

ipcc

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

تغير المناخ 2013

الأساس العلمي الفيزيائي

ملخص لصانعي السياسات
والمخلص الفني
والأسئلة المتواترة

الفريق
العامل
الأول

مساهمة الفريق العامل الأول في

تقرير التقييم الخامس

للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ



WMO



UNEP

تغير المناخ 2013 الأساس العلمي الفيزيائي

ملخص لصانعي السياسات

تقرير الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

والمُلخَص الفني

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

والأسئلة المتواترة

جزء من إسهام الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الخامس
للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

المحررون

Dahe Qin

الرئيس المشارك للفريق العامل الأول
هيئة الأرصاد الجوية الصينية

Thomas F. Stocker

الرئيس المشارك للفريق العامل الأول
جامعة برن

Judith Boschung

المساعدة الإدارية

Simon K. Allen

كبير موظفي الشؤون العلمية

Melinda M.B. Tignor

مديرة العمليات

Gian-Kasper Plattner

مدير الشؤون العلمية

Pauline M. Midgley

الرئيسة

Vincent Bex

موظف شؤون تكنولوجيا المعلومات

Yu Xia

موظفة الشؤون العلمية

Alexander Nauels

مساعد الشؤون العلمية

وحدة الدعم الفني للفريق العامل الأول

© 2013 الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

ISBN 978-92-9169-638-3

التسميات المستخدمة وطريقة عرض المواد في الخرائط لا تعني بأي حال من الأحوال التعبير عن أي رأي من جانب الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ فيما يتعلق بالوضع القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة أو لسلطاتها، أو فيما يتعلق بتعيين حدودها أو تخومها.

صورة الغلاف: نهر Folgefonna الجليدي الموجود على الهضاب المرتفعة في Sørnfjorden، النرويج (60°03'، شمالاً - 6°20' شرقاً)
Yann Arthus-Bertrand / Altitude ©

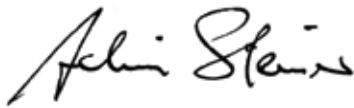
تمهيد وتصدير وإهداء

كما نعرب عن امتناننا للحكومات التي دعمت مشاركة علمائها في إعداد هذا التقرير، والتي أسهمت في الصندوق الاستئماني للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ لتمويل المشاركة الأساسية للخبراء من البلدان النامية والبلدان التي تمر اقتصاداتها بمرحلة انتقالية. ونود أن نعرب عن تقديرنا لحكومة إيطاليا لاستضافة اجتماع تحديد النطاق لتقرير التقييم الخامس للهيئة (IPCC)، ولحكومات الصين، وفرنسا، والمغرب وأستراليا لاستضافة دورات الصياغة لإسهام الفريق العامل الأول، ولحكومة السويد لاستضافة الدورة الثانية عشرة للفريق العامل الأول في إستوكهولم لاعتماد تقرير الفريق العامل الأول. ونتوجه بالشكر الجزيل لحكومة سويسرا على دعمها المالي السخي ولجامعة برن (سويسرا) على تقديم الدعم اللوجستي الذي أتاح لوحدة الدعم الفني للفريق العامل الأول إدارة أعمال الفريق العامل الأول بسلاسه.

ونود بصفة خاصة توجيه الشكر إلى دكتور راجندرا باشاوري، رئيس الهيئة (IPCC)، لاضطلاعهم بإدارة وتوجيه الهيئة (IPCC) والإعراب عن عميق امتناننا للبروفيسور كين داهي والبروفيسور توماس ستوكر، الرئيسين المشاركين للفريق العامل الأول على قيادتهما للفريق بلا كلل طوال فترة إعداد هذا التقرير وإصداره.



م. جارو
الأمين العام
المنظمة العالمية للأرصاد الجوية



A. Steiner
المدير التنفيذي
برنامج الأمم المتحدة للبيئة

يقدم تقرير "تغير المناخ 2013: الأساس العلمي الفيزيائي" استنتاجات واضحة ومتمينة في علم التقييم العالمي لتغير المناخ- ليس أقلها أن هذا العلم يبين الآن بدرجة يقين 95 في المائة أن النشاط البشري هو السبب الرئيسي للاحتباس المرصود منذ منتصف القرن العشرين. ويؤكد التقرير أن احتمرار النظام المناخي بات أمراً لا لبس فيه، مع وجود الكثير من التغيرات المرصودة غير المسبوقة على مدى يتراوح بين عشرات والآلاف السنين: احتمرار الغلاف الجوي والمحيط، وتناقص الثلوج والجليد، وارتفاع مستويات سطح البحر وزيادة تركيزات غازات الاحتباس الحراري. وجاء كل عقد من العقود الثلاثة الأخيرة أدفاً عند سطح الأرض من أي عقد قبله منذ عام 1850.

وهذه الاستنتاجات وغيرها تؤكد وتعزز فهمنا العلمي لنظام المناخ ولدور انبعاثات غازات الاحتباس الحراري؛ ويتطلب التقرير بصورته هذه اهتماماً عاجلاً من كل من صانعي السياسات وعمامة الجمهور.

وقد وفر الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ (IPCC) الذي شارك في إنشائه في عام 1988 كل من المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) لصانعي السياسات أفضل التقييمات العلمية والفنية المؤكدة والموضوعية. وبدءاً من عام 1990، أصبحت هذه السلسلة من تقارير التقييم التي تصدرها الهيئة IPCC، والتقارير الخاصة، والورقات الفنية، وغيرها من التقارير المتعلقة بالمنهجيات والمنتجات الأخرى أعمالاً مرجعية معترفاً بها.

ويتضمن هذا الإسهام للفريق العامل الأول في تقرير التقييم الخامس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ معلومات علمية جديدة مهمة يمكن الاستفادة منها في إنتاج معلومات وخدمات مناخية لمساعدة المجتمع على اتخاذ إجراءات للتصدي لتحديات تغير المناخ. وتوقيت هذا الإسهام مهم بصفة خاصة، لأن هذه المعلومات تعطي زخماً جديداً، من خلال معلومات علمية فيزيائية واضحة لا جدال فيها، للمفاوضين المسؤولين عن إبرام اتفاق جديد في نطاق اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية المتعلقة بتغير المناخ في عام 2015.

وتغير المناخ تحد طويل المدى، ولكنه يتطلب إجراءات عاجلة بالنظر إلى حيز ونطاق تراكم غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي ومخاطر ارتفاع درجة الحرارة بأكثر من درجتين معويتين. ونحن بحاجة الآن إلى التركيز على الأسس وعلى الإجراءات لأننا إذا لم نفعل ذلك فإن المخاطر التي نتعرض لها ستزيد سنة بعد أخرى.

وقد أمكن إنجاز التقييم الذي اضطلع به الفريق العامل الأول بفضل التزام وإخلاص مئات كثيرة من الخبراء على الصعيد العالمي، يمثلون مجموعة عريضة من التخصصات. وتعزز المنظمة العالمية للأرصاد الجوية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة بأن الكثير من هؤلاء الخبراء ينتمون إلى مجتمعيهما وشبكاتهما. ونحن نعرب عن امتناننا العميق لجميع المؤلفين والمحررين المستعرضين والخبراء كافة لتكريس معارفهم وخبراتهم ووقتهم. ونتوجه بالشكر لموظفي وحدة الدعم الفني للفريق العامل الأول وأمانة الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ على ما بذلوه من جهود.

الأطلاع فيهما على المادة الملخصة في التقرير الأساسي. وبهذه الطريقة، توفر مكونات فصول التقرير هذه خارطة طريق لمحتويات التقرير بكامله وسرداً يمكن تتبعه لكل استنتاج رئيسي.

ولتيسير إمكانية الوصول إلى استنتاجات تقييم الفريق العامل الأول لمجموعة عريضة من القراء وتعزيز إمكانية استخدام أصحاب المصلحة لها، يوجد في كل قسم من أقسام ملخص لصانعي السياسات عبارة بارزة في العنوان. وعبارات العناوين الـ 19 هذه تشكل مع ملخصها عاماً مكتوباً بلغة بسيطة يتيسر اقتباسها يؤيدها العلماء وتقرأها الحكومات الأعضاء في الهيئة (IPCC). وثمة سمة مبتكرة أخرى في هذا التقرير وهي تقديم عناصر التركيز المواضيعية في الملخص الفني توفر تقييمات من طرف إلى طرف للمسائل المهمة الشاملة في الأساس العلمي الفيزيائي لتغير المناخ.

مقدمة (الفصل 1): يعرض هذا الفصل معلومات عن التقدم المحرز في علم تغير المناخ منذ صدور تقرير التقييم الأول للهيئة (IPCC) في عام 1990 ويقدم عرضاً عاماً للمفاهيم الأساسية، ومؤشرات لتغير المناخ، وللمعالجة أوجه عدم التيقن، وأوجه التقدم في قدرات القياس والنمذجة. ويشمل هذا وصفاً للسيناريوهات المستقبلية، وبصفة خاصة لسيناريوهات مسارات التركيز النموذجية المستخدمة في جميع الأفرقة العاملة في تقرير التقييم الخامس للهيئة (IPCC).

المعلومات المتعلقة بالرصدات والمناخ القديم (الفصول 2، 3، 4، 5): تقيم هذه الفصول المعلومات المتأتية من مكونات النظام المناخي بشأن تقليبية المناخ وتغيره بصورتها المستقاه من السجلات الآلية وكافة المحفوظات المناخية. وهي تغطي جميع الجوانب المهمة للغلاف الجوي، بما في ذلك الستراتوسفير، وسطح اليابسة، والمحيطات، والغلاف الجليدي. ويتناول الفصل النطاقات الزمنية التي تتراوح من أيام إلى عقود (الفصول 2 و 3 و 4) ومن مئات إلى آلاف عديدة من السنين (الفصل 5).

فهم العمليات (الفصلان 6 و 7): يغطي هذان الفصلان جميع الجوانب المهمة من الرصدات وفهم العمليات إلى الإسقاطات على النطاقات من العالمي إلى الإقليمي لموضوعين رئيسيين. فالفصل 6 يغطي دورة الكربون وتفاعلاتها مع الدورات الجيوكيميائية الحيوية الأخرى، وبخاصة دورة النيتروجين فضلاً عن أصدائها على النظام المناخي. ولأول مرة، هناك فصل مكرس لتقييم الأساس العلمي الفيزيائي للسحب والأهباء الجوية، وتفاعلاتهما وكيميائهما، ودور بخار الماء، فضلاً عن أدوارهما في التأثير التفاعلي على النظام المناخي (الفصل 7).

من القسر إلى عزو التغير المناخي (الفصول 8، 9، 10): يجمع الفصل 8 ويقيم كل المعلومات المتعلقة بالحركات المختلفة (الطبيعية والبشرية المنشأ) لتغير المناخ، ويعبر عنها بدلالة القسر الإشعاعي. كما يجمع الفصل 9 ويقيم التسلسل الهرمي للنماذج المناخية المستخدمة في محاكاة التغير المناخي في الماضي والحاضر في ضوء الرصدات وعمليات تمثيل المناخ القديم. ويقيم الفصل 10 المعلومات المتعلقة بالكشف عن التغيرات على النطاقات العالمية إلى الإقليمية وعزوها إلى الزيادة في الغازات الحابسة للحرارة البشرية المنشأ.

يوفر إسهام الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الخامس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) تقييماً شاملاً للأساس العلمي الفيزيائي لتغير المناخ. وهو يستكمل إسهام الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الرابع في عام 2007 ويتضمن الاستنتاجات الجديدة اللاحقة للتقرير الخاص بإدارة مخاطر الظواهر المتطرفة والكوارث لتعزيز التكيف مع تغير المناخ، والبحوث التي نشرت في الأعمال العلمية والفنية السابقة. ويتناول التقييم بالدراسة الأدلة الجديدة السابقة والحالية والمسقط لتغير المناخ في المستقبل على أساس الكثير من التحليلات العلمية المستقلة المستمدة من رصدات النظام المناخي، ومحفوظات المناخ القديم، والدراسات النظرية للعمليات المناخية ومحركاتها باستخدام النماذج.

نطاق التقرير

في أثناء العملية التي اضطلعت بها الهيئة (IPCC) لتحديد نطاق تقرير التقييم الخامس واعتماده، ركزت الهيئة على الجوانب الحالية لفهم علم تغير المناخ الذي رئي أنها أكثر ما يهم صانعي السياسات.

وفي هذا التقرير، وسع الفريق العامل الأول نطاق تغير المناخ في المستقبل مقارنة بالتقارير السابقة عن طريق تقييم التوقعات وإمكانية التنبؤ في الأجل القريب والتوقعات والتغيرات غير العكوسة على الأجل البعيد في فصلين مستقلين. وبعد القرارات التي اتخذتها الهيئة (IPCC) في أثناء تحديد نطاق التقرير واعتماد خطوطه العامة، استخدمت مجموعة من السيناريوهات الجديدة، ومسارات التركيز النموذجية في الأفرقة العاملة الثلاثة لتحديد الإسقاطات المناخية خلال القرن الحادي والعشرين. وجرى توسيع نطاق تغطية المعلومات الإقليمية في تقرير الفريق العامل الأول تحديداً عن طريق تقييم ظواهر مناخية من قبيل نظم الرياح الموسمية وتحديد صلتها بتغير مناخ الأقاليم في المستقبل.

وتقرير الفريق العامل الأول هو تقييم، وليس استعراضاً ولا مرجعاً في علم المناخ. وهو يستند إلى الأعمال العلمية والفنية المنشورة المتاحة حتى 15 آذار/مارس 2013. وتستند جميع جوانب التقرير على التزام قوى بتقييم مدى شمولية العلم، دونما تمييز وبطريقة مرتبطة بالسياسات، وليس عن طريق إصدار توجيهات مفروضة.

هيكل التقرير

يتكون هذا التقرير من ملخص موجز لصانعي السياسات، وملخص فني أكبر، وأربعة عشر فصلاً مواضيعياً، ومرفقات. ووردت في تقرير الفريق العامل الأول إضافة مبتكرة هي أطلس الإسقاطات المناخية العالمية والإقليمية (المرفق الأول) الذي يتضمن سلاسل زمنية وخرائط لدرجات الحرارة وكميات الأمطار المسقط للمناطق الـ 35 في العالم، مما يعزز إمكانية وصول أصحاب المصلحة والمستخدمين إليها.

ويتبع ملخص لصانعي السياسات والملخص الفني لهذا التقرير هيكلين متوازيين ويتضمن كل منهما إحالة إلى الفصل والقسم اللذين يمكن

فضلاً عن مواد تكميلية داعمة للأشكال الواردة في ملخص لصانعي السياسات.

عملية التقييم

يمثل تقرير التقييم الحالي الذي أعده الفريق العامل الأول حصيلة جهود متضافرة لمئات من الخبراء الرئيسيين في ميدان علم المناخ وتم إعداده وفقاً للقواعد والإجراءات التي وضعتها الهيئة (IPCC). وقد عقد اجتماع لتحديد نطاق تقرير التقييم الخامس في تموز/يوليه 2009 واعتمدت الخطوط الرئيسية للأفرقة العاملة الثلاثة في الدورة الحادية والثلاثين للهيئة التي عقدت في تشرين الثاني/نوفمبر 2009. ورشحت الحكومات والمنظمات المراقبة في الهيئة IPCC خبراء لفرق المؤلفين. وتم قبول الفريق المكون من 209 من المؤلفين الرئيسيين المنسقين والمؤلفين الرئيسيين أضيف إليهم 50 من المحررين المستعرضين اختارهم مكتب الفريق العامل الأول في دورته الحادية والأربعين في أيار/مايو 2010. وإضافة إلى ذلك، قدم أكثر من 600 من المؤلفين المساهمين مسودات نصوص ومعلومات إلى فرق المؤلفين بناء على طلبها. وخضعت المسودات التي أعدها المؤلفون لجولتين من الاستعراض والتنقيح الرسميين أعقبتهما جولة نهائية من التعليقات الحكومية على تقرير ملخص لصانعي السياسات. وقدم 1089 من فرادى الخبراء المستعرضين و 38 حكومة ما مجموعه 54667 من التعليقات الخطية على الاستعراضات. وراقب المحررون المستعرضون لكل فصل عملية الاستعراض للتحقق من أنه جرى النظر على النحو المناسب في جميع التعليقات الجوهرية على عمليات الاستعراض. وقد تمت الموافقة على ملخص لصانعي السياسات سطرًا فسطر وقبلت الفصول الأساسية في الدورة الثانية عشرة للفريق العامل الأول للهيئة IPCC خلال الفترة من 23 إلى 27 أيلول/سبتمبر 2007.

شكر وتقدير

نعرب عن امتناننا العميق للخبرة، والعمل الدؤوب، والالتزام بالتميز والسلامة التي أظهرها المؤلفون الرئيسيون المنسقون والمؤلفون الرئيسيون مع المساعدة المهمة من جانب المؤلفين المساهمين طوال فترة العمل. واضطلع المحررون المستعرضون الكثر بدور بالغ الأهمية في تقديم المساعدة لفرق المؤلفين والتحقق من سلامة عملية الاستعراض. كما نود الإعراب عن تقديرنا العميق لجميع المستعرضين الخبراء والحكوميين. ونود أيضاً أن نتوجه بالشكر إلى أعضاء مكتب الفريق العامل الأول: جين جوزيل، وعبد الله موكسيت، و فاطمه راحيميزاده، وفريدولين تانغانغ، و ديفيد ورات، وفرانسيس زويرز، على ما أسدوه من مشوره حكيمة وما قدموه من دعم طوال فترة إعداد هذا التقرير.

ونود أن نعرب عن جزيل شكرنا للجهود الطويلة الأجل للمجتمع العلمي لتنظيم وتيسير البرنامج العالمي للبحوث المناخية، وبخاصة تنظيم وتيسير المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5). فقد أسفرت هذه الجهود التي اضطلعت بها مراكز نمذجة المناخ حول العالم عن أكثر من 2 مليون غيغابايت من البيانات الرقمية، التي حفظت ووزعت تحت رعاية برنامج تشخيص النماذج المناخية والمقارنة بينها. ويمثل هذا جهوداً متضافرة غير مسبوقه للمجتمع العلمي وللمؤسسات التي تموله.

إمكانية التنبؤ بتغير المناخ في المستقبل، وعدم عكوسيته (الفصلان 11 و 12): يقيّم هذان الفصلان إسقاطات تغير المناخ في المستقبل المستنبطة من نماذج مناخية ذات أطر زمنية تتراوح من عقود إلى قرون على كل من النطاقين العالمي والإقليمي، بما في ذلك متوسط التغيرات، والتقلبية، والظواهر المتطرفة. ويجري تناول الأسئلة الأساسية المتصلة بإمكانية التنبؤ بالمناخ، فضلاً عن التغير المناخي الطويل الأجل، والالتزامات المتعلقة بتغير المناخ، والقصور الذاتي في النظام المناخي. كما يجري تقييم المعارف المتعلقة بالتغيرات غير العكوسة والمفاجآت في النظام المناخي.

التكامل (الفصلان 13 و 14): يؤلف هذان الفصلان بين جميع المعلومات المتصلة بموضوعين رئيسيين لهذا التقييم: التغير في مستوى سطح البحر (الفصل 13) والظواهر المناخية عبر الأقاليم (الفصل 14). ويقدم الفصل 13 تقييماً من طرف إلى طرف للمعلومات المتعلقة بالتغير في مستوى سطح البحر على أساس وضع تصورات للمناخ القديم، والرصدات، وفهم العمليات، ويقدم إسقاطات تتراوح بين النطاقين العالمي والإقليمي. ويقيم الفصل 14 أهم أشكال التقلبية في النظام المناخي، مثل التذبذب الجنوبي-النينيو، والرياح الموسمية وأشكال كثيرة أخرى، فضلاً عن تقييم الظواهر المناخية المتطرفة. وعلاوة على ذلك، يعرض هذا الفصل للروابط بين الظواهر المناخية وتعبيراتها الإقليمية وصلتها بتغير المناخ الإقليمي في المستقبل.

وتشكل الخرائط التي يجري تقييمها في الفصل 14، بالاقتران مع الفصلين 11 و 12، أساس خرائط الإسقاطات المناخية العالمية والإقليمية في المرفق الأول، وهي متاحة أيضاً في شكل رقمي. وتشكل عمليات القسر الإشعاعي وتقديرات التركيزات في الغلاف الجوي في المستقبل في الفصول 7 و 8 و 11 و 12 أساس جداول سيناريوهات النظام المناخي المقدمة في المرفق الثاني. وجميع المواد بما فيها الطباعات عالية الاستبانة للأشكال، والبيانات الأساسية والمواد التكميلية للفصول متاحة أيضاً على الإنترنت على الموقع: www.climatechange2013.org.

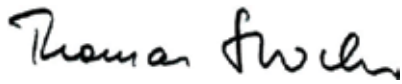
ووحده المجتمع العلمي ومراكز النمذجة المناخية في أنحاء العالم كافة الأنشطة في المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) لتوفير أساس لمعظم التقييمات الواردة في هذا التقرير والمتعلقة بتغير المناخ في المستقبل. وبفضل هذه الجهود، تمكن الفريق العامل الأول من تقديم معلومات علمية شاملة لصانعي السياسات وللمستعملي هذا التقرير، فضلاً عن تقييمات محددة للتأثيرات اضطلع بها الفريق العامل الثاني التابع للهيئة IPCC، ولتكاليف واستراتيجيات التخفيف التي يضطلع بها الفريق العامل الثالث التابع للهيئة (IPCC).

وبعد المقدمة الناجحة الواردة في التقييم السابق الذي أجراه الفريق العامل الأول في عام 2007، تتضمن جميع الفصول الأسئلة المتواترة. وفي هذه الأجزاء يقدم المؤلفون إجابات علمية لمجموعة من الأسئلة العامة في شكل مسرر لقطاع عريض من القراء ويستخدم كمورد للأغراض التعليمية. وأخيراً، فإن التقرير مشفوع بمواد تكميلية واسعة النطاق يجري توفيرها في طباعات التقرير المتاحة على الإنترنت لتوفير مستويات إضافية من التفاصيل، من قبيل وصف قواعد البيانات، والنماذج والطرائق المستخدمة في التحليلات الواردة في الفصل،

وأخيراً نود أن نعرب عن تقديرنا الخاص لوحدة الدعم الفني للفريق العامل الأول: جيان-كاسبر بلاتنر، وميلندا تيغنور، وسيمون ألين، وجوديث بوشنغ، والكسندر نويلز، ويو زيا، وفينسنت بيكس، وبولين ميدغلي على حرفيتهم وقدراتهم الخلاقة وتفانيهم. ويرجع الفضل للجهود التي بذلوها بلا كلل لتنسيق تقرير الفريق العامل الأول في صدور منتج رفيع المستوى. وقد ساعدتهم في ذلك أدرين ميشيل، وفلافيو ليهنر مع دعم آخر من زهو باتاو، وسون ينغ. كما نقدم خالص الشكر للإسهامات التالية: ديفيد هانسفورد (مساعد التحرير للأسئلة المتواترة)، ومركز المعلومات الدولي التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة – جنيف وجامعة جنيف (المساعدة في الرسوم الخاصة بالأسئلة المتواترة) وتريزنا كورناك (حقوق النشر)، ومارلين أندرسون (الفهرس)، ومايكل شيباو (التصميم والتنسيق).

ونتوجه بالشكر الجزيل لمضيفي ومنظمي اجتماعات المؤلفين الرئيسيين الأربعة للفريق العامل الأول والدورة الثانية عشرة للفريق العامل الأول. كما نعرب عن بالغ التقدير للدعم المقدم من البلدان المضيفة: الصين، وفرنسا، والمغرب، وأستراليا، والسويد. ونعرب عند تقديرنا العميق للدعم المقدم من الكثير من الحكومات لعلمائها ومن خلال الصندوق الاستئماني للهيئة IPCC. ويرجع الفضل في كفاءة وحدة الدعم الفني للفريق العامل الأول للدعم المالي السخي الذي قدمته حكومة سويسرا والدعم اللوجستي الذي قدمته جامعة برن (سويسرا).

كما نود أن نتوجه بالشكر إلى رينيت كرايست، أمين الهيئة IPCC والعاملين في أمانة الهيئة IPCC: غايتانو ليون، وجوناثان لين، وماري جين بورر، وصوفي شلينغمان، وجوديث إيوا، وجيسين بايديا، وفيراني زابولا، وجويل فرنانديز، وآني كورتين، ولاورا بياجوني، وآمي سميث. ونشكر فرانسيس هايز الذي عمل كموظف مؤتمرات لدورة الفريق العامل الأول بشأن الموافقة.



Thomas F. Stocker
الرئيس المشارك للفريق العامل الأول
التابع للهيئة (IPCC)



Qin Dahe
الرئيس المشارك للفريق العامل الأول
التابع للهيئة (IPCC)



Rajendra K. Pachauri
رئيس الهيئة (IPCC)



Bert Bolin

(15 أيار/مايو 1925 – 30 كانون الأول/ديسمبر 2007)

إسهام الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الخامس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) تغير المناخ 2013: الأساس العلمي الفيزيائي مهدى إلى ذكرى بيرت بولين، أول رئيس للهيئة IPCC.

أدرك بيرت بولين، وهو عالم محنك له بحوث منشورة في مجال ديناميات الغلاف الجوي ودورة الكربون، بما في ذلك العمليات التي تحدث في الغلاف الجوي، والمحيطات والغلاف الحيوي مدى تعقيد النظام المناخي وحساسيته للاضطرابات الناشئة عن الأنشطة البشرية. وله إسهامات أساسية في تنظيم التعاون الدولي في البحوث المناخية، بالمشاركة في إنشاء عدد من البرامج العالمية.

اضطلع بيرت بولين بدور محوري في إنشاء الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ وإعداد تقييماتها التي تجري من خلال عملية فريدة وذات طابع رسمي من أجل توفير أساس علمي متين للقرارات المدروسة المتعلقة بواحد من أكبر التحديات في عصرنا. وقد أرسى رؤيته، باعتباره الرئيس المؤسس للهيئة وقيادته لها خلال الفترة من 1988 إلى 1997 أساس التقييمات التي أجريت بعد ذلك، بما فيها التقييم الحالي وستبقى ذكراه محل تقدير عميق.

