من المعدل الذي يمكن أن تزيد به المخزونات الأرضية والمحيطية من الكربون. وتأخذ المحيطات ثاني أكسيد الكربون بشري المنشأ نتيجة لارتفاع درجة ذوبانه (نتيجة لطبيعة الكيمياء الكربونية) إلا أن معدل الامتصاص تحده السرعة المحدودة للخلط العمودي. وتأخذ النظم الإيكولوجية الأرضية ثاني أكسيد الكربون بشري المنشأ من خلال العديد من الآليات المحتملة مثل إدارة الأراضي وتخصيب ثاني أكسيد الكربون (زيادة نمو النباتات نتيجة لزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي) وزيادة مدخلات النيتروجين نتيجة للأنشطة البشرية. غير أن هذا الامتصاص محدود نتيجة للصغر النسبي للجزء من الكربون النباتي الذي

يمكن أن يدخل في مخازن طويلة الأجل (الأخشاب والدبال). ويتوقع أن ينخفض الجزء من ثاني أكسيد الكربون المنبعث الذي يمكن أن تمتصه المحيطات واليابسة مع زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون. وقد وضعت نماذج معتمدة على العمليات للدورات الكربونية في المحيطات واليابسة (بما في ذلك تمثيل العمليات الفيزيائية والكيماوية والبيولوجية) وتم تقييمها في ضوء القياسات ذات الصلة بدورة الكربون الطبيعية. وقد أقيمت مثل هذه النماذج للتقليل إلى أقصى حد ممكن من الاضطرابات التي يحدثها الانسان في دورة الكربون وتمكنت من إعداد سلاسل زمنية لامتصاص الكربون من المحيطات واليابسة تتسق بصورة عامة مع الاتجاهات العالمية المرصودة. ومازالت هناك اختلافات كبيرة فيما بين النماذج وخاصة فيما يتعلق بالطريقة التي تعالج بها الدوران الفيزيائي في المحيطات والاستجابات الإقليمية لعمليات النظم الإيكولوجية الأرضية للمناخ. ومع ذلك، فإن النماذج الحالية تشير باتساق إلى أنه عندما تجري دراسة تأثيرات تغير المناخ، يصبح امتصاص ثاني أكسيد الكربون بواسطة المحيطات واليابسة أصغر حجما.

دال – ٢ النظم المترابطة

كما أشير في القسم دال–١ ، يعمل الكثير من التغذية المرتدة في إطار العناصر الفردية في النظام المناخي (الغلاف الجوي والمحيطات والكريوسفير، وسطح اليابسة) غير أن الكثير من العمليات الهامة والتغذية المرتدة تحدث من خلال الربط بين عناصر النظام المناخي. وتمثيل هذه العناصر هام لعملية التنبؤ بالاستجابات واسعة النطاق.

طرق التقلبية الطبيعية

يتزايد الإدراك بأن أنماط الدوران الطبيعي، مثل التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو وتذبذبات شمال الأطلسي، تضطلع بدور أساسي في مناخ العالم وتقلبيته بين السنوات وطويلة الأجل. وتعتبر ظاهرة التذبذبات الجنوبية الناجمة عن ظاهرة النينيو بين السنوات (انظر الإطار ٤) أقوى التقلبات الطبيعية للمناخ على النطاق الزمني لعدة سنوات. وهي عبارة عن طريقة للترابط الكامن بين الغلاف الجوي والمحيطات مع وجود نشاطها الأساسي في المناطق المدارية من المحيط الهادئ، وإن كان مع بعض التأثيرات المناخية الإقليمية الهامة في مختلف أنحاء العالم. ولم تبدأ نماذج المناخ الإجمالي إلا الآن في عرض تقلبية المناطق المدارية من المحيط الهادئ التي تماثل التذبذبات الجنوبية الناجمة عن ظاهرة النينيو وذلك أساسا من خلال زيادة التحليل الطولي عند خط الاستواء. كما أن أنماط درجات حرارة سطح البحر ودوران الغلاف الجوي المماثلة لتلك التي تحدث خلال التذبذبات الجنوبية الناجمة عن ظاهرة النينيو ذات النطاق الزمني متعدد السنوات تحدث على أساس العقد الواحد، وطويل الأجل.

تذبذبات شمال الأطلسي هي النمط المهيمن على تقلبية دورة الغلاف الجوي في فصل الشتاء الشمالي، وتتزايد محاكاته بصورة واقعية. وترتبط تذبذبات شمالي الأطلسي ارتباطا وثيقا بتذبذبات منطقة القطب الشمالي التي لها عنصر سنوي إضافي آخر حول القطب الشمالي. وتوجد شواهد قوية على أن هذه التذبذبات تنشأ أساسا من عمليات الغلاف الجوي الداخلية التي تشمل نظام التروبوسفير والستراتوسفير بأكمله.

وترتبط التقلبات فى درجات حرارة سطح المحيط الأطلسي بقوة تذبذبات شمال الأطلسي، وثمة تفاعل متواضع متبادل بين هذه التذبذبات والمحيط الأطلسي مؤديا إلى تقلبية في العقد الواحد، أخذ يظهر باعتباره عنصرا مهما في إسقاطات تغير المناخ.

قد يظهر تغير المناخ في شكل وسيلة تحول، أوتغير في أفضلية نظم مناخية نوعية على النحو المشاهد من الاتجاه المرصود نحو القيم الموجبة خلال السنوات الثلاثين الأخيرة في دليل تذبذبات شمال الأطلسي و"تحول" المناخ في المناطق المدارية من المحيط الهادئ نحو عام ١٩٧٦. وفي حين أن النماذج المترابطة تحاكي جوانب تقلبية المناخ الطبيعي المرصودة مثل تذبذبات شمال الأطلسي، والتذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو مما يشير إلى أن الكثير من العمليات ذات الصلة مدرجة في النماذج، يتعين تحقيق المزيد من التقدم في رصد هذه الطرق الطبيعية بدقة. وعلاوة على ذلك، فإنه نظرا لأن تذبذبات شمال الأطلسي والتذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو من العناصر المحددة الرئيسية لتغير المناخ الإقليمي ويمكن أن تسفر عن تغييرات مفاجئة وغير متوقعة، حدثت زيادة في عدم اليقين بالنسبة لتلك الجوانب من تغير المناخ التي تعتمد بصورة أساسية على التغيرات الإقليمية.

الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي

الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي هو المسؤول عن جزء كبير من الانتقال الطولي للحرارة في المحيط الأطلسي. وهو عبارة عن دوران عالمي النطاق يحدث في المحيط بدفع من الاختلافات في الكثافة الناشئة عن تأثيرات درجات الحرارة والملوحة. ففي المحيط الأطلسي، تنتقل الحرارة بواسطة تدفق المياه السطحية الدافئة نحو الشمال والمياه المالحة الباردة من شمال المحيط الأطلسي العائدة إلى العمق. ويمكن أن تنطلق عملية إعادة تنظيم الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي في الأطلسي بفعل الاضطرابات في الطوافية السطحية التي تتأثر بالتهطال والبخر وجريان المياه القارية وتكوين الجليد البحري وتبادل الحرارة، والعمليات، وهي عمليات يمكن أن تتغير كلها بما يكون له من نتائج على المناخ الإقليمي والعالمي.

الاطار ٤: التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو

تعتبر التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو من أقوى التقلبات الطبيعية للمناخ ضمن نطاق زمني متعدد السنوات. وقد طبق مصطلح "النينيو" أصلا على تيار محيطي دافئ ضعيف يحدث سنويا ويتجه جنوبا على طول ساحل (بيرو) خلال فترة أعياد الميلاد، ولم يصبح مرتبطا بالاحترار الكبير غير العادي إلا بعد ذلك. غير أن الاحترار الساحلي يرتبط في كثير من الأحيان بالاحترار المحيطي الشاذ الأوسع مدى بكثير في اتجاه خط التوقيت الدولي، وكانت هذه الظاهرة التي تشمل حوض المحيط الهادئ بأكمله هي التي تشكل الصلة مع الأنماط المناخية العالمية الشاذة. ويطلق على عنصر الغلاف الجوي ذات الصلة "بالنينيو" اسم "التذبذبات الجنوبية". وكثيرا ما يطلق العلماء على ذلك وصف الظاهرة عندما يجتمع الغلاف الجوي والمحيط معا (التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بهذه الظاهرة .

وهذه التذبذبات ظاهرة طبيعية، وتتوافر شواهد جيدة من عينات الشعب المرجانية والجليد من العصر الجليدي في منطقة الاندنيز على أنها مستمرة منذ آلاف السنين. ونادرا ما تصل الأحوال الخاصة بالمحيطات والغلاف الجوي في المناطق المدارية للمحيط الهادئ إلى نقاط متوسطة بل تتقلب بعض الشئ بصورة غير منتظمة بين أحداث النينيو ومرحلة "النينيا" المقابلة التي تتألف من تبريد المناطق المدارية للمحيط الهادئ مع فترة فاصلة تبلغ نحو ثلاث إلى ست سنوات. وتستمر أكثر مراحل كل حدث على حدة نحو سنة.

وثمة نمط متميز لدرجة حرارة سطح البحر في المحيط الهادئ يمهد الطريق لأحداث التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو. ومن الجوانب الرئيسية في هذا المجال "التجمع الدافئ" في المناطق المدارية غربي المحيط الهادئ حيث توجد أكثر مياه المحيط احترارا في العالم، والمياه الأبرد بدرجة كبيرة في شرقي المحيط الهادئ واللسان البارد على طول خط الاستواء والذي يكون في أبرز مظاهره في نحو أكتوبر/تشرين الأول، وفي أضعف مظاهره في مارس/آذار. وتقوم الرياح التجارية الشرقية في الغلاف الجوي في المناطق المدارية بتجميع المياه الدافئة في الغرب لتكوين منحدر صاعد لمستوى سطح البحر على طول خط الاستواء البالغ ٠,٦٠ م من الشرق إلى الغرب. وتدفع الرياح التيارات المحيطية السطحية، التي تحدد المكان الذي تتجه إليه تدفقات المياه السطحية، وتتفرق. وهكذا، فإن المياه الأكثر برودة المليئة بالمغذيات تصعد من أسفل على طول خط الاستواء والسواحل الغربية للأمريكتين مما يوفر الظروف المواتية لنمو العوالق النباتية والحيوانية ومن ثم توافر الأسماك. ونظرا لأن الحرارة والعواصف الرعدية تحدث عادة في المياه الدافئة، فإن نمط درجات حرارة سطح البحر يحدد توزيع الأمطار في المناطق المدارية، ويحدد ذلك بدوره أنماط الاحترار في الغلاف الجوي من خلال اطلاق الحرارة الكامنة. وتدفع الحرارة الدوامات الكبيرة التي من نوع الدوامات الموسمية في المناطق المدارية ومن ثم تحدد الرياح. ويؤدي هذا الترابط القوي بين الغلاف الجوي والمحيطات في المناطق المدارية إلى آثارة ظاهرة النينيو.

وخلال هذه الظاهرة، تتحرك المياه الدافئة من المناطق المدارية الغربية في المحيط الهادئ نحو الشرق أثناء ضعف الرياح التجارية وحدوث تحولات في نمط العواصف المطيرة مما يؤدي إلى زيادة اضعاف الرياح التجارية ومن ثم تعزيز التغييرات في درجة حرارة البحر. وينخفض مستوى سطح البحر في الغرب، إلا أنه يرتفع في الشرق بمقدار كبير يصل إلى ٠,٢٥ متر مع اندفاع المياه الدافئة نحو الشرق على طول خط الاستواء.

غير أن التغييرات في الدوران في الغلاف الجوي لا تقتصر على المناطق المدارية، بل تمتد عالميا وتؤثر في التيار المتدفق ومسارات العواصف في منتصف خطوط العرض. وتحدث أنماط معاكسة تقريبا خلال مرحلة النينيا المقابلة لهذه الظاهرة.

وتؤدي التغييرات المرتبطة بالتذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو إلى إحداث تباينات كبيرة في الطقس والمناخ حول العالم من سنة لأخرى. ولهذه التباينات تأثيرات عميقة على البشرية والمجتمع بالنظر إلى ما يرتبط بها من جفاف وفيضانات وموجات حارة وغير ذلك من التغييرات التي يمكن أن تحدث اضطرابات شديدة في الزراعة ومصايد الأسماك والبيئة والصحة والطلب على الطاقة ونوعية الهواء وتغير أيضا من مخاطر الحرائق. كما تضطلع التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو بدور بارز في وضع نماذج تبادلات ثاني أكسيد الكربون مع الغلاف الجوي. وتتوقف عمليات التصاعد المعتادة للمياه الباردة الغنية بالمغذيات والغنية بثاني أكسيد الكربون خلال النينيو.

ومن المحتمل أن يكون أيضا للتفاعل بين الغلاف الجوي والمحيط أهمية كبيرة على النطاقات الزمنية للعقد الواحد والفترات الأطول من ذلك حيث يعمل هذا الدوران. ويشكل التفاعل بين التأثير الكبير للغلاف الجوي مع الاحترار والبخر في خطوط العرض المنخفضة، وزيادة التهطال في خطوط العرض القطبية، الأساس لعدم استقرار محتمل في الدوران المدفوع بالتباين الحرارة

والملحي الحالي في المحيط الأطلسي. وقد تؤثر التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو أيضا في دوران المحيط الأطلسي من خلال تغيير توازن المياه العذبة في المناطق المدارية من ذلك المحيط، ومن ثم توفير ارتباط بين خطوط العرض المنخفضة والقطبية. غير أن عدم اليقين المرتبط بتمثيل التدفقات صغيرة النطاق فوق النتوءات ومن خلال المضايق الضيقة وحرارة المحيطات يحد من قدرة النماذج على محاكاة الأوضاع التي تشتمل على تغييرات كبيرة في الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي. وانخفاض ملوحة شمالي المحيط الهادئ يعني أن الدوران لم يحدث في ذلك المحيط.

الأحداث غير الخطية وسرعة تغير المناخ

تتوافر احتمالات لحدوث تغييرات سريعة غير رجعية في النظام المناخي، إلا أن هناك درجة كبيرة من عدم اليقين عن الآليات المشاركة في ذلك ومن ثم عن احتمال هذه التحويلات أو مداها الزمني. فالنظام المناخي يشتمل على الكثير من العمليات والتغذيات المرتدة التي تتفاعل بطرق معقدة غير خطية. ويمكن أن يؤدي هذا التفاعل إلى ظهور عتبات (أو حدود دنيا) في النظام المناخي والتي يمكن عبورها إذا ما تعرض النظام لقلق كاف. وثمة شواهد على عينات الجليد القطبي تشير إلى أن نظم الغلاف الجوي يمكن أن تتغير في غضون بضعة أعوام، وأن التغييرات في الكرة الأرضية بأكملها يمكن أن تحدث بسرعة تصل إلى بضعة عقود. فعلى سبيل المثال، احتمال وجود عتبة للتحول السريع لدوران المحيط الأطلسي إلى حالة من الانهيار، قد أظهر من خلال مجموعة هرمية من النماذج – غير أنه ليس من الواضح بعد ما هي هذه العتبة ومدى احتمال أن يؤدي النشاط البشري إلى تجاوزها(انظر القسم زاي – ٦). ويمكن أن يتصف دوران الغلاف الجوي بمختلف الأنماط المستخلصة مثل الناشئة عن التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو وتذبذبات شمالي الأطلسي، وتذبذبات القطب الشمالي، والتغييرات في مرحلتهم يمكن أن يتم بسرعة – وتشير النظرية الأساسية والنماذج إلى أن تغير المناخ يمكن الإعراب عنه في أول الأمر بالتغييرات في وتيرة حدوث هذه الأنماط. فالتغيرات في الغطاء النباتي، سواء من خلال إزالة الغابات مباشرة بفعل الأنشطة البشرية أو تلك الناجمة عن احترار العالم، قد تحدث بسرعة وتستحث تغييرا آخر في المناخ. ومن المفترض أن تكوين الصحراء الكبرى بسرعة قبل نحو ٥٥٠٠ سنة، يشكل مثالا على هذه التغييرات غير المستقيمة في الغطاء الأرضي.

دال – ٣ تقنيات التفاصيل الإقليمية

لم تعالج المعلومات الخاصة بالمناخ الإقليمي إلا بصورة محدودة في تقرير التقييم الثاني. وقد تحسنت التقنيات المستخدمة في زيادة التفاصيل الإقليمية بدرجة كبيرة منذ تقرير التقييم الثاني، وأصبحت تستخدم على نطاق أوسع. وتقع في ثلاث فئات هي نماذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات عالية ومتغيرة التحليل، ونماذج المناخ الإقليمية (أو منطقة محدودة معششة) والطرق الاحصائية التجريبية والاحصائية الدينامية. وتعرض التقنيات مختلف جوانب القوة ونقاط الضعف، ويعتمد استخدامها على النطاق القاري اعتمادا قويا على احتياجات الاستخدامات النوعية.

ونماذج الدوران العامة للغلاف الجوي والمحيطات ذات التحليل غير المصقول تحاكي جوانب الدوران العامة للغلاف الجوي بصورة عامة تماما. أما على النطاق الإقليمي، فإن النموذج يبين تحيزات في متوسطات المساحات تتباين بدرجة كبيرة في النماذج من إقليم لإقليم وفيما بين النماذج مع تحديد المساحة القارية متوسطات التحيزات في درجات الحرارة الموسمية ٥٤ س وتحيزات التهطال –٤٠ و + ٨٠ ٪. وتمثل هذه تحسنا هاما بالمقارنة بنماذج الدوران التي قيّمت في تقرير التقييم الثاني.

ويبين وضع نماذج الدوران العامة في الغلاف الجوي عالي التحليل ومتغير التحليل منذ تقرير التقييم الثاني أن الدينامية والتدفقات واسعة النطاق في النماذج تتحسن مع زيادة التحليل. غير أن الأخطاء النظامية تفاقمت في بعض الحالات بالمقارنة بنماذج التحليل غير المصقول على الرغم من أنه لم يتم توثيق سوى عدد قليل جدا من النتائج.

وقد اكتملت نماذج المناخ الإقليمي منذ تقرير التقييم الثاني. وتحسنت النماذج الإقليمية باستمرار من التفاصيل المكانية المتعلقة بالمناخ المحاكي بالمقارنة بنماذج الدوران العامة في الغلاف الجوي. وأظهرت نماذج المناخ الإقليمي المدفوعة بالظروف الحدودية المرصودة تحيزات في درجات الحرارة المتوسطة بحسب المساحة (النطاقات الإقليمية ٥١٠ إلى ٥١٠ كيلومتر ٢) أقل عموما من ٥٢ س في حين أن تحيزات التهطال كانت تحت ٥٠ ٪. وتشير أعمال وضع التفاصيل على أساس إقليمي، على نطاقات منقحة، أن التغييرات يمكن أن تختلف اختلافا كبيرا في الضخامة أو العلامة عن النتائج الكبيرة لمتوسط المساحة. وتتوافر امتدادات كبيرة نسبيا بين النماذج، على الرغم من أن عزو سبب هذه الاختلافات غير واضح.

دال – ٤ التقييم العام للقدرات

تطورت النماذج المترابطة وتحسنت بدرجة كبيرة منذ تقرير التقييم الثاني. وتقدم هذه النماذج، بصفة عامة، عمليات محاكاة معقولة للمناخ حتى المستويات دون القارية على الأقل وخلال نطاقات زمنية تتراوح بين الفصول والعقود. وتعتبر النماذج المترابطة، بوصفها فئة من الفئات أدوات مناسبة لتوفير الإسقاطات المفيدة عن مناخات المستقبل. ولا تستطيع هذه النماذج بعد أن تحاكي جميع جوانب المناخ (أي أنها لا تستطيع

أن تقدم الأسباب الكاملة للاتجاه المرصود في الاختلافات في درجات الحرارة بين السطح والتروبوسفير منذ عام ١٩٧٩. كما تظل السحب والرطوبة مصادر لعدم يقين كبير، إلا أنه كانت هناك تحسينات إضافية في محاكاة هذه الكميات. ولا يوجد نموذج واحد يمكن أن يعتبر "الأحسن"، إلا أن من المهم استخلاص النتائج من طائفة من النماذج المترابطة والمقيمة بدقة في استكشاف نتائج عمليات المحاكات المختلفة. وتنشأ مبررات زيادة الثقة في النماذج عن أداء النماذج في المجالات التالية.

تعديل التدفق

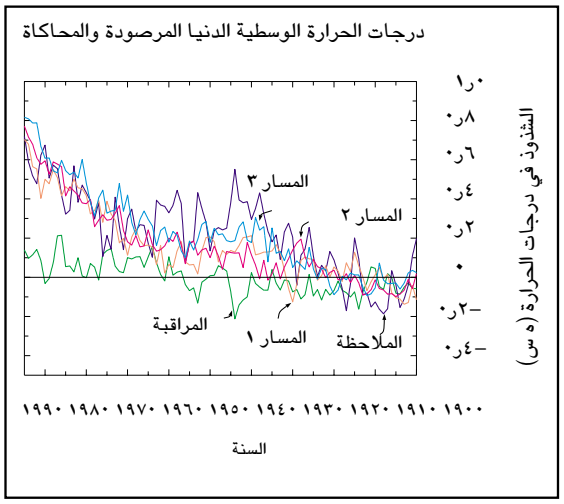
زادت الثقة العامة في الإسقاطات النموذجية نتيجة لتحسن أداء العديد من النماذج التي لا تستخدم تعديل التدفق. وتحتفظ هذه النماذج الآن بعمليات محاكاة ثابتة ومتعددة القرون للمناخ السطحي تعتبر ذات نوعية تتسم بالكفاءة مما يسمح باستخدامها في إسقاطات تغير المناخ. وعلى ذلك، فإن التغييرات التي يمكن أن تعمل بها كثير من النماذج دون تعديل للتدفقات جاءت من التحسينات في كل من عنصري الغلاف الجوي والمحيطات. فعلى الغلاف الجوي النموذجي، كانت التحسينات في حمل الحرارة والطبقة الحدودية، والسحب، وتدفقات الحرارة الكامنة السطحية هي العناصر الأكثر ملاحظة. وفي المحيط النموذجي، كانت التحسينات في التحليل وخلط الطبقات الحدودية وفي تمثيل الدوامات. وتتوافق النتائج من دراسات تغير المناخ باستخدام النماذج معدلة التدفقات، وغير معدلة التدفقات بصورة عامة، ومع ذلك، فإن تطوير النماذج غير معدلة التدفقات يزيد من الثقة في قدرتها على محاكاة المناخات في المستقبل.

مناخ القرن العشرين

تزيد الثقة في قدرة النماذج على إسقاط المناخات المستقبلية من خلال قدرة العديد من النماذج على إنتاج اتجاهات احترار في درجة حرارة الجو السطحي في القرن العشرين المدفوعة بزيادة غازات الدفيئة وهباء الكبريت. ويتضح ذلك من الشكل ١٣. غير أن السيناريوهات المثلى الخاصة بهباء الكبريت استخدمت، كما أن المساهمات من بعض العمليات الإضافية والتأثيرات قد لا تكون قد أدرجت في النموذج. وتشير بعض دراسات النموذج أن إدراج بعض التأثيرات الإضافية مثل التقلبية الشمسية والهباء البركاني قد تحسن بعض جوانب تقلبية المناخ المحاكي في القرن العشرين.

الأحداث المتطرفة والقصوى

مازال تحليل الأحداث المتطرفة والقصوى الخاضعة للمحاكاة في نماذج المناخ والثقة فيها يظهرا وخاصة بالنسبة لمسارات العواصف ووتائر العواصف. إذ تجري محاكاة الدوامات "المماثلة للأعاصير المدارية" في النماذج المناخية على الرغم من وجود عدم يقين كاف إزاء تفسيرها يستدعى الحذر في الإسقاطات الخاصة بالتغيرات في الأعاصير المدارية. غير أنه يمكن القول إجمالا بأن تحليل الأحداث المتطرفة سواء في الرصدات (انظر القسم باء–٦) أو النماذج المترابطة مازال متأخرا.



الشكل ١٣: الشذوذ في درجات الحرارة المرصودة والنموذجية والسنوية (درجة مئوية) بالمقارنة بمتوسط الرصدات خلال الفترة ١٩٠٠ إلى ١٩٣٠. وقد عرضت محاكاة المراقبة، والمحاكاة المستقلة الثلاث بنفس غازات الدفيئة وتأثير الهباء والظروف الأولية المختلفة بصورة طفيفة من نموذج الدوران العام للغلاف الجوي والمحيطات. أما عمليات المحاكاة الثلاث لغازات الدفيئة زائدا الهباء، فأطلق عليها "المسار ١"، "المسار ٢"، "المسار ٣" على التوالي. [استنادا إلى الشكل ٨–١٥].

التقلبية فيما بين السنوات

تحسن أداء النماذج المترابطة في محاكاة التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو، إلا أن تقلبيتها انتقلت ناحية الغرب، ويجرى عموما التقليل من شأن قوتها. وعندما تبدأ بعض النماذج المترابطة بصورة مناسبة وببيانات خاصة بالرياح السطحية والمحيطات دون السطحية، فإنها تحقق درجة من النجاح في التنبؤ باحداث التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو.

المقارنات بين النماذج

يوفر النمو في المقارنات المنتظمة بين النماذج جوهر الأدلة على تنامي قدرات النماذج المناخية. فعلى سبيل المثال، فإن مشروع المقارنة فيما بين النماذج المترابطة يمكن من التقييم الأكثر انتظاما وشمولا، كما تعمل المقارنات فيما بين النماذج المترابطة في شكل معياري ويستجيب للتأثيرات المعيارية. وقد ظهرت الآن درجة من التقدير الكمي للتحسينات التي أدخلت على أداء النماذج المترابطة. ويوفر مشروع المقارنات فيما بين نماذج المناخ القديم مقارنات بين النماذج بالنسبة للعصر الهولوسيني المتوسط (٦٠٠٠ سنة قبل الآن) ، وللعصر الجليدي الأعظم الأخير (٢١ ألف عام قبل الآن). وتمكن هذه النماذج من محاكاة بعض جوانب المناخات القديمة بالمقارنة بطائفة من البيانات غير المباشرة للمناخ القديم، ومن الثقة (على الأقل عنصر الغلاف الجوي) طوال طائفة من تأثيرات الاختلافات.

هاء – تحديد التأثيرات البشرية على تغير المناخ

حدد القسمان باء وجيم سمات التغييرات السابقة المرصودة في المناخ وفي العوامل المؤثرة على التوالي. وفحص القسم دال قدرات النماذج المناخية على التنبؤ باستجابة النظام المناخي لهذه التغييرات المؤثرة. ويستخدم هذا القسم هذه المعلومات في دراسة مسألة ما إذا كان بالوسع تحديد التأثيرات البشرية على تغير المناخ حتى الآن.

وهذه من النقاط الهامة التي ينبغي تناولها. فقد خلص تقرير التقييم الثاني إلى أن "مجموعة الأدلة المتاحة توحي بوجود تأثير بشري على المناخ العالمي يمكن تمييزه". ولاحظ أن رصد وعزو علامات تغير المناخ بشرية المنشأ سوف يتحققان من خلال التراكم التدريجي للأدلة. كما لاحظ تقرير التقييم الثاني عدم اليقين حول عدد من العوامل بما في ذلك التقلبية الداخلية وحجم وأنماط التأثيرات والاستجابة التي منعتهم من الخروج بنتيجة أقوى.

هاء – ١ معنى الرصد والعزو

الرصد عملية بيان أن أحد التغييرات المرصودة يختلف اختلافا كبيرا (بالمعنى الاحصائي) عما يمكن تفسيره بالتقلبية الطبيعية. والعزو عملية تحديد العلة والمعلول بمستوى معين من الثقة بما في ذلك تقييم الافتراضات المتنافسة. وتحدث الاستجابة للتغييرات بشرية المنشأ في التأثيرات المناخية أمام خلفية من التقلبية المناخية المدفوعة داخليا وخارجيا. وتحدث التقلبية المناخية الداخلية أي تقلبية المناخ غير المدفوعة بعناصر خارجية، في جميع النطاقات الزمنية ابتداء من أسابيع إلى قرون بل وحتى ألفيات. وللعناصر المناخية البطيئة مثل المحيطات أدوار هامة بصورة خاصة في النطاقات الزمنية للعقد الواحد والقرن الواحد بالنظر إلى أنها تشمل تقلبية الطقس. وهكذا فإن المناخ قادر على إصدار تباينات كبيرة الحجم في نطاقات زمنية طويلة دون تأثيرات خارجية. وقد تكون التباينات (العلامات) المناخية المدفوعة طبيعيا ناجمة عن التغييرات في عوامل التأثير الطبيعية مثل الاشعاع الشمسي أو الهباء البركاني أو التغيرات في عوامل التأثير بشرية المنشأ مثل زيادة تركيزات غازات الدفيئة أو الهباء. ويعنى وجود هذه التقلبية المناخية الطبيعية أن رصد وعزو تغيرات المناخ بشرية المنشأ هي مظلة إحصائية "علامة على الضوضاء". وتبين دراسات الرصد ما إذا كانت التغيرات المرصودة عالية بصورة غير عادية بالمعنى الاحصائي، الا أن ذلك لا يعنى بالضرورة أننا نفهم أسبابها. وعزو تغير المناخ إلى أسباب بشرية المنشأ ينطوي على تحليل إحصائي وتقييم دقيق لخطوط الشواهد المتعددة التى تبين، فى إطار هامش خطأ محدد سلفا، أن التغييرات المرصودة:

- يستبعد أن تكون كلها ناجمة عن تقلبية داخلية؛
- تتسق مع الاستجابات المقدرة لمجموعة معينة من التأثيرات بشرية المنشأ والطبيعية؛
- لا تتسق مع التغييرات البديلة، والمعقولة من الناحية الفيزيائية بشأن تغير المناخ في الفترة الأخيرة والتي تستبعد عناصر هامة من مجموعة معينة من التأثيرات.

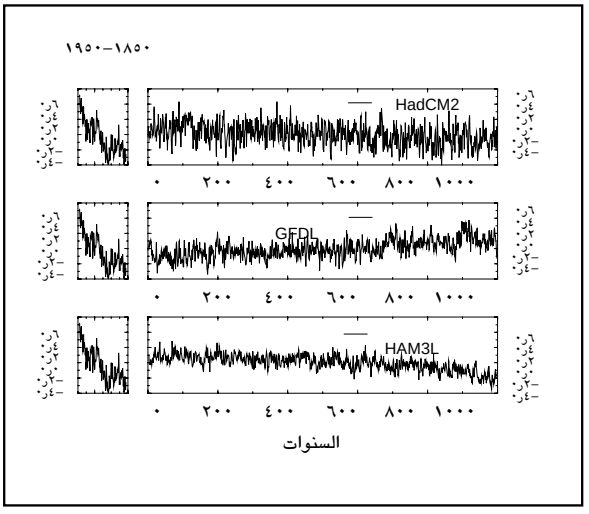
هاء – ٢ قياس رصدي أطول مدى وأكثر تفحصا عن قرب

كانت ثلاث سنوات من السنوات الخمس الأخيرة (١٩٩٥ و١٩٩٧ و١٩٩٨) أشد السنوات احترارا في العالم وفقا للتسجيل القائم على الأجهزة. وقدرت تأثيرات أخطاء العينة الرصدية بالنسبة لسجل متوسط درجات الحرارة في العالم وعلى مستوى نصف الكرة الأرضية. كما ساد فهم أفضل للأخطاء وعدم اليقين في سجل درجات الحرارة القائم على التوابع الاصطناعية (وحدة سبر بالموجات متناهية القصر). وتم إلى حد كبير تسوية الفروق فيما بين هذه الوحدة والبيانات المأخوذة بالمسبار اللاسلكي. على الرغم من عدم القدرة على تفسير أسباب الاتجاه المرصود في الاختلاف بين درجات الحرارة السطحية وتلك التي في التروبوسفير الأدنى (انظر القسم باء). وتشير إعادة التشكيل الجديدة لدرجات الحرارة خلال الألف سنة الماضية إلى أن من المستبعد أن تكون التغييرات في درجات الحرارة خلال المائة عام الأخيرة ذات منشأ طبيعي بالكامل حتى بعد مراعاة عدم اليقين الكبير في إعادة تشكيل المناخ القديم (انظر القسم باء).