المحتويات

v	تمهيد
vii	تصدير
xi	إهداء
3	ملخص لصانعي السياسات
33	الملخص الفني
119	أسئلة متواترة
185	المسرد

استهلال

ملخص لصانعي السياسات

الملخص الفني

أسئلة متواترة

المسرد

ملخص لصانعي السياسات

ملخص لصانعي السياسات

ملخص لصانعي السياسات

المؤلفون الرئيسيون:

Nathaniel L. Bindoff، (سويسرا/نيوزيلندا)، Simon K. Allen، (أستراليا)، Lisa V. Alexander (أستراليا)، Ulrich Cubasch، (أستراليا)، John A. Church، (فرنسا)، François-Marie Bréon، (أستراليا)، (ألمانيا)، Seita Emori، (اليابان)، Piers Forster، (المملكة المتحدة)، Pierre Friedlingstein، (المملكة المتحدة/بلجيكا)، Nathan Gillett، (كندا)، Jonathan M. Gregory، (المملكة المتحدة)، Dennis L. Hartmann، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Eystein Jansen، (النرويج)، Ben Kirtman، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Reto Knutti، (سويسرا)، Krishna Kumar Kanikicharla، (الهند)، Peter Lemke، (ألمانيا)، Jochem Marotzke، (ألمانيا)، Valérie Masson-Delmotte، (فرنسا)، Gerald A. Meehl، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Igor I. Mokhov، (الاتحاد الروسي)، Shilong Piao، (الصين)، Gian-Kasper Plattner، (سويسرا)، Qin Dahe، (الصين)، Venkatachalam Ramaswamy، (الولايات المتحدة الأمريكية)، David Randall، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Christopher Sabine، (شيلي)، Maisa Rojas، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Thomas F. Stocker، (سويسرا)، Lynne D. Talley، (الولايات المتحدة الأمريكية)، David G. Vaughan، (المملكة المتحدة)، Shang-Ping Xie، (الولايات المتحدة الأمريكية)

المؤلفون المساهمون:

Myles R. Allen، (المملكة المتحدة)، Olivier Boucher، (فرنسا)، Don Chambers، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Jens Hesselbjerg Christensen، (الدانمرك)، Philippe Ciais، (فرنسا)، Peter U. Clark، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Matthew Collins، (المملكة المتحدة)، Josefino C. Comiso، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Viviane Vasconcellos de Menezes، (أستراليا/البرازيل)، Richard A. Feely، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Thierry Fichet، (بلجيكا)، Arlene M. Fiore، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Gregory Flato، (كندا)، Jan Fuglestedt، (النرويج)، Gabriele Hegerl، (المملكة المتحدة/ألمانيا)، Paul J. Hezel، (بلجيكا/الولايات المتحدة الأمريكية)، Gregory C. Johnson، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Georg Kaser، (النمسا/إيطاليا)، Vladimir Kattsov، (الاتحاد الروسي)، John Kennedy، (المملكة المتحدة)، Albert M. G. Klein Tank، (هولندا)، Corinne Le Quéré، (المملكة المتحدة)، Gunnar Myhre، (النرويج)، Timothy Osborn، (المملكة المتحدة)، Antony J. Payne، (المملكة المتحدة)، Judith Perlwitz، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Scott Power، (أستراليا)، Michael Prather، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Stephen R. Rintoul، (أستراليا)، Joeri Rogelj، (سويسرا/بلجيكا)، Matilde Rusticucci، (الأرجنتين)، Rowan Sutton، (المملكة المتحدة)، Peter A. Stott، (سويسرا)، Jan Sedláček، (ألمانيا)، Michael Schulz، (المملكة المتحدة)، Peter W. Thorne، (الولايات المتحدة الأمريكية)، Donald Wuebbles، (الولايات المتحدة الأمريكية)

عند الاقتباس من هذا الملخص لصانعي السياسات، ينبغي الإشارة إليه على النحو التالي:

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، 2013: ملخص لصانعي السياسات. في: تغير المناخ 2013: الأساس العلمي الفيزيائي، مساهمة الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الخامس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، [Stocker, T. F., D. Qin, G. -K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)] مطبوعة جامعة كيمبريدج، كيمبريدج، المملكة المتحدة، ونيويورك، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية.

ألف - المقدمة

تبحث مساهمة الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الخامس (AR5) للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ الأدلة الجديدة على تغير المناخ المستندة إلى تحليلات علمية مستقلة كثيرة مستمدة من رصدات النظام المناخي، ومحفوظات التاريخ القديم، والدراسات النظرية للعمليات المناخية، وعمليات المحاكاة باستخدام النماذج المناخية. وهي تستند إلى مساهمة الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الرابع (AR4) للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، وتضم الاستنتاجات الجديدة اللاحقة التي توصلت إليها البحوث. والتقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن إدارة مخاطر ظواهر الطقس المتطرفة والكوارث لتعزيز التكيف مع تغير المناخ (SREX) يمثل أساساً هاماً للمعلومات عن تغير الطقس والحالات المناخية المتطرفة، باعتباره مكوناً من مكونات دورة التقييم الخامس.

ويتبع هذا الملخص لصانعي السياسات (SPM) هيكل تقرير الفريق العامل الأول. والسرد الوارد فيه تدعمه سلسلة من الاستنتاجات المبرزة الشاملة التي توفر، إذا ما أخذت معاً، ملخصاً مختصراً. وتبدأ أقسام الملخص الرئيسية بفقرة موجزة مكتوبة بالأحرف المائلة تبين الأساس المنهجي للتقييم.

وتستند درجة اليقين في الاستنتاجات الرئيسية الواردة في هذا التقييم إلى تقييمات أفرقة المؤلفين للفهم العلمي الأساسي ويعبر عنها كمستوى نوعي من الثقة (يبدأ من منخفضة جداً إلى عالية جداً) ومن الاحتمالية، متى أمكن، بواسطة أرجحية محددة كميًا (تبدأ من غير مرجحة بدرجة استثنائية إلى مؤكدة تقريباً). ويستند مدى الثقة في صحة أي استنتاج إلى نوع الدليل (مثلاً، بيانات، فهم ميكانيكي، نظرية، نماذج، تقدير خبراء) ومقداره ونوعيته واتساقه وإلى درجة الاتفاق بشأنه¹. أما التقديرات الاحتمالية للمقاييس الكمية لعدم اليقين في استنتاج ما فهي تستند إلى التحليل الإحصائي للرصدات أو لنتائج النماذج، أو لكليهما، وتقدير الخبراء². وتصاغ الاستنتاجات أيضاً، حيثما كان ذلك مناسباً، كتعبيرات عن حقائق بدون استخدام محدّدات عدم اليقين. (انظر الفصل 1 والإطار 1. TS للاطلاع على مزيد من التفاصيل عن اللغة المحددة التي تستخدمها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) للتعبير عن عدم اليقين).

ويمكن الاطلاع على أساس الفقرات الموضوعية الواردة في هذا الملخص لصانعي السياسات في أقسام فصول التقرير الأساسي وفي الملخص الفني. وهذه الإشارات ترد بين أقواس معقوفة.

باء - التغييرات الملحوظة في النظام المناخي

تستند رصدات النظام المناخي إلى القياسات المباشرة والاستشعار عن بُعد من السواتل والمنصات الأخرى. وقد بدأت الرصدات على النطاق العالمي من حقبة استخدام الأدوات في منتصف القرن التاسع عشر لرصد درجة الحرارة والتغيرات الأخرى، بحيث تتوفر مجموعات من الرصدات أكثر شمولا وتنوعاً فيما يتعلق بالفترة الممتدة من عام 1950 فصاعداً. وبعض عمليات إعادة بناء المناخ القديم توسع نطاق السجلات لترجع إلى ما بين مئات وملايين السنين. وهي توفر معاً رؤية شاملة للتقلبية والتغيرات الطويلة الأجل في الغلاف الجوي والمحيطات والغلاف الجليدي وسطح اليابسة.

احترار النظام المناخي واضح لا لبس فيه، وشوهدت منذ خمسينيات القرن الماضي كثرة من التغيرات الملحوظة غير مسبوقة على مدى عقود إلى آلاف السنين. فقد حدث احترار في الغلاف الجوي والمحيطات، وتضاءلت كميات الجليد والثلوج، وارتفع مستوى سطح البحر، وزادت تركيزات غازات الاحتباس الحراري (انظر الأشكال 1، SPM، 2 و SPM، 3 و SPM، 4).

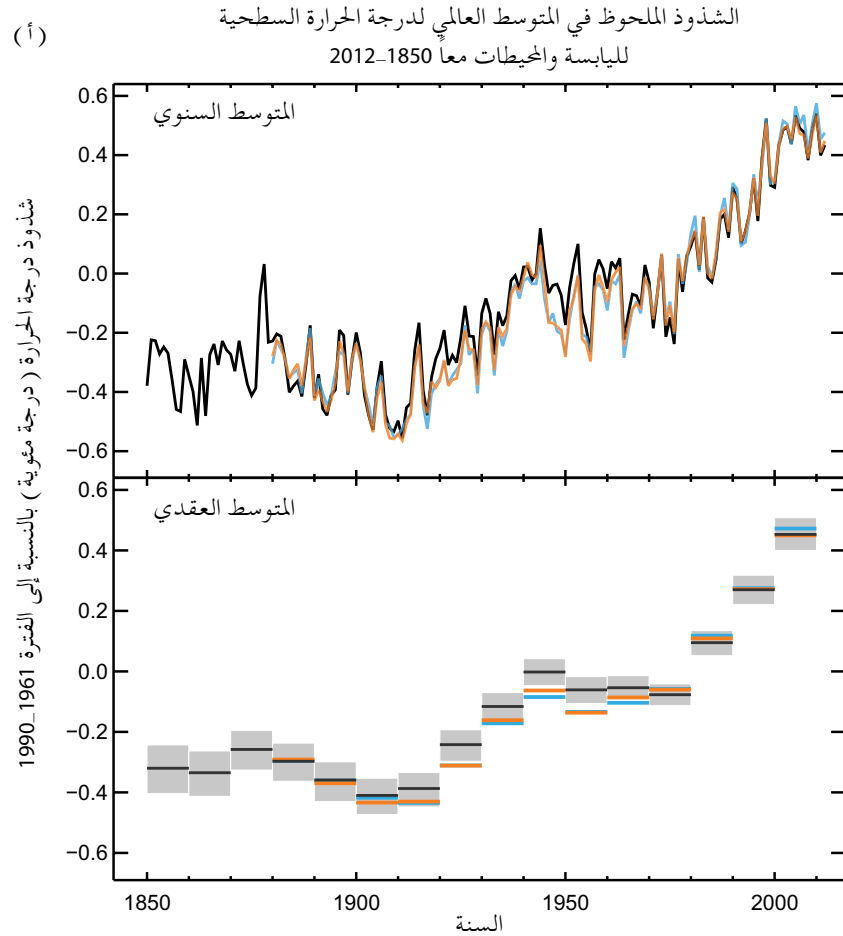
(2.2، 2.4، 3.2، 3.7، 4.2، 4.7، 5.2، 5.3، 5.5، 5.6، 6.2، 13.2)

1 في هذا الملخص لصانعي السياسات، تُستخدم المصطلحات التالية لوصف الأدلة المتاحة: محدودة، أو متوسطة، أو قوية؛ وفيما يتعلق بدرجة الاتفاق بشأن تلك الأدلة: منخفضة، أو متوسطة، أو مرتفعة. ويعبر عن مستوى الثقة باستخدام خمسة محدّدات هي: منخفضة جداً، ومنخفضة، ومتوسطة، وعالية، وعالية جداً، وتُستخدم في كتابتها الأحرف المائلة، مثلاً، ثقة متوسطة. ويمكن تخصيص مستويات ثقة مختلفة لدليل ما ولتعبير ما عن الاتفاق بشأنه، ولكن تزايد مستويات الأدلة ودرجات الاتفاق يرتبط بتزايد الثقة (انظر الفصل 1 والإطار 1. TS للاطلاع على مزيد من التفاصيل).

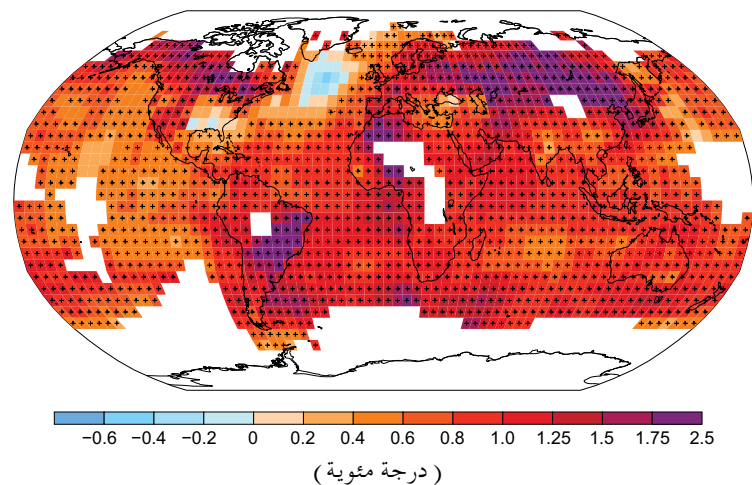
2 استُخدمت المصطلحات التالية في هذا الملخص لصانعي السياسات للإشارة إلى الأرجحية المقدرة لنتيجة أو محصلة ما: احتمال أنها مؤكدة تقريباً: 99-100 في المائة، ومرجحة إلى حد كبير: 90-100 في المائة، ومرجحة: 66-100 في المائة، وتتساوى تقريباً أرجحيتها مع عدم أرجحيتها: 33-66 في المائة، وغير مرجحة: 0-33 في المائة، وغير مرجحة إلى حد كبير: 0-10 في المائة، وغير مرجحة بشكل استثنائي: 0-1 في المائة. ويجوز أيضاً عند الاقتضاء استخدام مصطلحات إضافية (مرجحة إلى حد شديد: 95-100 في المائة، وعلى الأرجح < 50-100 في المائة، وغير مرجحة إلى حد شديد: 0-5 في المائة). وتُستخدم في كتابة الأرجحية المقدرة الأحرف المائلة، مثلاً، مرجحة إلى حد كبير (انظر الفصل 1 والإطار 1. TS للاطلاع على مزيد من التفاصيل).

كان كل عقد من العقود الثلاثة الأخيرة أكثر احتراراً بدرجة متلاحقة عند مستوى سطح البحر من أي عقد سابق منذ عام 1850 (انظر الشكل SPM.1). ففي نصف الكرة الأرضية الشمالي، من المرجح أن الفترة 1983-2012 كانت أدفأ فترة 30 عاماً خلال السنوات الألف والأربعمئة الأخيرة (ثقة متوسطة). (2.4، 5.3)

- يتضح من بيانات المتوسط العالمي لدرجة حرارة اليابسة والمحيطات معاً المحسوبة كاتجاه خطي حدوث احترار بمقدار 0.85 [0.65 إلى 1.06] درجة مئوية³، خلال الفترة من عام 1880 إلى عام 2012، عندما وُجدت مجموعات بيانات أُنتجت على نحو مستقل. والزيادة بين متوسط الفترة 1850-1900 والفترة 2003-2012 يبلغ مجموعها 0.78 [0.72 إلى 0.85] درجة مئوية، استناداً إلى أطول مجموعة بيانات متاحة منفردة⁴ (انظر الشكل SPM.1). (2.4)
 - شهد العالم بأكمله تقريباً احتراراً في سطحه في أطول فترة يُعتبر فيها حساب الاتجاهات الإقليمية كاملاً بدرجة كافية (1901 إلى 2012) (انظر الشكل SPM.1). (2.4)
 - إضافة إلى الاحترار القوي المتعدد العقود، يُظهر المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية تقلبية كبيرة بين العقود وبين السنوات (انظر الشكل SPM.1). ونتيجة للتقلبية الطبيعية، فإن الاتجاهات المستندة إلى السجلات القصيرة تتأثر بشدة بتواريخ البدء والانهاء ولا تعكس بوجه عام الاتجاهات المناخية طويلة الأجل. وكمثال لذلك، فإن معدل الاحترار خلال السنوات الخمس عشرة الماضية (1998-2012؛ 0.05 [-0.05 إلى 0.15] درجة مئوية لكل عقد)، الذي يبدأ بظاهرة نينيو قوية، أقل من المعدل المحسوب منذ عام 1951 (1951-2012؛ 0.12 [0.08 إلى 0.14] درجة مئوية لكل عقد). (2.4)⁵
 - تبين عمليات إعادة بناء درجات الحرارة السطحية على نطاق قاري، بثقة عالية، فترات متعددة العقود أثناء شذوذ المناخ في القرون الوسطى (من سنة 950 إلى سنة 1250) كانت في بعض الأقاليم بنفس درجة الدفء التي كانت عليها في أواخر القرن العشرين. ولكن فترات الدفء الإقليمي هذه لم تحدث عبر الأقاليم بنفس درجة اتساق فترات الدفء في أواخر القرن العشرين (ثقة عالية). (5.5)
 - من المؤكد تقريباً أن التروبوسفير قد شهد احتراراً على نطاق عالمي منذ منتصف القرن العشرين. وتتيح الرصدات الأكثر اكتمالاً ثقة أكبر في تقديرات التغيرات في درجة حرارة التروبوسفير في نصف الكرة الأرضية الشمالي خارج المدارين مقارنة بأي مكان آخر. وتوجد ثقة متوسطة في معدل الاحترار وهيكله العمودي في التروبوسفير الخارج عن المدارين في نصف الكرة الأرضية الشمالي وثقة منخفضة في الأماكن الأخرى. (2.4)
 - الثقة في متوسط التغير في الهطول فوق مناطق اليابسة في العالم منذ عام 1901 منخفضة قبل عام 1951 ومتوسطة في ما بعد ذلك. فقد زاد متوسط الهطول فوق مناطق اليابسة الواقعة على خطوط العرض الوسطى في نصف الكرة الأرضية الشمالي منذ عام 1901 (ثقة متوسطة قبل عام 1951 وثقة عالية بعد ذلك العام). أما فيما يتعلق بمتوسط الاتجاهات الإيجابية أو السلبية الطويلة الأجل على خطوط العرض الأخرى فإنها تتسم بدرجة ثقة منخفضة (انظر الشكل SPM.2). (TS TFE.1، الشكل 2؛ 2.5)
 - لوحظت منذ عام 1950 تغيرات في كثير من ظواهر الطقس والمناخ المتطرفة (انظر الجدول SPM.1 للاطلاع على التفاصيل). ومن المرجح إلى حد كبير أن عدد الأيام والليالي الباردة قد انخفض وأن عدد الأيام والليالي الدافئة قد زاد على النطاق العالمي⁶. ومن المرجح أن وتيرة موجات الحرارة قد زادت في أجزاء كبيرة من أوروبا وآسيا وأستراليا. فمن المرجح أن عدد أقاليم اليابسة التي زاد فيها عدد ظواهر الهطول الغزير أكبر من عدد أقاليم اليابسة التي انخفض فيها عدد تلك الظواهر. ومن المرجح أن وتيرة أو كثافة ظواهر الهطول الغزير قد زادت في أمريكا الشمالية وأوروبا. أما في القارات الأخرى، فإن درجة الثقة في التغيرات في ظواهر الهطول الغزير متوسطة في الأغلب. (2.6)
-
- 3 في مساهمة الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الخامس (AR5) يُحدّد عدم اليقين كميّاً باستخدام فواصل عدم اليقين التي تدور حول نسبة 90 في المائة ما لم يُذكر خلاف ذلك. ومن المتوقع فيما يتعلق بفواصل عدم اليقين الذي يدور حول نسبة 90 في المائة، المبيّن بين أقواس مربعة، أن تبلغ درجة أرجحية تغطيته للقيمة المقدرة 90 في المائة. وفواصل عدم اليقين ليست متماثلة بالضرورة بشأن أفضل تقدير مقابل. ويبيّن أفضل تقدير لتلك القيمة حيثما يتوافر.
 - 4 كلتا الطريقتين المعروضتين في هذه الفقرة استُخدما أيضاً في تقرير التقييم الرابع (AR4). وتحسب الطريقة الأولى الاختلاف باستخدام أصلح اتجاه خطي لجميع النقاط بين عام 1880 وعام 2012. أما الطريقة الثانية فهي تحسب الفرق بين متوسطي الفترتين 1850-1900 و2003-2012. ولذا، فإن القيم التي تنتج عن ذلك وفواصل عدم اليقين المتعلقة بها والتي تدور حول نسبة 90 في المائة لا تخضع للمقارنة المباشرة. (2.4)
 - 5 الاتجاهات لفترات الخمس عشرة سنة التي تبدأ في السنوات 1995 و1996 و1997 هي 0.13 [0.02 إلى 0.24] درجة مئوية لكل عقد، و0.14 [0.03 إلى 0.24] درجة مئوية لكل عقد، و0.07 [-0.02 إلى 0.18] درجة مئوية لكل عقد، على التوالي.
 - 6 انظر مسرد المصطلحات للاطلاع على تعريف هذه المصطلحات: الأيام الباردة/الليالي الباردة، الأيام الدافئة/الليالي الدافئة، موجات الحرارة.

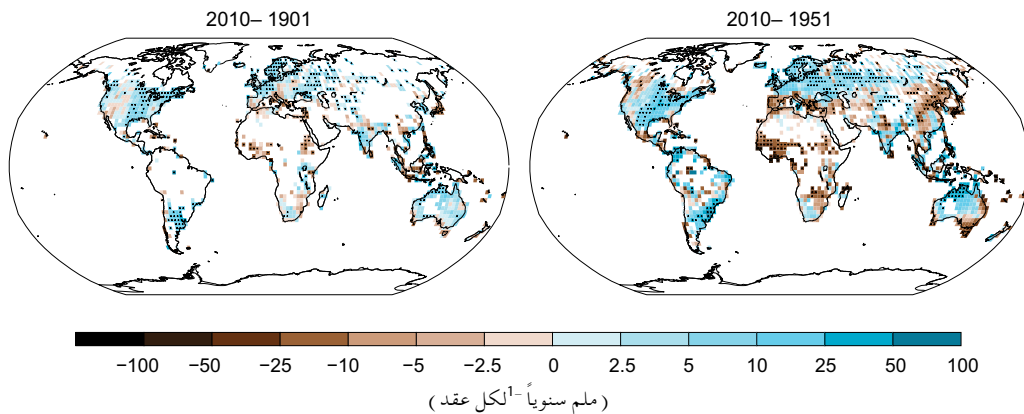


(ب) التغير الملحوظ في درجة الحرارة السطحية في الفترة 1901-2012



الشكل 1 | SP.1 (أ) أوجه الشذوذ الملحوظة في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية لليابسة والمحيطات معاً، من عام 1850 إلى عام 2012، المستمدة من ثلاث مجموعات بيانات. اللوحة العليا: متوسط القيم السنوية. اللوحة السفلى: متوسط القيم العقدية بما في ذلك تقدير عدم اليقين المتعلق بمجموعة بيانات واحدة (السوداء). وأوجه الشذوذ مبيّنة بالنسبة إلى متوسط الفترة 1901-1990. (ب) خريطة التغير الملحوظ في درجة الحرارة السطحية في الفترة من 1901 إلى 2012 مستمدة من اتجاهات درجة الحرارة التي يحددها النكوص الخطي من مجموعة بيانات واحدة (الخط البرتقالي في اللوحة أ). وقد حسبت الاتجاهات حيثما يسمح توافر البيانات باستخلاص تقدير قوي (أي فيما يتعلق فقط بالمربعات الشبكية التي تتوفر سجلات كاملة عنها بنسبة تتجاوز 70 في المائة وتتوافر بيانات عنها بنسبة تتجاوز 20 في المائة في أول وآخر نسبة قدرها 10 في المائة من الفترة الزمنية). أما المناطق الأخرى فهي بيضاء. وتبين المربعات الشبكية التي يكون فيها الاتجاه هاماً عند مستوى قدره 10 في المائة بعلامة +. وللاطلاع على قائمة مجموعات البيانات وعلى مزيد من التفاصيل الفنية انظر المواد التكميلية للملخص الفني. [الأشكال 19، 21، 22؛ والشكل TS.2]

التغير الملحوظ في هطول الأمطار السنوي على اليابسة



الشكل 2 | خريطة التغير الملحوظ في هطول الأمطار في الفترة 2010-1951 والفترة 2010-1951 (حُسبت الاتجاهات في التراكم السنوي باستخدام نفس المعايير المستخدمة في الشكل 1، SPM. 1) مستمدتان من مجموعة بيانات واحدة، وللاطلاع على مزيد من التفاصيل الفنية انظر المواد التكميلية للملخص الفني. (1، TS TFE، الشكل 2؛ والشكل 2.29)

باء-2 المحيطات

يستحوذ احترار المحيطات على الزيادة في الطاقة المخزونة في النظام المناخي، باعتبار أن المحيطات تمتص أكثر من 90 في المائة من الطاقة التي تراكمت خلال الفترة من عام 1971 إلى عام 2010 (ثقة عالية). ومن المؤكد تقريباً احترار أعالي المحيطات (0-700 متر) خلال الفترة من عام 1971 إلى عام 2010 (انظر الشكل 3.3 SPM)، ومن المرجح احترارها خلال الفترة الممتدة من سبعينيات القرن التاسع عشر إلى عام 1971. (3.2، الإطار 3.1)

- على نطاق عالمي يبلغ احترار المحيطات أكبر مدى له على مقربة من السطح، وقد حدث احترار الطبقة العليا للمحيطات البالغة 75 متراً بمقدار 0.11 [0.09 إلى 0.13] درجة مئوية لكل عقد خلال الفترة الممتدة من عام 1971 إلى عام 2010. ومنذ تقرير التقييم الرابع (AR4)، تحددت انحرافات هامة في سجلات درجة حرارة الطبقات العليا من المحيطات وجرى تخفيضها، مما يعزز الثقة في تقييم التغير. (3.2)
- من المرجح أنه قد حدث احترار طبقات المحيطات الواقعة على عمق يتراوح من 700 إلى 2000 متر خلال الفترة من عام 1957 إلى عام 2009. وتتوافر رصدات كافية للفترة الممتدة من عام 1992 إلى عام 2005 للتوصل إلى تقييم عالمي للتغير في درجة حرارة المحيطات على مسافة تحت 2000 متر. ومن المرجح عدم وجود اتجاهات ملحوظة كافية لدرجة الحرارة على عمق يتراوح من 2000 إلى 3000 متر فيما يتعلق بهذه الفترة. ومن المرجح أنه قد حدث احترار في المحيطات على عمق 3000 متر حتى القاع خلال هذه الفترة، مع ملاحظة أكبر نسبة احترار في المحيط الجنوبي. (3.2)
- أكثر من 60 في المائة من صافي زيادة الطاقة في النظام المناخي جرى اختزانه في الطبقات العليا من المحيطات (0-700 متر) أثناء فترة الأربعين عاماً الممتدة من عام 1971 إلى عام 2010 التي أخذت عينات جيدة نسبياً منها، ونحو 30 في المائة جرى اختزانه في طبقات المحيطات الواقعة على عمق يتجاوز 700 متر. ومن المرجح أن الزيادة في المحتوى الحراري للطبقات العليا من المحيطات أثناء هذه الفترة الزمنية، والمقدرة من اتجاه خطي، تبلغ 17 [15 إلى 19] × 10²² J (انظر الشكل 3.3 SPM). (3.2، الإطار 3.1)
- تتساوى تقريباً أرجحية مع عدم أرجحية أن المحتوى الحراري للمحيطات في الطبقات العليا التي تتراوح من 0 إلى 700 متر قد زاد أثناء الفترة 2003-2010 ببطء أكبر من ببطء زيادته أثناء الفترة 1993-2002 (انظر الشكل 3 SPM). ومن المرجح أن امتصاص حرارة المحيطات في الطبقات الواقعة على عمق يتراوح من 700 إلى 2000 متر، حيث تكون التقلبية بين السنوات أقل، قد استمر بلا كبح خلال الفترة 1993-2009. (3.2، الإطار 9.2)
- من المرجح إلى حد كبير أن المناطق ذات الملوحة العالية التي يسودها التبخر قد أصبحت أكثر ملوحة، بينما أصبحت مياه المناطق ذات الملوحة الأقل حيث يسود الهطول أكثر عذوبة، منذ خمسينيات القرن العشرين. وتوفر هذه الاتجاهات الإقليمية في ملوحة المحيطات دليلاً غير مباشر على أن التبخر والهطول فوق المحيطات قد تغيرا (ثقة متوسطة). (3.3، 3.5)
- لا يوجد دليل من الرصد على وجود اتجاه في الدوران الانقلابي الجنوبي في المحيط الأطلسي (AMOC)، استناداً إلى سجل ذلك الدوران الكامل على مدى عقد وإلى السجلات الأطول للمكونات الفردية لذلك الدوران. (3.6)

7 من شأن استمرار وجود إمداد بالحرارة من خلال سطح المحيطات بمعدل وات واحد في المتر المربع لمدة سنة واحدة أن يؤدي إلى زيادة في المحتوى الحراري للمحيطات بمقدار 1.1 × 10²² جول.

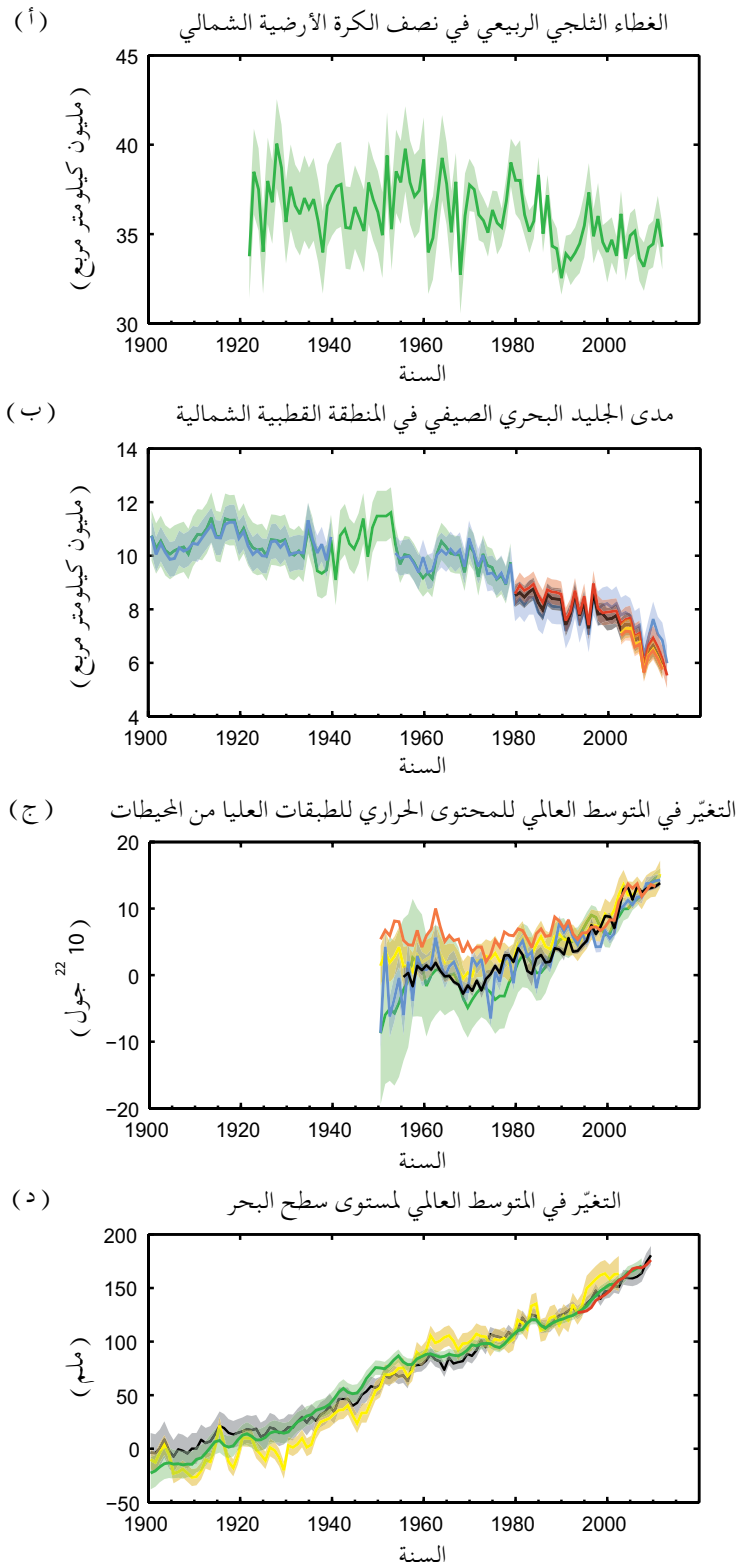
خلال العقدين الأخيرين، فقدت الصفحات الجليدية في غرينلاند والمناطق القطبية الجنوبية كتلاً جليدية، واستمر تقلص حجم الأنهار الجليدية على نطاق العالم تقريباً، واستمر نقصان حجم الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية والغطاء الجليدي الربيعي في نصف الكرة الأرضية الشمالي (ثقة عالية) (انظر الشكل 3 SPM). (4.2-4.7)

- من المرجح إلى حد كبير أن متوسط معدل فقدان⁸ كتل جليدية من الأنهار الجليدية في مختلف أنحاء العالم، باستثناء الأنهار الجليدية الموجودة على الحد الخارجي للصفحات الجليدية⁹ كان يبلغ 226 [91 إلى 361] طنناً إجمالياً سنوياً¹⁻ خلال الفترة الممتدة من عام 1971 إلى عام 2009، وكان من المرجح إلى حد كبير أنه كان يبلغ 275 [140 إلى 410] طنناً إجمالياً سنوياً¹⁻ خلال الفترة الممتدة من عام 1993 إلى عام 2009¹⁰. (4.3)
- من المرجح إلى حد كبير أن متوسط معدل فقدان الكتل الجليدية من الصفحة الجليدية في غرينلاند قد زاد زيادة كبيرة من 34 [6- إلى 74] طنناً إجمالياً سنوياً¹⁻ خلال الفترة 1992-2001 إلى 215 [157 إلى 274] طنناً إجمالياً سنوياً¹⁻ خلال الفترة 2002-2011. (4.4)
- من المرجح أن متوسط معدل فقدان كتل جليدية من الصفحة الجليدية في المنطقة القطبية الجنوبية قد زاد من 30 [37- إلى 97] طنناً إجمالياً سنوياً¹⁻ خلال الفترة 1992-2001 إلى 147 [72 إلى 221] طنناً إجمالياً سنوياً¹⁻ خلال الفترة الممتدة من عام 2002 إلى عام 2011. وتوجد ثقة عالية جداً في أن هذا النقصان قد حدث بصفة رئيسية في الجزء الشمالي من شبه جزيرة المنطقة القطبية الجنوبية وقطاع بحر أموندسن من غرب أنتاركتيكا. (4.4)
- انخفض المتوسط السنوي لمدى الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية خلال الفترة الممتدة من عام 1979 إلى عام 2012 بمعدل من المرجح إلى حد كبير أنه كان في حدود نطاق يتراوح من 3.5 إلى 4.1 في المائة لكل عقد (نطاق يتراوح من 0.45 إلى 0.51 مليون كلم مربع لكل عقد)، وأنه كان من المرجح إلى حد كبير في حدود نطاق يتراوح من 9.4 إلى 13.6 في المائة لكل عقد (نطاق يتراوح من 0.73 إلى 1.07 مليون كلم مربع لكل عقد) فيما يتعلق بالحد الأدنى الصيفي للجليد البحري (الجليد البحري الدائم). وبلغ متوسط الانخفاض في المتوسط العقدي لمدى الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية أقصى سرعة له في الصيف (ثقة عالية)؛ وانخفض حجم حيزه في كل موسم، وكذلك في كل عقد متلاحق منذ عام 1979 (ثقة عالية) (انظر الشكل 3 SPM). وتوجد ثقة متوسطة من عمليات إعادة البناء في أن تراجع الجليد البحري الصيفي في المنطقة القطبية الشمالية كان غير مسبوق خلال العقود الثلاثة الماضية وأن درجات حرارة سطح البحر كانت مرتفعة بدرجة شاذة في السنوات الألف وأربعمائة وخمسين الأخيرة على الأقل. (4.2، 4.5)
- من المرجح إلى حد كبير أن المتوسط السنوي لمدى الجليد البحري في المنطقة القطبية الجنوبية زاد بمعدل يتراوح نطاقه من 1.2 إلى 1.8 في المائة لكل عقد (نطاق يتراوح من 0.13 إلى 0.20 مليون كلم مربع لكل عقد) خلال الفترة ما بين عام 1979 وعام 2012. وتوجد ثقة عالية في وجود اختلافات إقليمية كبيرة في هذا المعدل السنوي، بحيث يزيد المدى في بعض الأقاليم ويقل في أخرى. (4.2)
- توجد ثقة عالية جداً في أن مدى الغطاء الثلجي فوق نصف الكرة الأرضية الشمالي قد انخفض منذ منتصف القرن العشرين (انظر الشكل 3 SPM). فقد انخفض مدى الغطاء الثلجي فوق نصف الكرة الأرضية الشمالي بنسبة قدرها 1.6 [0.8 إلى 2.4] في المائة لكل عقد في آذار/مارس ونيسان/أبريل، وبنسبة قدرها 11.7 [8.8 إلى 14.6] في المائة لكل عقد في حزيران/يونيو، خلال الفترة من عام 1967 إلى عام 2012. وأثناء هذه الفترة، لم تظهر أي زيادة هامة إحصائياً في أي شهر في مدى الغطاء الثلجي في نصف الكرة الأرضية الشمالي. (4.5)
- توجد ثقة عالية في أن درجات حرارة التربة الصقيعية زادت في معظم الأقاليم منذ أوائل ثمانينات القرن العشرين. وكان الاحترار الملحوظ يصل إلى 3 درجات مئوية في أجزاء من شمال ألاسكا (أوائل ثمانينات القرن العشرين إلى منتصف العقد الأول من القرن الحادي والعشرين) ويصل إلى درجتين مئويتين في أجزاء من الشمال الأوروبي الروسي (1971 إلى 2010). وفي الإقليم الأخير، لوحظ حدوث انخفاض كبير في سماكة التربة الصقيعية وحجم مساحتها خلال الفترة الممتدة من عام 1975 إلى عام 2005 (ثقة متوسطة). (4.7)
- تؤيد أدلة متعددة حدوث احترار كبير جداً في المنطقة القطبية الشمالية منذ منتصف القرن العشرين. (الإطار 5.1، 10.3)

8 تعني جميع الإشارات إلى 'فقدان الكتل الجليدية' أو 'تقلص الكتل الجليدية' الفقدان الصافي لكتل جليدية، أي التراكم مطروحاً منه الذوبان وانفصال الجبال الجليدية.

9 لأسباب منهجية، يشمل هذا التقييم لفقدان الكتل الجليدية من الصفحات الجليدية الموجودة في المنطقة القطبية الجنوبية وغرينلاند التغيير الذي يحدث على الحد الخارجي للأنهار الجليدية الموجودة. ومن ثم فإن هذه الأنهار الجليدية الحديثة لا تشملها القيم المبينة للأنهار الجليدية.

10 فقدان كتل جليدية وزنها 100 طن إجمالياً سنوياً¹⁻ يعادل ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر بنحو 0.28 ملم سنوياً¹⁻.



الشكل 3.1 | المؤشرات الملحوظة المتعددة لتغير المناخ العالمي: (أ) مدى متوسط الغطاء الثلجي (الربيعي) في آذار/مارس - نيسان/أبريل في نصف الكرة الأرضية الشمالي؛ (ب) مدى متوسط الجليد البحري (الصيفي) في تموز/يوليو - آب/أغسطس - أيلول/سبتمبر في المنطقة القطبية الشمالية؛ (ج) التغير في المتوسط العالمي للمحتوى الحراري للطبقات العليا من المحيطات (0-700 متر) مكثفا حسب الفترة 2006-2010، وبالنسبة إلى متوسط كل مجموعات البيانات الخاصة بعام 1970؛ (د) المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر بالنسبة إلى متوسط أطول مجموعة بيانات مستمرة للفترة 1900-1905، ومع تكييف كل مجموعات البيانات كي تكون لها نفس القيمة في عام 1993، وهي السنة الأولى التي توافرت فيها بيانات القياس الساتلي. وتبين جميع السلاسل الزمنية (الخطوط الملونة التي تشير إلى مجموعات بيانات مختلفة) القيم السنوية، وتبين أوجه عدم اليقين، حيثما يوجد تقييم لتلك القيم، بتظليل ملون. انظر المواد التكميلية للملخص الفني للاطلاع على قائمة مجموعات البيانات. (الأشكال 3.2، و3.13، و4.19، و4.3، والسؤال المتكرر 2.1، الشكل 2، والشكل 1.1 TS)

باء 4- مستوى سطح البحر

كان معدل ارتفاع مستوى سطح البحر منذ منتصف القرن التاسع عشر أكبر من متوسط المعدل أثناء الألفي سنة السابقة (ثقة عالية). وخلال الفترة 1901-2010، ارتفع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر بمقدار 0.19 [0.17 إلى 0.21] متر (انظر الشكل 3 SPM). (3.7، 5.6، 13.2)

- تشير البيانات غير المباشرة والمستقاة من استخدام الأدوات إلى حدوث تحوّل في أواخر القرن التاسع عشر إلى أوائل القرن العشرين من متوسط منخفض لمعدلات الارتفاع خلال الألفي سنة السابقة إلى معدلات ارتفاع أعلى (ثقة عالية). ومن المرجح أن معدل المتوسط العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر قد استمر في التزايد منذ أوائل القرن العشرين. (3.7، 5.6، 13.2)
- من المرجح إلى حد كبير أن المتوسط العالمي لمعدل ارتفاع مستوى سطح البحر كان يبلغ 1.7 [1.5 إلى 1.9] ملم سنوياً¹ خلال الفترة ما بين عام 1901 وعام 2010، و2.0 [1.7 إلى 2.3] ملم سنوياً¹ خلال الفترة ما بين عام 1971 وعام 2010، و3.2 [2.8 إلى 3.6] ملم سنوياً¹ خلال الفترة ما بين عام 1993 وعام 2010. وبيانات قياس المد والجزر وبيانات الارتفاع الساتلية متسقة فيما يتعلق بارتفاع معدل الفترة الأخيرة. ومن المرجح حدوث معدلات مرتفعة على نفس الشاكلة خلال الفترة ما بين عام 1920 وعام 1950. (3.7)
- منذ أوائل سبعينيات القرن العشرين، يفسر فقدان كتل جليدية من الأنهار الجليدية إلى جانب التوسع الحراري للمحيطات نتيجة للاحتراق حوالي 75 في المائة من الارتفاع الملحوظ في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (ثقة عالية). وخلال الفترة من عام 1993 إلى عام 2010، كان المتوسط العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر متسقاً، بثقة عالية، مع حصيلة المساهمات الملحوظة من التوسع الحراري للمحيطات الناجم عن الاحتراق (1.1 [0.8 إلى 1.4] ملم سنوياً¹)، نتيجة للتغيرات في الأنهار الجليدية (0.76 [0.39 إلى 1.13] ملم سنوياً¹)، والصفحة الجليدية في غرينلاند (0.33 [0.25 إلى 0.41] ملم سنوياً¹)، والصفحة الجليدية في المنطقة القطبية الجنوبية (0.27 [0.16 إلى 0.38] ملم سنوياً¹)، وتبخير المياه في الأرض (0.26 [0.49 إلى 0.49] ملم سنوياً¹). وتبلغ حصيلة هذه المساهمات 2.8 [2.3 إلى 3.4] ملم سنوياً¹ (13.3)
- توجد ثقة عالية جداً في أن الحد الأقصى للمتوسط العالمي لمستوى سطح البحر أثناء الفترة الأخيرة الفاصلة بين عصريين جليديين (قبل ما يتراوح من 129 000 إلى 116 000 سنة) كان، لعدة آلاف من السنين، أعلى بمقدار 5 أمتار على الأقل مما هو حالياً، وتوجد ثقة عالية في أنه لم يتجاوز 10 أمتار فوق المستوى الحالي. وأثناء آخر فترة فاصلة بين عصريين جليديين، من المرجح إلى حد كبير أن الصفحة الجليدية في غرينلاند ساهمت بما يتراوح من 1.4 متر إلى 4.3 أمتار في ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر، مما يعني ضمناً بثقة متوسطة مساهمة إضافية من الصفحة الجليدية في المنطقة القطبية الجنوبية. وقد حدث هذا التغير في مستوى سطح البحر في سياق تأثير قسري مداري مختلف ومع كون درجة الحرارة السطحية على خطوط العرض المرتفعة، كمتوسط على مدى آلاف من السنين، أدفاً بمقدار درجتين مئويتين على الأقل مما هي حالياً (ثقة عالية). (5.3، 5.6)

باء 5- دورات الكربون وغيره من المواد الجيوكيميائية الحيوية

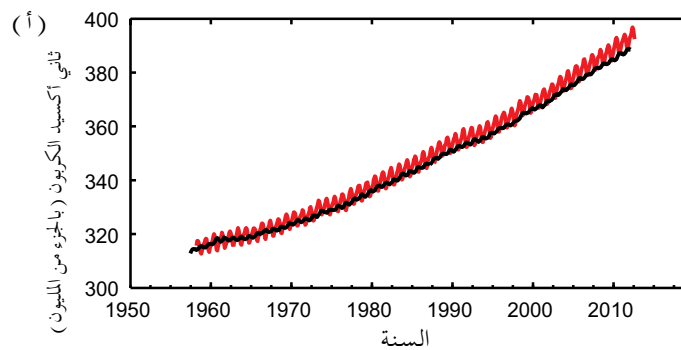
زادت تركيزات ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز في الغلاف الجوي إلى مستويات غير مسبوقة في الثمانمائة ألف سنة الأخيرة على الأقل. فقد زادت تركيزات ثاني أكسيد الكربون بنسبة قدرها 40 في المائة منذ عصور ما قبل الصناعة، أولاً، نتيجة لانبعاثات الوقود الأحفوري، وثانياً نتيجة لاصافي الانبعاثات الناجمة عن تغير استخدام الأراضي. وقد امتصت المحيطات نحو 30 في المائة من ثاني أكسيد الكربون المنبعث من الأنشطة البشرية، مما تسبب في تحمّض المحيطات. (انظر الشكل 4 SPM). (2.2، 3.8، 5.2، 6.2، 6.3)

- زادت تركيزات جميع غازات الاحتباس الحراري المتمثلة في ثاني أكسيد الكربون (CO₂)، والميثان (CH₄)، وأكسيد النيتروز (N₂O) في الغلاف الجوي منذ عام 1750 نتيجة للنشاط البشري. وفي عام 2011 كانت تركيزات غازات الاحتباس الحراري هذه تبلغ 391 جزءاً في المليون¹¹، و1803 أجزاء في البليون، و324 جزءاً في البليون، وتجاوزت مستويات ما قبل عصر الصناعة بنسبة تبلغ نحو 40 في المائة، و150 في المائة، و20 في المائة، على التوالي. (2.2، 5.2، 6.1، 6.2)
- تتجاوز تركيزات ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز الآن إلى حد كبير أعلى تركيزات سُجلت في الأجواف الجليدية أثناء الثمانمائة ألف سنة الماضية. وكان متوسط معدلات الزيادة في التركيزات في الغلاف الجوي خلال العقد المنصرم، بثقة عالية جداً، غير مسبوقة في الأثنين وعشرين ألف سنة الأخيرة. (2.2، 6.1، 5.2)

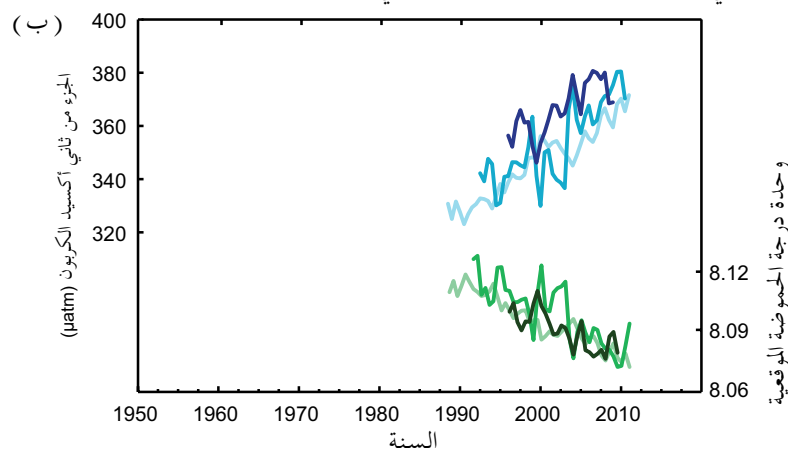
11 الجزء في المليون (ppm) أو الجزء في البليون (ppb)، (البليون الواحد = 1000 مليون) هو نسبة عدد جزيئات الغاز إلى مجموع عدد جزيئات الهواء الجاف. فعلى سبيل المثال، 300 جزء في المليون يعني 300 جزيء من الغازات لكل مليون جزيء من الهواء الجاف.

- بلغ متوسط الانبعاثات السنوية من ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن حرق الوقود الأحفوري وإنتاج الإسمنت 8.3 [7.6 إلى 9.0] غيغاطن¹² سنوياً¹ خلال الفترة 2002-2011 (ثقة عالية) وبلغ 9.5 [8.7 إلى 10.3] غيغاطن من الكربون سنوياً¹ في عام 2011، وهو ما يمثل زيادة بنسبة قدرها 54 في المائة عن مستوى عام 1990. وبلغ صافي الانبعاثات السنوية من ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن التغير في الاستخدام البشري للأراضي 0.9 [0.1 إلى 1.7] غيغاطن سنوياً¹ في المتوسط أثناء الفترة الممتدة من عام 2002 إلى عام 2011 (ثقة متوسطة). {6.3}
- من عام 1750 إلى عام 2011 أطلقت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من حرق الوقود الأحفوري وإنتاج الإسمنت 375 [345 إلى 405] غيغاطن في الغلاف الجوي، بينما يقدر أن إزالة الغابات والتغير الآخر في استخدام الأراضي أطلقا 180 [100 إلى 260] غيغاطن. وهذا يسفر عن انبعاثات بشرية تراكمية قدرها 555 [470 إلى 640] غيغاطن. {6.3}
- من هذه الانبعاثات البشرية التراكمية لثاني أكسيد الكربون تراكم 240 [230 إلى 250] غيغاطن في الغلاف الجوي، وامتصت المحيطات 155 [125 إلى 185] غيغاطن، وتراكم 160 [70 إلى 250] غيغاطن في النظم الإيكولوجية الأرضية الطبيعية [أي بالوعة الأراضي المتبقية التراكمية]. {الشكل 4، 3.8، TS.4}
- يحدّد كمياً تحمّض المحيطات بالانخفاضات في درجة الحموضة¹³. وقد انخفضت درجة حموضة المياه السطحية للمحيطات بمقدار 0.1 منذ بداية الحقبة الصناعية (ثقة عالية)، وهو ما يعادل حدوث زيادة بنسبة قدرها 26 في المائة في تركيز أيونات الهيدروجين (انظر الشكل 4 SPM). {3.8، الإطار 3.2}

ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي



ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحموضة في الطبقات السطحية من المحيطات



الشكل 4 SPM.4 المؤشرات الملحوظة المتعددة لتغير دورة الكربون العالمية: (أ) تراكيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي المنبثقة من Mauna Loa (19°32' شمالاً، و155°34' غرباً - المبنية باللون الأحمر) والقطب الجنوبي (89°59' جنوباً، و24°48' غرباً - المبنية باللون الأسود) منذ عام 1958؛ (ب) الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون المذاب في الطبقة السطحية للمحيطات (المنحنيات الزرقاء) ودرجة الحموضة الموقعية (المنحنيات الخضراء)، وهو ما يمثل مقياساً لحموضة مياه المحيطات. والقياسات مستمدة من ثلاث محطات من المحيط الأطلسي 29°10' شمالاً، و15°30' غرباً - الأزرق الداكن/الأخضر الداكن؛ و31°40' شمالاً، و64°10' غرباً - الأزرق/الأخضر) والمحيط الهادئ (22°45' شمالاً، و158°00' غرباً - الأزرق الخفيف/الأخضر الخفيف). وترد التفاصيل الكاملة لمجموعات البيانات المبنية هنا في التقرير الأساسي والمواد التكميلية للملخص الفني. (الشكلان 2.1 و3.18؛ الشكل 5 TS)

12 غيغاطن واحد من الكربون = 1 GtC = 10¹⁵ غرامات من الكربون. وهذا يعادل 3.667 غيغاطن من ثاني أكسيد الكربون.