هاء – ٣ تقديرات نموذجية جديدة للتقلبية الداخلية

من المستبعد أن يكون الاحترار الذي حدث خلال المائة عام الماضية نتيجة للتقلبية الداخلية وحدها على النحو الذي قدرته النماذج الحالية. فالسجل القائم على الأجهزة قصير، ويغطي فترة التأثير البشري، وتشمل سجلات المناخ القديم تباينات ذات وقع طبيعي مثل تلك الناجمة عن التباينات في الإشعاع الشمسي وفي وتيرة ثوران البراكين. ولا تترك هذه القيود سوى بدائل قليلة لاستخدام محاكاة "المراقبة" الطويلة من خلال نماذج مترابطة لتقدير تقلبية المناخ الداخلي. ومنذ صدور تقرير التقييم الثاني، استخدم المزيد من النماذج لتقديم حجم التقلبية المناخية الداخلية، والتي يتضمن الشكل ١٤ عينة تمثيلية منها. وكما يلاحظ، هناك نطاق واسع للتقلبية الداخلية على مستوى العالم في هذه النماذج. ورغم أن تقديرات التقلبية على أساس نطاق زمني أطول وذات صلة بدراسات الرصد والعزو غير مؤكدة، فإن بعض النماذج تبين، على نطاقات زمنية متعددة السنوات وعقود، تقلبية مماثلة أو أكثر مما هو مرصود حتى على الرغم من أن النماذج لا تتضمن اختلافات من مصادر خارجية. ومن ناحية أخرى، فإن الاستنتاجات المتعلقة برصد علامة من العلامات بشرية المنشأ غير حساسة للنموذج المستخدم في تقدير التقلبية الداخلية، ولا يمكن تفسير التغييرات الأخيرة باعتبارها تقلبات داخلية خالصة حتى إذا كانت قدرة التباينات الداخلية المعيارية قد زادت بعامل من اثنين أو أكثر. ولم تجد أحدث دراسات الرصد

والعزو أية شواهد على أن التقلبية الداخلية المقدرة بالنماذج عند السطح لا تتسق مع التقلبية المتبقية التي تظل في القياس بعد إزالة العلامات التقديرية بشرية المنشأ على النطاق الزمني الطويل والمكاني الشاسع المستخدم في دراسات الرصد والعزو. غير أنه يرجى ملاحظة أن القدرة على رصد حالات عدم الاتساق محدودة. وكما يشير الشكل ١٤، لا توجد أية محاكاة للمراقبة النموذجية تكشف عن اتجاه في درجات الحرارة في الهواء السطحي بنفس القدر الكبير الذي عليه الاتجاه المرصود طوال الألف سنة الماضية.



الشكل ١٤: حالات الشذوذ في متوسط درجات حرارة الهواء السطحي في العالم من محاكاة المراقبة منذ ألف سنة باستخدام ثلاثة نماذج مناخية مختلفة، وهي نماذج هادلي ومختبر دينامية الوسائل الفيزيائية الأرضية وهامبورج بالمقارنة بالسجل المتوافر مؤخرا باستخدام الأجهزة. ولا توجد أية محاكاة للمراقبة النموذجية أي اتجاه في درجات حرارة الهواء السطحي بنفس القدر الكبير الذي عليه الاتجاه المرصود. فإذا كانت التقلبية الداخلية صحيحة في هذه النماذج، فإن من غير المحتمل أن يكون الاحترار الأخير نتيجة للتقلبية المتحققة داخل النظام المناخي بمفرده [استنادا إلى الشكل ١٢–١].

هاء – ٤ تقديرات جديدة للاستجابات للتأثيرات الطبيعية

تشير عمليات التقييم المستندة إلى المبادئ الفيزيائية والمحاكاة النموذجية إلى أن من المستبعد أن تفسر التأثيرات الطبيعية وحدها الاحترار العالمي المرصود في الآونة الأخيرة أو التغييرات المرصودة في الهيكل الرأسي لدرجات حرارة الغلاف الجوي. وقد استخدمت نماذج الغلاف الجوي – المحيطات المترابطة بالكامل عمليات إعادة بناء التأثيرات الشمسية والبركانية خلال القرن إلى القرون الثلاثة الماضية لتقدير مساهمة التأثيرات الطبيعية في التقلبية والتغيرات المناخية. وعلى الرغم من أن عملية إعادة بناء التأثيرات الطبيعية غير مؤكدة، فإن إدراج تأثيراتها يؤدي إلى زيادة الفروق على النطاقات الزمنية الطويلة (متعددة العقود). ويقرب ذلك التقلبية ذات الوتيرة المنخفضة من تلك التي تستنبط من عمليات إعادة بناء المناخات القديمة. ومن المحتمل أن التأثير الطبيعي الصناعي (أي الشمسي زائدا البركاني) كان سالبا طوال العقدين الأخيرين، بل وربما العقود الأربعة الأخيرة. وتؤكد التقييمات الاحصائية أن من المستبعد أن تفسر التقلبية الطبيعية ، داخلية وطبيعية الدفع الخاضعة للمحاكاة، الاحترار في النصف الثاني من القرن العشرين (انظر الشكل ١٥). غير أن هناك دلائل تشير إلى وجود تأثير بركاني قابل للرصد على المناخ ودلائل تشير إلى وجود تأثير شمسي على المناخ وخاصة في الجزء الأول من القرن العشرين. وحتى إذا كانت النماذج تقلل من حجم الاستجابة للتأثيرات الشمسية أو البركانية، فإن الأنماط المكانية والزمنية توجد بشكل يستحيل معه أن تفسر هذه التأثيرات بمفردها التغييرات في درجات الحرارة المرصودة طوال القرن العشرين.

هاء – ٥ الحساسية لتقديرات مؤشرات تغير المناخ

ثمة طائفة واسعة من الدلائل على الاتساق الكمي بين التغيرات المناخية المرصودة والاستجابات النموذجية للتأثيرات بشرية المنشأ. وتبين النماذج والرصدات ارتفاع درجات حرارة العالم، وتزايد التباين بين درجات حرارة اليابسة والمحيطات، وتقلص صفيحة الجليد البحري وانحسار الجليد وزيادة التهطال على خطوط العرض القطبية في نصف الكرة الأرضية الشمالي. وتظل هناك بعض حالات عدم الاتساق الكمي، بما في ذلك حقيقة أن النماذج تتنبأ بوتيرة للاحترار في التروبوسفير المتوسط إلى الأعلى أسرع مما يشاهد في سجلات درجات الحرارة التروبوسفيرية عن طريق التوابع الأرضية والمسبار اللاسلكي.

وقد وجدت جميع عمليات المحاكاة بغازات الدفيئة وهباء الكبريت التي استخدمت في دراسات الرصد أنه يتعين توفير مساهمة كبيرة بشرية المنشأ لتفسير الاتجاهات السطحية والتروبوسفيرية طوال الثلاثين عاما الأخيرة على الأقل. ومنذ صدور تقرير التقييم الثاني، توافرت بعض عمليات المحاكاة باستخدام قدر أكبر من غازات الدفيئة وبعض تمثيل تأثيرات الهباء. وقد تضمن العديد من الدراسات تمثيل صريح لغازات الدفيئة (مقابل زيادة معادلة في ثاني أكسيد الكربون). كما أدرجت بعض الدراسات التغييرات في طبقة الأوزون في التروبوسفير، ودورة كبريتية تفاعلية، وهي معالجة صريحة لدورة الكبريت التفاعلية، ومعالجة لتبعثر هباء الكبريت، وتحسين تقديرات التغييرات في أوزون الستراتوسفير. وإجمالا، فإنه على الرغم من أن رصد استجابة المناخ لهذه العوامل البشرية الأخرى يحيط به الغموض في كثير من الأحيان، فإن رصد تأثيرات غازات الدفيئة على التغيرات في درجة الحرارة

السطحية طوال السنوات الخمسين الماضية كان كبيرا. وفي بعض الحالات، نفذت مجموعات من عمليات المحاكاة للحد من الضوضاء في تقديرات الاستجابة المعتمدة على الوقت. ووضعت بعض الدراسات تقديرات للفروق الموسمية في الاستجابة. وأدى عدم اليقين الذي يحيط بتقديرات علامات تغير المناخ إلى صعوبة عزو التغيير المرصود في المناخ إلى مجموعة محددة من التأثيرات الطبيعية أو التي من صنع الإنسان، إلا أن جميع الدراسات وجدت أنه يتعين توافر مساهمة بشرية كبيرة لتفسير الاتجاهات السطحية وفي طبقة التروبوسفير طوال الثلاثين عاما الماضية على الأقل.

هاء – ٦ مجموعة شاسعة من تقنيات الرصد

درجات الحرارة

لقد استمدت الأدلة على وجود تأثير بشري على المناخ من طائفة واسعة للغاية من تقنيات الرصد. ويتمثل أحد المستحدثات الرئيسية منذ صدور التقييم الثاني في زيادة مجموعة التقنيات المستخدمة وتقييم درجة اعتماد النتائج على الافتراضات التي وضعت لدى استخدام هذه التقنيات. وقد أجريت دراسات تستخدم ارتباطات الأنماط، ودراسات رصد مثلى باستخدام نمط أو أكثر من الأنماط الثابتة، والأنماط متباينة التوقيت وعدد من التقنيات الأخرى. وأدت زيادة عدد الدراسات، واتساع التقنيات، وزيادة الدقة في تقييم دور التأثيرات بشرية المنشأ على المناخ، وضخامة نتائج الافتراضات التي وضعت باستخدام هذه التقنيات، إلى زيادة الثقة في هذه الجوانب المتعلقة بالرصد والعزو.

والنتائج حساسة لمجموعة النطاقات الزمنية والمكانية التي تدرس. ومن الضروري توفير بيانات عن عدة عقود لفصل علامات الدفع عن التقلبية الداخلية. وقد أثبتت الدراسات المثلى أنه لا يمكن رصد التغيرات في درجات الحرارة السطحية إلا على نطاقات في حدود ٥٠٠٠ كيلومتر. وتبين هذه الدراسات أن مستوى التوافق بين المحاكاة والرصدات في دراسات ارتباطات الأنماط يقترب مما يتوقعه المرء نظريا.

وتجد معظم دراسات العزو أنه خلال الخمسين عاما الماضية، كان المعدل التقديري لاحترار العالم وحجمه نتيجة لزيادة تركيزات غازات الدفيئة وحدها يماثل الاحترار المرصود أو يزيد عليه. وتعالج دراسات العزو مسألة ما "إذا كان حجم الاستجابة المحاكاة لعامل تأثير معين يتسق مع الرصدات". وقد أدى استخدام تقنيات العلامات المتعددة من التمكين من إجراء الدراسات التي تميز بين التأثيرات الطبيعية وتلك البشرية المنشأ. وعندما تدرج أنماط استجابة أكثر، تنشأ لا محالة مشكلة الانحلال (أي أن توليفات الأنماط المختلفة تعطي توافقات شبه متماثلة للرصدات). ومع ذلك، وحتى مع جميع الاستجابات الرئيسية التي أدرجت في التحليل، تظل هناك علامة مميزة لغاز الدفيئة قابلة للرصد. وعلاوة على ذلك فإن معظم التقديرات النموذجية التي تأخذ في الاعتبار غازات الدفيئة وهباء الكبريت تتسق مع الرصدات خلال تلك الفترة. وقد وجد أفضل توافق بين عمليات المحاكاة النموذجية والرصدات طوال المائة والأربعين عاما الماضية عندما تدرج العوامل البشرية المنشأ والطبيعية (انظر الشكل ١٥). وتبين هذه النتائج أن التأثيرات المدرجة تكفي لتفسير التغييرات المرصودة إلا أنها لا تستبعد احتمال أن تكون تأثيرات أخرى قد أسهمت أيضا. وإجمالا، تبين أن حجم استجابة درجات الحرارة لتزايد تركيزات غازات الدفيئة يتسق مع الرصدات في النطاقات موضع الدراسة (انظر الشكل ١٦)، إلا أنه تظل هناك فروق بين الاستجابة المستخلصة من النماذج وتلك المرصودة للعوامل الطبيعية وبشرية المنشأ الأخرى.

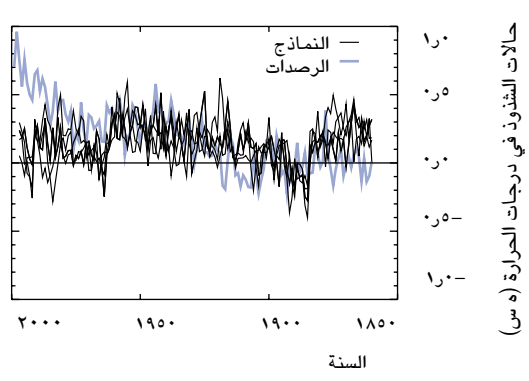
عدم اليقين في التأثيرات الأخرى التي أدرجت لا تحول دون تحديد تأثير غازات الدفيئة بشرية المنشأ طوال الخمسين عاما الماضية. فالتأثير الكبريتي، رغم عدم تأكده، كان سالبا خلال هذه الفترة. كما يقدر أن التغييرات في التأثيرات الطبيعية خلال معظم هذه الفترة كانت سالبة. ولذا لا يمكن إلغاء رصد تأثيرات غازات الدفيئة بشرية المنشأ سواء بسبب عدم التأكد من تأثيرات هباء الكبريت أو لأن التأثيرات الطبيعية لم تدرج في جميع عمليات المحاكاة النموذجية. وتسفر الدراسات التى تميز بين الاستجابات المنفصلة لغاز الدفيئة وهباء الكبريت والتأثيرات الطبيعية عن تقديرات غير مؤكدة لمدى الهباء الكبريتي والعلامات الطبيعية، إلا أن جميع الدراسات تقريبا تستطيع أن ترصد وجود علامات غاز الدفيئة بشري المنشأ في قياس المناخ الأخير.

وينبغي ألا تكون طرق الرصد والعزو المستخدمة حساسة للأخطاء في مدى الاستجابة العالمية المتوسطة للتأثيرات المختلفة. وقد تم تقدير العلامات المستخدمة في هذا التقرير، ومدى العلامة من الرصدات وليس مدى الاستجابة المستمدة من المحاكاة. ومن هنا، فإن التقديرات منفصلة عن هذه العوامل التي تحدد المدى المستمد من المحاكاة للاستجابة مثل حساسية المناخ للنموذج المستخدم. وعلاوة على ذلك، إذا كانت العلامة الناجمة عن تأثير معين تقدر بصورة مفردة، فإن المدى يكون منفصلا بدرجة كبيرة عن حجم التأثير المستخدم في استخلاص الاستجابة. إذ لا ينبغي أن يؤثر عدم اليقين المحيط بمدى التأثير الشمسي والهباء الكبريتي غير المباشر في حجم العلامة المقدرة.

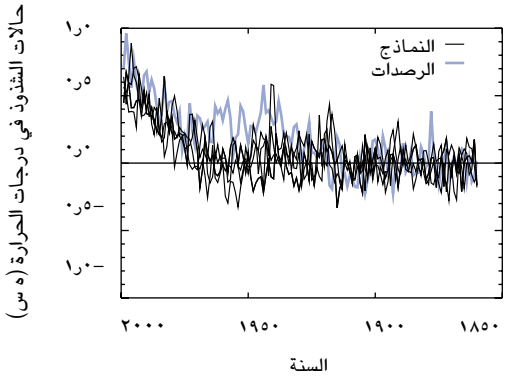
مستوى سطح البحر

من المرجح بشدة أن يكون الاحترار في القرن العشرين قد أسهم بدرجة كبيرة في الارتفاع المرصود في مستوى سطح البحر من خلال التمدد الحراري لمياه البحر والخسائر واسعة النطاق في الجليد الأرضي. وفي إطار حالات عدم اليقين الحالية هذه، تتسق الرصدات والنماذج مع النقص في التسارع الكبير في مستوى سطح البحر خلال القرن العشرين.

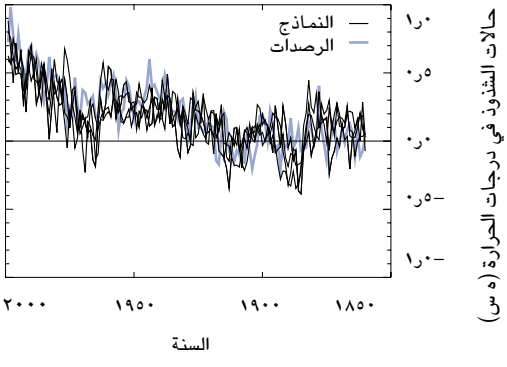
(أ) **الطبيعية**: المتوسط السنوى لدرجات الحرارة فى العالم



(ب) بشرية المنشأ: المتوسط السنوي لدرجات الحرارة في العالم

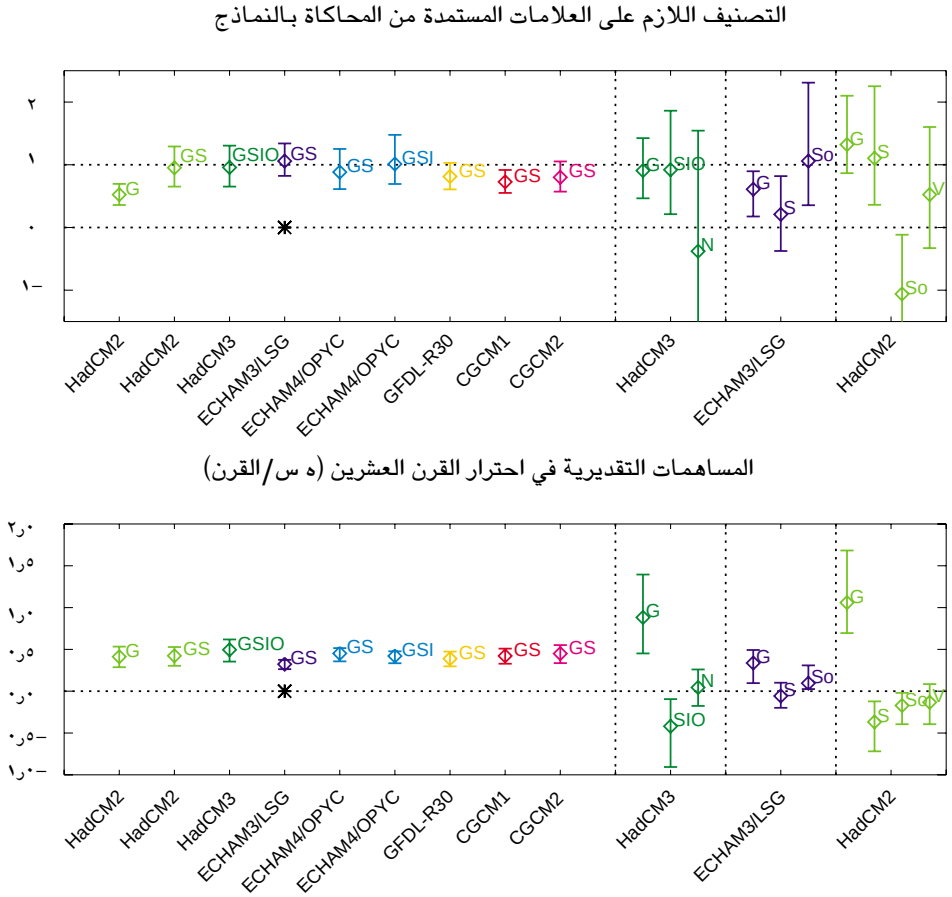


(ج) جميع التأثيرات : المتوسط السنوي لدرجات الحرارة في العالم



الشكل ١٥: متوسط شذوذ درجات الحرارة السطحية في العالم بالمقارنة بمتوسط الفترة ١٨٨٠ إلى ١٩٢٠ من السجلات المعدة بالأجهزة مقابل تلك المستمدة من مجموعة من أربع عمليات محاكاة باستخدام نموذج مناخ محيط وغلاف جوي مترابط ومدفوع (أ) بتأثيرات شمسية وبركانية فقط (ب) بتأثيرات بشرية المنشأ بما في ذلك غازات الدفيئة حسنة المزج في أوزون الستراتوسفير والتروبوسفير، والتأثيرات المباشرة وغير المباشرة لهباء الكبريت و(ج) بجميع التأثيرات الطبيعية وبشرية المنشأ. ويبين الخط السميك بيانات الأجهزة في حين تبين الخطوط الرفيعة عمليات المحاكاة النموذجية المختلفة في مجموعة الأربعة أعضاء. ويلاحظ أن البيانات تشير إلى القيم المتوسطة السنوية. ولم تجمع البيانات النموذجية إلا في المواقع التي توجد بها رصدات. وحسبت التغييرات في هباء الكبريت بصورة تفاعلية، وحسبت التغييرات في أوزون التروبوسفير بصورة غير مباشرة باستخدام نموذج للنقل الكيماوي. وحسبت التغييرات في درجة ضياء السحب (وهو أول تأثير غير مباشر لهباء الكبريت) على أساس محاكاة غير مباشرة أدرجت بعد ذلك في النموذج. وتستند التغييرات في أوزون الستراتوسفير إلى الرصدات. وتستند التأثيرات البركانية والشمسية إلى التوليفات المنشورة للبيانات المقاسة والتقريبية. وكانت التأثيرات الصافية بشرية المنشأ في ١٩٩٠ تبلغ ١,٠ وم-٢ متضمنة تبريد صافي قدره ١,٠وم-٢ نتيجة لهباء الكبريت. وكان التأثير الطبيعي الصافي في ١٩٩٠ مقابل ١٨٦٠ يبلغ ٠,٥وم-٢، وكان التبريد الصافي في ١٩٩٢ يبلغ ٢ وم-٢ نتيجة لجبل بناتوبو. وتعطي النماذج الأخرى المدفوعة بالتأثيرات بشرية المنشأ نتائج مماثلة لتلك المبينة في (ب)

[استنادا إلى الشكل ١٢-٧]



الشكل ١٦: (أ) تقديرات "عوامل القياس" التي يتعين ضرب العديد من العلامات المستمدة من المحاكاة بالنماذج للخروج بالتغييرات المقابلة في القياسات المرصودة. وتشير الأعمدة الرأسية إلى نطاق عدم اليقين الذى يتراوح بين ٥ و٩٥٪ نتيجة للتقلبية الداخلية. ويعنى النطاق الشامل للوحدة أن هذه التوليفة من مدى التأثير والاستجابة المستمدة من المحاكاة عن طريق النماذج تتسق مع التغير المرصود المقابل في حين أن النطاق الشامل صفرا يعني أنه لا يمكن رصد هذه العلامة المستمدة من المحاكاة عن طريق النماذج وتحدد العلامات بأنها مجموعة من الاستجابات المتوسطة لتأثيرات خارجية يعبر عنها بدرجات الحرارة القريبة من السطح والواسعة النطاق (أكثر من ٥٠٠٠ كيلومتر) خلال الفترة ١٩٤٦ إلى ١٩٩٦ بالمقارنة بمتوسط الفترة ١٨٩٦ إلى ١٩٩٦. ويبين المدخل الأول (G) عامل القياس ومدى الثقة البالغ ٥ إلى ٩٥٪ المستمد على أساس الافتراض بأن الرصدات لا تشمل سوى استجابة لغازات الدفيئة بالإضافة إلى التقلبية الداخلية. والنطاق أقل بكثير من واحد (وهو ما يتسق مع النتائج المستمدة من النماذج الأخرى) مما يعني أن النماذج المدفوعة بغازات الدفيئة وحدها تبالغ كثيرا في التنبؤ بعلاقة الاحترار المرصود. وتبين المداخل الثمانية التالية عوامل القياس الخاصة بالاستجابات المستمدة من المحاكاة باستخدام النماذج لتأثيرات الدفيئة والكبريت (GS) مع حالتين، بما في ذلك تأثيرات أوزون التروبوسفير والكبريت غير المباشرة، كما تشمل إحداها استنزاف أوزون الستراتوسفير(GSI) وGSIo على التوالي). وجميع هذه النطاقات باستثناء واحدا (CGCM1) تتسق مع الوحدة. ومن هنا، فإن هناك شواهد ضئيلة على أن النماذج تبالغ أو تقلل بصورة منتظمة من التنبؤ بمدى الاستجابة المرصودة على أساس الافتراض بأن علامات GS المستمدة من المحاكاة باستخدام النماذج، والتقلبية الداخلية ممثلة بالقدر الكافي (أى أن العوامل الطبيعية ليس لها سوى تأثيرات صافية ضئيلة على هذا التشخيص). وتتسق التقلبية الباقية المرصودة مع هذا الافتراض في جميع الحالات باستثناء حالة واحدة (ECHAM3) المبينة بالنجمة). ويضطر المرء إلى وضع هذا الافتراض لإدراج النماذج التي لا يتوافر عنها سوى محاكاة للاستجابة بشرية المنشأ، إلا أن تقديرات عدم اليقين في حالات العلامات المفردة هذه غير كاملة بالنظر إلى أنها تعلل عدم اليقين الكامن في الاستجابة المدفوعة طبيعيا. غير أن هذه النطاقات تشير إلى ارتفاع مستوى الثقة التي يمكن بها رفض التقلبية الداخلية، كما تمت محاكاتها بواسطة مختلف النماذج، باعتبارها تفسير للتغير الحديث في درجات الحرارة القريبة من السطح. وتوفر المداخل الثلاثة التالية تحليلا أكثر اكتمالا لعدم اليقين يبين عوامل القياس المقابل في علامات الدفيئة الأحادية (G) والكبريت (S) والتأثيرات الشمسية بالإضافة إلى البركانية (N) والشمسية فقط (SO) والبركانية فقط (V) في هذه الحالات التي تمت فيها عمليات المحاكاة ذات الصلة. وفي هذه الحالات، تقدر العوامل المتعددة في وقت واحد لتقليل عدم اليقين في مدى الاستجابة المدفوعة طبيعيا. وتزيد حالات عدم اليقين ولكن علامة الدفيئة تظل قابلة للرصد باستمرار. وفي إحدى الحالات (ECHAM3) ، يبدو أن النموذج قد بالغ في تقدير استجابة الدفيئة (نطاق القياس في علامة (G) لا يتسق مع الوحدة)، إلا أن النتيجة حساسة للعنصر من المراقبة الذي استخدم في تحديد مكان الرصد. ومن غير المعروف كذلك كيف سيستجيب لإدراج العلامة البركانية. وفي الحالات التي تدرج فيها التأثيرات الشمسية والبركانية(HadCM2) و (HadCM3)، تظل علامتا (G) و(S) قابلتين للرصد ومتسقتين مع الوحدة بصورة منفصلة عما إذا كانت العلامات الطبيعية قد قدرت بصورة مشتركة أو منفصلة (مما يتيح أخطاء مختلفة في استجابتي S و V).

(ب) المساهمات التقديرية لمتوسط الاحترار العالمي خلال القرن العشرين استنادا إلى النتائج المبينة في (أ) مع نطاق ثقة يتراوح بين ٥ و٩٥٪. وعلى الرغم من أن هذه التقديرات تتباين اعتمادا على علامة النموذج ونوع التأثير المفترض، وأقل تأكيدا إذا قدرت أكثر من علامة، فإنها تظهر جميعا مساهمة كبيرة من تغير المناخ البشري المنشأ في احترار القرن العشرين. [استنادا إلى الشكل ١٢-١٢].

هاء – ٧ حالات عدم اليقين المتبقية فى الرصد والعزو

لقد تحقق بعض التقدم في الحد من عدم اليقين وإن كان الكثير من مصادر عدم اليقين التي تم تحديدها في تقرير التقييم الثاني مازالت قائمة وتشمل:

- الفروق بين الملامح العمودية لتغير درجات الحرارة في الغلاف الجوي الملاحظة في الرصدات والنماذج. وقد خفضت هذه الفروق مع استخدام المزيد من سجلات التأثيرات الأكثر واقعية في النماذج، وإن لم يتم تسويتها بالكامل بعد. كما لا يمكن استنساخ الاختلافات بين السطح المرصود والاتجاهات في طبقة التروبوسفير الدنيا خلال العقدين الأخيرين بصورة كاملة عن طريق المحاكاة النموذجية.
- حالات عدم اليقين واسعة النطاق في تقديرات التقلبية المناخية الداخلية من النماذج والرصدات. وعلى الرغم من أن من غير المحتمل (القريبة من غير المحتمل بشدة) أن تكون هذه الحالات كبيرة بالشكل الذي يؤدي إلى إلغاء الإدعاء بحدوث تغير في المناخ قابل للرصد.
- يسود عدم يقين كبير في عملية إعادة بناء التأثيرات الشمسية والبركانية التي تعتمد على البيانات الرصدية التقريبية أو المحدودة في جميع العقود باستثناء العقدين الأخيرين.يبدو أن رصد تأثير غازات الدفيئة على المناخ يعتمد على التضخيم المحتمل للتأثيرات الشمسية من خلال التفاعلات بين الأوزون والشمس وبين الشمس والسحب بشرط ألا تغير هذه من اعتماد الاستجابة على النمط أو الوقت.
- تربط حالات عدم يقين كبيرة في التأثيرات بشرية المنشأ بتأثيرات الهباء. ولم تدرج تأثيرات بعض العوامل بشرية المنشأ بما في ذلك الكربون العضوي، والكربون الأسود وهباء الكتلة الاحيائية والتغيرات في استخدام الأراضي في دراسات الرصد والعزو. وتتباين تقديرات حجم تأثيرات هذه العوامل ونمطها الجغرافي تباينا كبيرا على الرغم من أن التأثيرات العالمية الأحادية، تقدر بأنها صغيرة نسبيا.
- الفروق الكبيرة في استجابة مختلف النماذج لنفس التأثيرات. وتبرز هذه الفروق التي تكون في كثير من الأحيان أكبر من الفرق في الاستجابة في نفس النموذج باستخدام الهباء وعدم استخدامه، حالات عدم اليقين الكبيرة في التنبؤ بتغير المناخ والحاجة إلى وضع تقدير كمي لعدم اليقين هذا والحد منه من خلال مجموعات البيانات الرصدية وتحسين النماذج.

هاء–٨ الخلاصة

من المحتمل، فى ضوء القرائن الجديدة، وبعد مراعاة حالات عدم اليقين المتبقية، أن يكون معظم الاحترار المرصود خلال الخمسين عاما الماضية راجعا إلى الزيادة في تركيزات غازات الدفيئة.

واو – إسقاطات مناخ الأرض في المستقبل

تستخدم أدوات نماذج المناخ مع سيناريوهات عوامل التأثير في المستقبل (أي غازات الدفيئة والهباء) كمدخلات لوضع مجموعة من التغييرات المناخية المقبلة المسقطة التي تبين الاحتمالات التي قد تكمن في المستقبل. ويوفر القسم واو–١ وصفا لسيناريوهات عوامل التأثير في المستقبل الواردة في التقرير الخاص الذي وضعته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ عن سيناريوهات الانبعاثات (SRES) والتي وضعت على أساسها، حيثما يكون ممكنا، التغييرات الواردة في هذا القسم. ويقدم القسم (واو–٢) وحتى القسم (واو–٩) إسقاطات التغيير في مناخ المستقبل الناجمة عن ذلك. وأخيرا يقدم القسم (واو – ١٠) نتائج إسقاطات المستقبل استنادا إلى سيناريوهات مستقبل تثبت فيه تركيزات غازات الدفيئة.