13 درجة الحموضة هي مقياس للحموضة باستخدام مقياس لوغاريتمي: انخفاض درجة الحموضة بمقدار وحدة واحدة يعادل حدوث زيادة عشرية في نسبة تركيز أيونات الهيدروجين، أو الحموضة.

جيم - العوامل الدافعة إلى تغيير المناخ

إن المواد والعمليات الطبيعية والبشرية التي تغير ميزانية طاقة الأرض هي العوامل الدافعة إلى تغيير المناخ. ويحدد القسر الإشعاعي (RF) ¹⁴ تحديداً كيميائياً التغيير في تدفقات الطاقة التي تنجم عن التغيرات في هذه العوامل فيما يتعلق بعام 2011 بالنسبة إلى عام 1750، إلا إذا أُشير إلى خلاف ذلك. ويؤدي القسر الإشعاعي الإيجابي إلى احترار السطح، بينما يؤدي القسر الإشعاعي السلبي إلى تبريد السطح. ويقدر القسر الإشعاعي استناداً إلى رصدات موقعية ورصدات عن بُعد، وخواص غازات الاحتباس الحراري والأهباء الجوية، والحسابات التي تُستخدم فيها نماذج عديدة تمثل العمليات المرصودة. وتؤثر بعض المركبات المنبعثة على تركيز مواد أخرى في الغلاف الجوي. ويمكن الإبلاغ عن القسر الإشعاعي استناداً إلى التغيرات في نسبة تركيز كل مادة ¹⁵. وبدلاً من ذلك، يمكن الإبلاغ عن القسر الإشعاعي لأحد المركبات القائم على الانبعاثات، وهو ما يمكن أن يوفر ربطاً بالأنشطة البشرية مباشرة بدرجة أكبر. وهو يشمل المساهمات من جميع المواد التي تتأثر بذلك الانبعاثات. والقسر الإشعاعي البشري الكلي الذي يجري التوصل إليه باتباع كلا النهجين يكون متماثلاً عندما تؤخذ في الاعتبار جميع العوامل الدافعة. ومع أن كلا النهجين يستخدم في هذا الملخص لصانعي السياسات يوجد تشديد على عمليات القسر الإشعاعي القائمة على الانبعاثات.

القسر الإشعاعي الإجمالي إيجابي، وأدى إلى امتصاص النظام المناخي للطاقة المنبعثة نتيجة له. وتنجم أكبر مساهمة في القسر الإشعاعي الإجمالي عن الزيادة التي حدثت في تركيز ثاني أكسيد الكربون والغلاف الجوي منذ عام 1750 (انظر الأشكال SPM.5). (3.2، الإطار 3.1، 8.3، 8.5)

- القسر الإشعاعي البشري الإجمالي لعام 2011 بالنسبة إلى عام 1750 يبلغ 2.29 [1.13 إلى 3.33] وات في المتر المربع (انظر الشكل SPM.5)، وقد زاد منذ عام 1970 بسرعة أكبر من زيادته أثناء العقود السابقة. وأفضل تقدير للقسر الإشعاعي البشري الإجمالي لعام 2011 هو تقدير أعلى بنسبة قدرها 43 في المائة من التقدير المبلغ عنه في تقرير التقييم الرابع (AR4) فيما يتعلق بسنة 2005. وهذا ناجم عن مزيج من النمو المتواصل في معظم تركيزات غازات الاحتباس الحراري وتحسن تقديرات القسر الإشعاعي الناجم عن الأهباء الجوية مما يشير إلى تأثير تبريدي صافٍ أضعف (القسر الإشعاعي السلبي). (8.5)
- القسر الإشعاعي من انبعاثات غازات احتباس حراري ممزوجة جيداً (ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النيتروز، والهالوكربونات) في عام 2011 بالنسبة إلى عام 1750 يبلغ 3.00 [2.22 إلى 3.78] وات في المتر المربع (انظر الشكل SPM.5). ويبلغ القسر الإشعاعي الناجم عن التغيرات في تركيزات هذه الغازات 2.83 [2.26 إلى 3.40] وات في المتر المربع. (8.5)
- تسببت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون وحدها في قسر إشعاعي قدره 1.68 [1.33 إلى 2.03] وات في المتر المربع (انظر الشكل SPM.5). ويبلغ القسر الإشعاعي لثاني أكسيد الكربون، بما يشمل انبعاثات غازات أخرى محتوية على الكربون، ساهمت أيضاً في الزيادة في تركيزات ثاني أكسيد الكربون، 1.82 [1.46 إلى 2.18] وات في المتر المربع. (8.3، 8.5)
- تسببت انبعاثات غاز الميثان وحدها في قسر إشعاعي قدره 0.97 [0.74 إلى 1.20] وات في المتر المربع (انظر الشكل SPM.5). وهذا أكبر كثيراً من التقدير القائم على التركيزات والبالغ 0.48 [0.38 إلى 0.58] وات في المتر المربع (لم يتغير من تقرير التقييم الرابع (AR4)). وهذا الاختلاف بين التقديرين يرجع إلى التغيرات في تركيزات الأوزون وبخار الماء في الستراتوسفير نتيجة لانبعاثات غاز الميثان والانبعاثات الأخرى التي تؤثر على غاز الميثان بطريقة غير مباشرة. (8.3، 8.5)
- تسببت انبعاثات الهالوكربونات المستنفدة للأوزون في حدوث قسر إشعاعي إيجابي صافٍ قدره 0.18 [0.01 إلى 0.35] وات في المتر المربع (انظر الشكل SPM.5). وكان القسر الإشعاعي الإيجابي الخاص بها يفوق القسر الإشعاعي السلبي الناجم عن استنفاد الأوزون الذي أدت إليه. وقيمة القسر الإشعاعي الإيجابي الناجم عن جميع الهالوكربونات مماثلة لقيمتها في تقرير التقييم الرابع (AR4)، مع انخفاض القسر الإشعاعي من المركبات الكلوروفلوروكربونية ولكن مع زيادات من الكثير من بدائلها. (8.3، 8.5)
- تساهم انبعاثات الغازات القصيرة الأمد في القسر الإشعاعي البشري الإجمالي. ومن المؤكد تقريباً أن انبعاثات أكسيد الكربون (CO) أدت إلى قسر إشعاعي إيجابي، بينما من المرجح أن انبعاثات أكاسيد النيتروجين (NO_x) قد أدت إلى قسر إشعاعي سلبي صافٍ (انظر الشكل SPM.5). (8.3، 8.5)
- يبلغ القسر الإشعاعي للتأثير الإجمالي للأهباء الجوية في الغلاف الجوي، الذي يشمل تكيفات السحب نتيجة للأهباء الجوية، 0.9 [-1.9 إلى 0.1] وات في المتر المربع (ثقة متوسطة)، وينجم عن قسر سلبي من معظم الأهباء الجوية

14 تُحدّد كميّاً قوة العوامل الدافعة بوصفها قسراً إشعاعياً بوحدات من الواط في المتر المربع ($W m^{-2}$) كما في التقييمات السابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC). والقسر الإشعاعي هو التغيير في تدفق الطاقة الناجم عن عامل دافع، ويُحسب في التروبوز أو عند أعلى الغلاف الجوي. ويُبقى على جميع ظروف السطح والتروبوسفير ثابتة في المفهوم التقليدي للقسر الإشعاعي المستخدم في التقارير السابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC). أما في عمليات الحساب الخاصة بالقسر الإشعاعي المتعلقة بغازات الاحتباس الحراري الممزوجة جيداً والأهباء الجوية في هذا التقرير فيسمح باستجابة التغيرات الفيزيائية، باستثناء جليد المحيطات والبحار، للاضطرابات بواسطة تكيفات سريعة. ويسمى القسر الناجم عن ذلك قسراً إشعاعياً فعالاً (ERF) في التقرير الأساسي. ويعتبر هذا التغيير عن التقدم العلمي الذي تحقق منذ التقييمات السابقة ويسفر عن تبيان أفضل لاستجابة درجة الحرارة في نهاية المطاف فيما يتعلق بهذه العوامل الدافعة. والتكيفات السريعة، فيما يتعلق بجميع العوامل الدافعة عدا غازات الاحتباس الحراري الممزوجة جيداً والأهباء الجوية، أقل تميزاً ويُفترض أنها صغيرة، ومن ثم يُستخدم القسر الإشعاعي التقليدي. (8.1)

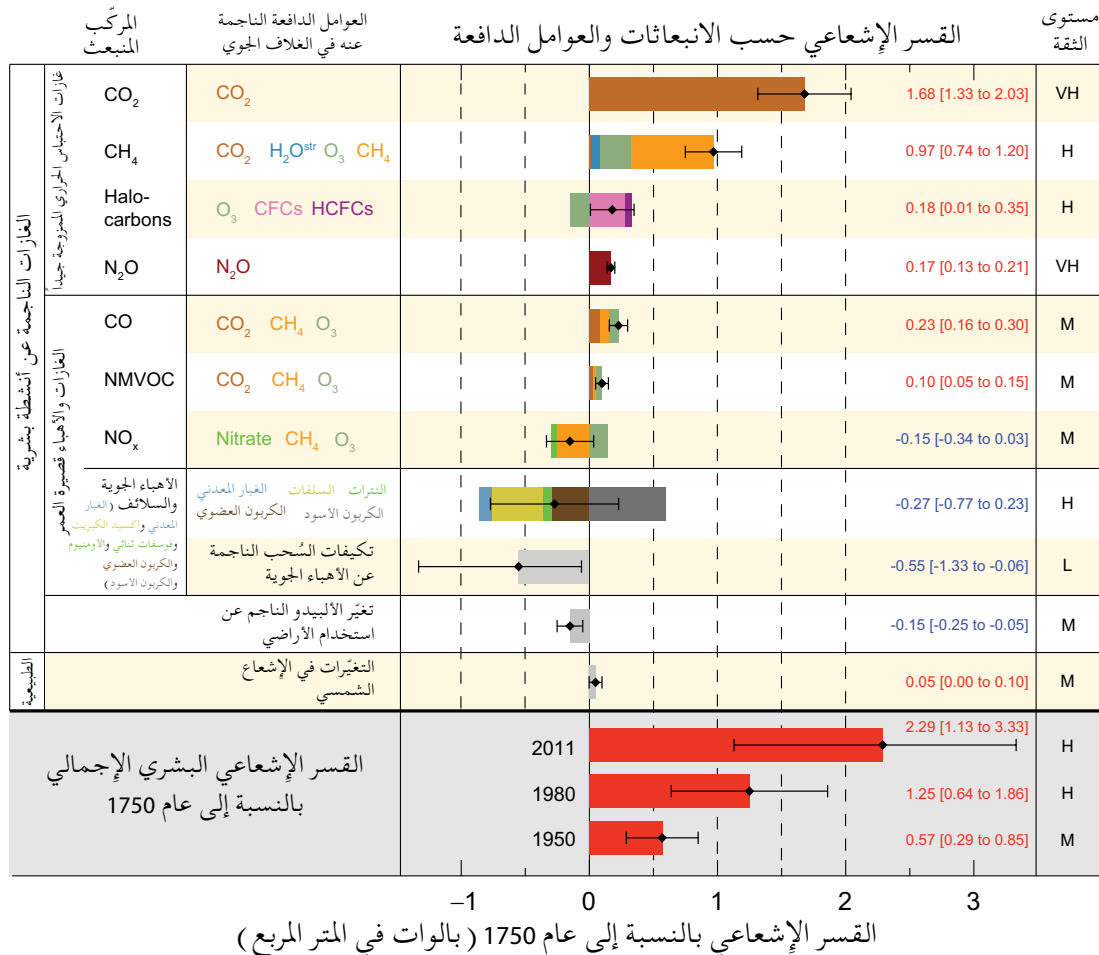
15 استُخدم هذا النهج للإبلاغ عن القسر الإشعاعي في "ملخص لصانعي السياسات" الخاص بتقرير التقييم الرابع (AR4).

ومساهمة إيجابية من امتصاص الكربون الأسود للإشعاع الشمسي. وتوجد ثقة عالية في أن الأهباء الجوية وتفاعلاتها مع السحب قد عوّضت عن نسبة كبيرة من المتوسط العالمي للقسر الناجم عن غازات الاحتباس الحراري المزوجة جيداً. وهي ما زالت تساهم بأكبر قدر من عدم اليقين في تقدير القسر الإشعاعي الإجمالي. {8.5، 8.3، 7.5}

• يمكن أن يكون للقسر الناجم عن الأهباء الجوية البركانية في الستراتوسفير أثر كبير على المناخ لوضع سنوات بعد الثورات البركانية. وقد تسببت ثورات صغيرة متعددة في قسر إشعاعي قدره -0.11 إلى -0.08 وات في المتر المربع في السنوات الممتدة من عام 2008 إلى عام 2011، يقارب في قوته ضعف قوة القسر الإشعاعي الذي حدث أثناء السنوات الممتدة من عام 1999 إلى عام 2002. {8.4}

• يقدر القسر الإشعاعي الناجم عن التغيرات في الإشعاع الشمسي بما يبلغ 0.05 [0.00 إلى 0.10] وات في المتر المربع (انظر الشكل SPM.5). وتشير الرصدات الساتلية لتغيرات الإشعاع الشمسي الإجمالية من عام 1978 إلى عام 2011 إلى أن آخر حد أدنى شمسي كان أقل من الاثنين السابقين له. وهذا يسفر عن قسر إشعاعي قدره -0.04 إلى -0.08 وات في المتر المربع بين أحدث حد أدنى في عام 2008 والحد الأدنى الخاص بعام 1986. {8.4}

• لم يساهم القسر الإشعاعي الطبيعي الإجمالي الناجم عن تغيرات الإشعاع الشمسي والأهباء الجوية البركانية الموجودة في الستراتوسفير سوى مساهمة ضئيلة في القسر الإشعاعي الصافي طيلة القرن الماضي، باستثناء فترات قصيرة أعقبت حدوث ثورات بركانية كبيرة. {8.5}



الشكل SPM.5 | تقديرات القسر الإشعاعي في عام 2011 بالنسبة إلى عام 1750 وأوجه عدم اليقين المتعلقة بالعوامل الرئيسية الدافعة إلى تغير المناخ. وتمثل القيم المتوسط العالمي للقسر الإشعاعي (RF₁₄)، مقسماً وفقاً للمركبات المنبعثة أو العمليات التي تنجم عن مزيج من العوامل الدافعة. وأفضل تقديرات القسر الإشعاعي الصافي مبينة في شكل معينات سوداء مع ما يقابلها من فواصل عدم اليقين؛ وترد القيم العددية على يمين الشكل، إلى جانب مستوى الثقة في القسر الصافي (VH – عالية جداً، H – عالية، M – متوسطة، L – منخفضة، VL – منخفضة جداً). وقسر الألبينو الناجم عن الكربون الأسود على الجليد والثلوج يشمله عمود الأهباء الجوية المنبعثة من الكربون الأسود. أما عمليات القسر الصغيرة الناجمة عن التكتيفات (0.05 وات في المتر المربع، بما في ذلك السمحاق الناجم عن التكتيفات والمركبات الفلورية الهيدروجينية وسداسي فلوريد الكبريت (المجموع 0.03 وات في المتر المربع) فهي غير مبينة. ويمكن التوصل إلى عمليات القسر الإشعاعي القائمة على التركيزات بجمع حاصل الأعمدة ذات الألوان المتماثلة. ولا يشمل ذلك التأثير القسري البركاني لأن طابعه الدوري يجعل من الصعب مقارنته بآليات التأثير القسري الأخرى. ويبين إجمالي القسر الإشعاعي البشري في ثلاث سنوات بالنسبة إلى عام 1750. وللاطلاع على مزيد من التفاصيل الفنية، بما في ذلك نطاقات عدم اليقين المرتبطة بالمكونات والعمليات الفردية، انظر المواد التكميلية للملحق الفني. {8.5؛ الأشكال 8.14-8.18؛ الشكلين TS.6 و TS.7}

دال - فهم النظام المناخي وتغيراته الأخيرة

ينبع فهم التغيرات الأخيرة في النظام المناخي من الجمع ما بين الرصدات، ودراسات عمليات التأثير التفاعلي، وعمليات المحاكاة باستخدام النماذج. ويقتضي تقييم قدرة النماذج المناخية على محاكاة التغيرات الأخيرة النظر في حالة جميع مكونات النظام المناخي المنمذجة عند بداية عملية المحاكاة والقسّر الطبيعي والبشري المستخدم لتوجيه النماذج. ومقارنة بتقرير التقييم الرابع (AR4)، تتيح الآن الرصدات الأكثر تفصيلاً والأطول والنماذج المناخية المحسّنة عزو التغيرات المكتشفة في مزيد من مكونات النظام المناخي إلى مساهمة بشرية.

التأثير البشري على النظام المناخي واضح. وهذا يتجلى في تزايد تركيزات غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي، والقسر الإشعاعي، والاحترار الملحوظ، وفهم النظام المناخي. (2014)

دال-1 تقييم النماذج المناخية

تحسّنت النماذج المناخية منذ تقرير التقييم الرابع (AR4). فالنماذج تستنسخ أنماط واتجاهات درجات الحرارة السطحية الملحوظة على نطاق قاري على مدى عقود كثيرة، بما في ذلك الاحترار الأسرع الذي حدث منذ منتصف القرن العشرين والتبريد الذي يعقب مباشرة الثورات البركانية الكبيرة (ثقة عالية جداً). (9.4، 9.6، 9.8)

- تبين عمليات المحاكاة باستخدام النماذج المناخية الطويلة الأجل اتجاهها في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية من عام 1951 إلى عام 2012 يتفق مع الاتجاه الملحوظ (ثقة عالية جداً). ولكن توجد اختلافات بين الاتجاهات المحاكاة والملاحظة خلال فترات قصيرة تتراوح من 10 سنوات إلى 15 سنة (مثلاً، من عام 1998 إلى عام 2012). (9.4، الإطار 9.2)
- الانخفاض الملحوظ في اتجاه الاحترار السطحي أثناء الفترة الممتدة من عام 1998 إلى عام 2012 مقارنةً بالفترة الممتدة من عام 1951 إلى عام 2012 يرجع بدرجة متساوية تقريباً إلى الانخفاض في اتجاه القسر الإشعاعي وإلى مساهمة تبريدية من التقليدية الداخلية الطبيعية، التي تشمل إعادة توزيع محتملة للحرارة داخل المحيطات (ثقة متوسطة). والانخفاض في اتجاه القسر الإشعاعي يرجع في المقام الأول إلى الثورات البركانية وتوقيت الطور الهبوطي للدورة الشمسية البالغة 11 عاماً. ومع ذلك، توجد ثقة منخفضة في التحديد الكمي لدور تغيرات القسر الإشعاعي في التسبب في انخفاض اتجاه الاحترار. وتوجد ثقة متوسطة في أن التقليدية العقدية الداخلية الطبيعية تتسبب بدرجة كبيرة في الاختلاف بين الرصدات وعمليات المحاكاة؛ وليس من المتوقع أن تستنسخ عمليات المحاكاة توقيت التقليدية الداخلية الطبيعية. وقد تكون هناك أيضاً مساهمة من أوجه قصور القسر، ومغالاة، في بعض النماذج، في تقدير الاستجابة لتزايد القسر الناجم عن غازات الاحتباس الحراري وغيره من عوامل القسر البشرية (التي تسيطر عليها تأثيرات الأهباء الجوية). (9.4، الإطار 9.2، 10.3، الإطار 10.2، 11.3)
- الثقة في قدرة النماذج على محاكاة درجة الحرارة السطحية تقل على النطاقات الإقليمية عنها على النطاقات الأكبر. ومع ذلك، توجد ثقة عالية في أن درجة الحرارة السطحية على النطاق الإقليمي أصبحت محاكاتها أفضل مما كانت وقت إعداد تقرير التقييم الرابع (AR4). (9.4، 9.6)
- تحقق قدر كبير من التقدم في تقييم ظواهر الطقس والمناخ المتطرفة منذ تقرير التقييم الرابع (AR4). والمتوسط العالمي للاتجاهات المحاكاة في تواتر الأيام والليالي الحارة والباردة المتطرفة خلال النصف الثاني من القرن العشرين يتسق عموماً مع الرصدات. (9.5)
- تحقق قدر من التحسّن في محاكاة أنماط الهطول القارية النطاق منذ تقرير التقييم الرابع (AR4). ولكن الهطول لا يُحاكى بنفس الجودة على نطاقات إقليمية، وتعود التقييم أوجه عدم اليقين في الرصدات. (9.4، 9.6)
- تستنسخ النماذج بعض الظواهر المناخية الهامة استنساخاً أفضل الآن. وتوجد ثقة عالية في أن إحصاءات الرياح الموسمية وظاهرة النينو - التذبذب الجنوبي (ENSO)، استناداً إلى عمليات محاكاة باستخدام نماذج متعددة، قد تحسّنت منذ تقرير التقييم الرابع (AR4). (9.5)
- تشمل النماذج المناخية الآن مزيداً من عمليات السحب والأهباء الجوية، وتفاعلاتها، مقارنةً بوقت إعداد تقرير التقييم الرابع (AR4)، ولكن تبقى ثقة منخفضة في تمثيل هذه العمليات وتحديد الكمي في النماذج. (7.3، 7.6، 9.4، 9.7)

- توجد أدلة قوية على أن الاتجاه الهبوطي في مدى الجليد البحري الصيفي في المنطقة القطبية الشمالية منذ عام 1979 تستنسخه الآن نماذج أكثر عدداً مقارنة بوقت إعداد تقرير التقييم الرابع (AR4)، بحيث يبين نحو ربع النماذج اتجاهها يضاها في حجمه الاتجاه الموجود في الرصدات، أو اتجاهها أكبر منه. وتحاكي معظم النماذج اتجاهها هبوطياً صغيراً في مدى الجليد البحري في المنطقة القطبية الجنوبية، وإن يكن بفارق كبير بين النماذج، على الاختلاف من الاتجاه الصعودي الضئيل الموجود في الرصدات. {9.4}
- تستنسخ نماذج كثيرة التغيرات الملحوظة في المحتوى الحراري للطبقات العليا من المحيطات (0-700 متر) من عام 1961 إلى عام 2005 (ثقة عالية)، ويندرج متوسط السلاسل الزمنية المتعددة النماذج ضمن نطاق تقديرات الرصد المتاحة فيما يتعلق بمعظم الفترة. {9.4}
- تحاكي النماذج المناخية التي تشمل دورة الكربون (نماذج النظام الأرضي) النمط العالمي لتدفقات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي فوق المحيطات، مع إزالة الغازات المتشربة في المناطق المدارية وحدوث امتصاص في خطوط العرض الوسطى والمرتفعة. وفي غالبية هذه النماذج نجد أن أحجام بالوعات الكربون المحاكاة في اليابسة والمحيطات في العالم خلال الجزء الأخير من القرن العشرين هي أحجام في حدود نطاق تقديرات الرصد. {9.4}

دال 2- التحديد الكمي لاستجابات النظام المناخي

دراسات الرصد والنماذج لتغيّر درجات الحرارة، والتفاعلات المناخية، والتغيرات في ميزانية طاقة الأرض توفر معاً الثقة في حجم الاحترار العالمي الذي يحدث استجابة للتأثيرات القسرية في الماضي والمستقبل.
{الإطار 12.2، الإطار 13.1}

- من المرجح إلى حد شديد أن التأثير التفاعلي الصافي الناجم عن تضافر التغيرات في بخار الماء، والاختلافات بين الاحترار في الغلاف الجوي والسطح، إيجابي ولذا يؤدي إلى تضخيم التغيرات في المناخ. ومن المرجح أن التأثير التفاعلي الإشعاعي الصافي الناجم عن جميع أنواع السحب مجتمعة إيجابي. ويرجع عدم اليقين في بصفة وحجم التأثير التفاعلي للسحب في المقام الأول إلى استمرار عدم اليقين في أثر الاحترار على السحب المنخفضة. {7.2}
- تحدّد الحساسية المناخية التوازنية تحديداً كميّاً استجابة النظام المناخي للقسر الإشعاعي الثابت على نطاقات زمنية متعددة القرون، وتعرّف بأنها التغير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية عند التوازن والذي ينجم عن تضاعف تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ومن المرجح أن الحساسية المناخية التوازنية هي في حدود نطاق يتراوح من 1.5 درجة مئوية إلى 4.5 درجة مئوية (ثقة عالية)، ومن غير المرجح إلى حد شديد أنها أقل من درجة واحدة مئوية (ثقة عالية)، ومن غير المرجح إلى حد كبير أنها أكبر من 6 درجات مئوية (ثقة متوسطة)¹⁶. ومن ثم فإن حد درجة الحرارة الأقل للنطاق المرجح المقدّر أقل مما هو مذكور في تقرير التقييم الرابع وهو درجتان مئويتان، ولكن الحد الأعلى مماثل. ويعبّر هذا التقييم عن تحسّن فهم سجل درجات الحرارة الممتد في الغلاف الجوي والمحيطات، والتقديرات الجديدة للقسر الإشعاعي. {TS TFE.6، الشكل 1؛ الإطار 12.2}
- معدل وحجم تغير المناخ العالمي يحدده القسر الإشعاعي، والتفاعلات المناخية، وتخزين النظام المناخي للطاقة. وتتسق تقديرات هذه الكميات في العقود الأخيرة مع النطاق المرجح المقدّر للحساسية المناخية التوازنية لأوجه عدم اليقين المقدرة الداخلية، مما يوفر أدلة قوية من أجل فهمنا لتغير المناخ الناجم عن عوامل بشرية. {الإطار 12.2، الإطار 13.1}
- استجابة المناخ العابر يحدد كميّاً استجابة النظام المناخي لتزايد القسر الإشعاعي على نطاق زمني يتراوح من عقد إلى قرن. وهي تعرّف بأنها التغير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية في الوقت الذي يكون فيه تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي قد تضاعف في سيناريو تزايد التركيز بنسبة قدرها 1 في المائة سنوياً. ومن المرجح أن تكون الاستجابة المناخية العابرة في حدود نطاق يتراوح من 1.0 درجة مئوية إلى 2.5 درجة مئوية (ثقة عالية) ومن غير المرجح إلى حد شديد أنها أكبر من 3 درجات مئوية. {الإطار 12.2}
- تتمثل كمية ذات صلة في الاستجابة المناخية العابرة لانبعاثات الكربون التراكمية (TCRE). وهي تحدد كميّاً استجابة النظام المناخي العابرة لانبعاثات الكربون التراكمية (انظر القسم هاء - 8). وتعرّف انبعاثات الكربون التراكمية (TCRE) بأنها المتوسط العالمي للتغير في درجة الحرارة السطحية لكل 1000 طن إجمالي من الكربون ينبعث إلى

16 لا يمكن حالياً إعطاء أفضل تقدير للحساسية المناخية التوازنية بسبب عدم وجود اتفاق على القيم بين الأدلة والدراسات التي جرى تقييمها.

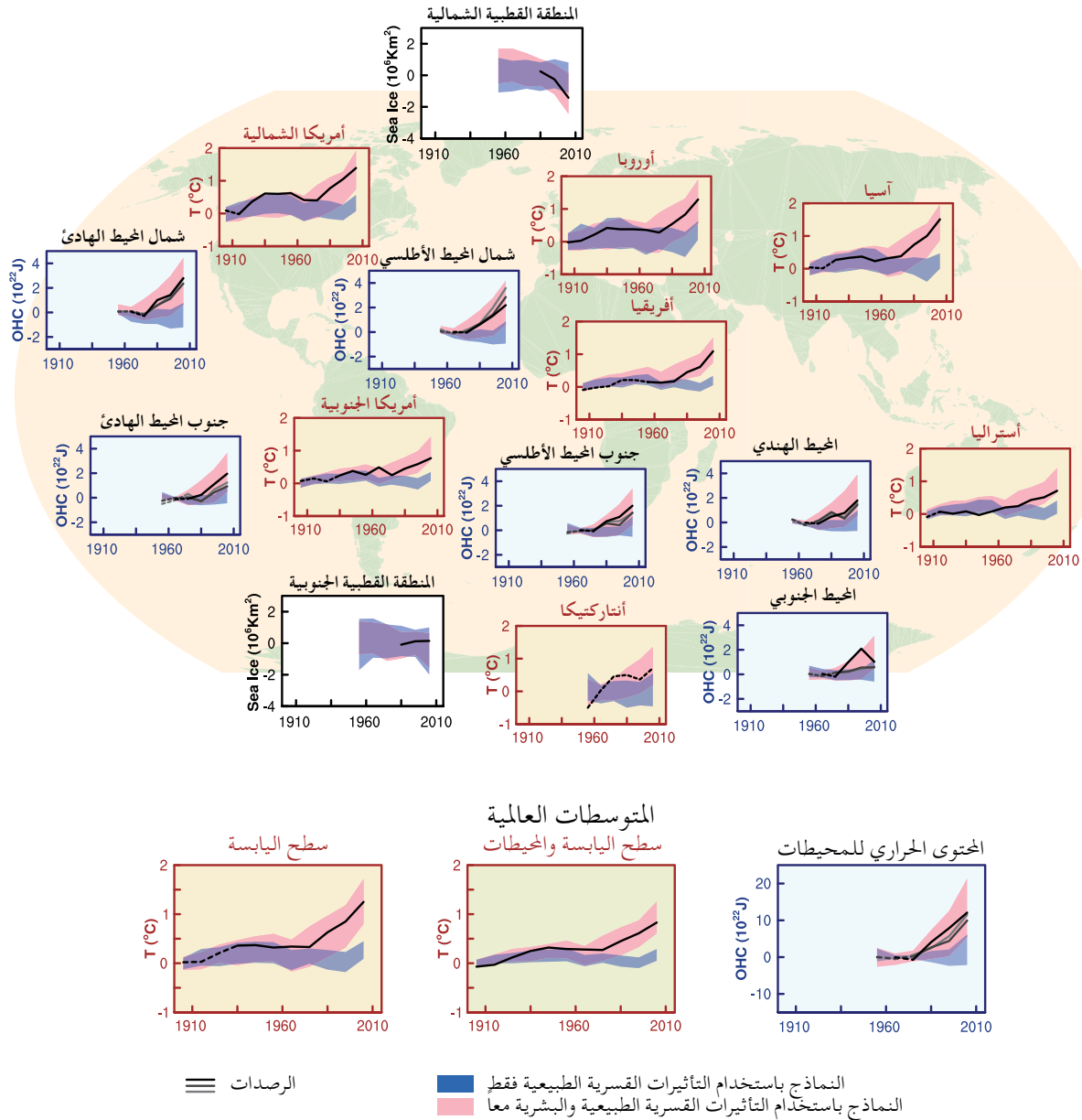
الغلاف الجوي . ومن المرجح أن انبعاثات الكربون التراكمية (TCRE) هي في نطاق يتراوح من 0.8 درجة مئوية إلى 2.5 درجة مئوية لكل 1000 غيغا طن من الكربون وتنطبق على الانبعاثات التراكمية في حدود ما يبلغ حوالي 2000 غيغا طن من الكربون إلى أن تبلغ درجات الحرارة ذروتها (انظر الشكل SPM.10). {12، 5، الإطار 2.2}

- يمكن استخدام مقاييس شتى لمقارنة مساهمات انبعاثات المواد المختلفة في تغير المناخ. وسوف يتوقف أنسب مقياس وأفق زمني على جوانب تغير المناخ التي تُعتبر الأهم لتطبيق بعينه من التطبيقات. وليس باستطاعة أي مقياس منفرد أن يقارن بدقة جميع عواقب الانبعاثات المختلفة، وتنطوي جميع المقاييس على أوجه قصور وأوجه عدم يقين. وتستند إمكانية الاحترار العالمي إلى القسر الإشعاعي التراكمي على مدى أفق زمني معين، بينما تستند إمكانية التغير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية إلى التغير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية في نقطة زمنية مختارة. وترد القيم المحدثة في التقرير الأساسي. {8.7}

دال-3 كشف تغيّر المناخ وتعليله

اكتُشف التأثير البشري في احترار الغلاف الجوي والمحيطات، وفي التغيرات في الدورة المائية العالمية، وفي الانخفاضات في الجليد والثلوج، وفي ارتفاع متوسط مستوى سطح البحر، وفي التغيرات في بعض الظواهر المناخية المتطرفة (انظر الشكل SPM.6 والجدول SPM.1). وقد زادت قوة هذا الدليل على التأثير البشري منذ تقرير التقييم الرابع (AR4). ومن المرجح إلى حد شديد أن يكون التأثير البشري هو السبب الرئيسي في الاحترار الملحوظ منذ منتصف القرن العشرين. {10.3-10.6، 9، 10}

- من المرجح إلى حد شديد أن أكثر من نصف الزيادة الملحوظة في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية في الفترة من عام 1951 إلى عام 2010 كان بسبب الزيادة في تركيزات غازات الاحتباس الحراري الناجمة عن عوامل بشرية وبسبب التأثيرات القسرية البشرية الأخرى معاً. وأفضل تقدير للمساهمة البشرية في الاحترار مماثل للاحتراق الملحوظ أثناء هذه الفترة. {10.3}
- من المرجح أن غازات الاحتباس الحراري التي ساهمت في احترار السطح بمتوسط عالمي كانت في نطاق يتراوح بين 0.5 درجة مئوية و1.3 درجة مئوية أثناء الفترة من عام 1951 إلى عام 2010، ومن المرجح أن المساهمات من التأثيرات القسرية البشرية الأخرى، بما في ذلك تأثير الأهباء الجوية التبريدي، كان في نطاق يتراوح من -0.6 درجة مئوية إلى 0.1 درجة مئوية، ومن المرجح أن المساهمة من التأثيرات القسرية الطبيعية كانت في نطاق يتراوح من -0.1 درجة مئوية إلى 0.1 درجة مئوية، ومن المرجح أن المساهمات من التقلبية الداخلية الطبيعية كانت في نطاق يتراوح من -0.1 درجة مئوية إلى 0.1 درجة مئوية. وهذه المساهمات المقدرتها تتسق مع الاحترار الملحوظ الذي يتراوح من 0.6 درجة مئوية إلى 0.7 درجة مئوية تقريباً خلال هذه الفترة. {10.3}
- من المرجح أن التأثيرات القسرية البشرية، فوق كل إقليم قاري باستثناء المنطقة القطبية الجنوبية، ساهمت مساهمة كبيرة في الزيادات في درجة الحرارة السطحية منذ منتصف القرن العشرين (انظر الشكل SPM.6). وفيما يتعلق بالمنطقة القطبية الجنوبية، تسفر أوجه عدم اليقين في الرصد عن ثقة منخفضة في أن التأثيرات القسرية البشرية قد ساهمت في متوسط الاحترار الملحوظ فوق المحطات المتاحة. ومن المرجح حدوث مساهمة بشرية في الاحترار الكبير جداً الذي حدث في المنطقة القطبية الشمالية منذ منتصف القرن العشرين. {2.4، 10.3}
- من المرجح إلى حد كبير أن التأثير البشري، لا سيما غازات الاحتباس الحراري واستنفاد الأوزون في الستراتوسفير، قد أدى إلى نمط ملحوظ ويمكن كشفه لاحترار التروبوسفير وإلى تبريد مقابل في الطبقة المنخفضة من الستراتوسفير منذ عام 1961. {2.4، 9.4، 10.3}
- من المرجح إلى حد كبير أن التأثيرات القسرية البشرية ساهمت مساهمة كبيرة في الزيادات في المحتوى الحراري للطبقات العليا من المحيطات في العالم (0-700 متر) التي لوحظت منذ سبعينيات القرن العشرين (انظر الشكل SPM.6). ويوجد دليل على التأثير البشري في بعض أحواض محيطات فردية. {3.2، 10.4}
- من المرجح أن التأثيرات البشرية قد أثرت على الدورة المائية العالمية منذ عام 1960. فقد ساهمت التأثيرات البشرية في الزيادات الملحوظة في محتوى الرطوبة في الغلاف الجوي (ثقة متوسطة)، وفي التغيرات على نطاق عالمي التي حدثت في أنماط الهطول فوق اليابسة (ثقة متوسطة)، وفي تكثيف الهطول الغزير فوق أقاليم اليابسة التي توجد بيانات كافية فيها (ثقة متوسطة)، وفي التغيرات في ملوحة سطح المحيطات وما تحت سطحه (من المرجح إلى حد كبير). {2.5، 2.6، 3.3، 7.6، 10.3، 10.4}



الشكل 6 SPM.6 | مقارنة تغير المناخ الملحوظ والمحاكى استناداً إلى ثلاثة مؤشرات كبيرة النطاق في الغلاف الجوي، والغلاف الجليدي، والمحيطات: التغير في درجات حرارة الهواء القاري على سطح اليابسة (اللوحة الصفراء)، ومدى الجليد البحري في أيلول/سبتمبر في المنطقة القطبية الشمالية والمنطقة القطبية الجنوبية (اللوحة البيضاء)، والمحتوى الحراري في الطبقات العليا من المحيطات في أحواض المحيطات الرئيسية (اللوحة الزرقاء). ويوضح الشكل أيضاً تغيرات المتوسط العالمي، وأوجه الشذوذ بالنسبة إلى الفترة 1880-1919 في درجات الحرارة السطحية، والفترة 1960-1980 في المحتوى الحراري للمحيطات، والفترة 1979-1999 في الجليد البحري. وجميع السلاسل الزمنية هي متوسطات عقدية، مواقعها محددة عند مركز العقد. وفيما يتعلق بلوحات درجة الحرارة، تمثل الرصدات باستخدام خطوط مشرطة إذا كان المتوسط المكاني للمساحات التي تجري دراستها أقل من 50 في المائة. وفيما يتعلق بلوحات المحتوى الحراري للمحيطات والجليد البحري يوجد الخط الثابت حيث تكون تغطية البيانات جيدة وذات نوعية أعلى، بينما يوجد الخط المشرط حينما تكون تغطية البيانات مقبولة فقط ومن ثم يكون عدم اليقين أكبر. ونتائج النماذج المبينة هي نطاقات المجموعات المتعددة النماذج الخاصة بالمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة، مع إشارة النطاقات المظللة إلى فواصل الثقة التي تتراوح من 5 إلى 95 في المائة. وللاطلاع على مزيد من التفاصيل الفنية، بما في ذلك تعاريف الأقاليم، انظر المواد التكميلية للملخص الفني (الشكل 10.21؛ الشكل 12.TS).

- تزايدت قوة الأدلة على التأثير البشري على درجات الحرارة منذ التقرير الخاص (SREX). ومن المرجح إلى حد كبير الآن أن التأثير البشري ساهم في التغييرات الملحوظة على نطاق العالم في تواتر وكثافة تطرفات درجات الحرارة اليومية منذ منتصف القرن العشرين، ومن المرجح أن التأثير البشري أدى إلى زيادة احتمال حدوث موجات حرارة في بعض الأماكن بأكثر من الضعف (انظر الجدول 1.SPM). {10.6}
- من المرجح إلى حد كبير أن التأثيرات البشرية ساهمت في فقدان كتل جليدية بحرية في المنطقة القطبية الشمالية منذ عام 1979. وتوجد ثقة منخفضة في الفهم العلمي للزيادة الضعيفة الملحوظة في حجم الجليد البحري في المنطقة القطبية الجنوبية وذلك نتيجة لعدم اكتمال التفسيرات العلمية لأسباب التغيير وتضارب تلك التفسيرات، وتوجد ثقة منخفضة في تقديرات الانقلابية الداخلية الطبيعية في ذلك الإقليم (انظر الشكل 6.SPM). {10.5}
- من المرجح أن التأثيرات البشرية ساهمت في تراجع الأنهار الجليدية منذ ستينيات القرن العشرين وفي زيادة فقدان الصفحة الجليدية في غرينلاند كتلا سطحية منذ عام 1993. ونتيجة لانخفاض مستوى الفهم العلمي توجد ثقة منخفضة في عزو أسباب فقدان الملحوظ لكتل من الصفحة الجليدية في المنطقة القطبية الجنوبية خلال العقد الماضيين. {10.5، 4.3}
- من المرجح وجود مساهمة بشرية في الانخفاضات الملحوظة في الغطاء الجليدي الربيعي في نصف الكرة الأرضية الشمالي منذ عام 1970. {10.5}
- من المرجح إلى حد كبير وجود مساهمة بشرية كبيرة في ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر منذ سبعينيات القرن العشرين. وهذا يستند إلى الثقة العالية في وجود تأثير بشري على أكبر عاملين مساهمين في ارتفاع مستوى سطح البحر، وهما التوسع الحراري وفقدان الأنهار الجليدية كتلا جليدية. {10.4، 10.5، 13.3}
- توجد ثقة عالية في أن التغييرات في الإشعاع الشمسي الإجمالي لم تساهم في الزيادة التي حدثت في المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية خلال الفترة الممتدة من عام 1986 إلى عام 2008، استناداً إلى القياسات الساتلية المباشرة للإشعاع الشمسي الإجمالي. وتوجد ثقة متوسطة في أن دورة الانقلابية الشمسية التي تدوم 11 عاماً تؤثر على التقلبات المناخية العقدية في بعض الأقاليم. ولم يحدد وجود ارتباط قوي بين التغييرات في الأشعة الكونية والتغييم. {10.3، 7.4، الإطار 10.2}

هاء - تغيير المناخ العالمي والإقليمي في المستقبل

توضع إسقاطات التغييرات في النظام المناخي باستخدام مجموعة هرمية من النماذج المناخية تتراوح من النماذج المناخية البسيطة، إلى نماذج التعقد الوسيط، إلى النماذج المناخية الشاملة، ونماذج النظام الأرضي. وهذه النماذج تحاكي التغييرات استناداً إلى مجموعة من سيناريوهات التأثيرات القسرية البشرية. وقد استخدمت مجموعة جديدة من السيناريوهات، هي مسارات التركيز النمذجية (RCPs)، في عمليات المحاكاة باستخدام النماذج المناخية الجديدة التي أجريت في إطار المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) التابع للبرنامج العالمي لبحوث المناخ. وفي جميع مسارات التركيز النمذجية نجد أن تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أعلى في عام 2100 بالنسبة إلى الوقت الحاضر نتيجة لحدوث زيادة إضافية في الانبعاثات التراكمية لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أثناء القرن الحادي والعشرين (انظر الإطار 1.SPM). والإسقاطات الواردة في هذا الملخص لصانعي السياسات تتعلق بنهاية القرن الحادي والعشرين (2081-2100) وهي مبنية بالنسبة إلى الفترة 1986-2005، ما لم يُذكر خلاف ذلك. ولوضع هذه الإسقاطات في سياق تاريخي، من الضروري أن تؤخذ في الاعتبار التغييرات الملحوظة بين الفترات المختلفة. واستناداً إلى أطول مجموعة بيانات متاحة عن درجات الحرارة السطحية العالمية، يبلغ التغيير الملحوظ بين متوسط الفترة 1850-1900 ومتوسط الفترة المرجعية لتقرير التقييم الخامس (AR5) [0.55 إلى 0.67] درجة مئوية. غير أن الاحترار حدث بما يتجاوز متوسط الفترة المرجعية لتقرير التقييم الخامس (AR5). ومن ثم فإن هذا ليس تقديراً للاحترار التاريخي حتى وقتنا الحاضر (انظر الفصل 2).

استمرار انبعاثات غازات الاحتباس الحراري سيتسبب في زيادة الاحترار وفي حدوث تغييرات في جميع مكونات النظام المناخي. وسيطلب الحد من تغيير المناخ حدوث انخفاضات كبيرة ومتواصلة في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. {6، 11-14}

الحادي والعشرين ولكنها ذات حجم أصغر. وستظل الانقلابية الداخلية الطبيعية تمثل تأثيراً رئيسياً على المناخ، لا سيما في الأجل القريب وعلى نطاق إقليمي. وبحلول منتصف القرن الحادي والعشرين تتأثر أحجام التغييرات المسقطه تأثيراً كبيراً باختيار سيناريو الانبعاثات (الإطار 1.SPM). {11.3، الإطار 11.1، المرفق الأول}

- تغيير المناخ المسقط استناداً إلى مسارات التركيز النمذجية مماثل لما هو وارد في تقرير التقييم الرابع (AR4) من حيث الأنماط والحجم على حد سواء، بعد أخذ اختلافات السيناريوهات في الاعتبار. والامتداد العام للإسقاطات المتعلقة بمسارات التركيز النمذجية المرتفعة أقل مما هو عليه في حالة السيناريوهات المقارنة المستخدمة في تقرير التقييم الرابع (AR4) لأن مسارات التركيز النمذجية المستخدمة في تقرير التقييم الخامس (AR5)، على العكس من سيناريوهات

الانبعاثات الواردة في التقرير الخاص والمستخدم في تقرير التقييم الرابع، محددة كمسارات للتركيز ومن ثم فإن عمليات المحاكاة الخاصة بالمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) التي توجهها التركيزات لا تأخذ في الاعتبار أوجه عدم اليقين الخاصة بدورة الكربون والتي تؤثر في تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. أما إسقاطات الارتفاع في مستوى سطح البحر فهي أكبر مما كانت في تقرير التقييم الرابع، وهذا يرجع في المقام الأول إلى تحسّن نماذج مساهمات الجليد البري. (3، 11، 12، 3، 12، 4، 13، 4، 13، 5)

هاء-1: الغلاف الجوي: درجة الحرارة

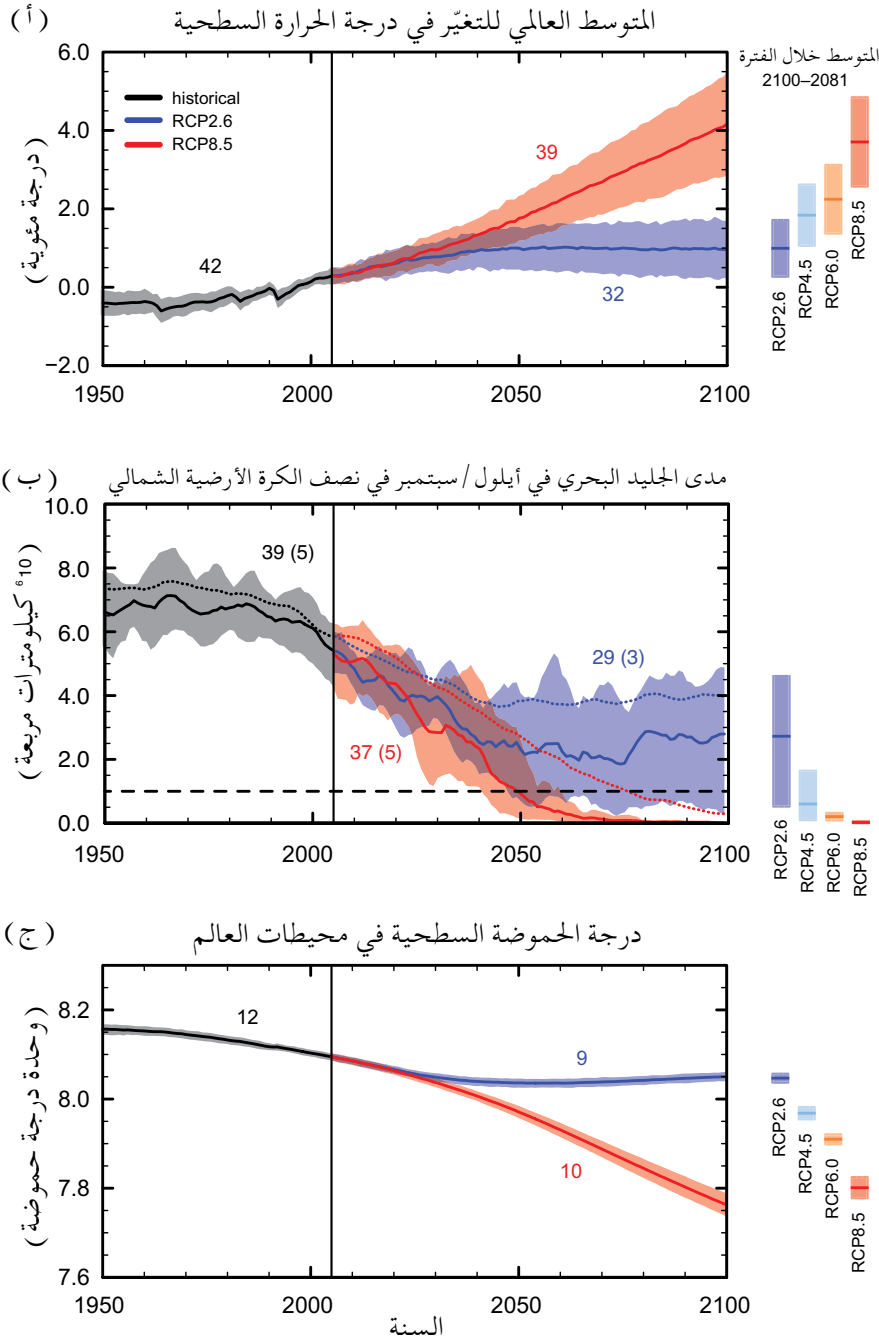
من المرجح أن يتجاوز التغيّر في درجة حرارة الأرض في نهاية القرن الحادي والعشرين 1.5 درجة مئوية بالنسبة إلى الفترة الممتدة من عام 1850 إلى عام 1900 في جميع سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية باستثناء مسار التركيز النموذجي 2.6. ومن المرجح أن يتجاوز هذا التغير درجتين مئويتين في سيناريو مسار التركيز النموذجي 6.0 وسيناريو مسار التركيز النموذجي 8.5، ومن الأرجح أن يتجاوز درجتين مئويتين في سيناريو مسار التركيز النموذجي 4.5. وسيستمر الاحترار بعد عام 2100 في جميع سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية باستثناء مسار التركيز النموذجي 2.6. وسيظل الاحترار يبدي تقلبية فيما بين السنوات إلى تقلبية فيما بين العقود ولن يكون موحداً على المستوى الإقليمي (انظر الشكلين SPM.7 و SPM.8). (3، 11، 12، 3، 12، 4، 14، 8)