واو–١ التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات الذي وضعته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ *(SRES)*

بدأت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ عام ١٩٩٦ في وضع مجموعة جديدة من سيناريوهات الانبعاثات وذلك لتحديث سيناريوهات IS92 المعروفة جيدا والاستعاضة بها عنها. ويرد وضع لهذه المجموعة الجديدة المعتمدة من السيناريوهات في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. وقد وضعت أربع خطوط سردية مختلفة لوصف العلاقات بين القوى الدافعة للانبعاثات وتطورها بصورة متسقة، وإضافة سياق لوضع التقدير الكمي للسيناريوهات. وتغطي مجموعة السيناريوهات الأربعين الناشئة عن هذه العملية (٣٥ منها يحتوى على بيانات عن المجموعة الكاملة للغازات اللازمة لدفع نماذج المناخ) طائفة واسعة من القوى الدافعة الديموغرافية الاقتصادية والتكنولوجية الرئيسية لانبعاثات غازات الدفيئة والكبريت. ويمثل كل سيناريو تقديرا كميا نوعيا لواحد من الوقائع المتطورة الأربعة. وجميع السيناريوهات المستندة إلى نفس الوقائع تشكل "زمرة" من السيناريوهات (انظر الاطار ٥ الذي يصف بإيجاز الخصائص الرئيسية لخطوط الوقائع الأربعة وزمرات السيناريوهات الواردة فى التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات. ولا تشمل سيناريوهات هذا التقرير المبادرات الأخرى المتعلقة بالمناخ والتي تعنى أنه لم تدرج أية سيناريوهات تفترض صراحة تنفيذ اتفاقية الأمم المتحدة الاطارية لتغير المناخ أو أهداف الانبعاثات الواردة في بروتوكول كيوتو. غير أن انبعاثات غازات الدفيئة تأثرت بصورة مباشرة بالسياسات التي لا تتعلق بتغير المناخ والتي صممت لتنفيذ طائفة واسعة من الأغراض (مثل نوعية الهواء).

وعلاوة على ذلك، تستطيع السياسات الحكومية، بدرجات متفاوتة، أن تؤثر في دوافع انبعاثات غازات الدفيئة مثل التغيير الديموغرافي، والتطور الاقتصادي والاجتماعي والتغيير التكنولوجي واستخدام الموارد وإدارة التلوث. ويظهر هذا التأثير بصورة عامة في الوقائع المنظورة والسيناريوهات الناشئة عن ذلك.

ونظرا لأن التقرير الخاص المعنى بسيناريوهات الانبعاثات لم يعتمد حتى ١٥ مارس/آذار ٢٠٠٠، فقد كان الوقت متأخرا جدا أيضا لكي تدرج دوائر وضع النماذج السيناريوهات المعتمدة النهائية في نماذجها، وإتاحة النتائج في الوقت المناسب لإدراجها في تقرير التقييم الثالث هذا. غير أنه قدمت مشروعات السيناريوهات إلى واضعي نماذج المناخ في وقت مبكر لتيسير مساهمتها في تقرير التقييم الثالث وفقا للقرار الصادر عن هيئة مكتب الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ في ١٩٩٨. وفي ذلك الوقت، اختير أحد السيناريوهات الدليلية من كل مجموعة من السيناريوهات الأربع يستند بصورة مباشرة إلى الوقائع المنظورة (ألف١ باء وألف٢ وباء١ وباء٢). واستند اختيار السيناريو الدليلي إلى التقديرات الكمية الأولية التي تعكس على أفضل وجه خط الموضوع والجوانب الخاصة بالنماذج النوعية. واحتمالات السيناريوهات الدليلية لا تختلف كثيرا عن أي من السيناريوهات الأخرى إلا أنها تعتبر توضيحا لخط موضوع معين. كما تم اختيار سيناريوهات في وقت لاحق لتوضيح المجموعتين الأخريين من السيناريوهات (ألف١–واو١ وA1T) ضمن المجموعة ألف١ التي تستكشف على وجه الخصوص التطورات التكنولوجية البديلة مع الاحتفاظ بقوى الدفع الأخرى ثابتة. ومن هنا فإن هناك سيناريو توضيحي لكل مجموعة من مجموعات السيناريوهات الست، وجميعها يحظى بنفس القدر من الموضوعية. ونظرا لأن السيناريوهين التوضيحيين الأخيرين قد اختيرا في مرحلة متأخرة من العملية، فإن نتائج نموذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات الواردة في هذا التقرير لا تستخدم سوى مشروعين من مشروعات السيناريوهات الدليلية الأربعة. وفي الوقت الحاضر، لم يستكمل سوى السيناريوهين ألف٢ وباء٢ بواحد أو أكثر من الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات. وقد عززت نتائج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات بالنتائج المستمدة من نماذج المناخ البسيطة التي تغطي جميع السيناريوهات التوضيحية الستة. كما تقدم سيناريوهات عام ١٩٩٢ في عدد من الحالات لتوفير المقارنة المباشرة مع النتائج الواردة في تقرير التقييم الثاني.

وتختلف السيناريوهات الدليلية الأربعة النهائية الواردة في التقرير الخاص SRES اختلافا طفيفا عن مشروع السيناريوهات المستخدمة في تجارب AOGCM الواردة في هذا التقرير. وحتى يمكن التأكد من التأثيرات المحتملة للاختلافات في مشروعات السيناريوهات وتلك النهائية الواردة في SRES، درس كل مشروع من مشروعات السيناريوهات الأربعة والسيناريوهات الدليلية النهائية باستخدام نموذج مناخي بسيط. وكان التغيير في درجات الحرارة في ثلاث من السيناريوهات الدليلية الأربعة (B2;A2;A1B) متماثلا بدرجة كبيرة. وكان الفارق الرئيسي في التغير في القيم المعيارية في الفترة ١٩٩٠ إلى ٢٠٠٠ والمشترك في جميع السيناريوهات. وأسفر ذلك عن تأثير أعلن فى وقت مبكر من الفترة.

وثمة فروق صغيرة أخرى في التأثير الصافي إلا أنها تنخفض حتى تصبح الفروق في تغير درجات الحرارة بحلول عام ٢١٠٠ في النسختين من هذه السيناريوهات في حدود ١ إلى ٢٪. غير أن التغيير في درجات الحرارة في السيناريو B1 أقل بدرجة كبيرة في النسخة النهائية مما يؤدي إلى فرق في تغير درجات الحرارة في ٢١٠٠ يبلغ ما يقرب من ٢٠٪ نتيجة للانخفاض العام في الانبعاثات في المجموعة الكاملة في غازات الدفيئة. ويتضمن الشكل ١٧ الانبعاثات بشرية المنشأ لغازات الدفيئة الثلاثة الرئيسية وهي ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النتروز بالإضافة إلى انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت بشرية المنشأ بالنسبة للسيناريوهات التوضيحية الستة الواردة في التقرير الخاص .SRES ومن الواضح أن هذه السيناريوهات تشمل طائفة واسعة من الانبعاثات. كما ترد الانبعاثات الخاصة بتقرير عام ١٩٩٢ (IS92a) للمقارنة. وتجدر الملاحظة بصورة خاصة الانخفاض الشديد في انبعاثات أكسيد الكبريت في سيناريوهات التقرير الخاص SRES الستة بالمقارنة بسيناريوهات تقرير ١٩٩٢ وذلك نتيجة للتغيرات الهيكلية في نظام الطاقة فضلا عن الشواغل بشأن تلوث الهواء المحلي والإقليمي.

واو–٢ إسقاطات التغييرات في المستقبل في غازات الدفيئة والهباء

تشير النماذج إلى أن السيناريوهات التوضيحية الواردة في التقرير الخاص SRES تؤدي إلى مسارات تركيز مختلفة لثاني أكسيد الكربون (انظر الشكل ١٨). فنماذج دورة الكربون تتوقع أن تبلغ تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في ٢١٠٠ مقدار ٥٤٠ إلى ٩٧٠ جزء في المليون بالنسبة لسيناريوهات التقرير الخاص التوضيحية (٩٠ إلى ٢٥٠٪ زيادة على التركيز البالغ ٢٨٠ جزء في المليون في ١٧٥٠). والتأثير الصافي للتغذية المرتدة لمناخ اليابسة والمحيطات على النحو الوارد في النماذج هو إحداث زيادة أخرى في تركيزات ثاني أكسيد الكربون المتوقعة في الغلاف الجوي من خلال خفض امتصاص اليابسة والمحيطات لثاني أكسيد الكربون، وتشمل هذه الاسقاطات التغذيات المرتدة المناخية في البيوسفير الأرضي، تباينا يتراوح بين –١٠ و٣٠٪ حول كل سيناريو. ويبلغ النطاق الكامل ٤٩٠ الى ١٢٦٠ جزء في المليون (زيادة ٧٥ إلى ٣٥٠ عن تركيز عام ١٧٥٠).

الكربون بهذه الوسيلة هي ٤٠ إلى ٧٠ جزء في المليون. وإذا أمكن إعادة تخزين جميع الكربون الذي أطلقته التغييرات التاريخية في استخدام الأراضي في البيوسفير الأرضي خلال مدار القرن (مثل من خلال إعادة التشجير)، فسوف تنخفض تركيزات ثاني أكسيد الكربون بما يتراوح بين ٤٠ و٧٠ جزء في المليون. وعلى ذلك فإن من شبه المؤكد أن تظل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناشئة عن الوقود الأحفوري تمثل العنصر المهيمن على اتجاهات تركيز ثاني أكسيد الكربون خلال هذا القرن.

تتباين الحسابات النموذجية لتركيزات غازات الدفيئة الرئيسية غير ثاني أكسيد الكربون تباينا كبيرا في عام ٢١٠٠ عبر السيناريوهات التوضيحية الستة الواردة في التقرير الخاص SRES. وعموما فإن السيناريوهات A1T; A1B;B1 تنطوي على أقل الزيادات وA1F1 و A2 أعلاها. وتتراوح التغييرات في الميثان من ١٩٩٨ إلى ٢١٠٠ بين ١٩٠٠ و +١٩٧٠ جزء في المليون (−١١ إلى + ١١٢٪) وزيادة ثاني أكسيد الكربون من +٨٣ إلى +٢٤٤ جزء في البليون (+١٢ إلى +٤٦٪) (انظر الشكل ١٧ ب و ج). ويصل HFCs (١٣٤أ و١٤٣ أ و١٢٥) تركيزات بضعة مئات الألوف من جزء فى الطن من المستويات التي لا تذكر اليوم. ويتوقع أن يزيد PFC CFA بما يتراوح بين ٢٠٠ و٤٠٠ و SF6 بنحو ٣٥ إلى ٦٥ جزء في الطن.

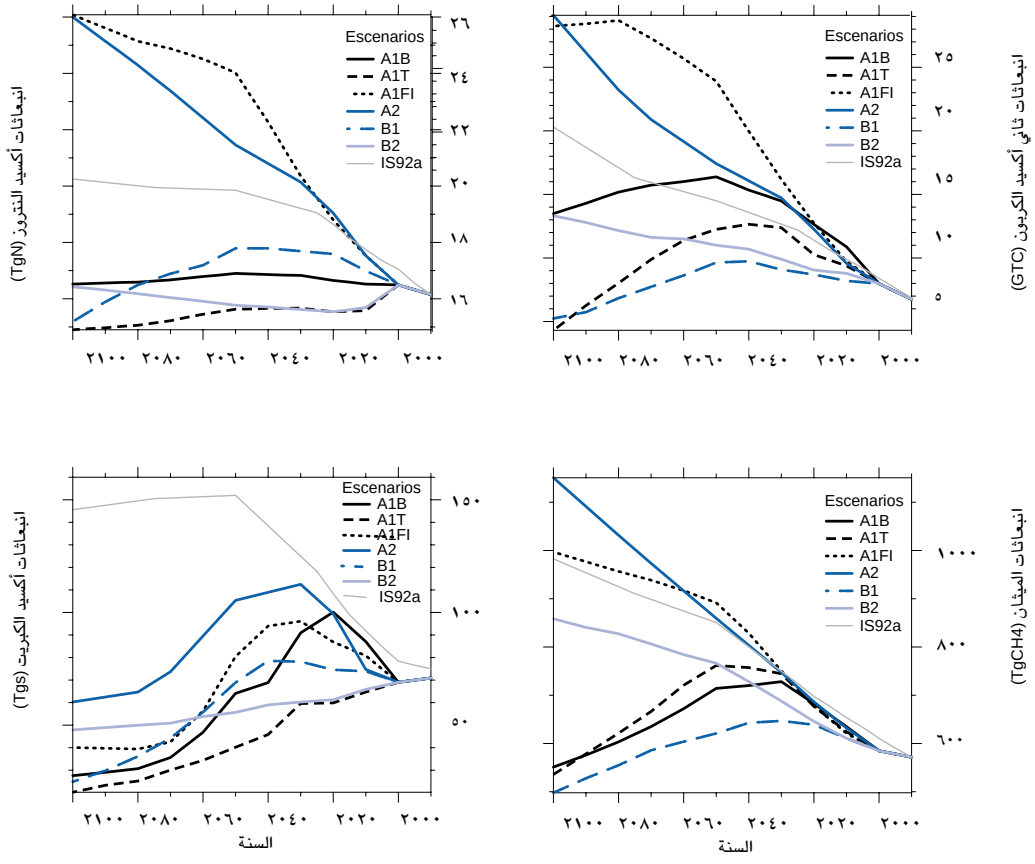
الإطار ٥: سيناريوهات الانبعاث في التقرير الخاص لسيناريوهات الانبعاثات SRES

(A1) يصف الواقع المنظور A1 وعائلة السيناريوهات عالم المستقبل الذي يتسم بالنمو الاقتصادي السريع، وعدد سكان العالم الذي يصل إلى ذروته في منتصف القرن ثم يأخذ في التناقص بعد ذلك، والتطبيق السريع للتكنولوجيا الجديدة الأكثر كفاءة. وتتباين الموضوعات الأساسية الرئيسية فيما بين الأقاليم، فبناء القدرات وزيادة التفاعلات الثقافية والاجتماعية مع احداث خفض كبير في الفروق الإقليمية الخاصة بدخل الفرد. وتتطور زمرة السيناريوهات A1 إلى ثلاثة مجموعات تصنف اتجاهات بديلة للتغييرات في التكنولوجيات في نظام الطاقة. وتتسم المجموعات الثلاثة بتركيزها التكنولوجي: مصادر الطاقة ذات الكثافة الأحفورية (A1FC) وغير الأحفورية (A1T) أو توازي بين جميع المصادر (A1B) (حيث يفسر التوازن على أنه لا يعتمد بشدة على مصدر طاقة واحد معين على أساس الافتراض بأن معدل تحسين متماثل يطبق على جميع إمدادات الطاقة وتكنولوجيات الاستخدامات النهائية).

(A2) يصف الواقع المنظور A2 وزمرة السيناريوهات ذات الصلة عالم متنافر للغاية. والموضوع الأساسي الكامن هو الاعتماد على الذات. وتتلاحم أنماط الخصوبة ببطء شديد عبر الأقاليم مما يؤدي إلى تزايد السكان بصورة مطردة. والتنمية الاقتصادية موجهة بالدرجة الأولى إقليميا كما أنها أكثر تفتتا من ناحية نصيب الفرد من النمو الاقتصادي والتغيير التكنولوجي وأكثر بطئا من خطوط الوقائع المنظورة الأخرى.

(B1) يصف الواقع المنظور وزمرة السيناريوهات B1 عالم ملتحم يعيش فيه نفس أعداد السكان الذين يصلون الذروة في منتصف القرن ثم يأخذوا في التناقص بعد ذلك كما هو الحال في الواقع المنظور A1 وإن كان مع تغيير سريع فى الهياكل الاقتصادية نحو اقتصاد للخدمات والمعلومات مع انخفاض كثافة المواد، وتطبيق تكنولوجيات نظيفة تتسم بالكفاءة من حيث استخدام الموارد. ويكون التركيز على الحلول العالمية للاستدامة الاقتصادية والاجتماعية والبيئية بما في ذلك تحسين العدالة دون أية مبادرات إضافية تتعلق بالمناخ.

(B2) الواقع المنظور وزمرة السيناريوهات في B2 تصف عالما يكون التركيز فيه على الحلول المحلية للاستدامة الاقتصادية والاجتماعية والبيئية. انه عالم يتزايد فيه السكان باطراد بمعدل يقل عما في A2 ومستويات متوسطة من التنمية الاقتصادية وتغير تكنولوجي أقل سرعة وأكثر تنوعا مما في الوقائع المنظورة في A1 و .B1 ومع أن السيناريو موجه أيضا نحو حماية البيئة والعدالة الاجتماعية فإنه يركز على المستويات المحلية والإقليمية.



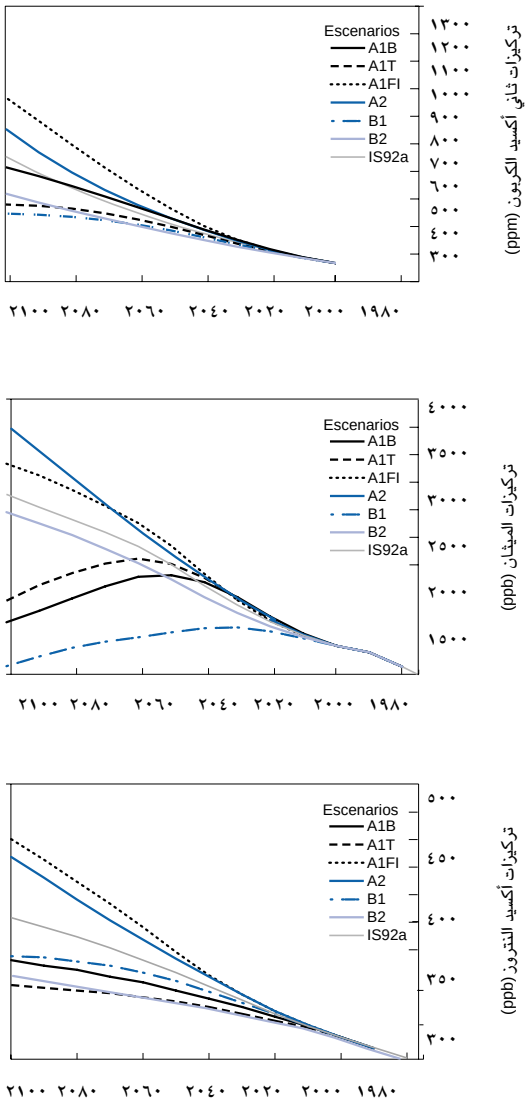
الشكل ١٧: انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النتروز بشرية المنشأ وأكسيد الكبريت بالنسبة للسيناريوهات الست الواردة في التقرير الخاصSERS (A1B, A2, B1, B2, A1FI and A1T) . وللمقارنة يرد أيضا سيناريو عام ١٩٩٢ (استنادا إلى التقرير الخاص المعنى بسيناريوهات الانبعاثات الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ) .

ويمكن أن تؤثر التدابير الرامية إلى زيادة تخزين الكربون في النظم الإيكولوجية الأرضية في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلا أن الحدود القصوى لخفض تركيز ثاني أكسيد بالنسبة لسيناريوهات الانبعاثات المسقطة من غازات الدفيئة غير المباشرة (NOx, CO, VOC) بالإضافة إلى التغييرات في الميثان إلى تغيير متوسط التركيز العالمي في شق الهيدروكسيل (OH) في الغلاف الجوي بمقدار ٢٠٪ إلى +٦٪ خلال القرن القادم. ونظرا لأهمية شق الهيدروكسيل في كيمياء التروبوسفير بما يعادل، وإن كان بعلامة معاكسة، التغييرات التي تحدث في العمر الزمني لغازات الدفيئة مثل الميثان و HFCs . ويعتمد هذا التأثير في جزء كبير منه على ضخامة انبعاثات أكسيد النتروز وثاني أكسيد الكربون والتوازن بينهما. وتحسب التغييرات في الأوزون في الغلاف الجوي والبالغ −١٢ إلى +٦٢٪ من عام ٢٠٠٠ وحتى ٢١٠٠. وأعلى الزيادات المتوقعة في القرن الحادي والعشرين هي للسيناريوهات A1F1 و A5 وستكون أكثر من ضعف ذلك الذي حدث قبل العصر الصناعي. وتعزى الزيادات في الأوزون إلى الزيادات المتزامنة والكبيرة في انبعاثات أكسيد النتروز والميثان بشرية المنشأ. وستؤدي الزيادة الكبيرة في انبعاثات غازات الدفيئة وغيرها من الملوثات بحسب المتوقع في بعض السيناريوهات التوضيحية الستة الواردة في

التقرير الخاص SRES للقرن الحادي والعشرين إلى تدهور البيئة العالمية بطريقة تتجاوز تغير المناخ. كما أن التغييرات المسقطة في السيناريوهين As و A1F1 في التقرير الخاص ستؤدي إلى تدهور نوعية الهواء في معظم أنحاء العالم من خلال زيادة المستويات الأساسية لغاز الأوزون في التروبوسفير. وفي خطوط العرض الوسطى الشمالية خلال الصيف، يبلغ متوسط الزيادة في الأوزون في المنطقة قرب السطح نحو ٣٠ جزء من البليون أو أكثر مما يزيد المستويات الأساسية إلى نحو ٨٠ جزء في البليون أو أكثر ويهدد تحقيق مواصفات جودة الهواء الحالية فوق معظم العواصم الكبرى وحتى المناطق الريفية ويضر بإنتاجية المحاصيل والغابات. وعبرت هذه المشكلة مختلف الحدود القارية وربطت بين انبعاثات أكسيد النتروز على مستوى نصف الكرة.

باستثناء الكبريت والكربون الأسود، تبين النماذج اعتماد مستقيم تقريبا لتركيزات الهباء على الانبعاثات. وتختلف العمليات التي تحدد معدل امتصاص الكربون الأسود اختلافا كبيرا فيما بين النماذج مما يؤدي إلى إثارة عدم يقين كبير بالنسبة لإسقاطات المستقبل للكربون الأسود. وقد تزيد انبعاثات الهباء الطبيعي مثل ملح البحر، والغبار، والمرحلة الغازية السابقة على الهباء مثل التيربين وأكسيد الكبريت وأكسيد كبريتيد الميثيل نتيجة للتغيرات في المناخ وكيمياء الغلاف الجوى.

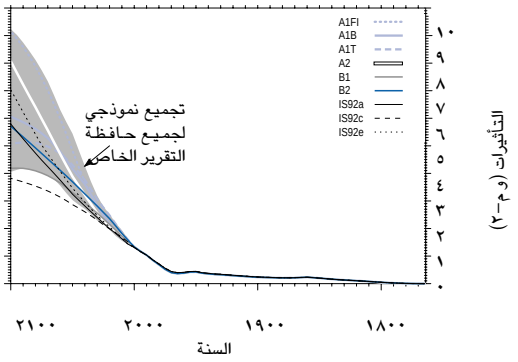
تغطي السيناريوهات التوضيحية الستة الواردة في التقرير الخاص SRES النطاق الكامل تقريبا للتأثيرات الناجمة عن المجموعة الكاملة لسيناريوهات التقرير الخاص. ويتضمن الشكل ١٩ تقديرات التأثير الاشعاعي التاريخي البشري المنشأ من ١٧٦٥ إلى ١٩٩٠ تليه التأثيرات الناشئة عن السيناريوهات الست الواردة في التقرير الخاص .SRES وترد تأثيرات المجموعة الكاملة للسيناريوهات الخمسة والثلاثين الواردة في الشكل في صورة مظروف مظلل حيث أن التأثيرات الناجمة عن السيناريوهات المختلفة تتقاطع مع الزمن. وتصنف التأثيرات المباشرة الناجمة عن هباء حرق الكتلة الاحيائية مع معدلات إزالة الغابات. وتشمل سيناريوهات التقرير الخاص احتمال زيادة أو نقص الهباء بشري المنشأ (مثل هباء الكبريت وهباء الكتلة الاحيائية وهباء الكربون الأسود والعضوي) اعتمادا على مدى استخدام الوقود الأحفوري والسياسات الخاصة بكبح الانبعاثات الملوثة. ولا تشمل سيناريوهات التقرير الخاص تقديرات الانبعاثات الخاصة بالهباء غير الكبريتي. وقد درست طريقتان لوضع إسقاطات هذه الانبعاثات في هذا التقرير: أولاهما تقيس الانبعاثات من الوقود الأحفوري وهباء الكتلة الاحيائية مع ثاني أكسيد الكربون في حين تقيس الأخرى الانبعاثات من أكسيد الكبريت وإزالة الغابات. ولم يستخدم سوى الطريقة الثانية في إسقاطات المناخ. ولأغراض المقارنة، تبين



الشكل ١٨: تركيزات ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النتروز في الغلاف الجوي الناشئة عن سيناريوهات التقرير الخاص الست ومن سيناريو ١٩٩٢ محسوبا على أساس المنهجية الحالية
[استنادا الى الشكلين ٣-١٢ و٤-١٤]

أيضا التأثيرات الاشعاعية في سيناريو عام ٩٢ . (IS92a) ومن الواضح أن نطاق السيناريوهات الجديدة في SRES قد نقل إلى أعلى بالمقارنة بسيناريوهات IS92 وكذلك إلى انبعاثات الكربون التجميعية الأكبر حجما بصورة طفيفة الواردة في بعض سيناريوهات SRES .

في جميع سيناريوهات التقرير الخاص SRES، تواصل التأثيرات الاشعاعية الناجمة عن ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النتروز والأوزون في الغلاف الجوي زيادتها مع توقع زيادة جزء من مجموع التأثيرات الاشعاعية الناجمة عن ثاني أكسيد الكربون في أكثر قليلا من النصف إلى نحو ثلاثة أرباع المجموع. وينخفض التأثير الاشعاعي الناجم عن الغازات المستنزفة للأوزون نتيجة لتطبيق ضوابط الانبعاثات التي تهدف إلى القضاء على استنزاف الأوزون في الستراتوسفير. وتتباين التأثيرات الاشعاعية (مقيمة بالمقارنة للوقت الحاضر ٢٠٠٠) للهباء المباشر (عناصر الكبريت والكربون الأسود والعضوي معا) في علامتها بالنسبة للسيناريوهات المختلفة. وتشير الإسقاطات إلى أن التأثيرات المباشرة بالإضافة إلى غير المباشرة للهباء ستكون أقل في الحجم من ثاني أكسيد الكربون. ولم توضع تقديرات للجوانب المكانية للتأثيرات في المستقبل. وأدرجت التأثيرات غير المباشرة للهباء على السحب في حسابات نموذج



الشكل ١٩: نتائج النموذج البسيط: تقديرات التأثيرات الاشعاعية التاريخية بشرية المنشأ حتى عام ٢٠٠٠ تليها التأثيرات الاشعاعية للسيناريوهات الست التوضيحية في التقرير الخاص. وتبين الظلال مجموعة التأثيرات التي تشمل كامل السيناريوهات الخامسة والثلاثين الواردة في SRES. وتبين طريقة الحساب عن نسب تلك المشروحة في الفصول. وتعتمد القيم على التأثيرات الاشعاعية لمضاعفة ثاني أكسيد الكربون من سبعة نماذج للدوران العام للغلاف الجوي والمحيطات كما ترد تأثيرات IS92a, IS92c, IS92e باتباع نفس طريقة الحساب. [استنادا إلى الشكل ٩–١٣أ]

المناخ البسيط، وقيست بصورة غير مستقيمة مع انبعاثات أكسيد الكبريت مع افتراض أن قيمة الوقت الحاضر تبلغ –٠,٨ وم–٢ مثلما ورد في تقرير التقييم الثاني.

واو – ٣ إسقاطات التغييرات المقبلة في درجات الحرارة

نتائج نموذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات

يحتمل أن تكون حساسية المناخ في حدود ١,٥ إلى ٤,٥ ه س. ولم يتغير هذا التقدير عن ذلك الوارد في تقرير التقييم الأول الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ عام ١٩٩٠ وتقرير التقييم الثاني. وحساسية المناخ هي الاستجابة المتوازية لدرجات الحرارة السطحية في العالم لضعف المعادل لتركيز ثاني أكسيد الكربون. وينشأ نطاق التقديرات عن عدم اليقين في النماذج المناخية وتغذيتها المرتدة الداخلية وخاصة تلك ذات الصلة بالسحب والعمليات المتصلة بها. ويستخدم لأول مرة في هذا التقرير الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية مصطلح الاستجابة المناخية المؤقتة TCR، وهو المصطلح الذي يعرف بأنه متوسط التغير في درجات حرارة الهواء السطحي في العالم في وقت مضاعفة ثاني أكسيد الكربون في تجربة لزيادة ثاني أكسيد الكربون بنسبة ١٪ سنويا. ويفترض أن هذا المعدل لزيادة ثاني أكسيد الكربون يمثل التأثير الاشعاعي الصادر من جميع غازات الدفيئة. وتجمع الاستجابة المناخية المؤقتة عناصر الحساسة النموذجية والعوامل التي تؤثر في الاستجابة (مثل امتصاص المحيطات للحرارة). ويبلغ مدى الاستجابة المناخية المؤقتة في نموذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات ١,١ إلى ٣,١ ه س.

غير أن إدراج التأثير المباشر للهباء الكبريتي يقلل المتوسط العالمي للاحترار في منتصف القرن الحادي والعشرين. ويتماثل نمط استجابة درجات الحرارة السطحية لنموذج معين بإضافة الهباء الكبريتي أو عدمه بدرجة أكبر عن النمط السائد بين نموذجين باستخدام نفس التأثير.

وتضع النماذج إسقاطات للتغيرات في العديد من المتغيرات المناخية واسعة النطاق. فمع تغير التأثير الإشعاعي للنظام المناخي، ترتفع درجة حرارة اليابسة بدرجة أكبر من المحيطات ويسود احترار نسبي أكبر عند خطوط العرض القطبية. وتتوقع النماذج زيادات أصغر في درجات حرارة الهواء السطحي في شمال الأطلسي ومناطق المحيط الجنوبي القطبية بالمقارنة بالمتوسط العالمي. ويتوقع حدوث انخفاض في مدى درجات الحرارة النهارية في الكثير من المناطق مع زيادة درجات الحرارة الصغرى الليلية بأكثر من درجات الحرارة القصوى النهارية. ويبين عدد من النماذج انخفاضا عاما في التقلبية اليومية لدرجات حرارة الهواء السطحي في الشتاء وزيادة التقلبية اليومية في الصيف في مناطق اليابسة في نصف الكرة الأرضية الشمالي. ويتوقع مع احترار المناخ، تقلص الغطاء الثلجي وصفيحة الجليد البحري في نصف الكرة الشمالي. ويتسق الكثير من هذه التغيرات مع الاتجاهات الرصدية الأخيرة على النحو الوارد في القسم باء.

تستخدم مجموعة نماذج متعددة في محاكاة نموذج الدوران العام في الغلاف الجوى والمحيطات لطائفة من السيناريوهات لوضع تقدير كمي لمتوسط تغير المناخ، وعدم اليقين المستند إلى مجموعة من النتائج النموذجية. ويبلغ متوسط التغير في متوسط درجة حرارة الهواء السطحي في العالم في نهاية القرن الحادي والعشرين (٢٠٧١ إلى ٢١٠٠) بالمقارنة بالفترة ١٩٦١ إلى ١٩٩٠ مقدار ٣,٠ ه س (مع مدى يتراوح بين ١,٣ إلى ٤,٥ ه س) بالنسبة لمشروع السيناريو الدليلي و٢,٢ ه (مع مدى يتراوح بين ٠,٩ إلى ٣,٤ ه س) بالنسبة لمشروع السيناريو الدليلي B2. ويحقق السيناريو B2 احترارا أقل يتسق مع معدله المنخفض من الزيادة في تركيز ثاني أكسيد الكربون.