- من المرجح أن يكون المتوسط العالمي لتغير درجة الحرارة السطحية في الفترة 2016-2035 بالنسبة إلى الفترة 1986-2005 في نطاق يتراوح من 0.3 درجة مئوية إلى 0.7 درجة مئوية (ثقة متوسطة). ويستند هذا التقييم إلى أدلة متعددة ويفترض عدم حدوث ثورات بركانية رئيسية أو تغيرات قرنية في الإشعاع الشمسي الإجمالي. وبالنسبة إلى التقلبية الداخلية الطبيعية، من المتوقع أن تكون الزيادات التي تحدث في الأجل القريب في المتوسط الموسمي والمتوسط السنوي لدرجة الحرارة أكبر في المناطق المدارية وفوق المدارية من الزيادات التي تحدث في خطوط العرض الوسطى (ثقة عالية). (3، 11)
- من المسقط أن يكون من المرجح أن تكون الزيادة في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية في الفترة 2081-2100 بالنسبة إلى الفترة 1986-2005 في حدود النطاقات المستخلصة من عمليات المحاكاة باستخدام النماذج الخاصة بالمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) التي توجهها التركيزات، أي ما يتراوح من 0.3 درجة مئوية إلى 1.7 درجة مئوية (مسار التركيز النموذجي 2.6)، ومن 1.1 درجة مئوية إلى 2.6 درجة مئوية (مسار التركيز النموذجي 4.5)، ومن 1.4 درجة مئوية إلى 3.1 درجة مئوية (مسار التركيز النموذجي 6.0)، ومن 2.6 درجة مئوية إلى 4.8 درجة مئوية (مسار التركيز النموذجي 8.5). وسيحدث في المنطقة القطبية الشمالية احترار أسرع من المتوسط العالمي، وسيكون متوسط الاحترار فوق اليابسة أكبر من متوسط الاحترار فوق المحيطات (ثقة عالية جداً) (انظر الشكلين SPM.7 و SPM.8، والجدول SPM.2). (4، 12، 4، 14، 8)
- بالنسبة إلى متوسط الفترة الممتدة من عام 1850 إلى عام 1900، من المسقط أن يكون من المرجح أن يتجاوز التغير في درجات الحرارة السطحية العالمية بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين 1.5 درجة مئوية في حالة مسار التركيز النموذجي 4.5، ومسار التركيز النموذجي 6.0، ومسار التركيز النموذجي 8.5 (ثقة عالية). ومن المرجح أن يتجاوز الاحترار درجتين مئويتين في حالة مسار التركيز النموذجي 6.0 وحالة مسار التركيز النموذجي 8.5 (ثقة عالية)، ومن الأرجح أن يتجاوز درجتين مئويتين في حالة مسار التركيز النموذجي 4.5 (ثقة عالية)، ولكن من غير المرجح أن يتجاوز درجتين مئويتين في حالة مسار التركيز النموذجي 2.6 (ثقة متوسطة). ومن غير المرجح أن يتجاوز الاحترار 4 درجات مئوية في حالة مسار التركيز النموذجي 2.6، وفي حالة مسار التركيز النموذجي 4.5، وفي حالة مسار التركيز النموذجي 6.0 (ثقة عالية) وعلى الأرجح تقريباً أن يتجاوز 4 درجات مئوية في حالة مسار التركيز النموذجي 8.5 (ثقة متوسطة). (4، 12، 4)
- من المؤكد تقريباً أن تزايد تطرف سخونة درجة الحرارة وتضاؤل تطرف برودة درجة الحرارة في معظم مناطق اليابسة على نطاقات زمنية يومية وفصلية مع تزايد المتوسط العالمي لدرجة الحرارة. ومن المرجح إلى حد كبير أن موجات حرارة ستحدث بوتيرة أكبر وتطول مدة أطول. وسيستمر حدوث تطرفات عرضية في برودة الشتاء (انظر الجدول SPM.1). (4، 12، 4)

هاء-2: الغلاف الجوي: الدورة المائية

لن تكون التغيرات التي تحدث في الدورة المائية العالمية استجابة للاحترار خلال القرن الحادي والعشرين منتظمة. فسوف يزيد التناقض في الهطول بين الأقاليم الرطبة والأقاليم الجافة وبين الفصول الرطبة والفصول الجافة، وإن كان من المحتمل أن تكون هناك استثناءات إقليمية من ذلك (انظر الشكل SPM.8). (4، 12، 4، 13، 3)

- تبدي التغيرات المسقط في الدورة المائية خلال العقود القليلة المقبلة أنماطاً كبيرة النطاق مماثلة للأنماط الخاصة بالفترة القريبة من نهاية القرن، ولكن بحجم أصغر. والتغيرات التي ستحدث في الأجل القريب، وعلى النطاق الإقليمي، ستأثر تأثيراً شديداً بالتقلبية الداخلية الطبيعية وقد تتأثر بالانبعاثات الأهباء الجوية البشرية. (3، 11، 12، 3)



الشكل 7.SPM.7 السلاسل الزمنية المحاكاة باستخدام نماذج متعددة خاصة بالمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) من عام 1950 إلى عام 2100 بخصوص (أ) التغير في المتوسط السنوي العالمي لدرجة الحرارة السطحية بالنسبة إلى الفترة 1986-2005، (ب) حجم الجليد البحري في أيلول/سبتمبر في نصف الكرة الأرضية الشمالي (متوسط المدة 5 سنوات)، (ج) المتوسط العالمي لدرجة الحموضة السطحية في المحيطات. وتبين سلاسل زمنية للإسقاطات ومقياس لدرجة عدم اليقين (التظليل) في حالة سيناريو مسار التركيز النموذجي 2.6 (الأزرق) ومسار التركيز النموذجي 8.5 (الأحمر). أما الأسود (التظليل الرمادي) فهو التطور التاريخي المنمذج باستخدام التأثيرات القسرية التاريخية المعاد بناؤها. ويبين المتوسط وكذلك متوسط ما يرتبط به من أوجه عدم يقين خلال الفترة 2100-2081 في حالة جميع سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية في أعمدة رأسية ملونة. وتبين أعداد النماذج الخاصة بالمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) المستخدمة لحساب متوسط النماذج المتعددة. وفيما يتعلق بمدى الجليد البحري (ب) يبين المتوسط المسقط وعدم اليقين (نطاق الحد الأدنى - الحد الأقصى) للمجموعة الفرعية من النماذج التي تستنسخ على النحو الأوثق متوسط الحالة المناخية واتجاه الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية في الفترة الممتدة من عام 1979 إلى عام 2012 (عدد النماذج مبيّن بين أقواس). وتوخياً للاكتمال، يبين أيضاً متوسط النماذج المتعددة الخاصة بالمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) بخطوط منقوطة. أما الخط المشطّ فهو يمثل الأحوال الحالية من الجليد تقريباً (أي عندما يكون مدى الجليد البحري أقل من 10 كيلومترات مربعة لمدة خمس سنوات متتالية على الأقل). وللاطلاع على مزيد من التفاصيل الفنية انظر المواد التكميلية للملخص الفني {الشكل 6.28، 12.5، 12.28، 12.31، 12.31؛ والشكل 15.15، 17.17، 20.20}.

- من المرجح أن تشهد المناطق البعيدة عن خط الاستواء ويشهد المحيط الهادئ الاستوائي زيادة في المتوسط السنوي للهطول بحلول نهاية هذا القرن في إطار سيناريو مسار التركيز النموذجي 8.5. وفي كثير من المناطق الواقعة على خطوط العرض الوسطى والمناطق الجافة فوق المدارية من المرجح أن ينخفض متوسط الهطول، بينما من المرجح أن يزيد متوسط الهطول في كثير من المناطق الرطبة الواقعة على خطوط العرض الوسطى بحلول نهاية هذا القرن في إطار سيناريو مسار التركيز النموذجي 8.5 (انظر الشكل 8 SPM). {7.6، 12.4، 14.3}
- من المرجح إلى حد كبير أن تزداد كثافة وتواتر ظواهر الهطول المتطرفة فوق معظم كتل اليابسة الواقعة على خطوط العرض الوسطى وفوق المناطق المدارية الرطبة بحلول نهاية هذا القرن، مع تزايد المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (انظر الجدول 1 SPM). {7.6، 12.4}
- عالمياً، من المرجح أن تزيد المساحة التي تشملها نظم الرياح الموسمية خلال القرن الحادي والعشرين. وبينما من المرجح أن تضعف الرياح الموسمية، فمن المرجح أيضاً أن تزيد كثافة هطول الأمطار الموسمية نتيجة للزيادة في رطوبة الغلاف الجوي. ومن المرجح أن تحل تواريخ بداية الرياح الموسمية في وقت أبكر أو ألا تتغير كثيراً. ومن المرجح أن تتأخر تواريخ إنبات الرياح الموسمية، مما يسفر عن ازدياد طول موسم الرياح الموسمية في كثير من الأقاليم. {14.2}
- توجد ثقة عالية في أن ظاهرة النينو – التذبذب الجنوبي (ENSO) ستظل الشكل السائد للتقلبية في المنطقة المدارية من المحيط الهادئ فيما بين السنوات، مع حدوث تأثيرات عالمية لذلك في القرن الحادي والعشرين. ونتيجة للزيادة في توافر الرطوبة، فمن المرجح أن تزداد كثافة تقلبية الهطول ذات الصلة بظاهرة النينو – التذبذب الجنوبي (ENSO) على نطاقات إقليمية. والتباينات الطبيعية في سعة تلك الظاهرة (ENSO) وتمطها المكاني كبيرة ومن ثم تظل الثقة في حدوث أي تغير مسقط محدد في الظاهرة وما يتصل بها من ظواهر إقليمية في القرن الحادي والعشرين منخفضة. {5.4، 14.4}

الجدول 2 SPM التغير المسقط في المتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحي والمتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر في منتصف وأواخر القرن الحادي والعشرين بالنسبة إلى الفترة المرجعية 1986–2005. {12.4، 12.2، 13.5، 13.5}

2100–2081		2065–2046			
النطاق المرجح ^ع	المتوسط	النطاق المرجح ^ع	المتوسط	السيناريو	
1.7 إلى 0.3	1.0	0.4 إلى 1.6	1.0	RCP2.6	المتوسط العالمي للتغير في درجة الحرارة السطحية (درجة مئوية) ^أ
2.6 إلى 1.1	1.8	0.9 إلى 2.0	1.4	RCP4.5	
3.1 إلى 1.4	2.2	0.8 إلى 1.8	1.3	RCP6.0	
4.8 إلى 2.6	3.7	1.4 إلى 2.6	2.0	RCP8.5	
النطاق المرجح ^د	المتوسط	النطاق المرجح ^د	المتوسط	السيناريو	
0.55 إلى 0.26	0.40	0.17 إلى 0.32	0.24	RCP2.6	المتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر (بالمتر) ^ب
0.63 إلى 0.32	0.47	0.19 إلى 0.33	0.26	RCP4.5	
0.63 إلى 0.33	0.48	0.18 إلى 0.32	0.25	RCP6.0	
0.82 إلى 0.45	0.63	0.22 إلى 0.38	0.30	RCP8.5	

الحواشي:

- (أ) استناداً إلى مجموعة نماذج المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5)؛ وقد حُسبت أوجه الشذوذ المتعلقة بالفترة 1986–2005. وباستخدام مجموعة البيانات HadCRUT4 وتقدير عدم اليقين الخاص بها (فاصل الثقة يتراوح من 5 إلى 95 في المائة)، نجد أن الاحتمال الملحوظ حتى الفترة المرجعية 1986–2005 يبلغ [0.61 إلى 0.67] درجة مئوية من الفترة 1850–1900، ويبلغ [0.11 إلى 0.13] درجة مئوية من الفترة 1980–1999، وهي الفترة المرجعية للإسقاطات المستخدمة في تقرير التقييم الرابع (AR4). ولم تُقِيم هنا النطاقات المرجحة فيما يتعلق بالفترات المرجعية الأسبق لأن الطرائق ليست متاحة عموماً في المؤلفات من أجل الجمع ما بين أوجه عدم اليقين في النماذج والرصدات. وإضافة تغيرات مسقطها وملحوظة لا يفسر التأثيرات المحتملة لتغيرات النماذج مقارنة بالرصدات، ولا يفسر التقلبية الداخلية الطبيعية أثناء الفترة المرجعية للرصدات {2.4، 11.2، 12.2 و 12.3}
- (ب) استناداً إلى 21 نموذجاً من النماذج الخاصة بالمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5)؛ وقد حُسبت أوجه الشذوذ المتعلقة بالفترة 1986–2005. وحيثما لم تُكَيَّن نتائج تلك المرحلة من المشروع متاحة من أجل وضع نموذج معين للدوران العام للمحيطات والغلاف الجوي ولسيناريو معين بهذا الشأن، فإنها قدرت على النحو المشروح في الفصل 13، الجدول 13.5. وتُعامل المساهمات من التغير الدينامي السريع في الصفحات الجليدية والتخزين البشري للمياه في الأرض على أنها ذات توزيعات احتمالية موحدة، وعلى أنها مستقلة إلى حد كبير عن السيناريو. ولكن هذه المعاملة لا تعني ضمناً أن المساهمات المعنية لن تعتمد على السيناريو المتبع، بل تعني فحسب أن الحالة الراهنة للمعركة لا تتيج إجراء تقييم كمي لدرجة الاعتماد. واستناداً إلى الفهم الحالي، فإن انهيار قطاعات بحرية من الصفحة الجليدية في المنطقة القطبية الجنوبية، إذا بدأ، هو وحده الذي يمكن أن يسبب ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر ارتفاعاً كبيراً يفوق النطاق المرجح أثناء القرن الحادي والعشرين. وتوجد ثقة متوسطة في أن هذه المساهمة الإضافية لن تتجاوز ارتفاع مستوى سطح البحر بعدة أعشار من المتر أثناء القرن الحادي والعشرين.
- (ج) حُسبت من إسقاطات كنطاقات لتتراوح من 5 إلى 95 في المائة. وتُعتبر هذه النطاقات بعد ذلك نطاقات مرجحة بعد مراعاة أوجه عدم اليقين الإضافية أو المستويات المختلفة للثقة في النماذج. وفيما يتعلق بإسقاطات المتوسط العالمي للتغير في درجات الحرارة السطحية في الفترة 2046–2065، فإن الثقة متوسطة، لأن الأهمية النسبية للتقلبية الداخلية الطبيعية، وعدم اليقين في التأثير القسري للغازات التي لا تسبب احتباساً حرارياً والاستجابة لها، أكبر مما هما في الفترة 2081–2100. والنطاقات المرجحة المتعلقة بالفترة 2046–2065 لا تراعى فيها التأثير المحتمل للعوامل التي تؤدي إلى النطاق المقدر في الأجل القريب (2016–2035) للتغير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية الأقل من نطاق النماذج الذي يتراوح من 5 إلى 95 في المائة لأن تأثير هذه العوامل على الإسقاطات الأطول أجلاً لم يحدد تحديداً كميًا لعدم كفاية الفهم العلمي. {11.3}
- (د) حُسبت من الإسقاطات بوصفها نطاقات النماذج التي تتراوح من 5 إلى 95 في المائة. وتُعتبر هذه النطاقات بعد ذلك نطاقات مرجحة بعد مراعاة أوجه عدم اليقين الإضافية أو المستويات المختلفة للثقة في النماذج. وفيما يتعلق بإسقاطات المتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر فإن الثقة متوسطة في كلا الأفقين الزمنيين.

هاء-3 الغلاف الجوي: نوعية الهواء

- إن النطاق الخاص بإسقاطات نوعية الهواء (الأوزون والجسيمات 2.5¹⁷ في الهواء القريب من السطح) ترجع بالأحرى في المقام الأول للانبعاثات (بما في ذلك الميثان)، لا لتغير المناخ الفيزيائي (ثقة متوسطة). وتوجد ثقة عالية في أن الاحترار يؤدي، على المستوى العالمي، إلى حدوث نقصان في الأوزون السطحي الخلفي. ومن الممكن أن يعوّض عن هذا النقصان وجود مستويات مرتفعة للميثان (كما هو الحال في مسار التركيز النموذجي 8.5)، مما يرفع نسبة الأوزون السطحي الخلفي بحلول سنة 2100 بحوالي 8 أجزاء في البليون في المتوسط (25 في المائة من المستويات الحالية) بالنسبة إلى السيناريوهات التي تكون فيها التغيرات في الميثان ضئيلة (كما هو الحال في مسار التركيز النموذجي 4.5 ومسار التركيز النموذجي 6.0 (ثقة عالية)). {11.3}
- تشير الأدلة النابعة من الرصدات ومن النمذجة إلى أن درجات الحرارة السطحية الأعلى محلياً في الأقاليم الملوثة ستؤدي، في حالة ثبات جميع العوامل الأخرى، إلى تأثيرات تفاعلية إقليمية في الكيمياء والانبعاثات المحلية التي ستؤدي إلى زيادة مستويات ذروة الأوزون والجسيمات 2.5 (ثقة متوسطة). وفيما يتعلق بالجسيمات 2.5، قد يغير تغير المناخ مصادر الأهباء الجوية الطبيعية وكذلك إزالتها بواسطة الهطول، ولكن لا يحدد مستوى من الثقة للأثر الإجمالي لتغير المناخ على توزيعات الجسيمات 2.5. {11.3}

هاء-4 المحيطات

سيتمواصل احترار المحيطات العالمية خلال القرن الحادي والعشرين. وستتخلل الحرارة من سطح المحيطات إلى أعماقها وستؤثر على دوران المحيطات. {11.3، 12.4}

- من المسقط حدود أقوى احترار في المحيطات في سطح الأقاليم المدارية والأقاليم فوق المدارية في نصف الكرة الأرضية الشمالي. وفي الأعماق الأكبر سيبلغ الاحترار أشد درجات وضوحه في المحيط الجنوبي (ثقة عالية). وتبلغ أفضل تقديرات احترار المحيطات في أعلى مائة متر ما يتراوح من حوالي 0.6 درجة مئوية (مسار التركيز النموذجي 2.6) إلى 2.0 درجة مئوية (مسار التركيز النموذجي 8.5)، وحوالي 0.3 درجة مئوية (مسار التركيز النموذجي 2.6) إلى 0.6 درجة مئوية (مسار التركيز النموذجي 8.5) على عمق نحو 1000 متر بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين. {12.4، 14.3}
- من المرجح إلى حد كبير أن يضعف الدوران الانقلابي الجنوبي في المحيط الأطلسي (AMOC) خلال القرن الحادي والعشرين. وتبلغ أفضل التقديرات والنطاقات¹⁸ الخاصة بالانخفاض 11 في المائة (1 إلى 24 في المائة) في مسار التركيز النموذجي 2.6 و34 في المائة (12 إلى 54 في المائة) في مسار التركيز النموذجي 8.5. ومن المرجح حدوث بعض الانخفاض في ذلك الدوران (AMOC) في حوالي عام 2050، ولكن قد تكون هناك بعض العقود التي يزيد فيها نتيجة لتقلبية داخلية طبيعية كبيرة. {11.3، 12.4}
- من غير المرجح إلى حد كبير أن يشهد الدوران الانقلابي الجنوبي في المحيط الأطلسي (AMOC) تحولاً أو انهياراً مفاجئاً في القرن الحادي والعشرين في حالة السيناريوهات المدروسة. وتوجد ثقة منخفضة في تقييم تطور ذلك الدوران بعد القرن الحادي والعشرين بسبب محدودية عدد التحليلات والنتائج القاطعة. غير أنه لا يمكن استبعاد حدوث انهيار بعد القرن الحادي والعشرين نتيجة لحدوث احترار متواصل كبير. {12.5}

هاء-5 الغلاف الجليدي

من المرجح إلى حد كبير أن يستمر الغطاء الجليدي في المنطقة القطبية الشمالية في التقلص والترقق وأن يتقلص الغطاء الجليدي الربيعي في نصف الكرة الأرضية الشمالي خلال القرن الحادي والعشرين مع ارتفاع المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية. وسيزداد نقصان حجم الأنهار الجليدية العالمية. {12.4، 13.4}

- تشير متوسطات النماذج المتعددة إلى توقع حدوث انخفاضات على مدار السنة في حجم الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين. وتتراوح هذه الانخفاضات من 43 في المائة في حالة مسار التركيز النموذجي 2.6 إلى 94 في المائة في حالة مسار التركيز النموذجي 8.5 في أيلول/سبتمبر ومن 8 في المائة في حالة مسار التركيز النموذجي 2.6 إلى 34 في المائة في حالة مسار التركيز النموذجي 8.5 في شباط/فبراير (ثقة متوسطة) (انظر الشكلين SPM.7 و SPM.8). {12.4}

17 تشير الجسيمات 2.5 إلى جسيمات يقل قطرها عن 2.5 ميكرومتر، وهو مقياس لتركيز الأهباء الهوائية في الغلاف الجوي.

18 تشير النطاقات المذكورة في هذه الفقرة إلى امتداد لنموذج من نماذج المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5).

- استناداً إلى تقييم مجموعة فرعية من النماذج التي تستنسخ على النحو الأوثق متوسط الحالة المناخية واتجاه مدى الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية خلال الفترة من عام 1979 إلى عام 2012، من المرجح أن يخلو المحيط القطبي الشمالي من الجليد تقريباً¹⁹ في أيلول/سبتمبر قبل منتصف القرن في حالة مسار التركيز النموذجي 8.5 (ثقة متوسطة) (انظر الشكلين SPM.7 و SPM.8). ولا يمكن وضع إسقاط بثقة للوقت الذي قد تصبح فيه المنطقة القطبية الشمالية خالية من الجليد تقريباً في أيلول/سبتمبر في القرن الحادي والعشرين في حالة السيناريوهات الأخرى. {12.5، 12.4، 11.3}
- في المنطقة القطبية الجنوبية، من المسقط بثقة منخفضة حدوث نقصان في مدى وحجم الجليد البحري في نهاية القرن الحادي والعشرين مع ارتفاع المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية. {12.4}
- بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين، من المسقط أن ينقص حجم الأنهار الجليدية العالمية، باستثناء الأنهار الجليدية الموجودة على أطراف القارة القطبية الجنوبية، بنسبة تتراوح من 15 إلى 55 في المائة في حالة مسار التركيز 2.6، وبنسبة تتراوح من 35 إلى 85 في المائة في حالة مسار التركيز النموذجي 8.5 (ثقة متوسطة). {13.4، 13.5}
- يشير متوسط النماذج (ثقة متوسطة) إلى أن من المسقط أن تنقص مساحة الغطاء الثلجي الربيعي في نصف الكرة الأرضية الشمالي بنسبة قدرها 7 في المائة في حالة مسار التركيز النموذجي 2.6 وبنسبة قدرها 25 في المائة في حالة مسار التركيز النموذجي 8.5 بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين. {12.4}
- من المؤكد تقريباً أن ينخفض مدى التربة الصقيعية القريبة من السطح والواقعة في المناطق المرتفعة من خطوط العرض الشمالية مع تزايد المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية. ويشير متوسط النماذج (ثقة متوسطة) إلى أن من المسقط بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين أن تنقص مساحة التربة الصقيعية القريبة من السطح (الـ 3.5 أمتار العلوية) بنسبة تتراوح من 37 في المائة (مسار التركيز النموذجي 2.6) إلى 81 في المائة (مسار التركيز النموذجي 8.5). {12.4}

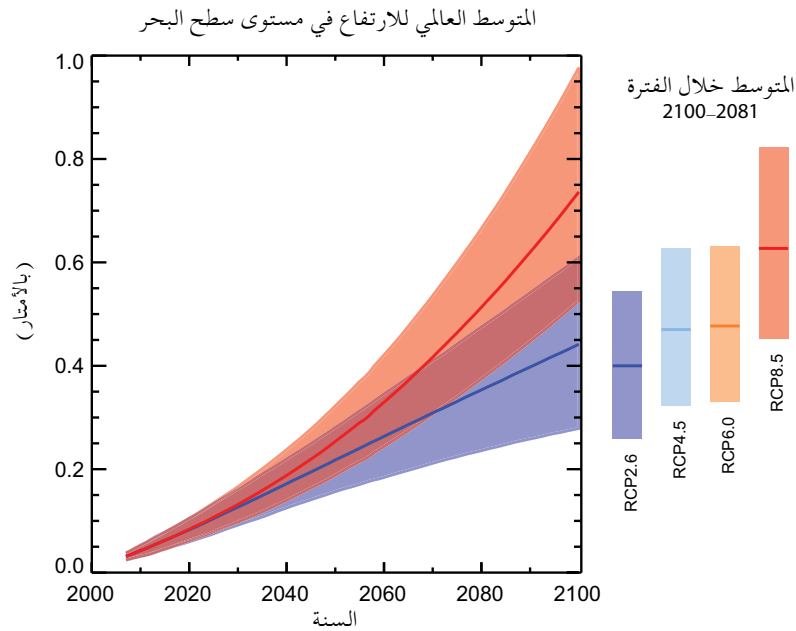
هاء-6

مستوى سطح البحر

سيستمر الارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر خلال القرن الحادي والعشرين (انظر الشكل SPM.9). ففي جميع سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية من المرجح إلى حد كبير أن يتجاوز معدل الارتفاع في مستوى سطح البحر المعدل الذي لوحظ أثناء الفترة 1971-2010 وذلك نتيجة لزيادة احتراق المحيطات وزيادة تقلص كتل جليدية من الأنهار الجليدية والصفحات الجليدية. {13.3، 13.5}

- زادت الثقة في إسقاطات المتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر منذ تقرير التقييم الرابع (AR4) بسبب تحسّن الفهم الفيزيائي لمكونات مستوى سطح البحر، وتحسّن توافق النماذج المستندة إلى العمليات مع الرصدات، وإدراج التغيرات الدينامية التي تحدث في الصفحات الجليدية. {13.3-13.5}
- من المرجح أن يكون المتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر خلال الفترة 2081-2100 بالنسبة إلى الفترة 1986-2005 في حدود نطاقات تتراوح من 0.26 إلى 0.55 متر في سيناريو مسار التركيز النموذجي 2.6، ومن 0.32 إلى 0.63 متر في سيناريو مسار التركيز النموذجي 4.5، ومن 0.33 إلى 0.63 متر في سيناريو مسار التركيز النموذجي 6.0، ومن 0.45 إلى 0.82 متر في سيناريو مسار التركيز النموذجي 8.5 (ثقة متوسطة). وفي سيناريو مسار التركيز النموذجي 8.5، نجد أن الارتفاع بحلول عام 2100 يتراوح من 0.52 إلى 0.98 متر، بمعدل يتراوح من 8 إلى 16 ملم سنوياً¹ (ثقة متوسطة) أثناء الفترة من عام 2081 إلى عام 2100. وهذه النطاقات مستمدة من الإسقاطات المناخية الخاصة بالمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) مع تقييم النماذج المستندة إلى العمليات والمؤلفات لمساهمات الأنهار الجليدية والصفحات الجليدية (انظر الشكل SPM.9، الجدول SPM.2). {13.5}
- في إسقاطات مسارات التركيز النموذجية، نجد أن التمدد الحراري مسؤول عن نسبة تتراوح من 30 إلى 55 في المائة من المتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر في القرن الحادي والعشرين، ونجد أن الأنهار الجليدية مسؤولة عن نسبة قدرها 15 إلى 35 من ذلك الارتفاع. وسوف تتجاوز الزيادة في الذوبان السطحي للصفحة الجليدية في غرينلاند مقدار الزيادة في سقوط الثلوج، مما يؤدي إلى مساهمة إيجابية من التغيرات في توازن الكتلة السطحية في مستوى سطح البحر في المستقبل (ثقة عالية). وبينما سيظل الذوبان السطحي ضعيفاً، من المتوقع حدوث زيادة في سقوط الثلوج على الصفحة الجليدية في المنطقة القطبية الجنوبية (ثقة متوسطة)، مما يسفر عن مساهمة سلبية في مستوى سطح البحر في المستقبل من التغيرات في توازن الكتلة السطحية. ومن المرجح أن التغيرات في التدفق الخارجي من كلتا الصفحتين الجليديتين ستكون لها مساهمة في حدود نطاق يتراوح من 0.03 إلى 0.20 بحلول الفترة 2081-2100 (ثقة متوسطة). {13.3-13.5}
- استناداً إلى الفهم الحالي، فإن انهيار الأجزاء البحرية من الصفحة الجليدية الموجودة في المنطقة القطبية الجنوبية، إذا بدأ، هو وحده الذي يمكن أن يتسبب في ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر ارتفاعاً أكبر كثيراً من النطاق المرجح أثناء القرن الحادي والعشرين. ومع ذلك، توجد ثقة متوسطة في أن هذه المساهمة الإضافية لن تتجاوز ارتفاع مستوى سطح البحر عدة أعشار من المتر خلال القرن الحادي والعشرين. {13.4، 13.5}

19 يشار إلى الأحوال في المحيط القطبي الشمالي باعتباره خالياً تقريباً من الجليد عندما يقل مدى الجليد البحري عن 10 كيلومترات مربعة لمدة خمس سنوات متتالية على الأقل.



الشكل 9 SPM | إسقاطات المتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر خلال القرن الحادي والعشرين بالنسبة إلى الفترة 1986-2005 مستمدة من مزيج من مجموعة نماذج المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) والنماذج المستندة إلى العمليات، في سيناريو مسار التركيز النموذجي 2.6 ومسار التركيز النموذجي 8.5. ويبيّن النطاق المقدّر المرجح في شكل نطاق مظلّل أما النطاقات المقدرة المرجحة للمتوسط خلال الفترة 2081-2100 في جميع سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية فهي مبنية في أعمدة رأسية ملونة، مع بيان القيمة المتوسطة المقابلة كخط أفقي. وللاطلاع على مزيد من التفاصيل الفنية انظر المواد التكميلية للملخص الفني (الجدول 13.5، الشكلان 13.10 و 13.11، والشكلان TS.21، و TS.22).

- بُحث أساس الإسقاطات الأعلى للمتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر في القرن الحادي والعشرين وتم التوصل إلى عدم وجود أدلة كافية في الوقت الحاضر لتقييم احتمالية وجود مستويات محددة أعلى من النطاق المقدّر المرجح. وكثيرة من إسقاطات النماذج شبه التجريبية الخاصة بالمتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر أعلى من الإسقاطات الخاصة بالنماذج المستندة إلى العمليات (بما يصل إلى الضعف تقريباً)، ولكن لا يوجد توافق في الآراء في الأوساط العلمية بشأن موثوقيتها ومن ثم توجد ثقة منخفضة في إسقاطاتها. {13.5}
- لن يكون الارتفاع في مستوى سطح البحر موحدًا. فمن المرجح إلى حد كبير أن يرتفع مستوى سطح البحر، بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين، في أكثر من حوالي 95 في المائة من مساحة المحيطات. ومن المسقط أن حوالي 70 في المائة من خطوط السواحل على نطاق العالم ستشهد تغييراً في مستوى سطح البحر في حدود 20 في المائة من المتوسط العالمي للتغير في مستوى سطح البحر. {13.1، 13.6}

هاء-7 دورات الكربون وغيره من المواد الجيوكيميائية الحيوية

سوف يؤثر تغيير المناخ على عمليات دورة الكربون على نحو سيؤدي إلى تفاقم زيادة وجود ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (ثقة عالية). وستؤدي زيادة امتصاص المحيطات للكربون إلى زيادة تحمّض المحيطات. {6.4}

- سيستمر امتصاص المحيطات لثاني أكسيد الكربون الناجم عن أنشطة بشرية في جميع سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية الأربعة حتى عام 2100، مع كون الامتصاص أعلى في حالة مسارات التركيز الأعلى (ثقة عالية جداً). أما تطوّر امتصاص الأرض للكربون في المستقبل فهو مؤكد بدرجة أقل. وتُسقط غالبية النماذج استمرار امتصاص الأرض للكربون في جميع سيناريوهات مسارات التركيز، ولكن بعض النماذج تحاكي حالة فقدان الأرض للكربون نتيجة لتأثير تغير المناخ وتغير استخدام الأراضي معاً. {6.4}
- استناداً إلى نماذج النظام الأرضي، توجد ثقة عالية في أن التأثير التفاعلي بين المناخ ودورة الكربون إيجابي في القرن الحادي والعشرين؛ بمعنى أن تغير المناخ سيعوّض جزئياً عن الزيادات في بالوعات الكربون الموجودة في الأرض والمحيطات والناجمة عن ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ونتيجة لذلك فإن المزيد من ثاني أكسيد الكربون المنبعث سيبقى في الغلاف الجوي. ووجود تأثير تفاعلي إيجابي بين المناخ ودورة الكربون على نطاقات زمنية تتراوح من قرون إلى آلاف السنوات أمر تؤيده رصدات ونمذجة المناخ القديم. {6.2، 6.4}

الجدول 3 | الانبعاثات التراكمية لثاني أكسيد الكربون في الفترة 2012-2100 المتوافقة مع التركيزات في الغلاف الجوي حسب مسارات التركيز النموذجية المحاكاة بواسطة نماذج النظام الأرضي الخاصة بالمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5). (4، 6، الجدول 6.12، الشكل 19، TS)

الانبعاثات التراكمية لثاني أكسيد الكربون في الفترة 2012-2100 ^أ				السيناريو
غيغا طن من ثاني أكسيد الكربون		غيغا طن من الكربون		
النطاق	المتوسط	النطاق	المتوسط	
1505 إلى 510	990	140 إلى 410	270	مسار التركيز النموذجي 2.6
3690 إلى 2180	2860	1005 إلى 595	780	مسار التركيز النموذجي 4.5
4585 إلى 3080	3885	1250 إلى 840	1060	مسار التركيز النموذجي 6.0
7005 إلى 5185	6180	1910 إلى 1415	1685	مسار التركيز النموذجي 8.5

ملاحظة:

- أ الغيغا طن الواحد من الكربون = طناً إجمالياً واحداً من الكربون = 1510 غرامات من الكربون. وهذا يعادل 3.667 غيغا طن من ثاني أكسيد الكربون.
- تُسقط نماذج النظام الأرضي زيادة عالمية في تحمُّض المحيطات في جميع سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية. والنقصان المقابل في درجة حموضة المنطقة السطحية من المحيطات بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين يتراوح نطاقه¹⁸ من 0.06 إلى 0.07 في سيناريو مسار التركيز النموذجي 2.6، ومن 0.14 إلى 0.15 في سيناريو مسار التركيز النموذجي 4.5، ومن 0.20 إلى 0.21 في سيناريو مسار التركيز النموذجي 6.0، ويتراوح من 0.30 إلى 0.32 في سيناريو مسار التركيز النموذجي 8.5 (انظر الشكلين SPM.7 و SPM.8). (6.4)
 - يتراوح نطاق¹⁸ الانبعاثات التراكمية لثاني أكسيد الكربون²⁰ في الفترة 2012-2100 المتوافقة مع تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي حسب مسارات التركيز النموذجية، كما هي مستمدة من 15 نموذجاً للنظام الأرضي، من 140 طناً إجمالياً إلى 410 أطنان إجمالية من الكربون في سيناريو مسار التركيز النموذجي 2.6، ومن 595 طناً إجمالياً إلى 1005 أطنان إجمالية من الكربون في سيناريو مسار التركيز النموذجي 4.5، ومن 840 إلى 1250 طناً إجمالياً من الكربون في مسار التركيز النموذجي 6.0، ومن 1415 طناً إجمالياً إلى 1910 أطنان إجمالية من الكربون في سيناريو مسار التركيز النموذجي 8.5 (انظر الجدول SPM.3). (6.4)
 - بحلول عام 2050، ستكون الانبعاثات السنوية لثاني أكسيد الكربون المستمدة من نماذج النظام الأرضي باتباع سيناريو مسار التركيز النموذجي 2.6 أقل من انبعاثات عام 1990 (بنسبة تتراوح من 14 إلى 96 في المائة)، وبحلول نهاية القرن الحادي والعشرين، يستنتج حوالي نصف النماذج انبعاثات أعلى بدرجة طفيفة من الصفر، بينما يستنتج النصف الآخر إزالة صافية لثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. (4، 6، الشكل 19، TS)
 - يقدَّر أن يتراوح نطاق إطلاق ثاني أكسيد الكربون، أو الميثان، في الغلاف الجوي من ذوبان أرصدة الكربون في التربة الصقيعية خلال القرن الحادي والعشرين من 50 إلى 250 طناً إجمالياً من الكربون في سيناريو مسار التركيز النموذجي 8.5 (ثقة منخفضة). (6.4)

هاء-8 استقرار المناخ، والتزام تغيّر المناخ، وعدم القابلية للانعكاس

ستحدد انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية إلى حد كبير المستوى العالمي لاحتراق سطح البحر بحلول أواخر القرن الحادي والعشرين وبعده (انظر الشكل SPM.10). وسوف تستمر معظم جوانب تغيير المناخ لعدة قرون حتى في حالة وقف انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وهذا يمثل الحتمية الكبيرة والمتعددة القرون لتغيير المناخ الناجمة عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الماضي والحاضر والمستقبل. (12.5)

- يوجد ارتباط خطي تقريباً بين الانبعاثات الإجمالية التراكمية لثاني أكسيد الكربون والمتوسط العالمي لاستجابة درجة الحرارة السطحية (انظر الشكل SPM.10). ويرتبط أي مستوى معين للاحتراق بنطاق الانبعاثات التراكمية لثاني أكسيد الكربون²¹، ولذا، مثلاً، فإن ارتفاع الانبعاثات في العقود الأبعد يعني ضمناً انبعاثات أقل في وقت لاحق. (12.5)
- قصر الاحتراق الناجم عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية وحدها، باحتمالية نسبتها < 33 في المائة، و < 50 في المائة، و < 66 في المائة، على أقل من درجتين مئويتين منذ الفترة 1861-1880²²، سيقتضي بقاء انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية من جميع المصادر البشرية في نطاق يتراوح من 0 إلى حوالي 1570 غيغا طن من الكربون (5760 غيغا طن من ثاني أكسيد الكربون)، ومن 0 إلى حوالي 1210 غيغا طن من الكربون (4440 غيغا طن من ثاني أكسيد الكربون)، ومن 0 إلى حوالي 1000 غيغا طن من الكربون (3670 غيغا طن من ثاني أكسيد الكربون) منذ تلك الفترة، على التوالي²³. وهذه المقادير الأعلى تنخفض إلى حوالي 900 غيغا طن من الكربون (3300 غيغا طن من ثاني أكسيد الكربون)، و 820 غيغا طن من الكربون (3010 غيغا طن من ثاني أكسيد الكربون)، و 790 غيغا طن من الكربون (2900 غيغا طن من ثاني أكسيد الكربون)، على التوالي، عندما تؤخذ في الاعتبار التأثيرات القسرية لغير ثاني أكسيد الكربون كما في حالة

20 من قطاعات الوقود الأحفوري، والإسمنت، والصناعة، والنفايات.

21 يقتضي التحديد الكمي لهذا النطاق من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أن تؤخذ في الاعتبار العوامل الدافعة غير ثاني أكسيد الكربون.

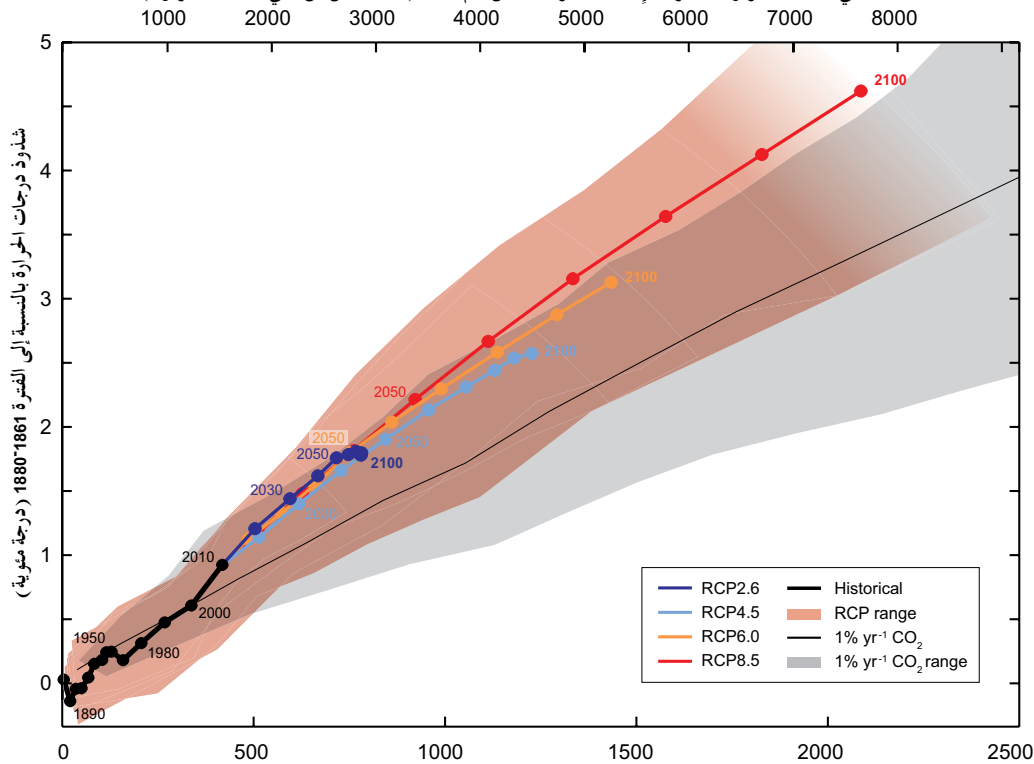
22 فترة أول 20 عاماً المتاحة من النماذج.

23 يستند هذا إلى تقييم الاستجابة المناخية العابرة لانبعاثات الكربون التراكمية (الاستجابة المناخية العابرة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية (TCRE))، (انظر القسم دال - 2).

سيناريو مسار التركيز النموذجي 2.6. وقد انبعثت بالفعل بحلول عام 2011 كمية تبلغ 515 [من 445 إلى 585] غيغاطناً من الكربون (1890 [من 1630 إلى 2150] غيغاطناً من ثاني أكسيد الكربون). {12.5}

- سيقتضي استهداف احتراق أقل، أو أرجحية أكبر للبقاء دون مستوى احتراق محدد مستهدف، انخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية. ومراعاة التأثيرات الاحترارية للزيادات في غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون، أو الانخفاضات في الأهباء الجوية، أو إطلاق غازات احتباس حراري من التربة الصقيعية ستؤدي أيضاً إلى انخفاض الانبعاثات التراكمية لثاني أكسيد الكربون فيما يتعلق باحتراق مستهدف محدد (انظر الشكل 10 SPM). {12.5}
- نسبة كبيرة من تغير المناخ الذي يرجع إلى العوامل البشرية والناجم عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون غير قابل للانعكاس على نطاق زمني يتراوح من عدة قرون إلى آلاف السنين، إلا في حالة حدوث إزالة صافية كبيرة لثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي على امتداد فترة متواصلة. وستبقى درجات الحرارة السطحية ثابتة تقريباً عند مستويات أعلى لعدة قرون بعد توقف كامل لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية الصافية. ونتيجة لطول النطاقات الزمنية لانتقال الحرارة من سطح المحيطات إلى أعماقها، سيستمر احتراق المحيطات لمدة قرون. وتبعاً للسيناريو، ستبقى في الغلاف الجوي لمدة أطول من 1000 سنة نسبة تتراوح من حوالي 15 إلى 40 في المائة من ثاني أكسيد الكربون المنبعث. {الإطار 6.1، 12.4، 12.5}
- من المؤكد تقريباً أن المتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر سيستمر بعد عام 2100، مع استمرار الارتفاع في مستوى سطح البحر الناجم عن التمدد الحراري قروناً كثيرة. وتشير نتائج النماذج القليلة المتوافرة والتي تتجاوز عام 2100 إلى أن المتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر صوب مستوى ما قبل عصر الصناعة بحلول عام 2300 أقل من متر واحد لقسر إشعاعي يعادل تركيزات ثاني أكسيد الكربون التي تبلغ ذروة ثم تتدنى وتبقى أقل من 500 جزء في المليون، كما في حالة سيناريو مسار التركيز النموذجي 2.6. أما في حالة قسر إشعاعي يعادل تركيزاً لثاني أكسيد الكربون يتجاوز 700 جزء في المليون ولكنه يقل عن 1500 جزء في المليون، كما في حالة سيناريو مسار التركيز النموذجي 8.5، فإن الارتفاع المسقط يتراوح من متر واحد إلى أكثر من 3 أمتار (ثقة متوسطة). {13.5}

انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية الإجمالية التراكمية من عام 1870 (بالغيغاطن من ثاني أكسيد الكربون)



انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية الإجمالية التراكمية من عام 1870 (بالغيغاطن من الكربون)

الشكل 10 SPM المتوسط العالمي للزيادة في درجة الحرارة السطحية كدالة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية التراكمية من أدلة شتى. ونتائج النماذج المتعددة المستمدة من تسلسل هرمي لنماذج دورة المناخ - الكربون في حالة كل سيناريو من سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCPs) حتى عام 2100 مبنية بخطوط ملونة ومتوسطات عقدية (نقط) وبعض المتوسطات العقدية مبنية برقعة توخياً للوضوح (مثلاً، عام 2050 يشير إلى العقد 2040-2049). وتبين نتائج النماذج خلال الفترة التاريخية (1860-2010) باللون الأسود. أما العمود الملون فهو يصور امتداد النماذج المتعددة في سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية الأربعة ويخبر مع تناقص عدد النماذج المتاحة في مسار التركيز النموذجي 8.5. ويبين بخط أسود رفيع ومساحة رمادية متوسط ونطاق النماذج المتعددة، المحاكاة باستعمال نماذج المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5)، للتأثير القسري لزيادة في ثاني أكسيد الكربون قدرها 1 في المائة سنوياً (عمليات المحاكاة لزيادة نسبتها 1 في المائة سنوياً¹ في ثاني أكسيد الكربون). وفيما يتعلق بكمية محددة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية، تُظهر عمليات المحاكاة لحدوث زيادة قدرها 1 في المائة سنوياً في ثاني أكسيد الكربون احتراقاً أقل مما تظهره عمليات المحاكاة التي توجهها مسارات التركيز النموذجية، والتي تشمل تأثيرات قسرية غير ثاني أكسيد الكربون. وتبين قيم درجات الحرارة بالنسبة إلى الفترة الأساسية 1861-1880، والانبعاثات بالنسبة إلى عام 1870. ويوجد ربط بين المتوسطات العقدية بواسطة خطوط مستقيمة. وللاطلاع على مزيد من التفاصيل الفنية انظر المواد التكميلية للملخص الفني (الشكل 45، 12.4؛ TS TFE، الشكل 1)

- استمرار فقدان الصفحات الجليدية كتلاً جليدية من شأنه أن يسبب ارتفاعاً أكبر في مستوى سطح البحر، وقد يكون جزء ما من تقلص الكتل الجليدية غير قابل للانعكاس. وتوجد ثقة عالية في أن استمرار الاحترار الذي يزيد على عتبة ما من شأنه أن يؤدي إلى فقدان شبه كامل للصفحة الجليدية في غرينلاند خلال ألف سنة أو أكثر، مما يتسبب في ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر بما يصل إلى 7 أمتار. وتشير التقديرات الحالية إلى أن العتبة أكبر من متوسط عالمي للاحتار يبلغ حوالي درجة مئوية واحدة (ثقة منخفضة) ولكنه يقل عن حوالي 4 درجات مئوية (ثقة متوسطة) بالنسبة إلى ما قبل عصر الصناعة. ومن الممكن حدوث تقلص كتل جليدية مفاجئ وغير قابل للانعكاس من جراء انعدام استقرار محتمل للأجزاء البحرية من الصفحة الجليدية في المنطقة القطبية الجنوبية استجابة للتأثير القسري المناخي، ولكن لا تكفي الأدلة الحالية والفهم الحالي لتحديد تقدير كمي. {5, 8, 13.4, 13.5}
- اقتُرحت طرق تهدف إلى التغيير العمدي للنظام المناخي للتصدي لتغير المناخ، تسمى الهندسة الأرضية. وتحول محدودية الأدلة دون إجراء تقدير كمي شامل لكل من إدارة الإشعاع الشمسي (SRM) وإزالة ثاني أكسيد الكربون (CDR) وأثرهما على النظام المناخي. وطرق إزالة ثاني أكسيد الكربون تنطوي على أوجه قصور جيوكيميائية حيوية وتكنولوجيا من حيث إمكاناتها على نطاق عالمي. ولا توجد معرفة كافية من أجل التحديد الكمي لكمية انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي يمكن أن تعوض عنها جزئياً إزالة ثاني أكسيد الكربون على نطاق زمني قرني. وتشير النمذجة إلى أن طرق إدارة الإشعاع الشمسي (SRM)، إذا كان من الممكن أن تتحقق، تنطوي على إمكانية التعويض إلى حد كبير عن ارتفاع درجة الحرارة العالمية، ولكن من شأنها أن تعدّل أيضاً الدورة المائية العالمية، ومن شأنها ألا تقلل من تَمَحُّص المحيطات. وإذا أنهيت إدارة الإشعاع الشمسي لأي سبب، توجد ثقة عالية في أن درجات الحرارة السطحية العالمية من شأنها أن ترتفع بسرعة كبيرة لتصل إلى قيم تتسق مع التأثير القسري لغازات الاحتباس الحراري. كذلك تنطوي طرق إزالة ثاني أكسيد الكربون (CDR) وإدارة الإشعاع الشمسي (SRM) على تأثيرات جانبية طويلة الأجل على نطاق عالمي. {6, 5, 7.7}

الإطار 1.SPM: مسارات التركيز النموذجية (RCPs)

تقتضي إسقاطات تغير المناخ في إطار الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ وجود معلومات عن انبعاثات أو تركيزات غازات الاحتباس الحراري، والأهباء الجوية، والعوامل الأخرى الدافعة للمناخ، في المستقبل. وكثيراً ما يجري التعبير عن هذه المعلومات كسيناريو للأنشطة البشرية، التي لا يرد تقييم لها في هذا التقرير. وقد ركزت السيناريوهات المستخدمة في إطار الفريق العامل الأول على الانبعاثات البشرية ولا تشمل التغيرات في العوامل الدافعة الطبيعية من قبيل التأثير القسري الشمسي أو البركاني أو الانبعاثات الطبيعية، مثلاً الميثان وأكسيد النيتروز.

وقد حددت الأوساط العلمية، من أجل تقرير التقييم الخامس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، مجموعة من أربعة سيناريوهات جديدة، تسمى مسارات التركيز النموذجية (RCPs)، انظر مسرد المصطلحات). وهي تعرّف بتأثيرها القسري الإشعاعي الإجمالي التقريبي في سنة 2100 بالنسبة إلى سنة 1750: 2.6 وات في المتر المربع في حالة مسار التركيز النموذجي 2.6، و4.5 وات في المتر المربع في حالة مسار التركيز النموذجي 4.5، و6.0 وات في المتر المربع في حالة مسار التركيز النموذجي 6.0، و8.5 وات في المتر المربع في حالة مسار التركيز النموذجي 8.5. وفيما يتعلق بنتائج المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5)، ينبغي فهم هذه القيم على أنها إشارية فقط، لأن التأثير القسري المناخي الناجم عن جميع العوامل الدافعة الأخرى يتباين بين النماذج، نتيجة للخصائص المحددة للنماذج ولمعاملة عوامل التأثير القسري المناخي الطويلة الأجل. وتشمل المسارات النموذجية الأربعة هذه سيناريو تخفيفياً واحداً يؤدي إلى مستوى تأثير قسري منخفض جداً (مسار التركيز النموذجي 2.6)، وسيناريو يهيئ للاستقرار (مسار التركيز النموذجي 4.5 ومسار التركيز النموذجي 6)، وسيناريو واحداً يتسم بتركيزات عالية جداً من انبعاث غازات الاحتباس الحراري (مسار التركيز النموذجي 8.5). ومن ثم يمكن أن تصوّر مسارات التركيز النموذجية نطاقاً للسياسات المناخية في القرن الحادي والعشرين، مقارنة بعدم وجود سياسة مناخية في التقرير الخاص بشأن سيناريوهات الانبعاثات (SRES) الذي استخدم في تقرير التقييم الثالث وتقرير التقييم الرابع. وفي حالتي مسار التركيز 6.0 ومسار التركيز 8.5، لا يصل التأثير القسري الإشعاعي إلى ذروة بحلول عام 2100؛ ويبلغ ذروة ثم يتدنى في حالة مسار التركيز النموذجي 2.6؛ ويستقر بحلول عام 2100 في حالة مسار التركيز النموذجي 4.5. ويوفر كل مسار تركيز نموذجي مجموعة بيانات مقررة مكانياً بشأن التغير في استخدام الأراضي والانبعاثات القطاعية لملوثات الهواء، ويحدد التركيزات السنوية لغازات الاحتباس الحراري والانبعاثات البشرية حتى عام 2100. وتستند مسارات التركيز النموذجية إلى مزيج من نماذج التقييم المتكاملة، والنماذج المناخية البسيطة، ونماذج كيمياء الغلاف الجوي ودورات الكربون العالمية. وبينما تشمل مسارات التركيز النموذجية نطاقاً واسعاً من قيم التأثير القسري الإجمالي، فإنها لا تغطي النطاق الكامل للانبعاثات الواردة في المؤلفات، لا سيما فيما يتعلق بالأهباء الجوية.