وعلى أساس النطاق الزمني البالغ بضعة عقود، يمكن استخدام معدل الاحترار المرصود الحالي لكبح الاستجابة المتوقعة لسيناريو انبعاثات معينة على الرغم من عدم اليقين في حساسية المناخ. ويشير تحليل النماذج البسيطة والمقارنات بين استجابات نموذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات لسيناريوهات التأثيرات المثلى أن من المحتمل أن تزيد الأخطاء في إسقاطات درجات الحرارة واسعة النطاق، في معظم السيناريوهات خلال العقود القادمة، بالتناسب مع حجم الاستجابة العامة. وهكذا، فإن الحجم التقديري لمعدلات الاحترار الحالية المرصودة التي تعزى إلى التأثيرات البشرية وما يحيط بها من عدم يقين توفر تقديرا منفصلا نسبيا عن النماذج لعدم اليقين في الإسقاطات متعددة العقود في إطار معظم السيناريوهات. ومن المحتمل، اتساقا مع الرصدات الأخيرة، أن يكون الاحترار البشري المنشأ، في حدود ٠,١ إلى ٠,٢ ه س في العقد الواحد خلال العقود القليلة القادمة في إطار السيناريو IS92a. ويتماثل ذلك مع نطاق الاستجابات لهذا السيناريو استنادا إلى النسخ السبع للنموذج البسيط المستخدم في الشكل ٢٢.

معظم جوانب الاستجابة الجغرافية في تجارب سيناريو التقرير الخاص SRES تتماثل مع السيناريوهات المختلفة (انظر الشكل ٢٠)، وتتماثل مع تكاملات الزيادة المثلى في ثاني أكسيد الكربون البالغة ١٪. وأكبر فرق بين تجارب الزيادة في ثاني أكسيد الكربون بنسبة ١ ٪ بدون أي هباء كبريتي، وتجارب التقرير الخاص SRES هو الاعتدال الإقليمي للاحترار في المناطق الصناعية في تجارب التقرير الخاص حيث يكون التأثير السالب الناجم عن الهباء الكبريتي في أقصى حالاته. وقد أشير إلى هذا التأثير الإقليمي في تقرير التقييم الثاني بالنسبة لنموذجين فقط، إلا أن ذلك أظهر الآن أنه استجابة مستمرة في عدد أكبر من النماذج التي وضعت في فترة قريبة.

من المحتمل بشدة أن ترتفع درجة حرارة جميع مناطق اليابسة تقريبا بوتيرة أسرع من المتوسط العالمي وخاصة تلك الواقعة على خطوط العرض القطبية في الفصل البارد. وتشير النتائج (انظر الشكل ٢١) المستمدة من عمليات المحاكاة الأخيرة لنموذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات والمدفوعة بسيناريوهي الانبعاثات A1 و B2 في التقرير الخاص SRES إلى أن الاحترار في فصل الشتاء في جميع المناطق الشمالية عند خطوط العرض القطبية يتجاوز متوسط الاحترار العالمي في كل نموذج بأكثر من ٤٠٪ (١,٣ إلى ٦,٣ ه س لمجموعة النماذج والسيناريوهات قيد الدراسة). وفي الصيف، بتجاوز الاحترار ٤٠٪ فوق متوسط التغير العالمي في وسط شمالي آسيا. ولا تبين النماذج باستمرار احترارا أقل من المتوسط العالمي إلا في جنوب آسيا وجنوبي أمريكا الجنوبية في أشهر يونيو/حزيران ويوليو/تموز وأغسطس/آب.

نتائج النموذج المناخي البسيط

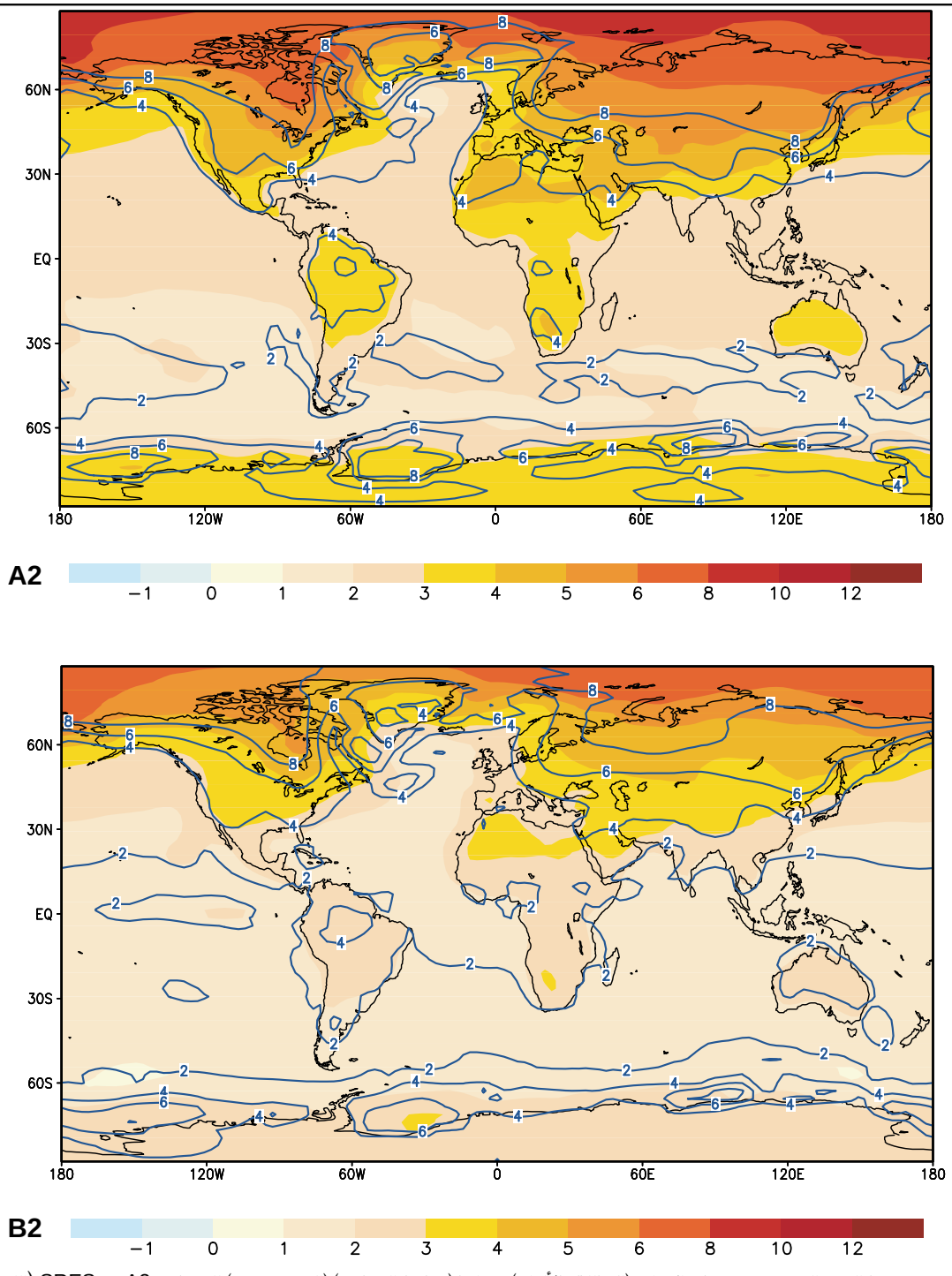
لا يمكن بسبب مصروفات الحسابات، تشغيل نموذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات إلا بالنسبة لعدد محدود من السيناريوهات. ويمكن تضخيم النموذج البسيط لتمثيل استجابة نموذج الدوران العام المتوسطة عالميا وتشغيله لخدمة عدد أكبر بكثير من السيناريوهات.

ويتوقع أن يزيد المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية بما يتراوح بين ١,٤ إلى ٥,٨ ه س (الشكل ٢٢ أ) خلال الفترة ١٩٩٠ إلى ٢١٠٠. وتسري هذه النتائج على النطاق الكامل للسيناريوهات الخمسة والثلاثين الواردة في التقرير الخاص SRES استنادا إلى عدد من النماذج المناخية[٦] [٧]. ويتوقع أن تكون الزيادة في درجات الحرارة أعلى من تلك الواردة في تقرير التقييم الثاني التي كانت تتراوح بين ١,٠ و ٣,٥ ه س استنادا إلى السيناريوهات الستة لعام IS92. ويعزى الارتفاع المتوقع في درجة الحرارة واتساع نطاقها بالدرجة الأولى إلى الانخفاض المتوقع في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في سيناريوهات SRES بالمقارنة بتلك الواردة في سيناريوهات IS92. ويزيد معدل الاحترار المتوقع كثيرا عن التغيرات المرصودة خلال القرن العشرين ومن المحتمل جدا أن تكون غير مسبوقة خلال العشرة آلاف سنة الأخيرة على الأقل استنادا إلى بيانات المناخ القديم.

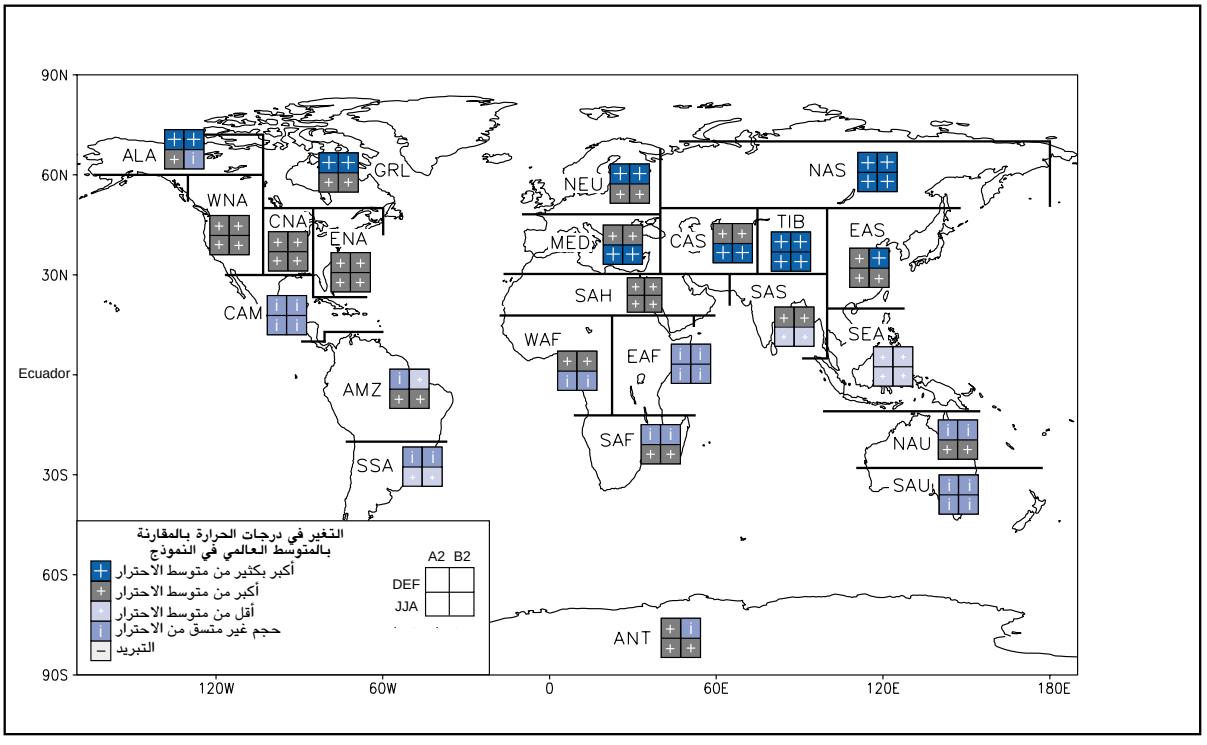
يتغير التصنيف النسبي لسيناريوهات SRES من حيث متوسط التغييرات في درجات الحرارة بمرور الوقت. وعلى وجه الخصوص، فإن انبعاثات أكسيد الكبريت تكون أكثر ارتفاعا أيضا في السيناريوهات التي تنطوي على زيادة استخدام الوقود الأحفوري (ومن ثم ارتفاع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أي A2). وفي المدى القريب (نحو ٢٠٥٠) ستقلل التأثيرات التبريدية لارتفاع انبعاثات أكسيد الكبريت بدرجة كبيرة من الأضرار الناجمة عن زيادة انبعاثات غازات الدفيئة في سيناريوهات مثل A2.

(٦) النماذج المناخية المعتمدة على أسس فيزيائية معقدة هي الأداة الرئيسية لإسقاط المناخ في المستقبل. وسعيا إلى استكشاف طائفة السيناريوهات، استكملت هذه بنماذج مناخية بسيطة جرى تضخيمها لادرار استجابة في درجات الحرارة ومستوى سطح البحر تعادل النماذج المناخية المعقدة. وتستخلص هذه الإسقاطات باستخدام نموذج مناخي بسيط تضخم الحساسية المناخية وامتصاص الحرارة من جانب المحيطات فيه لكل نموذج من النماذج المناخية السبعة المعقدة. وتتراوح الحساسية المناخية المستخدمة في النموذج البسيط من ١,٧ إلى ٤,٢ ه س وهو ما يماثل النطاق المقبول عموما البالغ ١,٥ إلى ٤,٥ ه س.

(٧) لا يشمل هذا النطاق حالات عدم اليقين التي تنطوي على وضع نماذج التأثير الحراري مثل عدم اليقين المحيط بتأثير الهباء. وأدرجت دورة كربونية صغيرة في شكل تغذية مرتدة في المناخ.



الشكل ٢٠: متوسط التغير السنوي في درجات الحرارة (المظللة بالألوان) ومداها (خطوط التساوي) (الوحدة : ه س) للسيناريو A2 في SRES (اللوحة العليا) والسيناريو B2 في SRES (اللوحة السفلى). ويبين كلا السيناريوهين الفترة ٢٠٧١ إلى ٢١٠٠ بالمقارنة بالفترة ١٩٦١ إلى ١٩٩٠ ونفذت من خلال نماذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات. [استنادا الى الشكلين ٩–١٠د و٩–١٠و]



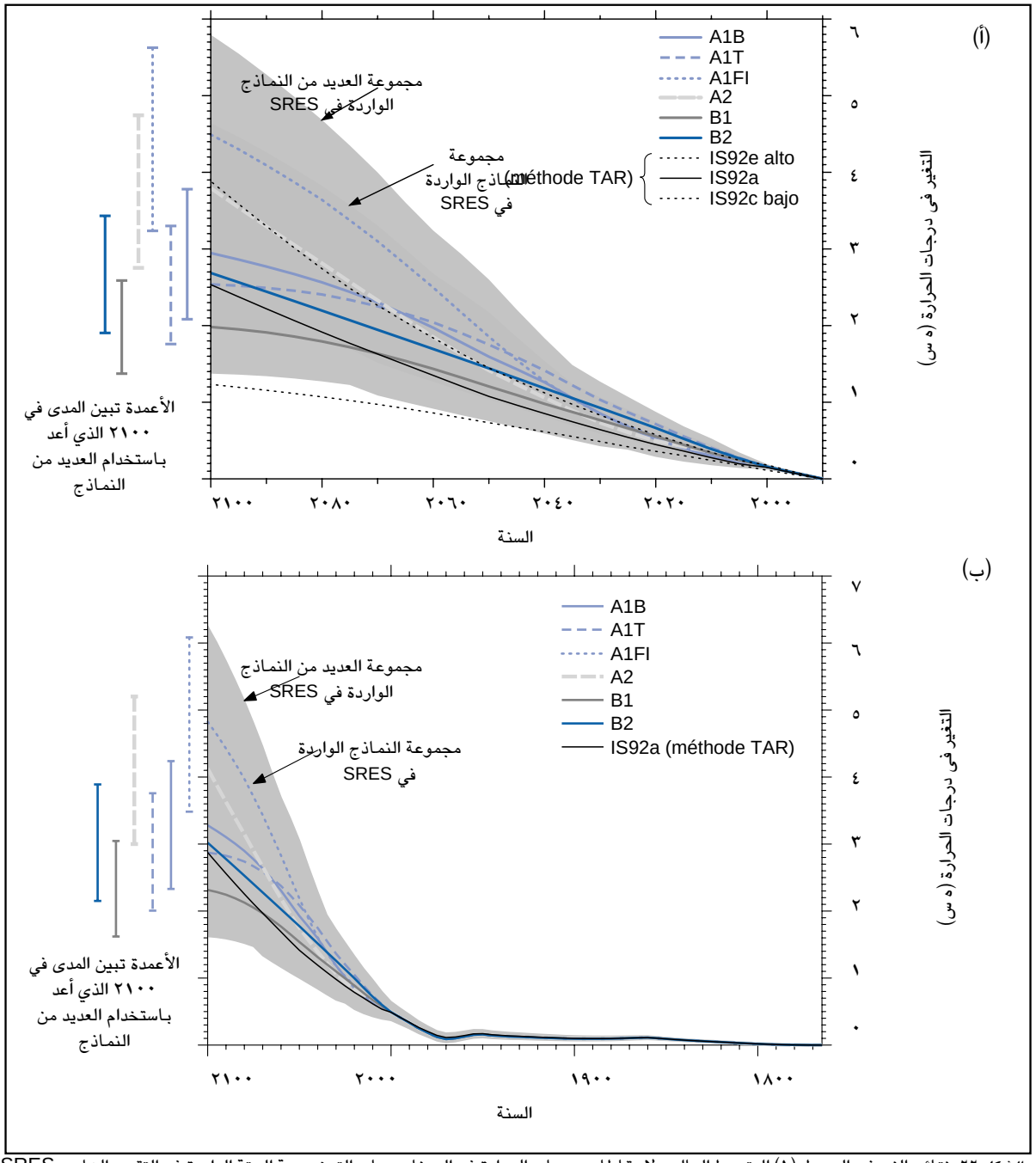
الشكل ٢١: تحليل للاتساق بين النماذج فيما بين الاحترار النسبي الاقليمي (الاحترار بالمقارنة بالمتوسط العالمي للاحترار فى كل نموذج). وقد صنفت الأقاليم على أساس أنها توافق على احترار يزيد على ٤٠٪ من المتوسط العالمي (أكبر بكثير من متوسط الاحترار)، أو على احترار يزيد عن المتوسط العالمي (أكبر من متوسط الاحترار) أو توافق على احترار أقل من المتوسط العالمي "(أقل من متوسط الاحترار)" أو عدم اتفاق بين النماذج على ضخامة الاحترار النسبي الاقليمي (زحجم غير متسق من الاحترارس). كما أن هناك فئة للموافقة على التبريد (الذى لم يحدث اطلاقا). ويعتبر أن النتائج المتسقة مما لا يقل عن سبعة من النماذج التسعة أمر ضروري للاتفاق. ويستخدم المتوسط السنوي العالمي للاحترار في النماذج نطاق ١,٢ إلى ٤,٥ ه س بالنسبة للسيناريو A2 و ٠,٩ إلى ٣,٤ ه س للسيناريو B2، ولذا فإن النطاق الإقليمي البالغ ٤٠٪ يمثل نطاقات احترار تتراوح بين ١,٧ و٦,٣ ه س للسيناريو A2 و١,٣ إلى ٤,٧ ه س للسيناريو B2.
[استنادا الى الفصل ١٠ والاطار ١ والشكل ١].

ويظهر التأثير المعاكس في السيناريوهين B1 و B2 اللذين تنخفض فيهما انبعاثات الوقود الأحفوري وانبعاثات أكسيد الكبريت مما يؤدي إلى زيادة الاحترار في المستقبل القريب. غير أن مستوى انبعاثات غازات الدفيئة طويلة البقاء مثل ثاني أكسيد الكربون وأكسيد النتروز في المدى البعيد يصبح العامل المهيمن على التغيرات المناخية الناجمة عن ذلك.

بحلول عام ٢١٠٠، تسهم الفروق في الانبعاثات فيما بين سيناريوهات التقرير الخاص SRES ومختلف استجابات نماذج المناخ بقدر من عدم اليقين مماثل في مدى تغير درجة حرارة العالم. وتنشأ حالات عدم يقين أخرى نتيجة لعدم اليقين المحيط بالتأثير الإشعاعي. وتتعلق أكبر حالات عدم اليقين المحيطة بالتأثير بهباء الكبريت.

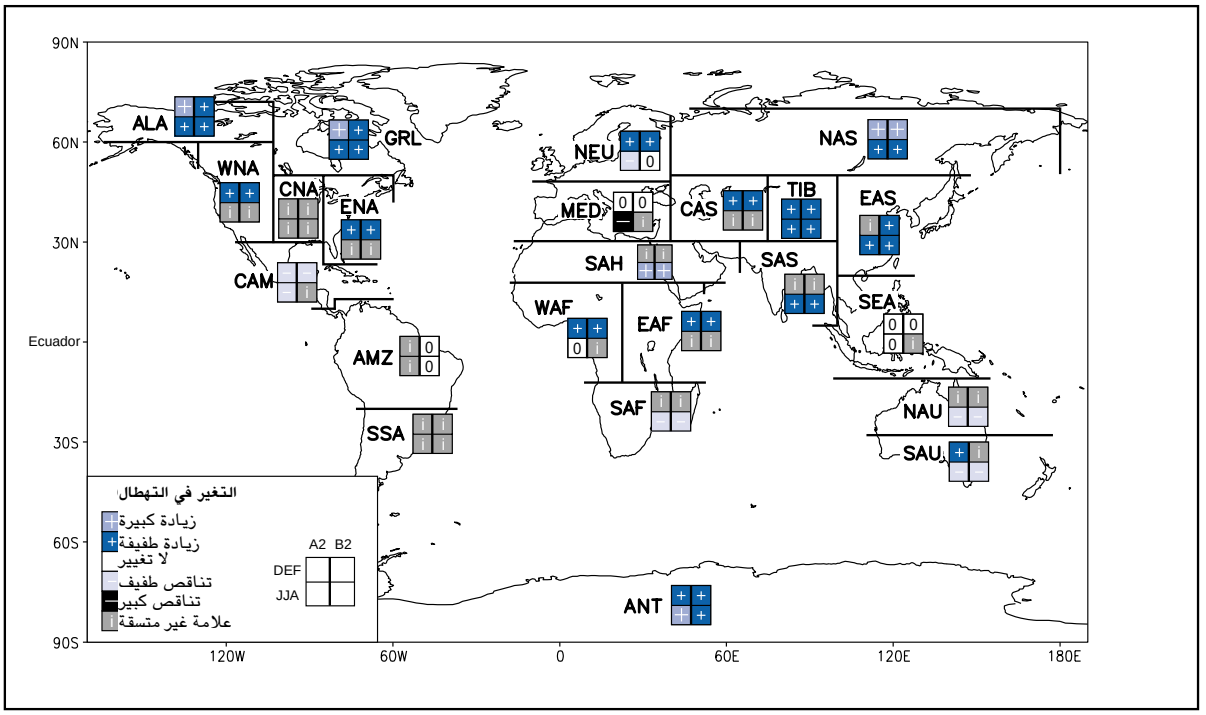
واو – ٤ إسقاطات التغييرات في التهطال في المستقبل

يتوقع أن يزيد المتوسط العالمي لبخار الماء، والبخر والتهطال. فعلى المستوى الإقليمي، يتوقع حدوث كل من الزيادة والنقص في التهطال. إذ تشير النتائج (انظر الشكل ٢٣) من عمليات محاكاة نموذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات المدفوعة بالسيناريوهين A2 وB2 الخاصين بالانبعاثات والواردين في التقرير الخاص SRES إلى أن من المحتمل أن يزيد التهطال في الصيف وفي الشتاء في أقاليم خطوط العرض القطبية. وتتوقع أيضا زيادات، في فصل الشتاء، في خطوط العرض المتوسطة الشمالية، وأفريقيا المدارية والمنطقة القطبية الجنوبية، في حين يظهر تناقص مستمر فى هطول الأمطار الشتوية في جنوبي وشرقي آسيا، واستراليا، وأمريكا الوسطى، وأفريقيا الجنوبية في فصل الصيف.



الشكل ٢٢: نتائج النموذج البسيط: (١) المتوسط العالمي لإسقاطات درجات الحرارة في السيناريوهات التوضيحية الستة الواردة في التقرير الخاص SRES باستخدام نموذج مناخي بسيط متوائم مع عدد من النماذج المعقدة ذات نطاق من الحساسية المناخية. ولأغراض المقارنة أيضا، ترد النتائج الخاصة بسيناريو IS92a. ويمثل التظليل الغامق عرض المجموعة الكاملة للسيناريوهات البالغ عددها ٣٥ الواردة في تقرير SRES باستخدام متوسط نتائج النموذج (متوسط الحساسية المناخية يبلغ ٢,٨ ه س). أما التظليل الفاتح فيمثل العرض المستند إلى جميع الاسقاطات النموذجية السبعة (مع حساسية مناخية تتراوح بين ١,٧ إلى ٤,٢ ه س) وتبين الأعمدة، لكل من السيناريوهات التوضيحية الستة، مجموعة نتائج النموذج البسيط في ٢١٠٠ بالنسبة لحالات التكيف النموذجية السبع لنموذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات (ب) نفس الشئ مثل (أ) إلا أنه تستخدم أيضا النتائج المستخدمة لتقديرات التأثيرات بشرية المصدر التاريخية.
[استنادا إلى الشكلين ٩-١٤ و٩-١٣ب].

استنادا إلى الأنماط الناشئة عن عدد محدود من الدراسات باستخدام نماذج الدوران العام الحالية في الغلاف الجوي والمحيطات ونماذج الدوران العام القديمة ودراسات التوزيع الإقليمي، ثمة ارتباط قوى بين التهطال والتقلبية فيما بين السنوات ومتوسط التهطال. ومن المحتمل أن تؤدي الزيادات في متوسط التهطال في المستقبل إلى زيادات في التقلبية. وعلى العكس من ذلك، فإن التقلبية التهطالية قد لا تتناقص إلا في المناطق التي ينخفض فيها متوسط التهطال.



الشكل ٢٣: تحليل الاتساق بين النماذج فيما يتعلق بتغير التهطال الإقليمي. وتصنف الأقاليم على أساس إما اتفاق على الزيادة في متوسط تغيير يفوق ٢٠ ٪ (الزيادات الكبيرة)، الاتفاق على زيادة بمتوسط تغيير يتراوح بين ٥ و٢٠٪ (زيادات طفيفة)، الاتفاق على تغيير بين –٥ و–٢٠٪ (تناقص طفيف)، الاتفاق على تناقص بمتوسط تغيير يقل عن –٢٠٪ (التناقص الكبير) أو اختلاف (علامة غير متسقة). ويعتبر أن النتائج المتسقة مما لا يقل عن سبعة من النماذج التسع أمر ضروري للاتفاق.
[استنادا إلى الفصل ١٠، الاطار ١ والشكل٢].

واو – ٥ إسقاطات التغييرات في الأحداث المتطرفة في المستقبل

لم يحدث مؤخرا أن عقدت مقارنة بين التغيرات في الأحداث المتطرفة في الطقس والمناخ المرصودة حتى الآن والتغييرات التي توقعتها النماذج (الجدول ٤). من المحتمل بشدة أن تتزايد أيام الحر والموجات الحارة في جميع مناطق اليابسة تقريبا. ويتوقع أن تكون هذه الزيادات الأكبر في المناطق التي يحدث فيها تناقص في رطوبة التربة بالدرجة الأولى. ويتوقع أن تزيد درجات الحرارة الدنيا اليومية فوق جميع مناطق اليابسة تقريبا، وستكون أكثر من مناطق انحسار الثلوج والجليد. ومن المحتمل جدا أن تقل أيام الصقيع والموجات الباردة. ويتوقع أن تؤدي التغييرات في درجة حرارة الهواء السطحي والرطوبة المطلقة السطحية إلى زيادة دليل الحرارة (الذي يعتبر مقياسا للتأثيرات المجتمعة لدرجة الحرارة والرطوبة) كما يتوقع أن تؤدي الزيادة في درجة حرارة الهواء السطحي إلى زيادة "أيام درجة البرودة" التي هي مقياس لكمية التبريد اللازمة في يوم معين "أيام درجة السخونة". ويتوقع أن تزيد أحداث تطرف التهطال بأكثر من المتوسط، وأن تزيد شدة أحداث التهطال. ويتوقع أن تزيد وتيرة احداث التهطال في كل مكان تقريبا. ويتوقع أن يحدث جفاف عام في مناطق وسط القارات خلال الصيف.

الجدول ٤: تقديرات الثقة في التغيرات المرصودة والمسقطة في احداث الطقس والمناخ المتطرفة. ويتضمن الجدول تقييما للثقة في التغيرات المرصودة في أحداث الطقس والمناخ المتطرفة خلال النصف الأخير من القرن العشرين (العمود إلى اليسار)، وفي التغيرات المسقطة خلال القرن الحادي والعشرين (العمود إلى اليمين)[أ]. ويعتمد هذا التقييم على الدراسات الرصدية والنموذجية فضلا عن الموضوعية الفيزيائية لإسقاطات المستقبل في جميع السيناريوهات المستخدمة بصورة مشتركة، وتستند إلى تقديرات الخبراء (انظر الحاشية ٤) [استنادا إلى الجدول ٩-٦].

الثقة في التغييرات المرصودة (في النصف الأخير من القرن العشرين)	التغييرات في الظاهرة	الثقة في التغييرات المسقطة (خلال القرن الحادي والعشرين)
مرجح	**درجة حرارة قصوى أعلى وأيام أشد حرارة في جميع مناطق اليابسة تقريبا**	مرجح جدا
مرجح جدا	**زيادة درجة الحرارة الدنيا وانخفاض عدد أيام البرودة والصقيع في جميع مناطق اليابسة تقريبا**	مرجح جدا
مرجح جدا	**انخفاض نطاق درجات الحرارة النهارية في معظم المناطق**	مرجح جدا
مرجح فوق الكثير من المناطق	**زيادة مؤشر الحرارة في مناطق اليابسة وتزايد شدة التهطال** [ب]	مرجح جدا فوق بعض المناطق
مرجح فوق الكثير من مناطق نصف الكرة الشمالي ومناطق اليابسة متوسطة الارتفاع والقطبية	**زيادة أحداث التهطال أكثر شدة**	مرجح جدا فوق الكثير من المناطق
مرجح في عدد قليل من المناطق	**زيادة الجفاف القاري الصيفي وما يرتبط بذلك من مخاطر الجفاف**	مرجح في معظم المناطق الداخلية القارية متوسطة الارتفاع. (نقص الاسقاطات المتسقة في المناطق الأخرى)
لم ترصد في التحاليل القليلة المرصودة	**زيادة عنف الرياح الأعاصيرية المدارية** [ج]	مرجح فوق بعض المناطق
بيانات غير كافية للتقييم	**زيادة متوسط الأعاصير المدارية وشدة كميات التهطال القصوى**	مرجح فوق بعض المناطق

(أ) لمزيد من التفاصيل، انظر الفصل الثاني (الرصدات) والفصل التاسع (الاسقاطات).
(ب) بالنسبة للمناطق الأخرى إما أن البيانات غير كافية أو التحليلات متناقضة.
(ج) التغييرات المناخية والمستقبلية في مواقع الأعاصير المدارية ووتيرتها غير مؤكدة.

ويعزى ذلك إلى اجتماع زيادة درجة الحرارة واحتمالات البخر التي لا توازيها الزيادات في التهطال. ولا يوجد اتفاق كبير بين النماذج فيما يتعلق بالتغييرات في المستقبل في شدة عواصف خطوط العرض المتوسطة ، ووتيرتها وتقلبها. ولا يوجد دليل متسق كثيرا يبين التغييرات في الوتيرة المسقطة للأعاصير المدارية ومناطق تكونها. غير أن بعض قياسات الشدة تبين زيادة متوقعة، كما تشير بعض الدراسات النظرية والنموذجية إلى احتمال تزايد الحد الأعلى لهذه الشدة. ومن المحتمل أن يزيد متوسط وذروة شدة التهطال الناشئة عن الأعاصير المدارية زيادة ملموسة.

وبالنسبة لبعض الظواهر المتطرفة الأخرى، التي قد يكون للكثير منها تأثيرات هامة على البيئة والمجتمع، لا تتوفر الآن معلومات كافية لتقدير الاتجاهات الحدثية، كما أن الثقة في النماذج والفهم غير كافيين لوضع إسقاطات مؤكدة. فعلى وجه الخصوص، فإن ظاهرة على نطاق صغير للغاية مثل العواصف الرعدية والدوامات، والبرد والبرق لا يجري محاكاتها بالنماذج العالمية. فلم يجر تحليل كاف للطريقة التي قد تتغير بها الأعاصير خارج المنطقة المدارية.

واو – ٦ إسقاطات التغييرات في الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي في المحيط

تظهر معظم النماذج ضعفا في الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي في المحيط في نصف الكرة الأرضية الشمالي يعزى إلى انخفاض احترار السطح في المنطقة الشمالية من شمال الأطلسي. وحتى في النماذج التي يضعف فيها هذا الدوران، يظل هناك احترار فوق أوروبا نتيجة لزيادة غازات الدفيئة. ويتوقع، في التجارب التي يستقر فيها غاز الدفيئة في الغلاف الجوي عند ضعف قيمته في الوقت الحاضر، أن ينتعش الدوران من الضعف الذي كان في البداية في غضون قرن إلى عدة قرون. ويمكن أن ينهار الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي في المحيط كلية في أي من نصف الكرة إذا كان معدل التغير في التأثير الإشعاعي كبيرا بدرجة كافية، وطبق لفترة طويلة كافية. وتشير النماذج إلى أن انخفاض الدوران يقلل من مقاومته للاضطرابات. أي بمجرد أن يظهر أن الدوران المنخفض قد أصبح أقل استقرارا، ويصبح توقفه أمرا محتملا. غير أن من السابق لأوانه القول بثقة ما إذا كان انهيار هذا الدوران أمرا محتملا من عدمه أو عند أي مستوى قد يحدث ذلك، وما هي الانعكاسات التي قد تحدث بالنسبة للمناخ. فلا يبين أي من الاسقاطات الحالية بالنماذج المترابطة أن توقف كامل لهذا الدوران بحلول عام ٢١٠٠. فعلى الرغم من أن دوران شمال الأطلسي يضعف في معظم النماذج، فإن أدواره النسبية في الحرارة السطحية وتدفقات المياه العذبة تتباين من نموذج لآخر. ويبدو أن التغيرات في إجهاد الرياح لا تضطلع إلا بدور بسيط في الاستجابة المؤقتة.

واو – ٧ إسقاطات التغييرات في طرق التقلبية الطبيعية في المستقبل

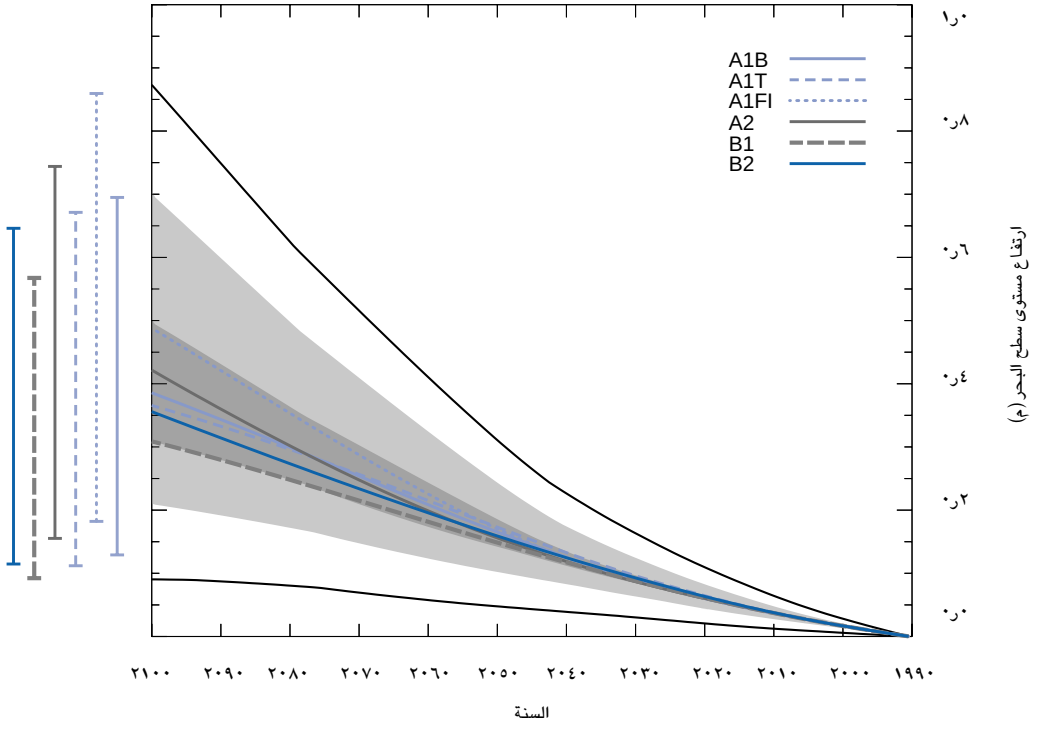
تبين الكثير من النماذج متوسط استجابة مشابه النينيو في المناطق المدارية من المحيط الهادئ مع توقع ارتفاع درجات حرارة سطح البحر في المناطق الاستوائية الوسطى والشرقية من المحيط الهادئ بدرجة أكبر من تلك السائدة في المناطق الاستوائية الغربية من المحيط الهادئ، وبمتوسط تحول مقابل نحو الشرق في التهطال. وعلى الرغم من أن كثيرا من النماذج تظهر تغيرا مشابها لظاهرة النينيو في الحالة المتوسطة لدرجات حرارة سطح البحر في المناطق المدارية من المحيط الهادئ، فإن سبب ذلك يحيط به عدم اليقين. فقد ربط بالتغيرات في التأثير الاشعاعي للسحب و/أو التضاؤل البخري لعنصر درجة حرارة سطح البحر في الشرق والغرب في بعض النماذج. وتقل الثقة في إسقاطات التغيير في وتيرة أحداث النينيو ومداها وأنماطها المكانية في المستقبل نتيجة لبعض القصور في الطريقة التي تم بها محاكاة ظاهرة النينيو في النماذج المعقدة. وتبين الاسقاطات الحالية تغييرا طفيفا أو زيادة ضئيلة في مدى أحداث ظاهرة النينيو خلال المائة عام القادمة. غير أنه حتى مع حدوث تغيير ضئيل أو عدم حدوث أي تغيير في مدى النينيو، فإن من المحتمل أن يؤدي احترار العالم إلى احداث حالات تطرق أكبر فى الجفاف وغزارة الأمطار، وزيادة مخاطر الجفاف والفيضانات التى تترافق مع أحداث النينيو فى كثير من المناطق. كما أن من المحتمل أن يؤدي الاحترار المرتبط بزيادة تركيزات غازات الدفيئة إلى زيادة تقلبية التهطال الموسمي في فصل الصيف في آسيا وتعتمد التغيرات في متوسط مدة الرياح الموسمية وقوتها على تفاصيل سيناريو الانبعاثات. فالثقة في هذه الاسقاطات محدودة بقدرة نماذج المناخ على محاكاة التطور الموسمي المفصل للرياح الموسمية.

ولا يوجد اتفاق واضح على التغييرات في وتيرة أو هيكل طرق التقلبية التي تحدث طبيعيا مثل تذبذبات شمالي الأطلس أي أن حجم وشكل التغيرات يتباين عبر النماذج.

واو – ٨ إسقاطات التغييرات في الجليد الأرضي (الجليديات، والغطاء الجليدي، والصفائح الجليدية) والجليد البحري والغطاء الثلجي في المستقبل

ستواصل الجليديات والغطاء الجليدي انحسارها على نطاق واسع خلال القرن الحادي والعشرين، ويتوقع أن يتناقص مرة أخرى الغطاء الثلجي والجليد البحري في نصف الكرة الأرضية الشمالي. وقد استحدثت طرق مؤخرا لتقدير الجليديات التي تذوب نتيجة للأنماط الموسمية والجغرافية لتغير درجة حرارة الهواء السطحي التي يتم الحصول عليها من تجارب نموذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات.

وتشير دراسات وضع النماذج إلى أن تطور الكتلة الجليدية تحكمه أساسا التغيرات في درجات الحرارة وليس التغيرات في التهطال بالنسبة للمتوسط العالمي. فقد اجتذبت الصحيفة الجليدية في غربي المنطقة القطبية الشمالية اهتماما خاصا نتيجة لاحتوائها على قدر من الجليد يكفي لرفع مستوى سطح البحر بنحو ٦ أمتار وبسبب الاشارات إلى أن عدم الاستقرار المرتبط بهبوطها إلى تحت سطح البحر قد يؤدي إلى تصرف جليدي سريع عندما تضعف الجروف الجليدية المحيطة. غير أن من المتفق عليه الآن على نطاق واسع أن من غير المحتمل بشدة أن تؤدي خسارة الجليد الأرضي إلى ارتفاع كبير في مستوى سطح البحر من هذا المصدر خلال القرن الحادي والعشرين على الرغم من أن ديناميته لم تفهم بعد بصورة كافية وخاصة لوضع إسقاطات للنطاقات الزمنية الأطول.



الشكل ٢٤: المتوسط العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر خلال الفترة ١٩٩٠–٢١٠٠ في سيناريوهات التقرير الخاص SRES . حسبت التغيرات في الزيادة الحرارية والجليد الأرضي باستخدام نموذج مناخ بسيط جرى تصميمه بصورة منفصلة لكل نموذج من النماذج السبعة الخاصة بالدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات، وأضيفت مساهمات من التغيرات في الجليد الدائم وتأثيرات الترسبات الدائمة والتعديلات طويلة الأجل في الصفائح الجليدية مع التغير المناخي السابق. وكل خط من الخطوط الستة الظاهر في المناخ يمثل متوسط نماذج الدوران العام في سيناريو من السيناريوهات التوضيحية الستة. وتبين منطقة الظلال الداكنة مدى متوسط نماذج الدوران العام في جميع السيناريوهات الخمسة والثلاثين الواردة في التقرير الخاص SRES .أما المنطقة المظللة بصورة أفتح فتبين مدى جميع نماذج الدوران العام في جميع السيناريوهات الخمسة والثلاثين. أما المنطقة المحددة بالخطوط الخارجية فتبين مدى جميع نماذج الدوران العام والسيناريوهات بما في ذلك عدم اليقين المحيط بالتغيرات في الجليد الأرضي، والتغيرات في الأراضي دائمة التجمد والترسبات الدائمة. ويلاحظ أن هذا المدى لا يراعي عدم اليقين المرتبط بالتغيرات في دينامية الجليد في الصحيفة الجليدية في غرب المنطقة القطبية الشمالية

[استنادا إلى الشكل ١١–١٢].

واو – ٩ إسقاطات التغييرات في مستوى سطح البحر في المستقبل

تقع إسقاطات المتوسط العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر خلال الفترة من ١٩٩٠ إلى ٢١٠٠ باستخدام نطاق نماذج الدوران العام اقتفاء بسيناريو IS92a (بما في ذلك التأثير المباشر لانبعاثات هباء الكبريت) في حدود المدى ٠,١١ إلى ٠,٧٧ م. ويعكس هذا المدى عدم اليقين المنتظم في وضع النماذج. والمساهمات الرئيسية في هذا الارتفاع في مستوى سطح البحر هي:

- تمدد حراري في حدود ٠,١١ إلى ٠,٤٣ م يتسارع خلال القرن الحادي والعشرين؛
- مساهمة جليدية في حدود ٠,١١ إلى ٠,٢٣ م؛
- مساهمة جرينلاند في حدود –٠,٠٢ إلى ٠,٠٩م؛
- ومساهمة من المنطقة القطبية الجنوبية في حدود –٠,١٧ إلى +٠,٠٢م

كما أدرجت في حساب التغير الكامل المساهمات الأصغر حجما من ذوبان أراضي الجليد الدائم، وترسب الترسيبات، والمساهمات الجارية من الصفائح الجليدية نتيجة لتغير المناخ منذ العصر الجليدي الأعظم الأخير. وسعيا إلى وضع مدى لارتفاع مستوى سطح البحر ناشئا عن اختيار مختلف السيناريوهات الواردة في التقرير الخاص SRES، استخدمت نتائج التمدد الحراري وتغير الجليد الأرضي من نماذج بسيطة بعد مواءمتها مع العديد من نماذج الدوران العام (كما حدث في القسم واو–٣ بالنسبة لدرجة الحرارة).

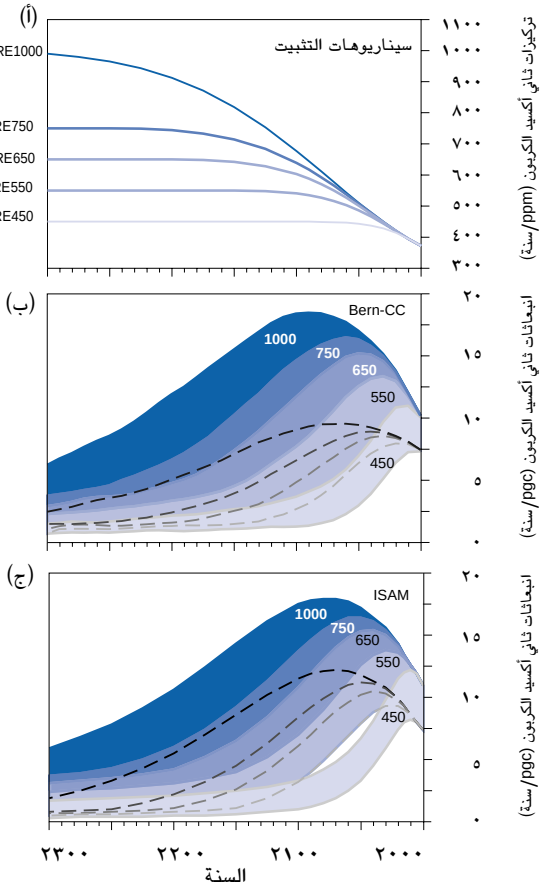
وبالنسبة لمجموع السيناريوهات الكاملة الواردة في التقرير الخاص SRES، يتوقع ارتفاع مستوى سطح البحر في حدود ٠,٠٩ إلى ٠,٨٨ متر خلال الفترة من ١٩٩٠ إلى ٢١٠٠ (انظر الشكل ٢٤) وذلك أساسا نتيجة للتمدد الحراري وخسارة كتلة من الجليديات والأغطية الجليدية. والقيمة الوسطى هي ٠,٤٨م وهو ما يمثل معدلا متوسطا يزيد بنحو مرتين إلى أربع مرات عن المعدل الذي ساد القرن العشرين. وكان مدى ارتفاع مستوى سطح البحر في تقرير التقييم الثاني يبلغ ٠,١٣ إلى ٠,٩٤ متر استنادا إلى سيناريوهات IS92. وعلى الرغم من إسقاطات ارتفاع التغيير في درجة الحرارة في هذا التقييم، فإن إسقاطات مستوى سطح البحر أقل بصورة طفيفة وذلك أساسا نتيجة لاستخدام نماذج محسنة مما أعطى مساهمات أقل من الجليديات والصفائح الجليدية. وإذا استمر التخزين الأرضي بمعدلاته الجارية، يمكن تغيير الإسقاطات إلى –٠,٢١ – ٠,١١م. وبالنسبة لمتوسط نماذج الدوران العام، تعطي سيناريوهات التقرير الخاص SRES نتائج تختلف بمقدار ٠,٠٢ متر أو أقل للنصف الأول من القرن الحادي والعشرين. وسوف يتباين ذلك في ٢١٠٠ على مدى يصل إلى نحو ٥٠٪ من القيمة الوسطى. وفيما بعد القرن الحادي والعشرين، يعتمد مستوى سطح البحر بشدة على سيناريو الانبعاثات.

وتتفق النماذج على الخلاصة النوعية التي ترى أن مدى التباين الإقليمي في تغير مستوى البحر يماثل بدرجة كبيرة المتوسط العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر. غير أن الثقة في التوزيع الإقليمي للتغير في مستوى سطح البحر من نماذج الدوران العام منخفضة نتيجة لعدم وجود الكثير من التماثل بين النماذج، على الرغم من أن جميع النماذج تقريبا تتوقع ارتفاعا أعلى من المتوسط في المحيط القطبي التالي وارتفاعا أقل من المتوسط في المحيط الجنوبي. وعلاوة على ذلك، سوف تستمر تحركات اليابسة الناجمة عن ضغوط القشرة الأرضية أو التكتونية خلال القرن الحادي والعشرين بمعدلات لن تتأثر بتغير المناخ. ويمكن توقع أن تشهد الأقاليم التي تتعرض حاليا لانخفاض نسبي في مستوى سطح البحر، في عام ٢١٠٠ ارتفاعا في المستوى النسبي لسطح البحر. وأخيرا سوف يحدث ارتفاع كبير في مستويات المياه مع تزايد وتيرتها نتيجة لارتفاع متوسط مستوى سطح البحر. وقد تزيد وتيرتها مرة أخرى إذا زادت وتيرة العواصف أو حدتها نتيجة لتغير المناخ.

واو ١٠– إسقاطات التغييرات في الاستجابة لمستويات تثبيت تركيزات ثاني أكسيد الكربون

غازات وهباء الدفيئة

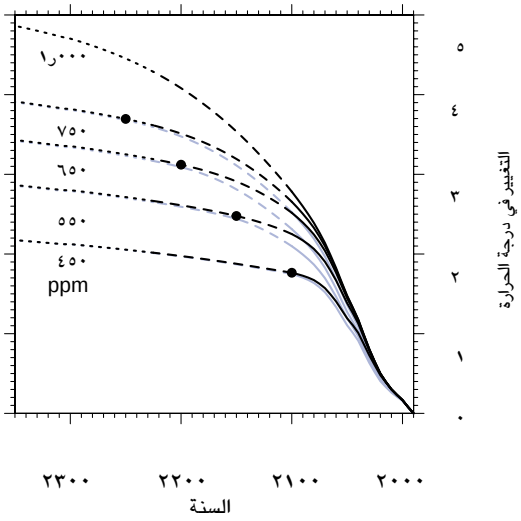
تتطلب جميع ملامح التثبيت التي تمت دراستها خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في نهاية المطاف إلى ما دون المستويات الحالية. رفعت من الملخصات الموصوفة لثاني أكسيد الكربون معدلات انبعاثات هذا الغاز البشري المنشأ التي وصلت عند مستويات تركيز ثاني أكسيد الكربون الثابتة والتي تتراوح بين ٤٥٠ و١٠٠٠ جزء في المليون (الشكل ٢٥أ). ولا تختلف النتائج (الشكل ٢٥ ب) اختلافا كبيرا عن تلك الواردة في تقرير التقييم الثاني، وإن كان المدى أوسع وذلك أساسا نتيجة لمدى امتصاص الكربون الأرضي في المستقبل بسبب الافتراضات المختلفة الواردة في النماذج. وسوف يتطلب التثبيت عند ٤٥٠ أو ٦٥٠ أو ١٠٠٠ خفض الانبعاثات بشرية المنشأ إلى ما دون مستويات ١٩٩٠ في غضون عقدين، ونحو قرن أو نحو قرنين على التوالي، وتستمر في الانخفاض باطراد بعد ذلك. وعلى الرغم من أن هناك قدرة كافية على الامتصاص في المحيط لاستيعاب ٧٠ إلى ٨٠ ٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بشرية المنشأ المتوقعة، فإن هذه العملية تستغرق قرونا بالنظر إلى معدل اختلاط مياه البحر. ولذا، فإنه حتى بعد عدة قرون من حدوث الانبعاثات، سيشكل نحو ربع الزيادة في التركيزات الناجمة عن هذه الانبعاثات مستقرا في الغلاف الجوي. ويتطلب المحافظة على تركيز ثابت لمستوى ثاني أكسيد الكربون بعد عام ٢٣٠٠ انخفاض الانبعاثات لتواكب معدل امتصاص الكربون في ذلك الوقت. غير أن نقاط الامتصاص في الأراضي الطبيعية والمحيطات التي تتمتع بالقدرة على الاستمرار لمئات أو آلاف السنين تعتبر صغيرة (أقل من ٠,٣ PgC في السنة)



الشكل ٢٥: الانبعاثات المسقطة من ثاني أكسيد الكربون التي تنتج تثبيت تركيزات ثاني أكسيد الكبربون في الغلاف الجوي بقيم نهائية مختلفة. اللوحة (أ) تبين مسارات تركيز ثاني أكسيد الكربون (سيناريو WRE) وتبين اللوحتان (ب) و(ج) انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتضمنة على النحو الذي حددته الاسقاطات باستخدام نموذجين سريعين لدورة الكربون هما: ISAM, Bem-CC . وتم الحصول على النطاقات النموذجية في ISAM بمواءمة النموذج لوضع تقدير تقريبي لنطاق الاستجابات لثاني أكسيد الكربون والمناخ من خلال مقارنات نموذجية. وقد أعطى هذا الأسلوب مستوى منخفض لعدم اليقين في استجابة دورة الكربون. وتم الحصول على النطاقات النموذجية في نموذج Bem-CC من خلال جمع مختلف افتراضات الحدود عن سلوك تأثيرات تخصيب ثاني أكسيد الكربون، واستجابة الاستنشاق البشري لدرجة الحرارة ووقت الدوران في المحيطات ومن ثم اقترب من الحدود القصوى لعدم اليقين في استجابة دورة الكربون. وقد أشير إلى الحدود القصوى والدنيا في كل نموذج من خلال أعلى وأسفل المنطقة المظللة. في المقابل، أشير إلى الحدود الدنيا (المختفية) بخط التظليل. [استنادا الى الشكل ٣–١٣].

درجات الحرارة

يواصل المتوسط العالمي لدرجات الحرارة زيادته لمدة مائة عام بمعدل بضعة أعشار الدرجة في القرن الواحد بعد ثبات تركيزات ثاني أكسيد الكربون وذلك نتيجة للمستويات الزمنية الأطول مدى في المحيطات. فإنعكاسات على درجات الحرارة نتيجة لملامح تركيز ثاني أكسيد الكربون المؤدية إلى التثبيت من ٤٥٠ جزء من المليون إلى ١٠٠٠ جزء من المليون تمت دراستها باستخدام نموذج مناخي بسيط جرت مواءمته مع نماذج الدوران العام السبعة على أساس متوسط حساسية مناخية قدره ٢,٨ ه س. ويبين النظام المناخي، بالنسبة لجميع المسارات المؤدية إلى التثبيت، حدوث احترار كبير خلال القرن الحادي والعشرين وما بعده (انظر الشكل ٢٦). وكلما انخفض المستوى الذى يجري تثبيت التركيزات عنده، انخفض التغيير في درجة الحرارة الكلية.



الشكل ٢٦: نتائج النموذج البسيط: المتوسط العالمي المسقط للتغيرات في درجة الحرارة عند تثبيت تركيز ثاني أكسيد الكربون حسب ملامح WRE (انظر الفصل ٩ القسم ٩–٣–٣). وللمقارنة، ترد أيضا النتائج المعتمدة على الملامح S في تقرير التقييم الثاني باللون الأخضر S10 (غير متوافر). والنتائج عبارة عن المتوسط المستخلص من نموذج المناخ البسيط الذي جرت مواءمته مع نماذج الدوران العام السبعة. والسيناريو الأساسي هو السيناريو AIB، وقد حدد ذلك حتى عام ٢١٠٠ فقط. أما بعد ذلك، فإن من المفترض أن تبقى انبعاثات الغازات الأخرى غير أكسيد الكربون ثابتة بقيمتها في السيناريو AIB لعام ٢١٠٠. ومضت الإسقاطات وفقا لمستوى تثبيت ثاني أكسيد الكربون. وتشير الخطوط المتقطعة بعد عام ٢١٠٠ إلى زيادة عدم اليقين في نتائج نموذج المناخ البسيط بعد ٢١٠٠. وتشير النقط السوداء إلى وقت تثبيت ثاني أكسيد الكربون. وسنة التثبيت في ملامح WRE1000 هي عام ٢٣٧٥.
[استنادا إلى الشكل ٩–١٦].

مستوى سطح البحر

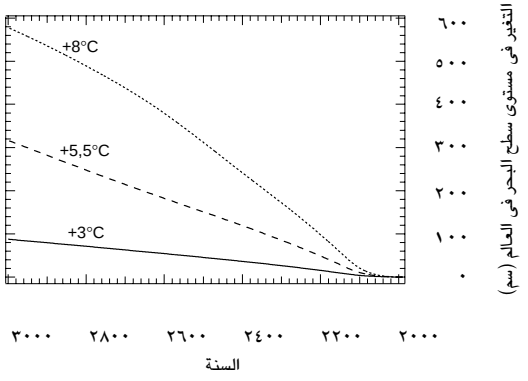
إذا حدث تثبيت لتركيزات غازات الدفيئة (حتى على المستويات الحالية) سوف يستمر مستوى سطح البحر، رغم ذلك، في الارتفاع لعدة مئات من السنين. فبعد ٥٠٠ عام، قد لا يكون ارتفاع مستوى سطح البحر الناجم عن التمدد الحراري قد وصل إلا إلى

نصف مستواه في نهاية المطاف الذي تشير النماذج إلى أنه سيكون في حدود ٠,٥ إلى ٢,٠ م و١ إلى ٤ م بالنسبة لمستويات ثاني أكسيد الكربون التي تزيد مرتين أو أربع مرات عن عصر ما بعد الصناعة على التوالي. ويتسم النطاق الزمني الأطول مدى بعمليات الانتشار الضعيف والدوران البطئ الذي ينقل الحرارة إلى عمق المحيط.

يحتمل فقد جزء كبير من مجموع الكتلة الجليدية. والأرجح كثيرا أن المناطق التي كان يغطيها الجليد بدرجة هامشية سوف تصبح خالية من الجليد.

وستواصل الصفائح الجليدية التفاعل مع تغير المناخ خلال العدة آلاف سنة القادمة حتى في حالة استقرار المناخ. فالصفائح الجليدية الحالية في المنطقة القطبية الشمالية وجرينلاند تحتوي، معا، على كميات من المياه تكفي لرفع مستوى سطح البحر بما يقرب من ٧٠ م في حالة ذوبانها، ولذا فإن أي تغيير جزئي ضئيل في حجمها سيكون له تأثير كبير.وتتوقع النماذج أن احترارا متوسطا سنويا محليا أكبر من ٣ ه س يستمر لعدة الفيات يمكن أن يؤدي إلى ذوبان كامل تقريبا للصفيحة الجليدية في غلاينلاند مما سيؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر بنحو ٧ أمتار. ودرجات الحرارة المسقطة فوق غلاينلاند أعلى بصفة عامة من المتوسط العالمي لدرجة الحرارة بعامل ١,٢ إلى ٣,١ في مجموعة النماذج المستخدمة في الفصل ١١. وإذا حدث احترار فوق جرينلاند بمقدار ٥,٥ ه س بما يتسق وسيناريوهات النطاق الأوسط للتثبيت (انظر الشكل ٢٦)، فإن من المرجح أن تسهم الصفيحة الجليدية لجرينلاند بنحو ٣ أمتار خلال ١٠٠٠ عام. وإذا حدث الاحترار بمقدار ٨ ه س، ، فإن المساهمة ستبلغ ٦ أمتار، حيث تذوب الصفيحة الجليدية إلى حد كبير. أما إذا كان الاحترار بمقدار أقل، فإن اختفاء الصفيحة الجليدية قد يتم بوتيرة منخفضة عن ذلك بكثير. (انظر الشكل ٢٧).

وتتوقع نماذج دينامية الجليد الحالية مساهمة الصفيحة الجليدية في غربي المنطقة القطبية الجنوبية بما لا يزيد على ٣ مم/سنويا في ارتفاع مستوى سطح البحر خلال الألف سنة القادمة حتى إذا حدثت تغييرات كبيرة في الجروف الجليدية. وتعتمد هذ النتائج إلى حد كبير على الافتراضات النموذجية ذات الصلة بسيناريوهات تغير المناخ، وديناميات الجليد وغير ذلك من العوامل. وبصرف النظر عن احتمال حدوث عدم استقرار في الدينامية الداخلية للجليد، فإن ذوبان السطح سوف يؤثر في التقلبية طويلة الأجل للصفيحة الجليدية فى منطقة القطب الجنوبي. فبالنسبة للاحترار بأكثر من ١٠ ه س ، تتنبأ نماذج جريان المياه البسيطة بأنه قد تتطور منطقة فقد كتلة صافية على سطح الصفيحة الجليدية. وسوف ينشأ تحلل لا رجعة فيه في الصفيحة الجليدية لغرب المنطقة القطبية الجنوبية وذلك لأن هذه الآخيرة لا يمكنها التراجع إلى مناطق أعلى بمجرد خضوع هوامشها للذوبان السطحي وتبدأ في الانحسار. وسوف يستغرق هذا التحلل بضعة ألفيات على الأقل. وسوف تشمل عتبات التحلل الكامل للصفيحة الجليدية في شرق المنطقة القطبية الجنوبية نتيجة للذوبان السطحي احترارا يزيد على ٢٠ ه س، وهو وضع لم يحدث منذ ١٥ مليون سنة على الأقل، وأبعد ما يكون عن التنبؤ في أي سيناريو لتغير المناخ تجري دراسته في الوقت الحاضر.



الشكل ٢٧: استجابة الصفيحة الجليدية في جرينلاند لثلاثة سيناريوهات لاحترار المناخ خلال الألفية الثالثة محسوبة على أساس التغييرات المقابلة في مستوى سطح البحر في العالم. ويشير المنحنى إلى متوسط الارتفاع في درجات الحرارة فوق جرينلاند عام ٣٠٠٠ على النحو الذي تنبأ به نموذج من بعدين للمناخ والمحيطات مدفوعا بارتفاع تركيزات غازات الدفيئة حتى عام ٢١٣٠ وبقائه ثابتا بعد ذلك. يلاحظ أن درجات الحرارة المتوقعة فوق جرينلاند تزيد بصورة عامة عن المتوسط العالمي للحرارة بعامل ١,٢ إلى ٣,١ لمجموعة النماذج المستخدمة في الفصل ١١ [استنادا إلى الشكل ١١–١٦].

زاي – تقدم الفهم

تضمنت الأقسام السابقة وصفا للحالة الراهنة للمعارف عن المناخ في الماضي والحاضر، والفهم الحالي لعوامل وعمليات التأثير في نظام المناخ والكيفية التي يمكن بها تمثيلها بصورة جيدة في النماذج المناخية. وقدمت في ضوء المعارف المتوافرة اليوم، أفضل التقديرات عما إذا كان يمكن رصد التغير في المناخ وما إذا يمكن أن يعزى التغير إلى التأثيرات البشرية. ووضعت، بأفضل المتوافر من أدوات، إسقاطات للطريقة التي يمكن أن يتغير بها المناخ في المستقبل في إطار سيناريوهات مختلفة لانبعاثات غازات الدفيئة.

ويتطلع هذا القسم إلى المستقبل بطريقة مختلفة. فعدم اليقين يسود كل خطوة من خطوات السلسلة ابتداء من انبعاثات غازات وهباء الدفيئة حيث التأثيرات التي تمارسها على النظام المناخي والمجمل (انظر الشكل ٢٨) وهناك العديد من العوامل التي مازالت تحد من القدرة على رصد وعزو وفهم تغير المناخ في الوقت الحالي، ووضع إسقاطات لما قد تكون عليه التغييرات المناخية في المستقبل. ومازال الأمر يحتاج إلى مزيد من العمل في تسعة مجالات عامة.

زاي – ١ البيانات

وقف تدهور شبكات الرصد في كثير من أنحاء العالم. فما لم يتم تحسين هذه الشبكات بصورة ملموسة، قد يتعذر أو يستحيل رصد تغير المناخ في كثير من مناطق العالم.

توسيع نطاق أساس الرصد في دراسات المناخ لتوفير بيانات دقيقة وطويلة المدى مع زيادة التغطية الزمنية والمكانية. ونظرا لما ينطوى عليه النظام المناخي من تعقيد، والنطاق الزمني متعدد العقود الذي يتسم به، ثمة حاجة إلى بيانات متساوقة طويلة الأجل لدعم استكشافات وإسقاطات تغير المناخ والبيئة. وهناك حاجة إلى توفير بيانات من الوقت الحاضر والماضي القريب، والبيانات ذات الصلة بالمناخ خلال القرون القليلة الماضية، والألفيات العديدة السابقة. وثمة نقص شديد في البيانات المتعلقة بالمناطق والبيانات القطبية لإجراء التقييم الكمي للأحداث المتطرفة على النطاق العالمي.

زاي – ٢ نظم المناخ ووضع نماذجها

تحسين تقدير انبعاثات وتركيزات غازات وهباء الدفيئة في المستقبل. فمن المهم بصورة خاصة تحقيق تحسينات في استخلاص التركيزات من انبعاثات الغازات وخاصة الهباء لدى معالجة موضوع الامتصاص البيولوجي الكيماوي والدوران وعلى وجه الخصوص لدى تحديد المساهمة المكانية والزمنية لمصادر ثاني أكسيد الكربون وبالوعات الامتصاص في الوقت الحاضر والمستقبل.

فهم وتوصيف العمليات المهيمنة بصورة كاملة (مثل مزج مياه المحيطات) والتغذيات المرتدة (مثل من السحب والمحيطات العميقة). وتكتسي هذه النظم الفرعية والظواهر والعمليات أهمية وتستحق زيادة الاهتمام بها لتحسين قدرات التنبؤ بصفة عامة. وسيكون التفاعل بين الرصد والنماذج مفتاح التقدم. فالتأثير السريع للنظام غير الخطي ينطوى على إمكانيات كبيرة في إنتاج المفاجآت.

معالجة أنماط التقلبية المناخية الأطول مدى بدرجة أكبر من الاكتمال. وينشأ هذا الموضوع في الحسابات النموذجية والنظام المناخي. ففي عمليات المحاكاة، يتعين توضيح مسألة انجراف المناخ بصورة جزئية في إطار الحسابات النموذجية بصورة أفضل، لأنه يؤدي إلى تفاقم صعوبة التمييز بين العلاقة والضوضاء. وفيما يتعلق بالتقلبية الطبيعية طويلة الأجل في النظام المناخي في حد ذاته، من المهم فهم هذه التقلبية، وتوسيع نطاق قدرات التنبؤ بأنماط التقلبية المنظمة مثل التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو.

استكشاف الطابع الاحتمالي لحالات المناخ في المستقبل بصورة أكثر اكتمالا من خلال وضع مجموعات متعددة من الحسابات النموذجية. فالنظام المناخي عبارة عن نظام مشوش غير خطي مرتبط ومن ذلك فإن التنبوءات طويلة الأجل بحالات المناخ على وجه الدقة في المستقبل غير ممكنة. والأحرى أن يظل التركيز منصبا على التنبؤ بالتوزيع الاحتمالي لحالات النظام المحتملة في المستقبل من خلال جيل من مجموعات الحلول النموذجية.

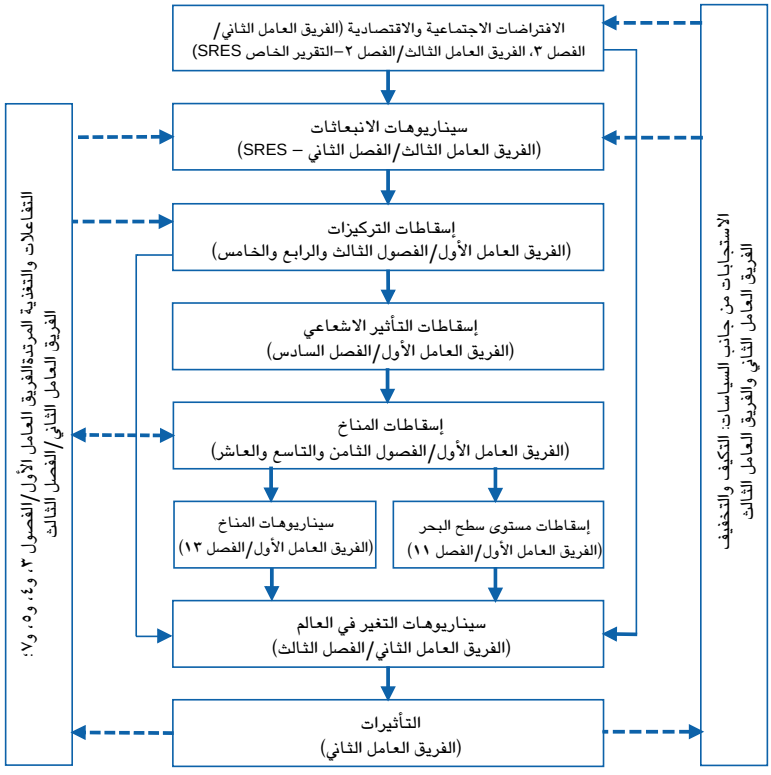
تحسين الهيكل المتكامل لنماذج المناخ العالمي والإقليمي مع التركيز على تحسين محاكاة التأثيرات الإقليمية وأحداث الطقس المتطرفة. وسوف يتطلب ذلك تحسينات في فهم الترابط بين نظم المحيطات والغلاف الجوي واليابسة الرئيسية ودراسات وضع النماذج التشخيصية والرصدية واسعة النطاق التي تتولى تقييم وتحسين الأداء عن طريق المحاكاة. وثمة مسألة هامة بصورة خاصة تتمثل في توافر البيانات الكافية اللازمة للهجوم على مسألة تغيير الأحداث المتطرفة.

زاي – ٣ الجوانب البشرية

زيادة الربط الرسمي بين النماذج الفيزيائية البيولوجية الكيماوية المتعلقة بالمناخ ونماذج النظام البشري ومن توفير الأساس للقيام بعمليات استكشاف واسعة النطاق لأنماط السبب والعلة والسبب المحتمل التي تربط بين العناصر البشرية وغير البشرية لنظام الأرض. ولا تعالج التأثيرات البشرية عموما حاليا إلا من خلال سيناريوهات الانبعاثات التي توفر التأثيرات الخارجية لنظام المناخ. وسوف يتعين في المستقبل توفير نماذج أكثر شمولا يتعين على النشاطات البشرية في ظلها أن تبدأ في التفاعل مع دينامية النظم الفرعية الفيزيائية والكيماوية والبيولوجية من خلال مجموعة متنوعة من النشاطات المساهمة والتغذية المرتدة والاستجابات.

زاي – ٤ الإطار الدولي

الإسراع دوليا بوتيرة التقدم في فهم تغير المناخ من خلال تعزيز الإطار الدولي اللازمة لتنسيق التأثيرات القطرية والمؤسسية حتى يمكن استخدام البحوث والموارد الحاسوبية والرصدية في تحقيق أكبر المنافع. وتتوافر عناصر هذا الإطار في البرامج الدولية التي يدعمها المجلس الدولي للاتحادات العلمية، ومنظمة الأرصاد العالمية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، ومنظمة الأمم المتحدة للتربية والثقافة والعلوم (اليونسكو). وثمة حاجة مقابلة لتعزيز التعاون داخل دوائر البحوث الدولية وبناء القدرات البحثية في كثير من المناطق، ووصف مستحدثات البحوث، مثلما يفعل هذا التقدير، بأسلوب يفيد صانعي القرار.



الشكل ٢٨: مجموعة عدم اليقين في الاسقاطات التي سيجري دراستها لوضع سيناريوهات خاصة بالمناخ وما يتصل به لتحديد تأثيرات تغير المناخ وتقديرات التكيف معها وتخفيف حدتها.
[استنادا إلى الشكل ١٣–٢].

مصدر المعلومات: الملخص الفني

يوفر هذا المرفق الاسناد الترافقي للموضوعات الواردة في الملخص الفني (الصفحة والقسم) والأقسام من الفصول التي تحتوي على المعلومات المفصلة عن الموضوع

القسم ألف : مقدمة

الصفحة	الملخص الفني
٢٥	ألف–١ الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ وأفرقة العمل التابعة لها (من أمانة الهيئة، جنيف) أوعلى صفحة الانترنت: http://www.ipcc.ch
٢٥	ألف–٢ تقريرا التقييم الأول والثاني للفريق العامل الأول

IPCC, 1990a: Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. J.T. Houghton, G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 365 pp.

IPCC, 1992: Climat Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. J.T.Houghton, B.A. Callander and S.K. Varney (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 198 pp.

IPCC, 1994: Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B.A. Callander, E, Haites, H. Harris and K. Maskell (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 339pp.

IPCC, 1996a: Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J. T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 572pp.

٢٦	ألف–٣ تقييم التقرير الثالث: هذا الملخص الفني ترد المعلومات الأساسية في الفصل الأول الاطار ١: ما الذي يدفع بالتغييرات في المناخ؟ ● الفصل الأول

القسم ب : التغيرات المرصودة في نظام المناخ

الصفحة

٢٨ باء–١ التغييرات المرصودة في درجات الحرارة من خلال السجلات المعتمدة على الأجهزة للأراضي والمحيطات
– ● الفصل ٢–٢–٢ و٢–٣
سجلات درجات الحرارة فوق الطبقة السطحية من التوابع الاصطناعية والبالونات والطقس
● الفصل ٢–٢–٣ و٢–٢–٤
درجات حرارة سطح الأرض، خلال فترة ما قبل استخدام الأجهزة، من السجلات التقريبية– (الألف عام الأخيرة) ● الفصل ٢–٣
العصر الجليدي الأخير وما يتصل به من ذوبان – ● الفصل ٢–٤.

٣٢ باء –٢ التغييرات المرصودة في التهطال ورطوبة الغلاف الجوي
استمر معدل التهطال الأرضي السنوي – ● الفصل ٢–٥–٢
بخار الماء – ● الفصل ٢–٥–٥٣
كمية السحب – ● الفصل ٢–٥–٥

٣٢ باء –٣ التغيرات المرصودة في الغطاء الثلجي وصفحة الجليد الأرضي والبحري
الغطاء الثلجي وصفحة الجليد الأرضي – ● الفصل ٢–٢–٥
كميات الجليد البحري – ● الفصل ٢–٢–٥
كثافة الجليد البحري – ● الفصل ٢–٢–٥

٣٣ باء –٤ التغييرات المرصودة في مستوى سطح البحر
التغيرات خلال سجل الأجهزة
بيانات قياس المد خلال القرن العشرين – ● الفصل ١١–٣–٢
الاطار ٢: ما الذي يتسبب في تغير مستوى سطح البحر. – ● الفصل ١١–٢
التغييرات خلال سجلات ما قبل الأجهزة – ● الفصل ١١–٣–١

٣٥ باء – ٥ التغييرات المرصودة في أنماط الدوران في الغلاف الجوي والمحيطات
سلوك الذبذبات الجنوبية الناجمة عن ظاهرة النينيو – ● الفصل ٢–٦–٢ و٢–٦–٣
ذبذبات شمال الأطلسي، القطب الشمالي والقطب الجنوبي – ● الفصل ٢–٦–٥ و٢–٦–٦

٣٥ باء – ٦ التغييرات المرصودة في التقلبية المناخية واحداث الطقس والمناخ المتطرفة
التهطال الشديد والمتطرف – ● الفصل ٢–٧–٢
العواصف المدارية وفوق المدارية – ● الفصل ٧–٢–٣

٣٥ باء –٧ الصورة الجماعية: عالم ترتفع درجة حرارته وتغييرات أخرى في النظام المناخي
عالم ترتفع درجة حرارته – ● الفصل ٢–٨
تغيير بسيط أو لا تغيير – ● الفصل ٢–٢–٥ و٢–٧–٣

جيم–عوامل التأثير التي تسبب تغير المناخ

الصفحة

٤١ جيم –١ التغييرات المرصودة في تركيزات غازات الدفيئة الممزوجة جيدا والتأثير الاشعاعي
ثاني أكسيد الكربون – ● الفصل ٣–٢–٢، ٣–٢–٣، ٣–٣–١، ٣–٣–٢ و٣–٥ و٦–١٣
الميثان – ● الفصل ٤–٢–١– و٦–١٣
أكسيد النيتروز – ● الفصل ٤–٢ و٦–١٣
الكربون الهالوجيني والتركيبات ذات الصلة – ● الفصل ٤–٢–٢– و٦–١٣

٤٦ جيم –٢ التغيرات المرصودة في الغازات الأخرى الهامة من الناحية الاشعاعية
الأوزون في الغلاف الجوي – ● الفصل ٤–٢–٢– و٤–٢–٤ و ٦–١٣
الغازات التي لها تأثيرات اشعاعية غير مباشرة فقط – ● الفصل٤–٢–٣ و٦–١٣

٤٧ جيم –٣ التغييرات المرصودة والنموذجية في الهباء
● الفصل ٥–١، ٥–٢، ٥–٣ و٥–٤ ● والفصل ٦–٧، ٦–٨

٤٨ جيم – ٤ التغيرات المرصودة في عوامل التأثير الأخرى بشرية المنشأ
التغييرات في استخدام الأراضي (البياض) – ● الفصل ٦–١٣

جيم – ٥ التغييرات المرصودة النموذجية في النشاط الشمسي والبركاني
٤٩ التغييرات المرصودة النموذجية في النشاط الشمسي والبركاني – ● الفصل ٦–١٠

٤٩ جيم – ٦ إمكانيات احترار العالم
احتمالات احترار العالم – ● الفصل ٦–١٢

دال – محاكاة النظام المناخي وتغيراته

الصفحة

٥٣ دال – ١ عمليات المناخ والتغذية المرتدة
الاطار ٣: النماذج المناخية: كيف توضع وكيف تستخدم؟ – ● الفصل ٨–٣
بخار الماء – ● الفصل٧–٢–١
السحب – ● الفصل ٧–٢–٢– و٨–٥–١
الستراتوسفير – ● الفصل ٧–٢–٤ ، ٧–٢–٥ و٨–٥–١
المحيطات – الفصل ● ٧–٣ والفصل ● ٨–٥–٢
الكريوسفير – الفصل ● ٧–٥ والفصل ● ٨–٥–٣
سطح اليابسة – الفصل ● ٧–٤ ● والفصل ٨–٥–٤
دورة الكربون – ● الفصل ٣–٦.

٥٥ دال – ٢ النظم المترابطة
طرق التقلبية الطبيعية – ● الفصل ٧–٦ ● والفصل ٨–٧.
الاطار ٤ التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو – ● الفصل ٧–٦–٥ ● والفصل ٨–٧–١
الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي – ● الفصل ٧–٣–٧ و٧–٧، ● الفصل ٩–٣–٤
الأحداث غير الخطية وسرعة تغير المناخ – ● الفصل ٧–٧

٥٧ دال – ٣ تقنيات التفاصيل الاقليمية
فئات التقنيات – ● الفصل ١٠–١، ١٠–٢ ● والفصل ١٣
Coarse resolution AOGCMs ● الفصل ١٠–٣، ● الفصل ١٣
- High resolution RCMs ● الفصل ١٠–٥، ● الفصل ١٣

٥٧ دال – ٤ التقييم العام للقدرات
تعديل التدفق – ● الفصل ٧–٢، ٧–٣ و٧–٦، ● الفصل ٨–٤ و٨–٩
مناخ القرن العشرين ● الفصل – ٨–٦
الأحداث المتطرفة – ● الفصل ٨–٨
التقلبية متعددة السنوات – ● الفصل ٨–٧
المقارنات بين النماذج – ● الفصل ٨–٦–٢ و٨–١٠

القسم هاء – تحديد التأثيرات البشرية على تغير المناخ

الصفحة

٥٩ هاء – ١ معنى الرصد والعزو – ● الفصل ١٢–١–١ و١٢–٢

٥٩ هاء – ٢ قياس رصدي أطول مدى وأكثر تفحصا عن قرب
ثلاث سنوات من السنوات الخمس الأخيرة – ● الفصل ١٢–٢–١

٥٩ هاء – ٣ تقديرات نموذجية جديدة للتقلبية الداخلية
الاحترار الذي حدث خلال المائة عام الماضية – ● الفصل ١–٢–٢–٢

٦٠ هاء – ٤ تقديرات جديدة للاستجابات للتأثيرات الطبيعية – ● الفصل ١٢–٢–٣

٦٠ هاء – ٥ الحساسية لتقديرات علامات تغير المناخ
الاستجابات النموذجية للتأثيرات بشرية المنشأ – ● الفصل ١٢–٢–٣
مساهمة هامة للتأثيرات بشرية المنشأ – ● الفصل١٢–٢–٣

٦١ هاء – ٦ مجموعة شاسعة من تقنيات الرصد
درجات الحرارة – ● الفصل ١٢–٣ و١٢–٤
مستوى سطح البحر – ● الفصل ١١–٤

٦٤ هاء – ٧ حالات عدم اليقين المتبقية في الرصد والعزو
الملخص – ● الفصل ١٢–٥

٦٤ هاء–٨ الخلاصة
معظم الاحترار المرصود خلال الخمسين عاما الماضية ● الفصل ١٢–٦

واو – إسقاطات مناخ الأرض فى المستقبل

الصفحة

٦٤ واو–١ التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات الذي وضعته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ *SRES*
سيناريوهات التقرير الخاص SRES ● الفصل ٦–١٥–٢
الاطار ٥: سيناريوهات الانبعاث في التقرير الخاص لسيناريوهات الانبعاثات - SRES ● الفصل ٦–١٥–٢، التقرير الخاص SRES، المرفق الثاني

٦٥ واو–٢ إسقاطات التغيرات في المستقبل في غازات الدفيئة والهباء
مسارات تركيز مختلفة لثاني أكسيد الكربون – ● الفصل ٣–٣ و٣–٧، المرفق الثاني
تخزين الكربون في النظم الإيكولوجية الأرضية– ● الفصل ٣–٢ و٣–٦
كثرة غازات الدفيئة غير ثاني أكسيد الكربون – ● الفصل ٤–٣، ● الفصل ٦–١٥، المرفق الثاني.
انبعاثات غازات الدفيئة غير المباشرة والكيمياء الجوية – ● الفصل ٤–٤–٤ و٤–٤–٥، ● الفصل ٦–١٥
انبعاثات غازات الدفيئة غير المباشرة ونوعية الهواء – ● الفصل ٤–٤ ٥
توقف وفرة الهباء على الانبعاثات – ● الفصل ٥–٥ و٦–١٥، المرفق الثاني
سيناريوهات انبعاثات الهباء المسقطة و- SRES ● الفصل ٥–٥
التأثيرات الاشعاعية – ● الفصل ٦–١٥ والمرفق الثاني

٦٩ واو – ٣ إسقاطات التغيرات المقبلة في درجات الحرارة
نتائج نموذج الدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات – ● الفصل ٩–٣
نتائج النموذج المناخي البسيط – ● الفصل ٩–٣

٧٢ واو – ٤ إسقاطات التغيرات في التهطال في المستقبل
المعدل الإجمالي للتساقطات والتقلبية – ● الفصل ٩–٣

٧٤ واو – ٥ إسقاطات التغيرات في الأحداث المتطرفة في المستقبل
التغييرات في الأحداث المتطرفة – ● الفصل ٩–٣–٦

٧٦ واو – ٦ إسقاطات التغيرات في الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي في المحيط
ضعف الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي – ● الفصل ٩–٣–٤

٧٦ واو – ٧ إسقاطات التغييرات في طرق التقلبية الطبيعية في المستقبل
التغييرات في طرق التقلبية الطبيعية – ● الفصل ٩–٣–٥

٧٦ واو – ٨ إسقاطات التغييرات في الجليد الأرضي (الجليديات، والغطاء الجليدي، والصفائح الجليدية) والجليد البحري والغطاء الثلجي في المستقبل
الجليديات، والغطاء الجليدي، والصفائح الجليدية – ● الفصل ١١–٥–٤

٧٨ واو – ٩ إسقاطات التغييرات في مستوى سطح البحر في المستقبل – ● الفصل ١١–٥–١
التباين الإقليمي في تغير مستوى البحر – ● الفصل ١١–٥–٢
التطرف في مستوى سطح البحر – ● الفصل ١١–٥–٣

٧٨ واو –١٠ إسقاطات التغيرات في الاستجابة لملامح تثبيت تركيزات ثاني أكسيد الكربون
غازات وهباء الدفيئة – ● الفصل ٣–٧–٣
درجات الحرارة – ● الفصل ٩–٣–٣
مستوى سطح البحر – ● الفصل ١١–٥–٤

القسم زاي – تقدم الفهم

الصفحة

٨١ زاي – ١ البيانات
تدهور شبكات الرصد في كثير من أنحاء العالم ● الفصل ١٤–٢–١

٨١ زاي – ٢ عمليات المناخ ووضع نماذجها
غازات وهباء الدفيئة – ● الفصل ١٤–٢–٦
المعالجات ● الفصل ١٤–٢–٣
أنماط التقلبية – ● الفصل ١٤–٢–٢
تجمعات نتائج النماذج – ● الفصل ١٤–٢–٢
الهيكل المتكامل لنماذج المناخ – ● الفصل ١٤–٢–٢

٨١ زاي – ٣ الجوانب البشرية
النظام الفيزيائي/النظام الانساني – ● الفصل ١٤–٣، ● الفصل ١٣–١

٨١ زاي – ٤ الإطار الدولي
التنسيق، ● الفصل ١٤–٤

قائمة المصطلحات الواردة في تقرير الفريق العامل الأول

تحرير: أ .ب م . باید

[← تشير أن المصطلحات التالية ترد أيضا في هذه القائمة. ولا تظهر كل المصطلحات الواردة في هذه القائمة في ملخص واضعي السياسات أو الملخص الفني].

فترة التكيف
انظر أيضا : Lifetime و Response time

Aerosols هباء
مجموعة من الجسيمات الصلبة أو السائلة التى يحملها الهواء يتراوح حجمها عادة بين ٠,٠١ و١٠ . m µ وتبقى هذه الجسيمات في الغلاف الجوي لعدة ساعات على الأقل. وقد يكون الهباء طبيعيا أو بشري المنشأ. وقد يؤثر في المناخ بطريقتين: مباشرة من خلال بعثرة أو امتصاص الاشعاع وبصورة غير مباشرة من خلال العمل في شكل خلايا تكثيف لتكوينات السحب أو تعديل الخصائص البصرية وفترة بقاء السحب. ← انظر تأثيرات الهباء غير المباشرة.
وأصبح هذا المصطلح يرتبط، خطأ، بقوة الدفع في رذاذات الأيروسول.

Afforestation التشجير
غرس أشجار جديدة في الأراضى التي كانت تحتوى تاريخيا على غابات . لمناقشة هذا المصطلح ← الغابات وما يتصل بها مثل التشجير وإعادة التشجير وإزالة الأشجار. انظر تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن استخدام الأراضي، والتغيير في استخدام الأراضي والغابات (IPCC 2000).

Albedo بياض
الجزء من الاشعاع الشمسي الذي يعكس سطح أو هدف، ويعبر عنه عادة في صورة نسبة مئوية. وللسطوح المغطاة بالثلج بياض مرتفع. ويتراوح بياض الشمس بين المرتفع والمنخفض. والسطوح المغطاة بالنباتات والمحيطات لها بياض منخفض. ويتباين البياض الأرضي وذلك أساسا نتيجة لتباين السحب والثلوج والجليد ومنطقة الأوراق والتغيرات في الغطاء الأرضي.

Altimetry قياس الارتفاع
تقنية لقياس ارتفاع سطح البحر واليابسة والجليد. فعلى سبيل المثال، فإن ارتفاع سطح البحر (بالمقارنة بمركز الأرض أو بصورة أكثر تقليدية، بالمقارنة بمعيار (المجسم الناقص من الدوران ellipsoid of revolution) يمكن قياسه من الجو بواسطة مقياس ارتفاع حديث ذي دقة تصل إلى سنتيمترات. ولقياس الارتفاع ميزة أنه مقياس يتعلق بإطار مرجعي أرضي وليس لمستوى أرض مثلما الحال في مقياس المد أو عرض التغطية شبه العالمية.

Anthropogenic بشري المنشأ
ناشئ عن البشر أو من إنتاجهم أو تأثيرهم.

Atmosphere الغلاف الجوي
غلاف من الغازات يحيط بالكرة الأرضية. ويتألف الغلاف الجوي الجاف من النيتروجين كلية تقريبا (٧٨,١٪ معدل مزج الحجم) والأكسجين (٢٠,٩ من معدل مزج الحجم) بالإضافة إلى عدد من الغازات النادرة مثل الأرجون (٠,٩٣ ٪ من معدل مزج الحجم) وهليوم ← وغازات الدفيئة النشطة اشعاعيا مثل ← ثاني أكسيد الكربون (٠,٠٣٥٪ من معدل مزج الحجم) والأوزون. وعلاوة على ذلك يحتوي الغلاف الجوي على بخار الماء الذي تتسم كميته بالتقلب الشديد إلا أنها عادة في حدود ١٪ من معدل مزج الحجم. كما يحتوي الغلاف الجوي على السحب ← والهباء.

Attribution العزو
انظر: ← Detection and Attribution Æ.

autorophic respiration استنشاق المغذيات النباتية
انظر: ← Respiration by photosynthetic organisms.

Biomass الكتلة الاحيائية
مجموع كتلة الكائنات الحية في منطقة أو حجم معين. وكانت المواد النباتية الميتة تدرج عادة حتى وقت قريب باعتبارها كتلة احيائية معينة.

Biosphere (terrestrial and marine) البيوسفير (الأرضي والمحيطي) الغلاف الحيوي
الجزء من نظام الأرض الذي يشمل جميع ← النظم الإيكولوجية والكائنات الحية في الغلاف الجوي وعلى الأرض (الغلاف الحيوي للأرض) أو في المحيطات (الغلاف الحيوي البحري) ويشمل المادة العضوية الميتة مثل النفايات والمادة العضوية في التربة ومخلفات المحيطات.

Black carbon الكربون الأسود
هو نوع محدد عمليا استنادا إلى قياس امتصاص الضوء والتفاعل الكيماوي و/أو الاستقرار الحراري، ويتألف من السناج والفحم النباتي و/أو المادة العضوية غير القابلة للصهر الماصة للضوء (المصدر: Charlson and Heintzenberg 1995, p. 401kzn

Burden الحمل
مجموع الكتلة من المادة الغازية المثيرة للقلق في الغلاف الجوي.

Carbonaceous aerosol الهباء الكربوني
هباء يتكون أساسا من المواد العضوية ومختلف أشكال ← الكربون الأسود (المصدر: Charlson and Heintzenberg 1995, p. 401).انظر الكربون الأسود.

Carbon cycle دورة الكربون
يستخدم المصطلح للتعبير عن تدفق الكربون (في أشكال مختلفة مثل ثاني أكسيد الكربون) من خلال الغلاف الجوي والمحيطات والمحيط الحيوي الأرضي وليتوسفير. انظر ← بيوسفير وليتوسفير.

Carbon dioxide (CO2) ثاني أكسيد الكربون
غاز يحدث طبيعيا كما أنه أحد المنتجات الثانوية لحرق الوقود الأحفوري ← والكتلة الاحيائية فضلا عن التغيرات في ← استخدام الأراضي وغير ذلك من العمليات الزراعية. وهو ← غاز الدفيئة البشري المنشأ الرئيسي الذي يؤثر في التوازن الاشعاعي للأرض. كما أنه الغاز المرجعي الذي يقاس على أساسه جميع غازات الدفيئة الأخرى ومن ثم فإن له إمكانيات ← لاحترار العالم قدرها ١.

Carbon dioxide (CO2) fertilisation تخصيب ثاني أكسيد الكربون
تعزيز نمو النباتات نتيجة لزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو. وبعض أنواع النباتات، اعتمادا على آليتها للتمثيل الضوئي، أكثر حساسية للتغيرات في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. وعلى وجه الخصوص فإن نباتات ← C3 تظهر استجابة لثاني أكسيد الكربون أكبر عموما من نباتات ← C 4.

Charcoal الفحم النباتي
مادة تنشأ عن تفحيم الكتلة الاحيائية بالاحتفاظ عادة ببعض الأنسجة الدقيقة المعروفة عن الأنسجة النباتية، ويتألف كيماويا بالدرجة الأولى من الكربون مع هيكل جرافيت مقلقل وكميات أقل من الأكسجين والهيدروجين (انظر Charlson and Heintzenberg, 1995, p.402).

Climate المناخ
المناخ بمعناه الضيق يعرف عادة بأنه "متوسط الطقس" أو بدقة أكبر كما يصفه الاحصائيون من حيث أنه متوسط وتقلبية الكميات ذات الصلة خلال فترة زمنية تتراوح بين أشهر إلى آلاف أو ملايين السنين. والفترة التقليدية هي ٣٠ عاما على النحو الذي حددته منظمة الأرصاد الجوية. وهذه الكميات هي من المتغيرات السطحية الشديدة التغير مثل درجات الحرارة والتهطال والرياح. والمناخ بالمعنى الواسع عبارة عن حالة بما في ذلك الوصف الإحصائي، من حالات ← نظام المناخ.

Climate change تغير المناخ
يشير تغير المناخ إلى تباين مغزوي من الناحية الإحصائية في متوسط حالة المناخ أو في قابليته يستمر لفترة ممتدة (عقود عادة أو أكثر) وقد يكون تغير المناخ راجعا إلى عمليات داخلية طبيعية أو تأثيرات خارجية أو لتغيرات بشرية المنشأ مستمرة في تكوين الغلاف الجوي أو استخدام الأراضي.

ويلاحظ أن ← الاتفاقية الإطارية المعنية بتغير المناخ تحدد في مادتها الأولى تغير المناخ بأنه "التغير في المناخ الذي يعزى بصورة مباشرة أو غير مباشرة إلى النشاط البشري الذي يغير من تكوين الغلاف الجوي للعالم والذي يكون إضافة إلى التقلبية في المناخ الطبيعي الملاحظة خلال فترات زمنية متماثلة".

وعلى ذلك فإن الاتفاقية الإطارية ميزت بين "تغير المناخ" الذي يعزى إلى الأنشطة البشرية التي تغير من تكوين الغلاف الجوي و"التقلبية المناخية" التي تعزى إلى أسباب طبيعية.
انظر أيضا ← Climate variability.

Climate feedback التغذية المرتدة
آلية تفاعلية بين العمليات المختلفة في النظام المناخي تسمى التغذية المرتدة للمناخ حيث تطلق نتائج عملية أولية تغييرات في العملية الثانية تؤثر بدورها في العملية الأولى. والتغذية المرتدة الموجبة تعزز العملية الأصلية في حين أن التغذية المرتدة السالبة تقلل منها.

Climate model (hierarchy) النموذج المناخي
عبارة عن عرض عددي ← للنظام المناخي المعتمد على الخصائص الفيزيائية والاجتماعية والبيولوجية لعناصره، وتفاعلها وعمليات تغذيتها المرتدة وتقليل بعض أو كل خصائصه المعروفة. ويمكن أن يمثل النظام المناخي بنماذج تتباين في تعقيداتها على أنه يمكن تجديد هيكل هرمي من النماذج لأي عنصر من عناصره أو مجموعة من هذه العناصر وإن كانت تختلف في بعض الجوانب مثل عدد الأبعاد المكانية، ومدى تمثيل العمليات الفيزيائية والكيماوية والبيولوجية بوضوح أو المستوى الذي تشرك فيه عمليات لوضع المعايير التجريبية. وتوفر النماذج المترابطة للدوران العام في الغلاف الجوي والمحيطات والجليد تمثيلا شاملا للنظام المناخي. وثمة

تطور نحو النماذج الأكثر تعقيدا باستخدام الكيمياء والبيولوجيا النشطة.

وتطبق النماذج المناخية، باعتبارها أداة بحثية، لدراسة ومحاكاة المناخ ولكنها تستخدم أيضا في الأغراض العملية بما في ذلك التنبوءات المناخية الشهرية والفصلية ومتعددة السنوات انظر ← التنبؤ بالمناخ.

Climate prediction التنبؤ بالمناخ

التنبؤ بالمناخ أو التوقعات المناخية تحدث نتيجة لمحاولة وضع أكثر الأوصاف احتمالا أو تقدير التطور الفعلي للمناخ في المستقبل أي على المستويات الفصلية ومتعدد السنوات أو الأجل الطويل (انظر أيضا Climate projection وسيناريوهات تغير المناخ ← Climate (change) scenario.

Climate projection إسقاطات المناخ

A ← إسقاط استجابة النظام المناخي ← لسيناريوهات الانبعاثات أو التركيزات الخاصة بغازات وهباء الدفيئة أو ←سيناريوهات التأثير الإشعاعي، وهو يستند في غالب الأحيان إلى عمليات محاكاة بواسطة النماذج المناخية. وتميز إسقاطات المناخ عن ← تنبوءات المناخ بهدف التركيز على أن إسقاطات المناخ تعتمد على سيناريو الانبعاثات/التركيز/التأثير الإشعاعي المستخدم والذي يعتمد على الافتراضات المتعلقة مثلا بالتطورات الاقتصادية والاجتماعية والتكنولوجية في المستقبل والتي قد تتحقق أو لا تتحقق ومن ثم فهي تخضع لعدم يقين كبير.

Climate scenario سيناريو المناخ

تمثيل معقول ومبسط في كثير من الأحيان لمناخ المستقبل استنادا إلى مجموعة متسقة داخليا من العلاقات المناخية التي وضعت للاستخدام الصريح في استكشاف العواقب المحتملة ← لتغير المناخ الناجم عن الأنشطة البشرية، والتي تستخدم في كثير من الأحيان في صورة مدخلات لنماذج التأثير.← وإسقاطات المناخ تستخدم في الغالب في صورة مادة خام لوضع سيناريوهات المناخ إلا أن هذه الأخيرة تحتاج عادة إلى معلومات إضافية مثل المعلومات عن المناخ الحالي المرصود. وسيناريو تغير المناخ هو الفرق بين سيناريو المناخ والمناخ الحالي.

Climate sensitivity حساسية المناخ

تشير "حساسية المناخ المتوازنة" الواردة في تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ إلى التغيير المتوازن في المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية بعد تضاعف ←تركيزات ثاني أكسيد الكربون المعادل في الغلاف الجوي. وبأسلوب تشير حساسية المناخ المتوازنة إلى التغيير المتوازن في درجة حرارة الهواء السطحي بعد تغير وحدة في← التأثير الإشعاعي (ه س/ و م-٢).

والواقع أن تقييم حساسية المناخ المتوازنة يتطلب عمليات محاكاة طويلة للغاية باستخدام نماذج الدوران العام المترابطة (←النموذج المناخي).

و"حساسية المناخ الفعالة" هي قياس ذو صلة يدور حوله هذا الطلب. ويجرى تقييمها من مخرجات نموذجية للخروج بحالات غير متوازنة. وهي قياس لقوة← التغذيات المرتدة في وقت معين وقد تتباين مع تباين سجل التأثير وحالة المناخ. وقد نوقشت التفاصيل في القسم ٩-٢-١ من الفصل التاسع في هذا التقرير.

Climate system النظام المناخي

النظام المناخي هو النظام شديد التعقيد الذي يتألف من خمسة عناصر رئيسية هي ← الغلاف الجوي، ←والهيدروسفير ←وكريوسفير، ←وسطح الأرض، ←والبيوسفير والتفاعل بينهم. ويتطور النظام المناخي مع الوقت تحت تأثير ديناميته الداخلية الخاصة ونتيجة لتأثيرات خارجية مثل الثورات البركانية، والتباينات الشمسية، والتأثيرات بشرية الاستحثاث مثل تغيير تكوين الغلاف الجوي والتغيرات في← استخدام الأراضي.

Climate variability تقلبية المناخ

تشير تقلبية المناخ إلى التباينات في متوسط حالة المناخ على جميع المستويات الزمنية والمكانية فيما يتجاوز أحداث الطقس الإفرادية، والإحصاءات الأخرى (مثل الانحرافات المعيارية، ووقوع الأحداث المتطرفة، وغير ذلك) وقد تعزى التقلبية إلى عمليات داخلية طبيعية في إطار النظام المناخي (التقلبية الداخلية) أو التباينات في التأثيرات الخارجية بشرية المنشأ (التقلبية الخارجية). انظر أيضا ← Climate change.

condensation nuclei نوى تكثف السحب

جسيمات يحملها الهواء تعمل في شكل موقع أولي لتكثيف الماء السائل والتي يمكن أن تؤدي إلى تكوين قطيران سحب . انظر ← Aerosols.

CO2 fertilisation تخصيب ثاني أكسيد الكربون

انظر Carbon dioxide (CO2) fertilisation

Cooling degree days أيام درجات البرودة

مجموع درجة حرارة يومي فوق ١٨ °س (أي يوم متوسط درجة حرارته ٢٠ °س) يعتبر يومين من درجات البرودة . انظر أيضا ← Heating degree days.

Cryosphere كريوسفير

العنصر في النظام المناخي الذي يتألف من جميع كميات الثلج والجليد والجليد الدائم فوق أو تحت سطح الأرض والمحيطات. انظر: ← Glacier, Ice sheet.

C3 plants نباتات C3
النباتات التي تنتج تركيبا من ثلاثة أنواع من الكربون خلال قترة التمثيل الضوئي وتشمل معظم الأشجار والمحاصيل الزراعية مثل الأرز والقمح وفول الصويا والبطاطس والخضراوات.

C4 plants نباتات C4
النباتات التي تنتج تركيبا من أربعة أنواع من الكربون خلال قترة التمثيل الضوئي وخاصة المحاصيل المدارية المنشأ بما في ذلك الحشائش والمحاصيل الهامة من الناحية الزراعية مثل الذرة وقصب السكر والذرة الرفيعة والدخن.

Deforestation إزالة الغابات
تحويل الغابات إلى أغراض غير حرجية. لمناقشة مصطلح الغابات والمصطلحات ذات الصلة مثل ← التشجير ← وإعادة التشجير ← وإزالة الغابات انظر تقرير استخدام الأراضي والتغير في استخدام الأراضي والغابات الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC, 2000).

Desertification التصحر
تدهور الأراضي في المناطق القاحلة وشبه القاحلة وشبه الرطبة الجافة الناجم عن عوامل شتى من بينها تباينات المناخ والأنشطة البشرية. وعلاوة على ذلك تعرف اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية المعنية بتغير المناخ تدهور الأراضي بأنه انخفاض أو فقد الانتاجية البيولوجية أو الاقتصادية ومجموعة من الأراضي المحصولية المعتمدة على الأمطار والأراضي المحصولية المروية أو المراعي وأماكن التربية والغابات والأراضي الشجرية نتيجة لاستخدام الأراضي أو نتيجة لعملية أو مجموعة من العمليات بما في ذلك العمليات الناشئة عن نشاطات بشرية وأنماط موائل مثل (١) تعرية التربة بفعل الرياح و/أو المياه (٢) تدهور الخصائص الفيزيائية والكيماوية والبيولوجية أو الاقتصادية للتربة و(٣) خسارة الغطاء النباتي الطبيعي لفترة طويلة (اتفاقية الأمم المتحدة المعنية بمكافحة التصحر).

Detection and attribution الرصد والعزو
يتباين المناخ باستمرار على جميع النطاقات الزمنية. ورصد ← تغير المناخ عبارة عن عملية تبين أن المناخ قد تغير بالمعنى الاحصائي المعرف دون تقديم سبب لهذا التغيير. أما عزو أسباب تغير المناخ فعبارة عن عملية تحدد أرجح أسباب التغيير المرصود بمستوى محدد من الثقة.

Diurnal temperature range مدى درجات الحرارة اليومية
الفرق بين درجات الحرارة القصوى والصغرى خلال اليوم.

Dobson Unit (DU) وحدة دوبسون (وحدة مجموع الأوزون)
وحدة لقياس مجموع كمية الأوزون في عمود عمودي فوق سطح الأرض. وعدد وحدات دوبسون هو الكثافة في وحدات 10^{-5} م التي يحتلها عمود الأوزون إذا ضغط في شكل طبقة ذات كثافة موحدة عند ضغط ١٠١٣ hPa ودرجة حرارة ١٠ ^{5} س. وتعادل وحدة دوبسون الواحدة عموما أوزون يحتوي على ٢,٦٩ X 10^{20} جزيء في المتر المربع الواحد. والقيمة المعتادة لكمية الأوزون في عمود الغلاف الجوي للأرض هي ٣٠٠ وحدة وإن كانت هذه القيمة متغيرة بشدة.

Ecosystem النظام الإيكولوجي
نظام تفاعل الكائنات الحية معا مع البيئة المادية المحيطة. والحدود التي يمكن أن يطلق عليها اسم نظام إيكولوجي تعسفية بعض الشئ إذ تعتمد على تركيز الدراسة أو المصلحة. وعلى ذلك، فإن مدى النظام الإيكولوجي قد يتراوح بين نطاق مكاني صغير للغاية وحتى كوكب الأرض بكامله في نهاية المطاف.

El Nino-Southern Oscillation (ENSO) التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو
النينيو في معناها الأصلي هي تيار مياه دافئ يتدفق من آن لآخر على طول ساحل (أكوادور) و(بيرو) مثيرا للاضطراب في مصايد الأسماك المحلية. ويرتبط هذا الحدث المحيطي بتقلبات نمط الضغط السطحي في المناطق المدارية والدوران في المحيطين الهندي والهادئ يطلق عليها اسم التذبذبات الجنوبية. وتعرف هذه الظاهرة المترابطة بين الغلاف الجوي والمحيطات معا باسم التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو أو ENSO. وخلال أحداث النينيو تضعف الرياح التجارية السائدة ويقوى التيار الاستوائي العكسي مما يتسبب في تدفق المياه السطحية الدافئة في المنطقة الاندونيسية في اتجاه الشرق للتغطية على المياه الباردة في تيار بيرو. ولهذا الحدث تأثير كبير على الرياح ودرجة حرارة سطح البحر وأنماط التهطال في المناطق المدارية في المحيط الهادئ. ولها تأثيرات مناخية في جميع أنحاء منطقة المحيط الهادئ وفي الكثير من أنحاء العالم الأخرى. وعكس أحداث النينيو يسمى النينيا.

Emissions scenario سيناريو الانبعاثات
تمثيل موضوعي للتطورات المقبلة لانبعاثات المواد التي لها قدرة على النشاط الإشعاعي (مثل ← غازات الدفيئة ← والهباء) استنادا إلى مجموعة متجانسة ومتسقة داخليا من الافتراضات عن القوى الدافعة (مثل التطورات الديموغرافية والاجتماعية والاقتصادية والتغير التكنولوجي) وعلاقاتها الرئيسية.

تستخدم سيناريوهات التركيز المستمدة من سيناريوهات الانبعاثات في صورة مدخلات في نموذج مناخي لوضع ← الإسقاطات المناخية.

وعرضت في الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (١٩٩٢) مجموعة سيناريوهات الانبعاثات استخدمت كأساس لوضع ← إسقاطات المناخ في الهيئة الحكومية الدولية IPCC عام ١٩٩٦. ويشار إلى سيناريوهات الانبعاثات هذه باعتبارها سيناريوهات IP92. ونشرت في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية IPCC (Nakicenovic et al., 2000) سيناريوهات انبعاثات جديدة وهي ما يسمى ← سيناريوهات SRES واستخدم بعضها، بين سيناريوهات أخرى، كأساس لإسقاطات المناخ الواردة في الفصل التاسع بهذا التقرير. وللحصول على معاني بعض المصطلحات ذات الصلة بهذه السيناريوهات انظر ← سيناريوهات SRES.

Energy balance توازن الطاقة

ينبغي أن تكون موازنة الطاقة في النظام المناخي متوازنة، بعد وضع متوسط لها على مستوى العالم وعلى فترات زمنية طويلة، ونظرا لأن ← النظام المناخي يستمد جميع طاقته من الشمس، فإن هذا التوازن يعني أن تكون كمية ← الإشعاع الشمسي القادمة، على مستوى العالم، معادلة لكمية ← الإشعاع الشمسي المنعكس الخارج، والأشعة تحت الحمراء الخارجية والتي مصدرها النظام المناخي ويسمى الاضطراب الذي يحدث في هذا التوازن الإشعاع العالمي، بشري الاستحثاث أو طبيعي، ويسمى ← التأثير الإشعاعي.

Equilibrium and transient climate experiment التجربة المناخية المتوازنة والعارضة

التجربة المناخية المتوازنة عبارة عن تجربة يتاح فيها ← للنموذج المناخي للتكيف الكامل مع التغير في التأثير الإشعاعي. وتوفر هذه التجارب معلومات عن الفرق بين الحالات الأولى والنهائية للنموذج ولكن ليس على أساس الاستجابة المعتمدة على الوقت. وإذا ترك للتأثير أن يتطور بالتدريج وفقا ← لسيناريو انبعاثات محدد، يمكن تحليل الاستجابة المعتمدة على الوقت في النموذج المناخي. وتسمى هذه التجربة التجربة المناخية العارضة. انظر ← إسقاطات المناخ.

Equivalent CO2 (carbon dioxide) ثاني أكسيد الكربون المكافئ

تركيز ← ثاني أكسيد الكربون الذي يسبب نفس كمية التأثير الإشعاعي التي يطلقها مزيج معين من ثاني أكسيد الكربون ← وغازات الدفيئة الأخرى.

Eustatic sea-level change التغير في مستوى سطح البحر

تغير في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر الناجم عن تغير في حجم المحيط في العالم. وقد يحدث ذلك نتيجة للتغيرات في كثافة المياه أو في مجموع كتلة المياه. ويشمل هذا المصطلح في بعض الأحيان في المناقشات التي تدور بشأن التغيرات في النطاقات الزمنية الجيولوجية، التغيرات فلا المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر نتيجة لتغير شكل أحواض المحيطات. ولا يستخدم هذا المصطلح بهذا المعنى في هذا التقرير.

Evapotranspiraion البخر النتح

العملية المجتمعة للبخر من سطح الأرض والنتح من الغطاء النباتي.

External forcing التأثير الخارجي

انظر ← النظام المناخي.

Extreme weather event أحداث الطقس المتطرفة

أحداث الطقس المتطرفة هي الأحداث النادرة الوقوع في حدود التوزيع المرجعي الاحصائي في مكان معين. ويتباين تعريف "النادرة" إلا أن الحدث الطقس المتطرف يكون عادة نادرا أو أكثر ندرة من الجزيئ العاشر أو التسعين. وخصائص ما يسمى بالطقس المتطرف هي، بحكم تعريفه، قد تتباين من مكان لآخر.

والحدث الطقس المتطرف هو متوسط عدد الأحداث الطقسية خلال فترة زمنية معينة، وهو متوسط يعتبر متطرفا فى حد ذاته (مثل منسوب الأمطار في أحد الفصول)

Faculae البقع

هى بقع براقة في الشمس. والمنطقة التي تغطيها هذه البقع تكون أكبر في الفترات التي يزداد فيها ← النشاط الشمسي.

Feedback التغذية المرتدة

انظر: ← التغذية المرتدة للمناخ.

Flux adjustment ضبط التدفقات

لتجنب مشكلة أن يظهر نموذج دوران عام متقارن للغلاف الجوي والمحيطات بعض الأحوال المناخية غير الواقية، يمكن تطبيق شروط ضبط على تدفقات الحرارة والرطوبة في الغلاف الجوي والمحيطات (وأحيانا على الاجهادات السطحية الناجمة عن تأثير الرياح على سطح المحيط) قبل إدخال هذه التدفقات في نموذج المحيط والغلاف الجوى، ونظرا لأن عمليات الضبط هذه تكون محسوبة سلفا ومن ثم مستقلة عن تكامل النموذج المتقارن، فإنها لا تترابط مع حالات الشذوذ التي تظهر خلال التكامل. ويخلص الفصل الثامن بهذا التقرير إلى أن النماذج الحالية تقل فيها الحاجة إلى ضبط التدفقات.

Forest الغابات

نمط من الغطاء النباتي تهيمن عليه الأشجار. وثمة كثير من التعاريف لمصطلح الغابات تستخدم في مختلف أنحاء العالم مما يبين الفروق الشاسعة في الأحوال البيولوجية الفيزيائية الجغرافية والهيكل الاجتماعي والاقتصاديات. وللاطلاع على

المناقشات الخاصة بمصطلح الغابات وما يتصل به من مصطلحات مثل ← التشجير ← وإعادة التشجير ← وإزالة الغابات، انظر تقرير استخدام الأراضي والتغير في استخدام الأراضي والغابات الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC,2000).

Fossil CO2 (carbon dioxide) emissions انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفوري

انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناشئة عن حرق الوقود من الترسبات الكربونية الأحفورية مثل النفط والغاز والفحم.

Framework Convention on Climate Change الاتفاقية الإطارية المعنية بتغير المناخ

انظر: ← اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية المعنية بتغير المناخ (UNFCCC).

General Circulation الدوران العام

الحركة واسعة النطاق للغلاف الجوي والمحيطات نتيجة لاختلافات الحرارة على كوكب الأرض الدوار بهدف استعادة ← توازن الطاقة في النظام من خلال انتقال درجة الحرارة وقوة الدفع.

General Circulation Model نموذج الدوران العام

انظر: ← النموذج المناخي.

Geoid

السطح الذي يتخذه محيط من المحيطات يتمتع بكثافة متجانسة إذا كان في حالة ثابتة وفي عدم الحركة (أي لا يوجد دوران للمحيط ولا قوى سارية غير جاذبية الأرض). ويعنى ذلك أن الـ geoid سيكون سطحا ذا إمكانيات جاذبية ثابتة يمكن استخدامه كسطح مرجعي تستند إليه جميع السطوح الأخرى (مثل متوسط سطح البحر). وgeoid (والسطوح الموازية له) هي ما نطلق عليه في التجارب العامة "السطوح المستوية".

Glacier الجليديات

كتلة من الجليد الأرضي تتدفق إلى أسفل التل (من خلال التفكك الداخلي وتنزلق إلى القاعدة) وتكبحها التضاريس المحيطة مثل جوانب الوديان أو القمم المحيطة وتضاريس صخور المهاد هي المؤثر الرئيسي في دينامية الجليديات وإنزلاقها السطحي. وتتكون الجليديات من واقع تراكم الثلوج عند خطوط العرض القطبية وتتوازن بالذوبان عند خطوط العرض المنخفضة أو التصريف في البحار.

Global surface temperature درجة حرارة سطح العالم

درجة حرارة سطح العالم هي المتوسط العالمي المرجح حسب المنظمة لما يلي: (١) حرارة سطح البحر فوق المحيطات (أي درجة الحرارة العامة دون السطحية في الأمتار الأولى القليلة من الميحط) و(٢) حرارة الهواء السطحي فوق اليابسة عند ١,٥م فوق الأرض.

Global Warming Potential (GWP) احتمالات الاحترار العالمي

دليل يصف الخصائص الإشعاعية لغازات الدفيئة حسنة المزج ويمثل التأثيرات المجتمعة للأوقات المختلفة التي تبقى فيها هذه الغازات في الغلاف الجوي وفعاليتها النسبية في امتصاص الأشعة تحت الحمراء الخارجية. ويقرب هذا الدليل تأثير الاحترار المتكامل زمنيا لكتلة وحدة من غاز دفيئة معين في الغلاف الجوي لليوم بالمقارنة بتلك الخاصة ← بثاني أكسيد الكربون.

Greenhouse effect ظاهرة الدفيئة (مفعول الدفيئة)

← غازات الدفيئة التي تمتص بصورة فعالة الأشعة تحت الحمراء يبتعثها سطح الأرض، والغلاف الجوي ذاته نتيجة لنفس الغازات، والتي تبتعثها السحب. ويبتعث الإشعاع الغلاف الجوي إلى جميع الجوانب بما في ذلك إلى أسفل ناحية سطح الأرض. وعلى ذلك، فإن غازات الدفيئة تستقطب الحرارة ضمن نظام السطح – التروبوسفير مما يؤدي إلى ما يسمى بمفعول الدفيئة الطبيعية.

ويرتبط إشعاع الغلاف الجوي بقوة مع درجة حرارة المستوى الذي تنبعث منه. وفي ← التروبوسفير تنخفض درجة الحرارة عموما مع الارتفاع. وعلى ذلك، فإن الأشعة تحت الحمراء التي تنبعث إلى الفضاء تنشأ من خط عرض بدرجة حرارة يبلغ في المتوسط –١٩ °س متوازنة مع الاشعاع الشمسي القادم، في حين يظل سطح الأرض عند درجة حرارة أعلى بكثير يبلغ في المتوسط + ١٤ °س.

وتؤدي الزيادة في تركيزات غازات الدفيئة إلى زيادة لا انفاذية الأشعة تحت الحمراء في الغلاف الجوي ومن ثم إلى إشعاع فعال في الفضاء من خط عرض أعلى في درجة حرارة أقل. ويتسبب ذلك في تأثير إشعاعي واختلال لا يمكن تعويضه إلا بزيادة درجة حرارة نظام السطح – التروبوسفير. ويسمى ذلك مفعول الدفيئة الممتد.

Greenhouse gas غاز الدفيئة

غازات الدفيئة هي تلك المكونات الغازية الموجودة في الغلاف الجوي سواء أكانت طبيعية أو بشرية المنشأ التي تمتص الإشعاعات وتبعثها عند أطوال موجات معينة في نطاق طيف الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من سطح الأرض، والغلاف الجوي والسحب. وتتسبب هذه الخاصية في مفعول الدفيئة. ← وغازات الدفيئة الرئيسية الموجودة في الغلاف الجوي للأرض هي بخار الماء (N2O) وثاني أكسيد الكربون (CO2) وأكسيد النيتروز (N2O) والميثان (CH4) والأوزون .(O3) وعلاوة على ذلك، هناك عدد من غازات الدفيئة من صنع الإنسان بالكامل في

الغلاف الجوي مثل الهالوكربونات وغير ذلك من المواد المحتوية على الكلور والبروم التي تناولها ← بروتوكول مونتريال. وعلاوة على غازات CO2, N2O and CH4 يتناول ← بروتوكول كيوتو مادة هكسافلوريد الكبريت (SF6) والهيدروفلوريد كربون (HFCs) والبيرفلوروكربون (PFCS) من غازات الدفيئة.

Gross Primary Production (GPP) الإنتاج الأولي الإجمالي

كمية الكربون الثابت من الغلاف الجوي من خلال ← التحليل الضوئي.

Grounding line/zone خط/منطقة النزول

الرابطة بين ← صفيحة الجليد ← والجرف الجليدي أو المكان الذي يبدأ فيه الجليد في الطوفان.

Halocarbons الهالوكربونات

مركبات تحتوي على الكلور والبروم أو الفلور والكربون. ويمكن أن يكون لهذه المركبات مفعول ← غازات الدفيئة المقوى في الغلاف الجوي. والهالو كربونات المحتوية على الكلور والبروم تشارك أيضا في استنفاد طبقة الأوزون.

Heating degree days درجة يوم التسخين

مجموع درجة حرارة يوم تقل عن ١٨ °س (أي يوم بمتوسط درجة حرارة تبلغ ١٦ °س يحسب على أنه ٢ درجة حرارة انظر ← أيضا درجة برودة الأيام.

Heterotrophic respiration الاستنشاق متباين التغذية

تحويل المادة العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون من خلال كائنات غير النباتات.

Hydrosphere الهيدروسفير

عنصر النظام المناخي الذي يتألف من سطح سائل ومياه تحت أرضية مثل المحيطات والبحار والأنهار وبحيرات المياه العذبة والمياه الجوفية وغير ذلك.

Ice cap (القلنسوة الجليدية)

كتلة جليدية في شكل قبة تغطي مساحة مرتفعة من الأرض تعتبر أصغر حجماً من ← الصفيحة الجليدية.

Ice sheet صفيحة جليدية

كتلة من الجليد الأرضي تتسم بالعمق الذي يكفي لتغطية معظم تدارس الصخور القاعدية تحتها لدرجة أن شكلها يتحدد بالدرجة الأولى من خلال ديناميتها الداخلية (أي تدفق الجليد أثناء تفككه داخليا وانزلاقه عند قاعدته(وتتدفق الصفيحة الجليدية إلى الخارج من هضبة وسطى عالية مع منحدر سطحي متوسط صغير. وتنحدر الحواف بصورة حادة، وينصرف الجليد من خلال التدفق السريع للمجاري الجليدية أو منافذ الجليديات في بعض الأحوال إلى البحار أو إلى الأجراف الجليدية الطافية عبر البحار. ولا يوجد سوى صفيحتين جليديتين كبيرتين في العالم الحديث على غلاينلاند والمنطقة القطبية الشمالية. ونظرا لأن الصفيحة الجليدية في منطقة القطب الشمالي تنقسم إلى الشرق والغرب بفعل الجبال العابرة للمنطقة القطبية خلال العصور الجليدية، فإن هناك صفائح أخرى.

Ice shelf الجرف الجليدي

صفيحة ← جليدية طافية ذات كثافة كبيرة ترتبط بالساحل (وهو عادة ذو امتداد أفقي كبير بسطح مستو وغير متوج بصورة سلسة) وهو غالبا امتداد للصفائح الجليدية في اتجاه البحر.

Indirect aerosol effect تأثير الهباء غير المباشر

قد يؤدي ← الهباء إلى ← تأثير إشعاعي غير مباشر في← النظام المناخي من خلال العمل كنواة تكثيف أو تعديل الخصائص البصرية وفترة بقاء السحب. ويمكن تمييز نوعية من التأثيرات غير المباشرة.

First indirect effect التأثير غير المباشر الأول

تأثير إشعاعي متولد عن زيادة الهباء البشري المنشأ يتسبب في زيادة أولوية في تركيز القطيرات، وتقلص حجمها إلى محتوى ثابت من المياه مما يؤدي إلى زيادة السحب ← البياض. ويعرف هذا التأثير أيضا "بتأثير تومي" Towmey effect. ويشار إلى ذلك في بعض الأحيان على أنه تأثير بياض السحب Cloud albedo effect .غير أن ذلك ينطوي على تضليل كثير نظرا لأن التأثير غير المباشر الثاني يغير أيضا بياض السحب.

Second indirect effect التأثير غير المباشر الثاني

تأثير إشعاعي متولد عن زيادة الهباء البشري المنشأ يتسبب في تقليص حجم القطيران وخفض كفاءة التهطال ومن ثم تعديل المحتوى المائي السائل، وكثافة السحب وفترة بقائها. ويعرف هذا التأثير أيضا باسم تأثير بقاء السحب أو تأثير البريشت.

Industrial revolution الثورة الصناعية

فترة من النمو الصناعي السريع مع ما تنطوي عليه من عواقب اجتماعية واقتصادية واسعة النطاق بدأت في إنجلترا خلال النصف الثاني من القرن الثامن عشر وانتشرت في أوروبا ثم بعد ذلك إلى بلدان أخرى بما فيها الولايات المتحدة. وكان اختراع الآلة البخارية نقطة انطلاق هامة لهذا التطور. وتؤرخ الثورة الصناعية لبداية الزيادة الكبيرة في استخدام الوقود الأحفوري وانبعاثات على وجه الخصوص ثاني أكسيد الكربون الأحفوري. ويشير مصطلحا قبل الثورة الصناعية والعصر الصناعي في هذا التقرير، بصورة تعسفية بعض الشئ، إلى الفترات قبيل ١٧٥٠ وبعدها على التوالي.

Infrared radiation الإشعاع دون الأحمر
عبارة عن إشعاع ينبعث من سطح الأرض، والغلاف الجوي والسحب. ويعرف أيضا بالإشعاع الأرضي أو طويل الموجة، وله نطاق مميز لمنشور طويل الموجة أطول في الواقع من طول موجة اللون الأحمر في الجزء المنظور من المنشور. ومنشور الإشعاع دون الأحمر متميز بصورة عملية عن منشور ← الإشعاع الشمسي أو قصير الموجة نتيجة للاختلاف في درجة الحرارة بين الشمس ونظام الغلاف الجوي الأرضي.

Integrated assessment التقييم المتكامل
طريقة للتحليل تجمع بين النتائج والنماذج الناجمة عن العلوم الفيزيائية والبيولوجية والاقتصادية والاجتماعية والتفاعل بين هذه العناصر، ضمن إطار متساوق، لتقييم حالة ونتائج التغيرات البيئية واستجابة السياسات لها.

Internal variability التقلبية الداخلية
انظر: ← تقلبية المناخ.

Inverse modelling النموذج المقلوب
إجراء رياضي تقدر بواسطته المدخلات في نموذج من النماذج المرصودة وليس العكس. وتستخدم، مثلا، لتقدير موقع وقوة المصادر والبالوعات الماصة لثاني أكسيد الكربون من قياسات توزيع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، ومن نماذج ← معينة لدورة الكربون في العالم، وحساب الانتقال في الغلاف الجوي.

Isostatic land movements تحركات الأراضي اليوستاتية
تشير اليوستاتية إلى الطريقة التي يستجيب بها ← الليتوسفير والغطاء للتغيرات في أحمال السطح. فعندما يتغير حمل الليتوسفير نتيجة للتغيرات في كتلة الأرض وكتلة المحيط والترسب، والتعرية أو تكوين الجبال، تنشأ تعديلات يوستاتية لإحداث توازن الحمل الجديد.

Kyoto protocol بروتوكول كيوتو
اعتمد بروتوكول كيوتو في اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية المعنية بتغير المناخ خلال الدورة الثالثة لمؤتمر الأطراف في ← اتفاقية الأمم المتحدة المعنية بتغير المناخ في كيوتو، اليابان عام ١٩٩٧. ويتضمن البروتوكول التزامات ملزمة قانونا علاوة على تلك المدرجة في اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية المعنية بتغير المناخ. ووافقت البلدان المدرجة في الملحق باء بالبروتوكول (معظم بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي) على الحد من انبعاثات ←غاز الدفيئة البشرية المنشأ لديها (ثاني أكسيد الكربون، والميثان وأكسيد النتروز و,HFCs PFCs, SF6 بما لا يقل عن ٥٪ من مستوياتها في ١٩٩٠ خلال فترة الالتزام التي تمتد من ٢٠٠٨ إلى ٢٠١٢. ولم يدخل بروتوكول كيوتو حيز التنفيذ بعد (نوفمبر/تشرين الثاني ٢٠٠٠).

Land use استخدام الأراضي
مجموع الترتيبات والأنشطة والمدخلات التي تتخذ في نوع معين من الغطاء الأرضي (مجموعة من الأعمال البشرية). والأغراض الاجتماعية والاقتصادية التي تدار من أجلها الأراضي (مثل الرعي وإنتاج الأخشاب والصيانة).

Land-use change التغير في استخدام الأراضي
تغير في استخدام أو ادارة الأراضي بواسطة البشر، والذي قد يؤدي إلى تغيير في الغطاء الأرضي. وقد يكون للغطاء الأرضي والتغير في استخدام الأراضي تأثير على ← البياض ←والبخر نتح ←ومصادر غازات الدفيئة ←وبالوعات امتصاصها أو خصائص ← النظام المناخي، وقد تؤثر بذلك على المناخ سواء محليا أو عالميا. انظر أيضا تقرير استخدام الأراضي والتغير في استخدام الأراضي والغابات الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC,2000).

La Nina لا نينيا
انظر: ← التذبذبات الجنوبية ذات الصلة بظاهرة النينيو.

Lifetime العمر
عبارة عن مصطلح عام يستخدم للإشارة إلى النطاقات الزمنية المختلفة التي تميز معدل العمليات التي تؤثر في تركيز الغازات النزرة. ويمكن تمييز الأعمار التالية:

Turnover time (T) وقت الدوران هو نسبة الكتلة M في مستودع (مثل مركب غازي في الغلاف الخارجي) والمعدل الكلي لإزالة S من المستودع. T=M/S. ويمكن تحديد وقت دوران منفصل لكل عملية إزالة. ويشار إلى ذلك بيولوجيا الكربون في التربة بأنه متوسط وقت البقاء Mean. Residence Time (MRT)

وقت المواءمة أو وقت الاستجابة (Ta) هو النطاق الزمني الذي يصف تحلل المدخلات النبضية الفورية في المستودع. كما يستخدم مصطلح *adjustment time* لوصف تكيف كتلة المستودع بعد تغيير خطة في قوة المصدر. ويستخدم مصطلح نصف الحياة *half-life* أو التحلل الثابت *decay constant* لوضع تحديد كمي لعملية التحلل الاستقرائية الأولى. انظر ← وقت الاستجابة للحصول على تعريف مختلف يتصل بالتغييرات المناخية. ويستخدم مصطلح العمر *life time* أحيانا للتبسيط، كصنو لمصطلح adjustment time.

وفي الحالات البسيطة حيث تتناسب إزالة المركب من العالم بصورة مباشرة مع مجموع كتلة المستودع، يعادل وقت التكيف وقت الدوران T=Ta. وأحد الأمثلة على ذلك CFC-11 الذي لا يمتص من الغلاف الجوي إلا بعمليات كيميائية ضوئية في الغلاف الجوي. وفي الحالات الأكثر تعقيدا، حيث يشتمل الأمر على عدة مستودعات أو حيث لا يتناسب الامتصاص مع الكتلة الكلية،

لا تعد معادلة T=Ta. سليمة. ←وثاني أكسيد الكربون مثال متطرف. فوقت دورانه لا يتجاوز أربع سنوات نتيجة للتبادل السريع بين الغلاف الجوي والمحيطات والكتلة الاحيائية الأرضية. غير أن جزءا كبيرا من ثاني أكسيد الكربون يعود إلى الغلاف الجوي في غضون سنوات قليلة. وعلى ذلك، فإن وقت تكيف ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الخارجي يتحدد في الواقع بفعل معدل امتصاص الكربون من الطبقة السطحية للمحيطات ونقلها إلى الطبقات الأكثر عمقا. وعلى الرغم من أنه يمكن إعطاء قيمة تقريبية تبلغ ١٠٠ عام لوقت تكيف ثاني أكسيد الكربون، فإن التكيف الفعلي أسرع فى البداية وأكثر بطئا في الوقت اللاحق. وفي حالة الميثان، يختلف وقت التكيف عن وقت الدوران لأن الامتصاص يتم أساسا من خلال التفاعل الكيماوي مع الهيدركسيل راديكال OH وهو تركيز يعتمد نفسه على تركيز الميثان. ولذا فإن امتصاص تركيز الميثان S لا يتناسب مع مجموعة كتلته M.

Lithosphere الليتوسفير

طبقة عليا من الأرض الصلبة سواء أكانت قارية أو محيطية تتألف من جميع الصخور القشرية والغطاء الأعلى البارد وإن كان مرنا أساسا. ولا يعتبر النشاط البركاني، رغم أنه جزء من الليتوسفير، جزءا من ← النظام المناخي إلا أنه يعمل كعامل تأثير خارجي – انظر تحركات الأراضي اليوساتية.

LOSU (Level of Scientific Understanding) مستوى الفهم العلمي

هذا دليل يتكون من سلم من أربع خطوات هي (مرتفعة ومتوسطة ومنخفضة وشديدة الانخفاض) صمم لوصف درجة الفهم العلمي لعوامل التأثير الإشعاعي التي تؤثر في تغير المناخ. ويمثل الدليل، لكل عامل، تقديرا ذاتيا عن موثوقية تقدير تأثيره، واشتراك هذه العوامل باعتبارها افتراضات ضرورية لتقييم التأثير ودرجة المعارف عن الآليات الفيزيائية والكيماوية التي تحدد التأثير وعدم اليقين المحيط بالتقديرات الكمية.

Mean Sea Level متوسط مستوى سطح البحر

انظر: ← مستوى سطح البحر النسبي.

Mitigation التخفيف

تدخل بشري للحد من ← مصادر ←غازات الدفيئة ←أو تعزيز بالوعات امتصاصها.

Mixing Ration نسبة المزج

انظر: ← مجتزأ المول Mole fraction.

Model hierarchy الهيكل الهرمي النموذجي

انظر: ← نموذج المناخ.

Mole fraction مجتزأ المول

مجتزأ المول أو نسبة خليط معين هو نسبة عدد المولات في مكون من حجم معين إلى مجموع مولات جميع المكونات في ذلك الحجم. ويشار إليه عادة بالهواء الجاف. والقيم المعتادة ←لغازات الدفيئة طويلة العمر هي في حدود µmol/mol (أجزاء من المليون: ppm) و fmol/mol (أجزاء من التريليون ppb). ويختلف مجتزأ المول عن نسبة خلط الحجم Volume mixing ratio ، ويعبر عنه عادة باختصار ppmv وغير ذلك من خلال تصويب عدم مثالية الغازات. وهذا التصويب كبير بالنسبة لدقة قياسات الكثير من غازات الدفيئة (المصدر: Schwartz and Warneck, 1995).

Montreal Protocol بروتوكول مونتريال

بروتوكول مونتريال بشأن المواد التي تستنفد طبقة الأوزون صدر في مونتريال عام ١٩٨٧، وعدل بعد ذلك ونقح في لندن (١٩٩٠) وفي بيجين (١٩٩٩). وينظم استهلاك وإنتاج الكيماويات المحتوية على الكلور والبروم التي تدمر أوزون الستراتوسفير مثل CFCs والميثيل كلورفورم، وتيتراكلوريد الكربون وغيرها كثير.

Net Biome Production (NBP) NEP إنتاج البيوم الصافي

لا مكسب ولا خسارة من الكربون المستمد من النظام الإيكولوجي. ويعادل NEP إنتاج ← النظام الإيكولوجي الصافي بعد خصم الكربون المفقود الناجم عن اضطراب مثل حرائق الغابات وحصاد الغابات.

Net Ecosystem Production صافي إنتاج النظام الإيكولوجي (NEP)

صافي الزيادة أو الفقد في الكربون من ←نظام إيكولوجي. ويعادل NEP ←صافي الإنتاج الأولي ناقصا الكربون المفقود من خلال الاستنشاق متباين التغذية.

Net Primary Production صافي الانتاج الأولي (NPP)

الزيادة في ←الكتلة الاحيائية النباتية أو الكربون في وحدة من المناظر الطبيعية ويعادل NPP ←الإنتاج الأولي الإجمالي ناقصا الكربون المفقود من خلال الاستنشاق ذات التغذية.

Nitrogen fertilisation التخصيب بالنيتروجين

تعزيز نمو النباتات بإضافة مركبات نيتروجينية. ويشير هذا التعبير في تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، عادة، إلى التخصيب الناجم عن مصادر النيتروجين البشرية المنشأ والأسمدة وأكاسيد النيتروجين المنطلقة من إحراق الوقود الأحفوري.

Non-linearity عدم الخطية
عملية تسمى "غير خطية" عندما لا توجد علاقة تناسبية بين العلة والمعلول. ← فالنظام المناخي يحتوى على الكثير من العمليات غير الخطية مما يؤدي إلى نظام ينطوي على سلوك شديد التعقيد. وقد يؤدي هذا التعقيد إلى ←تغير سريع في المناخ.

North Atlantic Oscillation (NAO) التذبذبات الشمال أطلسية
تتألف التذبذبات الشمال أطلسية من تغيرات متعارضة في الضغط البارومتري بالقرب من ايسلندا وقرب جزر الأزور. ويحدث في المتوسط أن تيارا غربيا بين منطقة الضغط المنخفض في ايسلندا ومنطقة الضغط المرتفع في الأزور يحمل أعاصير مع ما يرتبط بها من نظم جبهية نحو أوروبا. غير أن الفرق في الضغط بين ايسلندا والأزور يتفاوت من حيث النطاقات الزمنية من الأيام إلى العقود ويمكن عكسه في بعض الأوقات.

Organic aerosol الهباء العضوي
←جسيمات الهباء التي تتألف بالدرجة الأولى من مركبات عضوية وخاصة الكربون والميثان والأكسجين وكميات أقل من عناصر أخرى. (المصدر: Charlson and Heintzenberg, 1995, p. 405) انظر: ← الهباء الكربوني.

Ozone الأوزون
الأوزون، الشكل الثلاثي الذرات من الأكسجين، عبارة عن أحد مكونات الغلاف الجوي. ويتولد في ← طبقة التروبوسفير بصورة طبيعية أو من خلال التفاعلات الكيماوية الضوئية التي تشتمل على غازات ناجمة عن أنشطة بشرية (ضباب دخاني). ويعمل الأوزون التروبوسفيري في شكل ← غاز دفيئة. ويتولد في ← الستراتوسفير من خلال التفاعل بين الأشعة فوق البنفسجية الشمسية والأوكسجين الجزيئي. ويضطلع الأوزون الستراتوسفيري بدور حاسم في التوازن الإشعاعي الستراتوسفيري وتوجد أعلى تركيزاته في ←طبقة الأوزون.

Ozone hole ثقب الأوزون
انظر: ← طبقة الأوزون.

Ozone layer طبقة الأوزون
يحتوي ← الستراتوسفير على طبقة يكون تركيز الأوزون فيها هو الأكبر ويسمى طبقة الأوزون. وتمتد هذه الطبقة من نحو ١٢ إلى ٤٠ كيلومترا. ويصل تركيز الأوزون إلى أعلى مستوياته بين نحو ٢٠ و٢٥ كيلومترا. ويصل تركيز الأوزون إلى أعلى مستوياته بين نحو ٢٠ و٢٥ كيلومترا. وتتعرض هذه الطبقة للاستنفاد من جانب الانبعاثات البشرية من مركبات الكلور والبروم. ويحدث في كل عام، في ربيع نصف الكرة الجنوبي، استنفاد شديد لطبقة الأوزون فوق منطقة القطب الجنوبي، ويحدث هذا أيضا نتيجة لمركبات الكلور والبروم بشرية المنشأ مقترنة بالأحوال الجوية النوعية في تلك المنطقة. وتسمى هذه الظاهرة ثقب الأوزون.

Parametrization وضع المعايير
يشير هذا المصطلح، في ←النماذج المناخية إلى تقنية تمثيل العمليات التي لا يمكن حلها بوضوح عند التحليل المكاني أو الزماني للنموذج (عمليات على مستوى الشبكة الفرعية) من خلال العلاقات بين التأثير المتوسط للمكان أو الزمان لهذه العمليات الشبكية الفرعية وتدفق على النطاق الأكبر.

Patterns of climate variability أنماط تقلبية المناخ
تحدث التقلبية الطبيعية في النظام المناخي وخاصة على نطاق الفصل أو النطاق الزمني الأطول، بدرجة كبيرة بأنماط مكانية مفضلة من خلال الخصائص غير الخطية الدينامية للدوران في الغلاف الجوي ومن خلال التفاعلات مع أسطح الأرض والمحيطات. وتسمى هذه الأنماط المكانية أيضا "نظم" أو "طرق". ومن الأمثلة على ذلك التذبذبات الشمال أطلسية ونمط المحيط الهادئ ← أمريكا الشمالية، ←والتذبذبات الجنوبية ذات الصلة بالنينيو، وتذبذبات منطقة القطب الشمالي.

Photosynthesis التمثيل الضوئي
العملية التي تمتص فيها النباتات ثاني أكسيد الكربون من الهواء أو البيكربونات في الماء) لتكوين مواد نشوية وتطلق الأكسجين خلال هذه العملية. وهناك العديد من المسارات للتمثيل الضوئي مع استجابات مختلفة لتركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. انظر: ← تخصيب ثاني أكسيد الكربون.

Pool بركة
انظر: ← المستودع.

Post-glacial rebound ارتداد ما بعد الجليد
الحركة الرأسية للقارات وقاع البحار بعد اختفاء أو تقلص ←الصفيحة الجليدية مثل منذ العصر الجليدي الأعظم الأخير (21 Ka BP). والارتداد هو حركة للأراضي متوازنة الضغط.

Ppm, ppb, ppt
انظر: ← مجزأ مول.

Precursors مواد سلف
مركبات فى الغلاف الجوي لا تعتبر في حد ذاتها ←غازات دفيئة ←أو هباء ولكنها تؤثر في تركيزات غازات الدفيئة أو الهباء بأن تشارك في عمليات فيزيائية أو كيماوية تنظم معدلات توليد أو تدمير هذه الغازات.

Pre-industrial عصر ما قبل الصناعة
انظر: ← الثورة الصناعية.

Projection (generic) إسقاطات عامة
الإسقاط هو تطور مقبل محتمل كمية أو مجموعة من الكميات تحسب عادة بمعاونة نموذج. ويجري التفريق بين الإسقاطات والتنبؤات لتأكيد أن الإسقاطات تشتمل على افتراضات تتعلق مثلا بالتطورات الاجتماعية والاقتصادية والتكنولوجية المقبلة التي قد تتحقق أو لا تتحقق ومن ثم فهي تخضع لقدر كبير من عدم اليقين. انظر أيضا: ←إسقاطات المناخ ←وتنبوءات المناخ.

Proxy تقريبي
المؤشر المناخي التقريبي عبارة عن سجل محلي يفسر باستخدام مبادئ فيزيائية وفيزيائية احيائية لتمثيل بعض التوليفات من المتغيرات ذات الصلة بالمناخ التي ترجع إلى أزمنة سابقة. ويشار إلى البيانات ذات الصلة بالمناخ المستخلصة بهذه الطريقة بيانات تقريبية أو غير مباشرة ومن الأمثلة على ذلك سجلات حلقات الأشجار، وخصائص الشعب المرجانية ومختلف البيانات المستخلصة من العينات الجليدية.

Radiative forcing التأثير الإشعاعي
التأثير الإشعاعي هو التغيير في صافي الإشعاع العمودي (مقاسا بالواط في المتر المربع: و م−٢) في ← التروبوبوز نتيجة لتغير داخلي أو تغير في التأثير الخارجي ← للنظام المناخي مثل حدوث تغير في تركيز ← ثاني أكسيد الكربون أو الاشعاع الشمسي. ويحسب التأثير الإشعاعي عادة بعد إتاحة إعادة تكيف درجات حرارة الستراتوسفير مع التوازن الإشعاعي ولكن مع الاحتفاظ بجميع خصائص التروبوسفير ثابتة عند قيم لا تتغير. ويسمى التأثير الإشعاعي "الفوري" إذا لم يعلل أي تغيير في درجة حرارة الستراتوسفير. ويتناول الفصل السادس في هذا التقرير المشكلات العملية ذات الصلة بهذا التصريف ولاسيما فيما يتعلق بالتأثير الاشعاعي المرتبط بالتغيرات الناجمة عن الهباء، وتكوين التهطال بواسطة السحب.

Radiative forcing scenario سيناريو التأثير الإشعاعي
تمثيل معقول للتطورات المقبلة ←للتأثير الإشعاعي المرتبط، مثلا، بالتغيرات في تكوين الغلاف الجوي أو التغير في استخدام الأراضي أو بالعوامل الخارجية مثل التغييرات في ← النشاط الشمسي. ويمكن استخدام سيناريوهات التأثير الإشعاعي كمدخلات في النماذج المناخية المبسطة لحساب ←إسقاطات المناخ.

Radio-echosounding مسبر بالصدى – اللاسلكي
يمكن رسم خرائط لسطح الجليديات وصخور القاع ومن ثم كثافتها بواسطة الرادار حيث تنعكس الإشارات التي تخترق الجليد على الحدود السفلى مع الصخور (أو المياه بالنسبة للجسم الجليدي الطافي).

Rapid climate change تغير المناخ السريع
قد تؤدي ←عدم خطية ← النظام المناخي إلى حدوث تغير مناخي سريع يسمى في بعض الأحيان الأحداث المفاجئة أو حتى المفاجآت. ويمكن تصور بعض هذه الأحداث المفاجئة مثل إعادة التنظيم الجذري ← للدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي في المحيط، وذوبان الجليد السريع أو الذوبان واسع النطاق لطبقة الجليد الدائم مما يؤدي إلى تغيرات سريعة في ←دورة الكربون. وقد يكون البعض الآخر من هذه الأحداث غير متوقع مثل نتائج التغير السريع القوي في النظام غير الخطي وتأثيراته.

Reforestation إعادة التشجير
زراعة الأشجار في الأراضي التي كانت تضم في السابق غابات إلا أنها حولت إلى استخدامات أخرى. ولمناقشة مصطلح ←الغابات وما يتصل به من مصطلحات مثل ← التشجير ←وإعادة التشجير وإزالة الأشجار، انظر تقرير استخدام الأراضي والتغيير في استخدام الأراضي والغابات الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ.

Regimes النظم
الأنماط المفصلة ← لتقلبية المناخ.

Relative Sea Level المستوى النسبي لسطح البحر
مستوى سطح البحر الذي يقاس بواسطة ←مقياس المد بالنسبة إلى الأرض الذي يوجد فيه هذا البحر. ومتوسط مستوى سطح البحر يعرف عادة بأنه يحاكي نسبياً المستوى النسبي لسطح البحر خلال فترة زمنية، مثل شهر أو سنة، تكفي لوضع متوسطات للعناصر العارضة مثل الأمواج.

(Relative) Sea Level Change التغير العالمي في المستوى (النسبي) لسطح البحر
التغيرات طويلة الأجل ذات الصلة بمستوى سطح البحر والتي تتم إما بواسطة ←التغيرات اليوستاتية أو ←بالتمدد الحراري أو التغيرات في التحركات الأرضية الرأسية.

Reservoir المستودع
عنصر من عناصر ←النظام المناخي، غير الغلاف الجوي، له القدرة على تخزين المواد المثيرة للقلق مثل الكربون ← وغازات الدفيئة أو ← المواد السلف لها وتجميعها أو إطلاقها. وتعتبر المحيطات والتربة ←والغابات من الأمثلة على مستودعات الكربون. الحوض تعبير مكافئ (لاحظ أن تعريف الحوض يشمل الغلاف الجوي في غالب الأحيان). وتسمى الكمية المطلقة لمادة مثار القلق يحتفظ بها في مستودع لفترة زمنية محددة، المخزون.

Respiration الاستنشاق (التنفس)
العملية التي تحول بها الكائنات الحية المادة العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون لإطلاق احتياجاتها من الطاقة واستهلاك الأكسجين.

Response time وقت الاستجابة
وقت الاستجابة أو وقت التكيف هو الوقت اللازم ← للنظام المناخي أو عناصره لإعادة التوازن في حالة جديدة بعد تأثير ناجم عن عمليات خارجية أو داخلية أو ← تغذيات مرتدة. وهو شديد الاختلاف بالنسبة للعناصر المختلفة للنظام المناخي. فوقت الاستجابة ← لتروبوسفير قصير نسبيا ويتراوح بين أيام وأسابيع في حين أن الستراتوسفير تدخل مرحلة التوازن في نطاق زمني يبلغ عادة بضعة أشهر. ونظرا للقدرة الحرارية الكبيرة للمحيطات، فإنها تمتلك وقت استجابة أطول يبلغ عادة عقود إلا أنه قد يمتد إلى قرون أو ألفيات. ولذا فإن وقت الاستجابة الخاص بنظام التروبوسفير – السطح المرتبط يعتبر قصيرا بالمقارنة بذلك الخاص بالستراتوسفير، ويتحدد أساسا بواسطة المحيطات. وقد يستجيب ← البيوسفير بسرعة مثل لحالات الجفاف إلا أنه شديد البطء أيضا بالنسبة للتغييرات المفروضة. انظر: ← العمر للحصول على تعريف مختلف لوقت الاستجابة يتصل بحالة العمليات التي تؤثر في تركيزات الغازات النزرة.

Scenario (Generic) سيناريو (عام)
وصف معقول ومبسط في غالب الأحيان للطريقة التي قد يتطور بها المستقبل استنادا إلى مجموعة افتراضات متجانسة ومتسقة داخليا عن القوى المحركة والعلاقات الرئيسية. وقد تستمد السيناريوهات من ← الإسقاطات إلا أنها تستند في غالب الأحيان إلى معلومات إضافية من مصادر أخرى، ويقترن في بعض الأحيان "بالواقع السردي" انظر أيضا ← سيناريوهات التقرير الخاص SRES، ←وسيناريو المناخ ←وسيناريوهات الانبعاثات.

Sea level rise ارتفاع مستوى سطح البحر
انظر: ← التغير العالمي في المستوى النسبي لسطح البحر. والتمدد الحراري.

Sequestration عزل
انظر: ← امتصاص.

Significant wave height ارتفاع الموجة المعنوي
متوسط ارتفاع أعلى ثلث جميع الموجات البحرية التي تحدث في فترة زمنية معينة. ويستخدم ذلك كمؤشر على الحكم المميز لأعلى الموجات.

Sink البالوعة
أية عملية أو نشاط أو آلية تزيل ←غازات الدفيئة أو ← هباء أو مادة سلف لغازات أو هباء الدفيئة من الغلاف الجوي.

Soil moisture رطوبة التربة
ماء مختزن في سطح الأراضي أو تحته وقابل للتبخر.

Solar activity نشاط شمسي
تظهر الشمس فترات من النشاط المرتفع الملاحظ في عدد ← البقع الشمسية فضلا عن الناتج الإشعاعي، والنشاط المغناطيسي وانبعاث جسيمات الطاقة المرتفعة. وتحدث هذه الاختلافات على طائفة من النطاقات الزمنية تتراوح بين ملايين السنين والدقائق. انظر: ← الدورة الشمسية.

Solar("11 Year") Cycle الدورة الشمسية (كل ١١ عاما)
نموذج شبه منتظم ←للنشاط الشمسي مع تباين النطاق والفترة ما بين ٩ و١٣ عاما.

Solar radiation الإشعاع الشمسي
إشعاع تبعثه الشمس. ويشار إليه أيضا بالإشعاع قصير الموجات. وللإشعاع الشمسي مدى متميز من أطوال الموجات (المنشور) تحدده درجات حرارة الشمس. انظر: ← أيضا إشعاع تحت الأحمر.

Soot particles جسيمات السناج
جسيمات تتكون خلال انطفاء الغازات على الحافة الخارجية للهيب البخار العضوي وتتألف في غالبها من الكربون مع كميات أقل من الأكسجين، ويوجد الهيدروجين في شكل مجموعات كربوكسيل والفينول وتظهر شكلا كربونيا غير كامل. انظر: ← الكربون الأسود والفحم النباتي. (المصدر: Charlson and Heintzenberg, 1995. P. 406).

Source المصدر
أي عملية أو نشاط أو آلية تطلق غازات الدفيئة أو هباء أو مادة سابقة لغازات الدفيئة أو الهباء في الغلاف الجوي.

Spatial and temporal scales النطاقات المكانية والزمنية
قد يتباين المناخ على طائفة واسعة من النطاقات المكانية والزمنية. وقد تتراوح النطاقات المكانية بين النطاق المحلي (أقل من ١٠٠ ٠٠٠ كيلومتر٢) مروراً بالنطاق الإقليمي (١٠٠ ٠٠٠ إلى ١٠ ملايين كيلومتر٢) إلى النطاق القاري (١٠ إلى ١٠٠ مليون كيلومتر٢). أما النطاقات الزمنية فقد تتراوح بين فصل ونطاق جيولوجي (حتى مائة مليون سنة).

SRES scenarios سيناريوهات التقرير الخاص
سيناريوهات التقرير الخاص هي سيناريوهات الانبعاثات التي وضعها Nakicenovic وآخرون (٢٠٠٠) واستخدمت، بين جملة أمور، كأساس لوضع إسقاطات المناخ في الفصل التاسع من هذا التقرير. والمصطلحات التالية ذات صلة بتحسين فهم هيكل مجموعة سيناريوهات التقرير الخاص واستخدامها.

Scenario family زمرة السيناريوهات
سيناريوهات لها وقائع تغير ديمغرافي واجتماعي واقتصادي

وفني. وهناك أربع زمر سيناريوهات تتألف منها مجموعة سيناريوهات التقرير الخاص وهي .A1 ,A2, B1, B2

(Scenario) Group مجموعة السيناريوهات

السيناريوهات داخل الزمرة التى تعكس تغيرات مستمرة في الوقائع المنظورة. فزمرة السيناريو A1 تشمل أربع مجموعات صممت فى شكل A1B, A1G, A1C, A1T لا تستكشف الهياكل البديلة لنظم الطاقة في المستقبل. وفي الملخص لواضعي السياسات الذي أعده Nakicenovic وآخرون (٢٠٠٠)، جمعت مجموعتا A1C, A1G في مجموعة سيناريوهات A1FI "ذات الكثافة الاحفورية". أما زمر السيناريوهات الثلاثة الأخرى فيتألف كل منها من مجموعة وعلى ذلك فإن مجموعة السيناريوهات الواردة في التقرير الخاص والتي تظهر في الملخص لواضعي السياسات الذي أعده Nakicenovic وآخرون (٢٠٠٠) تتألف من ست مجموعات متميزة من السيناريوهات، جميعها سليم بنفس القدر وتضم مجتمعة طائفة عدم اليقين المرتبطة بالقوى الدافعة والانبعاثات.

Illustrative Scenario السيناريو التوضيحي

سيناريو يوضح كل مجموعة من مجموعات السيناريوهات الست التي تظهر في الملخص لواضعي السياسات الذي أعده Nakicenovic وآخرون (٢٠٠٠) . وهي تشمل أربعة سيناريوهات دليلية معدلة لمجموعات السيناريوهات A1B,A2,B1,B2 فضلا عن سيناريوهين آخرين لمجموعتي A1F1, A1T. وجميع مجموعات السيناريوهات متساوية في سلامتها.

(Scenario) Marker السيناريو الدليلي

سيناريو وضع في الأصل في شكل مسودة في موقع SRES على شبكة الانترنت ليمثل زمرة سيناريوهات معينة. واستندت عملية اختيار السيناريوهات الدليلية إلى أي من التقديرات الكمية الأولية يعكس على أفضل وجه الوقائع المنظورة، وجوانب نماذج معينة. والسيناريوهات الدليلية ليست أكثر احتمالا من السيناريوهات الأخرى إلا أن فريق كتابة التقرير الخاص SRES يرى أنها توضح وقائع منظورة معينة. وقد أدرجت في شكل معدل في Nakicenovic وآخرون (٢٠٠٠). وقد حظيت هذه السيناريوهات بأوثق أشكال الفحص من جانب فريق الكتابة بأكمله ومن خلال عملية SRES المفتوحة. وقد اختيرت سيناريوهات أيضا لتوضيح المجموعتين الأخريين من السيناريوهات (انظر أيضا "مجموعة السيناريوهات" و"السيناريو التوضيحي".

(Scenario) Storyline سيناريو الوقائع المنظورة

وصف سردي لسيناريو (أو زمرة من السيناريوهات) تبرز خصائص السيناريو الرئيسي، والعلاقات بين القوى الدافعة الرئيسية وديناميات تطورها.

Stock المخزون

انظر: ← المستودع (Stock) .

Storm surge عباب (عرام) العاصفة

الزيادة المؤقتة، في موقع معين، في ارتفاع سطح البحر نتيجة لظروف جوية متطرفة (انخفاض الضغط الجوي و/أو الرياح القوية). ويعرف عباب العاصفة بأنه الزيادة عن المستوى المتوقع من التباين المدى بمفرده في ذلك الوقت والمكان.

Stratosphere ستراتوسفير

منطقة الغلاف الجوي الطباقية العالية الواقعة فوق ←التروبوسفير والتي تمتد من ١٠ كيلومترات (تتراوح بين ٩ كيلومترات عند خطوط العرض القطبية و١٦ كيلومترا في المناطق المدارية في المتوسط) إلى نحو ٥٠ كيلومترا.

Sunspots البقع الشمسية

منطقة داكنة صغيرة في الشمس. ويزيد عدد البقع الشمسية في فترات ارتفاع النشاط الشمسي، ويتباين على وجه الخصوص بحسب ← الدورة الشمسية.

Thermal Expansion التمدد الحراري

يشير ذلك، فيما يتصل بمستوى سطح البحر، إلى الزيادة في الحجم (ونقص في الكثافة) نتيجة لاحترار الماء. ويؤدي احترار المحيط إلى تمدد حجمه ومن ثم ارتفاع مستوى سطح البحر.

Thermoline circulation دوران مدفوع بالتباين الحراري والملحي

دوران واسع النطاق في المحيطات يرتهن مداه بالكثافة وتسببه الخلافات في درجات الحرارة والملوحة. ويتألف هذا الدوران في شمال الأطلسي من مياه سطحية حارة تتدفق صوب الشمال ومياه عميقة باردة تتدفق نحو الجنوب مما يؤدي إلى نقل صاف للحرارة صوب القطب وتسقط المياه السطحية في مناطق الامتصاص المحظورة بشدة الواقعة في خطوط العرض القطبية.

Tide gauge مقياس المد

آلة في موقع ساحلي (وبعض المواقع في أعالي البحار) تقيس بصفة مستمرة مستوى سطح البحر بالمقارنة بالأراضي المجاورة. ويعطى مستوى سطح البحر المحسوب المتوسط الزمني، التغييرات العالمية المرصودة في ← مستوى سطح البحر النسبي.

Transient climate response استجابة المناخ العابرة

زيادة في درجة حرارة الهواء السطحي على أساس المتوسط العالمي، والمستخلص متوسطها على امتداد فترة ٢٠ عاما المتمركزة عند وقت مضاعفة ثاني أكسيد الكربون أي عام ٧٠ في تجربة زيادة ثاني أكسيد الكربون المركب بنسبة ١ ٪ سنويا باستخدام ←نموذج مناخي مرتبط عالميا.

Tropopause الفاصل الأسفل (التروبوبوز)
الحدود بين ←التروبوسفير ←والستراتوسفير.

Troposphere النطاق السفلي – التربوسفير
الجزء الأسفل من الغلاف الجوي الممتد من سطح الأرض وحتى ارتفاع يبلغ نحو ١٠ كيلومترات في منتصف خطوط العرض (تتراوح بين ٩ كيلومترات عند خطوط العرض القطبية و١٦ كيلومترا عند خط الاستواء في المتوسط) حيث تحدث ظواهر الرياح "والطقس". وفي التروبوسفير تنخفض درجات الحرارة عموما مع الارتفاع.

Turnover time وقت الدوران
انظر: ← العمر (lifetime) .

Uncertainty عدم اليقين
تعبير عن الدرجة التي تكون القيمة فيها (حالة النظام المناخي في المستقبل) غير معروفة. وقد ينشأ عدم اليقين عن نقص المعلومات أو عدم الاتفاق بشأن ما هو معروف أو حتى يمكن معرفته. وقد يكون لذلك أنواع كثيرة من المصادر ابتداء من الأخطاء القابلة للقياس في البيانات إلى المفاهيم أو المصطلحات المعرفة بصورة غامضة أو إسقاطات غير مؤكدة للسلوك البشري. ولذا يمكن تمثيل عدم اليقين بمقاييس قابلة للتحديد الكمي (مثل طائفة القيم التي تحسبها مختلف النماذج) أو بيانات نوعية (مثل تلك التي تعكس تقديرات فريق من الخبراء) انظر: Moss and Schneider (2000).

United Nations Framework Convention on Climate Change اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية المعنية بتغير المناخ (UNFCCC)
اعتمدت الاتفاقية في ٩ مايو/أيار ١٩٩٢ في نيويورك ووقعت فى قمة الأرض في ريو دى جانيرو عام ١٩٩٢ من قبل أكثر من ١٥٠ بلدا والمجموعة الأوروبية. وهدف الاتفاقية النهائي هو "تثبيت تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي عند مستوى يمنع التدخلات بشرية المنشأ في النظام المناخي". وتحتوي على التزامات على جميع الأطراف. وتهدف الأطراف الواردة في الملحق الأول في الاتفاقية، في إعادة انبعاثات غازات الدفيئة التي لا ينظمها بروتوكول مونتريال إلى مستويات عام ١٩٩٠ بحلول عام ٢٠٠٠. وقد دخلت الاتفاقية حيز التنفيذ عام ١٩٩٤. انظر: ← بروتوكول كيوتو.

Uptake الامتصاص
إضافة مادة من تلك المثيرة للقلق إلى ← مستودع. ويسمى امتصاص المواد المحتوية على كربون ولا سيما ثاني أكسيد الكربون "امتصاص الكربون".

Volume mixing ratio نسبة مزج الحجم
انظر: ← مجزأ المول.