وقد أجريت معظم عمليات المحاكاة باستخدام نماذج النظام الأرضي الخاصة بالمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) وباستعمال تركيزات محددة لثاني أكسيد الكربون تصل إلى 421 جزءاً في المليون (مسار التركيز النموذجي 2.6)، و538 جزءاً في المليون (مسار التركيز النموذجي 4.5)، و670 جزءاً في المليون (مسار التركيز النموذجي 6.0)، و936 جزءاً في المليون (مسار التركيز النموذجي 8.5). وبحلول سنة 2100. وإذا شملت عمليات المحاكاة التركيزات المحددة للميثان وأكسيد النيتروز، فإن تركيزات مكافئات ثاني أكسيد الكربون تبلغ 475 جزءاً في المليون (مسار التركيز النموذجي 2.6)، و630 جزءاً في المليون (مسار التركيز النموذجي 4.5)، و800 جزء في المليون (مسار التركيز النموذجي 6.0)، و1313 جزءاً في المليون (مسار التركيز النموذجي 8.5). وفي حالة مسار التركيز النموذجي 8.5 أجريت عملية محاكاة إضافية باستخدام نماذج النظام الأرضي الخاصة بالمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النتائج المناخية المتقارنة (CMIP5) وباستعمال انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المحددة كما توفرها نماذج التقييم المتكاملة. وفي حالة جميع مسارات التركيز النموذجية (RCPs)، أجريت حسابات إضافية باستخدام بيانات ونماذج الغلاف الجوي الحديثة (بما في ذلك مكوّن كيمياء مناخ الغلاف الجوي من مكونات المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة) وباستعمال انبعاثات الغازات المتفاعلة كيميائياً (الميثان، وأكسيد النيتروز، والمركبات الفلورية الهيدروجينية، وأكاسيد النيتروجين، وأكسيد الكربون، والمركبات العضوية غير المتطايرة التي لا تحتوي على الميثان). وعمليات المحاكاة هذه تتيح تحريّ أوجه عدم اليقين ذات الصلة بالتأثيرات التفاعلية لدورة الكربون وكيمياء الغلاف الجوي.

الملخص الفني

79	TS. 5	إسقاطات تغير المناخ العالمي والإقليمي	35	TS. 1	مقدمة
79	TS. 5.1	المقدمة	36	TS. 1	الإطار معالجة عدم التيقن
79	TS. 5.2	التأثيرات والسيناريوهات المستقبلية	37	TS. 2	رصد التغيرات في النظام المناخي
	الإطار TS. 6	سيناريوهات مسار التركيز النموذجي الجديدة ونماذج المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة	37	TS. 2.1	مقدمة
79	TS. 5.3	التحديد الكمي لاستجابة النظام المناخي	37	TS. 2.2	التغيرات في درجة الحرارة
81	TS. 5.4	تغير المناخ على المدى القريب	39	TS. 2.3	التغيرات في ميزانية الطاقة والمحتوى الحراري
85	TS. 5.5	تغير المناخ الطويل الأمد	39	TS. 2.4	التغيرات في الحركة الدورانية وطرائق التقلبية
89	TS. 5.6	الإسقاطات طويلة الأمد لدورة الكربون وغيرها من الدورات الجيوكيميائية الحيوية	40	TS. 2.5	التغيرات في دورة الماء والغلاف الجليدي
93	TS. 5.7	الإطار TS. 7 طرائق الهندسة الأرضية المناخية	46	TS. 2.6	التغيرات في مستوى سطح البحر
98	TS. 5.8	ظواهر المناخ وتغير المناخ على الصعيد الإقليمي	46	TS. 2.7	التغيرات في الظواهر المتطرفة
105	TS. 5.8	ظواهر المناخ وتغير المناخ على الصعيد الإقليمي	46	TS. 2.8	التغيرات في دورات الكربون والعناصر الجيوكيميائية البيولوجية الأخرى
114	TS. 6	أوجه عدم اليقين الرئيسية	50		
	TS. 6.1	أوجه عدم اليقين الرئيسية في رصد التغيرات في النظام المناخي	53	TS. 3	العوامل الدافعة لتغير المناخ
114	TS. 6.2	أوجه عدم اليقين الرئيسية في محركات تغير المناخ	53	TS. 3.1	مقدمة
114	TS. 6.3	أوجه عدم اليقين الرئيسية في فهم نظام المناخ وتغيراته الأخيرة	53	TS. 3.2	الفسر الإشعاعي الناجم عن غازات الاحتباس الحراري
114	TS. 6.4	أوجه عدم اليقين الرئيسية في الإسقاطات المتعلقة بالتغيرات المناخية على الصعيد العالمي والإقليمي	53	TS. 2	الإطار الفسر الإشعاعي والفسر الإشعاعي الفعال
115		عناصر التركيز المواضيعية	55	TS. 3.3	الفسر الإشعاعي الناجم عن الأهباء الجوية البشرية المنشأ
42	TFE. 1	التغيرات في الدورة المائية	55	TS. 3.4	الفسر الإشعاعي الناجم عن التغيرات في سطح اليابسة والتكثفات
	TFE. 2	التغير في مستوى سطح البحر: الفهم العلمي وأوجه عدم التيقن	55	TS. 3.5	الفسر الإشعاعي الناجم عن العوامل الدافعة الطبيعية لتغير المناخ
47	TFE. 3	مقارنة الإسقاطات من التقييمات السابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) مع الرصدات	55	TS. 3.6	التوليف بين التأثيرات القسرية؛ التطور المكاني والزمني
64	TFE. 4	ميزانية الطاقة المتغيرة الخاصة بالنظام المناخي العالمي	56	TS. 3.7	أصداء تغير المناخ
67	TFE. 5	اللاعكوسية والتغير المفاجئ	57	TS. 3.8	مقاييس الانبعاثات
70	TFE. 6	حساسية المناخ وتأثيراته التفاعلية	60	TS. 4	فهم النظام المناخي وتغيراته الأخيرة
82	TFE. 7	اضطراب دورة الكربون وأوجه عدم اليقين المتعلقة بها	60	TS. 4.1	المقدمة
96	TFE. 8	الأهداف المناخية والاستقرار المناخي	60	TS. 4.2	درجة الحرارة السطحية
102	TFE. 9	ظواهر المناخ المتطرفة		الإطار TS. 3	النماذج المناخية والفجوة في المتوسط العالمي للاحتراق السطحي في السنوات الخمس عشرة الماضية
109		مواد تكميلية	61	TS. 4.3	درجة حرارة الغلاف الجوي
		تتوافر مواد تكميلية على النسخ الإلكترونية من هذا التقرير.	66	TS. 4.4	المحيطات
			68	TS. 4.5	الغلاف الجليدي
			69	TS. 4.6	الدورة المائية
			72	TS. 4.7	الظواهر المناخية المتطرفة
			72	TS. 4.8	من المستوى العالمي إلى المستوى الإقليمي
			73	TS. 4	الإطار تقييم النماذج
			75	TS. 5	الإطار المناخ القديم
			77		

الاتفاق بين الدراسات العلمية التي أجريت. ويعبر عن الثقة بطريقة نوعية. ويعبر عن القياسات الكمية لعدم التيقن في استنتاج ما بطريقة الاحتمالات والتي تستند إلى خليط من التحليل الإحصائي للملاحظات أو النتائج المستمدة من النماذج، أو كليهما، وتقدير الخبراء. كما تصاغ الاستنتاجات كبيانات حقائق، دون استخدام مؤشرات عدم التيقن، عندما يكون ذلك ملائماً (لمزيد من التفاصيل، انظر الفصل 1 والإطار TS.1).

ويرد الملخص الفني في أربعة أقسام رئيسية تقدم نتائج التقييم وفقاً للتنظيم السردى لإسهام الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الخامس: يغطي القسم TS.2 في الملخص الفني تقييم المشاهدات المتعلقة بالتغيرات في النظام المناخي؛ ويلخص القسم TS.3 في الملخص الفني المعلومات المتعلقة بمختلف القوى المحركة، الطبيعية والبشرية المنشأ، معبراً عنها بدلالة التأثير الإشعاعي (RF)؛ ويقدم القسم TS.4 في الملخص الفني تقييم الفهم الكمي للتغير المناخي المشاهد؛ ويلخص القسم TS.5 في الملخص نتائج تقييم إسقاطات التغير المناخي في المستقبل خلال القرن الحادي والعشرين وبعده بدءاً من النطاق الإقليمي إلى النطاق العالمي. ويضم القسم TS.6 في الملخص أوجه عدم التيقن الرئيسية ويورد قوائم لها مستمدة من تقييم الفريق العامل الأول الوارد في الأقسام من TS.2 إلى القسم TS.5 من التقرير. أما عناصر التركيز المواضيعية الشاملة التسعة، التي تتجاوز حدود الأقسام للمكونات المختلفة للفريق العامل الأول في تقرير التقييم الخامس فهي متناثرة في الأقسام الأربعة الرئيسية للملخص الفني، فهي مميزة نظرياً عند الأجزاء الرئيسية للنص ويمكن قراءتها بصورة مستقلة عن سائر النص.

ويمكن الاطلاع على أسس الفقرات الجوهرية في الملخص الفني في أقسام الفصول للتقرير الأساسي. وترد هذا المراجع في أقواس متعرجة.

تغير المناخ، 2013: الأساس العلمي الفيزيائي هو إسهام الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الخامس للجنة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. ويركز هذا التقييم الشامل للجوانب الطبيعية على عناصر تغير المناخ المهمة لفهم الماضي، وتوثيق التغيرات التي تحدث في الوقت الراهن والمتوقعة في المستقبل. ويبنى التقييم على تقرير التقييم الرابع (AR4) الذي أصدرته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ وعلى التقرير الخاص الذي صدر مؤخراً عن إدارة مخاطر الظواهر المتطرفة والكوارث من أجل النهوض بالتكيف (SREX) والوارد في 14 فصلاً و 3 مرفقات. وتغطي هذه الفصول المشاهدات المباشرة وغير المباشرة للتغيرات المختلفة في جميع مكونات النظام المناخي؛ وتقييم المعارف الحالية لمختلف العمليات الراهنة داخل النظام المناخي، وما يحدث بين عناصره من تفاعلات، والتي تحدد مدى حساسية النظام واستجابته للتغيرات في التأثيرات القسرية؛ وتحدد مقدار الارتباط بين التغيرات في مكونات الغلاف الجوي، ومن ثم التأثير القسري الإشعاعي (RF)، ومن ثم الكشف عن التغيرات المناخية والتعرف على العلاقات السببية القائمة فيما بينها. وتستند الإسقاطات المتعلقة بالتغيرات في جميع مكونات النظام المناخي إلى عمليات المحاكاة باستخدام نماذج تؤثر فيها مجموعة جديدة من السيناريوهات. كما يقدم التقرير تقييماً شاملاً للتغيرات السابقة والمستقبلية في مستوى سطح البحر في فصل مكرس لهذا الغرض. وتقدم المعلومات المتعلقة بالتغيرات المناخية الإقليمية في شكل أطلس للإسقاطات المناخية العالمية والإقليمية (المرفق الأول). ويستكمل هذا المرفق بالمرفق الثاني: جداول سيناريوهات النظام المناخي والمرفق الثالث: مسرد.

والغرض الأساسي لهذا الملخص الفني هو التقديم للصلة بين التقييم الكامل للخطوط المتعددة للأدلة المستقلة الواردة في فصول التقرير الرئيسي الأربعة عشرة والملخص الشديد الإيجاز الذي أعده الفريق العامل الأول بحسابه الملخص الذي أعده الفريق العامل الأول لصانعي السياسات. وعلى ذلك يخدم الملخص الفني كنقطة انطلاق للقراء الذين يسعون للحصول على المعلومات الكاملة عن مواضيع أكثر تحديداً واردة في هذا التقييم. ويتيسر هذا الغرض عن طريق مؤشرات الفصول والأقسام المترابطة التي يرد فيها التقييم الكامل. أما المواضيع المتصلة بالسياسات، والتي ترد في الكثير من الفصول وتعلق بعمليات مترابطة في النظام المناخي فترد هنا بحسابها عناصر تركيز مواضيعية (TFEs)، لتيسير الوصول السريع لهذه المعلومات.

يتمثل أحد عناصر التكامل في هذا التقرير في استخدام أسلوب عدم التيقن الذي يوفر سرداً للتقييم يمكن تتبعه (الإطار TS.1). وتستند درجة التيقن التي تعد من الاستنتاجات المهمة إلى تقييمات فرقة المؤلفين للمفاهيم العلمية الأساسية التي يعبر عنها بمستوى الثقة الذي ينتج عن طابع الأدلة وكمياتها، ونوعياتها وجودتها ومدى اتساقها، ودرجة

- 1 الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2007: تغير المناخ 2007: الأساس العلمي الفيزيائي. مساهمة الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الأول في تقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ [المحررون: Solomon, S. و، H.L. Miller، M. Tignor، K.B. Averyt، M. Marquis، Z. Chen، D. Qin، M. Manning]. مطابع جامعة كيمبريدج، كيمبريدج، المملكة المتحدة ونيويورك، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية، الصفحة 996.
- 2 الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ: إدارة مخاطر الظواهر المتطرفة والكوارث من أجل النهوض بالتكيف مع تغير المناخ. تقرير خاص للفريقين العاملين الأول والثاني، الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ [المحررون: Plattner، G.-K.، Mach، K.J.، Dokken، D.J.، Qin، D.، Stocker، T.F.، Barros، V.، Field، C.B.، Allen، S.K.، Tignor، M.، Midgley، P. M.]. مطابع جامعة كيمبريدج، كيمبريدج، المملكة المتحدة ونيويورك، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية، الصفحة 582.
- 3 القسر الإشعاعي RF، هو مقياس للتغير الصافي في طاقة نظام الأرض استجابة لاضطراب خارجي ما. ويعبر عنه بوحدات الواط لكل متر مربع (واط/م²)؛ انظر الإطار TS.2.
- 4 Mastrandrea, M.D., C.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W. Yohe, and F.W. Zwiers, 2010: Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

الإطار TS.1 | معالجة عدم التيقن

استناداً إلى المذكرة التوجيهية للمؤلفين الرئيسيين لتقرير التقييم الخامس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن المعالجة المتسقة لعدم التيقن، يعتمد هذا الملخص الفني الذي أعده الفريق العامل الأول والملخص الذي أعده الفريق العامل الأول لصانعي السياسات على مقياسين لإبلاغ درجة التيقن في الاستنتاجات الرئيسية المستندة إلى تقييمات فرق المؤلفين للفهم العلمي:

- الثقة في صحة استنتاج ما، المستندة إلى طبيعة الأدلة وكميتها، ونوعيتها، ومدى اتساقها (مثل فهم الآليات، والنظريات، والبيانات، والنماذج، وتقديرات الخبراء) ودرجة الاتفاق فيما بينها. ويعبر عن الثقة بطريقة نوعية.
- يُعبّر عن القياسات الكمية لعدم التيقن من استنتاج ما بطريقة الاحتمالات (على أساس التحليل الإحصائي للرصداات أو النتائج المستنبطة من النماذج، أو تقدير الخبراء).

وتنقح المذكرة التوجيهية الواردة في تقرير التقييم الخامس التوجيهات المقدمة لدعم التقريرين الثالث والرابع الصادرين عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. وعمليات المقارنة المباشرة بين تقييم أوجه عدم التيقن في الاستنتاجات الواردة في هذا التقرير وتلك الواردة في تقرير التقييم الرابع والتقرير الخاص الذي صدر مؤخراً بشأن إدارة مخاطر الظواهر المتطرفة والكوارث بهدف تحسين التكيف مع تغير المناخ أمر صعب نتيجة لتطبيق المذكرة التوجيهية المنقحة على أوجه عدم التيقن، وتوفر معلومات جديدة، وتحسن الفهم العلمي، واستمرار تحليل البيانات والنماذج، ووجود فروق محددة في الطرائق المطبقة في الدراسات التي يجري تقييمها. وقد تم تقييم الجوانب المختلفة لبعض جوانب تغير المناخ، ولذا فإن من غير الملائم عقد مقارنة مباشرة.

ويستند كل استنتاج من الاستنتاجات الرئيسية إلى تقييم تجربة فرق مؤلفين للأدلة المقترنة به ولدرجة الاتفاق فيما بينها. ويوفر مقياس الثقة توليفة نوعية لرأي فرقة من المؤلفين بشأن مدى صحة استنتاج من الاستنتاجات بصورتها المعينة من خلال تقييم الأدلة ومدى الاتفاق فيما بينها. وإذا أمكن وضع تقييم كمي لأوجه عدم التيقن بطريقة الاحتمالات، فإنه يمكن لفرق المؤلفين تحديد خصائص الاستنتاج باستخدام أسلوب لمعايير الأرجحية أو تقديم عرض أكثر دقة للاحتمالات. ويرتبط وصف مستوى ثقة بأنه مرتفع أو مرتفع بدرجة كبيرة بالاستنتاجات التي توصلت إليها إحدى فرق المؤلفين لمصطلح من مصطلحات الأرجحية، وذلك ما لم يذكر خلاف ذلك.

وتستخدم المصطلحات المختصرة التالية لوصف الأدلة المتاحة: محدودة، أو متوسطة، أو قوية؛ كما تستخدم المصطلحات المختصرة التالية لوصف درجة الاتفاق: منخفضة، أو متوسطة أو مرتفعة. ويعبر عن مستوى الثقة باستخدام خمسة محددات هي: منخفضة بدرجة كبيرة، ومنخفضة، ومتوسطة، وعالية، وعالية بدرجة كبيرة وتكتب بحروف مائلة، مثلاً، ثقة متوسطة. ويورد الشكل 1 في الإطار TS.1 تعبيرات مختصرة لوصف الأدلة، ومستويات الاتفاق وعلاقتها بالثقة. وتتسم هذه العلاقة بالمرونة؛ إذ يمكن إسناد مستويات ثقة مختلفة، لدليل معين ولتعبير معين ولدرجة الاتفاق بشأنه ولكن بمستويات متزايدة من الثقة ودرجات الاتفاق مضاهية لها.

مقياس الثقة	اتفاق مرتفع أدلة محدودة	اتفاق مرتفع أدلة متوسطة	اتفاق مرتفع أدلة قوية
	اتفاق متوسط أدلة محدودة	اتفاق متوسط أدلة متوسطة	اتفاق متوسط أدلة قوية
	اتفاق منخفض أدلة محدودة	اتفاق منخفض أدلة متوسطة	اتفاق منخفض أدلة قوية

الدليل (طابعه، كميته، نوعيته، اتساقه) ←

الإطار TS.1، الشكل 1 | بيان التغيرات المتعلقة بالأدلة والاتفاق وعلاقتها بالثقة. وترداد الثقة باتجاه الركن الأيمن العلوي كما يتضح من زيادة شدة التظليل. وعموماً، تصبح الأدلة أقوى ما يمكن عند وجود خطوط عديدة متسقة من الأدلة المستقلة ذات الجودة العالية (الشكل 1.11)

استخدمت المصطلحات التالية لبيان درجة الأرجحية، وتكتب بأحرف مائلة:

المصطلح*	أرجحية الاستنتاج
مؤكدة تقريباً	الاحتمال 99-100 في المائة
مرجحة إلى حد كبير	الاحتمال 90-100 في المائة
مرجحة	الاحتمال 66-100 في المائة
تساوي فيها الأرجحية وعدم الأرجحية	الاحتمال 33-66 في المائة
غير مرجحة	الاحتمال 0-33 في المائة
غير مرجحة إلى حد كبير	الاحتمال 0-10 في المائة
غير مرجحة بشكل استثنائي	الاحتمال 0-1 في المائة

* ثمة مصطلحات إضافية (مرجح بدرجة عالية: الاحتمال 95-100 في المائة، يزيد احتمال الأرجحية عن احتمال عدم الأرجحية: < 50-100 في المائة، وغير مرجح بدرجة عالية: الاحتمال 0-5 في المائة) قد تستخدم أيضاً عندما تكون ملائمة.

TS.2 رصد التغيرات في النظام المناخي

TS.2.1 مقدمة

وعلى الرغم من حدوث احترار قوي لعقود متعددة، هناك تقلبية كبيرة من سنة إلى أخرى ومن عقد إلى آخر في معدل الاحترار، مع وجود فترات عديدة تظهر اتجاهات أضعف (تشمل الفجوة في الاحترار التي بدأت منذ عام 1998) (الشكل 1. TS). ويقل معدل الاحترار على مدى 15 سنة الماضية (من 1998 إلى 2012؛ البالغ 0.05 [من -0.05 إلى +0.15] درجة مئوية لكل عقد) عن اتجاه التغير السائد منذ 1951 (من 1951 إلى 2012؛ ومقدار 0.12 [من 0.08 إلى 0.14] درجة مئوية لكل عقد على التوالي). وتتسم اتجاهات التغير للفترات القصيرة بعدم التيقن والحساسية الشديدة لسنوات البداية والنهاية. إذ تبلغ اتجاهات التغير على مدى فترات الـ 15 سنة التي تبدأ في 1995 و 1996 و 1997، 0.13 [من 0.02 إلى 0.24] درجة مئوية لكل عقد، و 0.14 [من 0.03 إلى 0.24] درجة مئوية لكل عقد و 0.07 [من -0.02 إلى 0.18] درجة مئوية لكل عقد، على التوالي. وثمة سجلات بيانات عالمية وإقليمية لدرجة حرارة الهواء عند سطح الأرض تم تحليلها بصورة مستقلة والحصول عليها من رصدات المحطات، يوجد بينها اتفاق عام على أن درجة حرارة الهواء عند سطح الأرض قد ارتفعت. كما ارتفعت درجات حرارة سطح البحر (SSTs). وأسفرت المقارنات بين سجلات البيانات الجديدة لدرجة حرارة سطح البحر التي تم الحصول عليها بطرائق قياس مختلفة، تشمل بيانات مستمدة من السواحل عن تحسين فهم الأخطاء والتحيزات في السجلات. {الإطار 2.4.1؛ 2.4.3-2.4.4}

TS.2.2 التغيرات في درجة الحرارة

TS.2.2.1 درجة الحرارة السطحية

ومن غير المرجح أن أي تأثيرات غير مصححة متعلقة بالجزر الحرارية الحضرية وبالتغير في استخدام الأراضي قد أدت إلى رفع المتوسطات التقديرية لتغير درجة الحرارة العالمية عند سطح الأرض بأكثر من 10 في المائة من القيم المبلغية على مدى مئة سنة. وهذه قيمة متوسطة؛ تطورت بسرعة في بعض المناطق مكونة تأثيرات لجزر حرارية حضرية وتغيراً في استخدام الأراضي في اتجاهات التغير الإقليمية قد تكون أكبر كثيراً. {2.4.1}

وثمة ثقة كبيرة في أن المتوسط السنوي للاحتار السطحي منذ القرن العشرين قد عكس اتجاه التغير الطويل الأجل نحو البرودة لفترة الـ 5000 سنة الماضية عند خطوط العرض من الوسطى إلى العليا لنصف الكرة الأرضية الشمالي. وبالنسبة لمتوسط درجات الحرارة السنوية في نصف الكرة الشمالي، من المرجح إلى حد كبير أن الفترة من 1983 إلى 2012 كانت أدفأ 30 سنة خلال الـ 800 سنة الماضية (ثقة عالية) ومن المرجح أنها كانت أدفأ 30 سنة خلال الـ 1400 سنة الماضية (ثقة متوسطة). ويتعزز هذا الاستنتاج بمقارنة درجات الحرارة المقيسة بالأجهزة الآلية مع وجود العديد من عمليات تمثيل درجات الحرارة من مجموعة متنوعة من البيانات غير المباشرة والطرائق الإحصائية، كما أنه متسق مع تقرير التقييم الرابع. وتظهر عمليات التمثيل درجات الحرارة السطحية على النطاق القاري، بثقة عالية فترات متعددة العقود خلال فترة شذوذ المناخ في القرون الوسطى (من سنة 950 إلى سنة 1250) كانت في بعض المناطق ذات احترار مماثل لاحتار منتصف القرن العشرين، واحترار مناطق أخرى مماثل لاحتار أواخر القرن العشرين. وبثقة عالية، فإن فترات الاحترار الإقليمي هذه لم يكن لها نفس تزامن الاحترار عبر الأقاليم الذي حدث منذ منتصف القرن العشرين. واستناداً إلى المقارنة بين عمليات التمثيل والمحاكاة، هناك ثقة عالية في أنه لم يكن هناك تأثيرات خارجية مدارية وشمسية وبركانية فحسب، ولكن كانت هناك أيضاً تقلبية داخلية، أسهمت إسهاماً كبيراً في النمط المكاني للتغيرات في درجة الحرارة

تستند رصدات النظام المناخي إلى قياسات مباشرة فيزيائية وجيوكيميائية بيولوجية وإلى الاستشعار عن بعد من المحطات الأرضية والسواحل؛ وتوفر المعلومات المستمدة من محفوظات المناخ القديم سياقاً طويلاً الأجل. وتستخدم الرصدات ذات النطاق العالمي التي بدأت في حقبة الأجهزة الآلية في منتصف القرن التاسع عشر، ومددت عمليات استنباط المناخ القديم نطاق سجلات بعض الكميات إلى فترات ترجع إلى ما بين مئتي إلى ملايين السنين. وتوفر هذه الوسائل مجتمعة رؤية شاملة للتقلبية والتغيرات الطويلة الأجل في الغلاف الجوي، والمحيطات، والغلاف الجليدي، وعند سطح اليابسة.

ويرد في هذا القسم ملخص تقييم أدلة رصد تغير المناخ. ومنذ صدور تقرير التقييم الرابع، أحرزت أوجه تقدم كبيرة في توفر وحيازة مجموعات بيانات رصد الغلاف الجوي، وسطح اليابسة، والمحيط، والغلاف الجليدي. ويظهر الكثير من جوانب النظام المناخي أدلة على تغير المناخ (2، 3، 4، 5، 6، 13).

من المؤكد أن المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST) قد ارتفع منذ أواخر القرن التاسع عشر (الشكلان TS.1 و TS.2). وكان كل عقد من العقود الثلاثة الأخيرة على التوالي أكثر احتراراً عند سطح الأرض من أي عقود سابقة في سجل الأجهزة الآلية، وكان العقد الذي بدأ في عام 2000 أكثرها احتراراً. ويظهر اتجاه التغير العالمي لمتوسط بيانات درجتي حرارة اليابسة والمحيط معاً على الصعيد العالمي محسوبا كاتجاه تغير خطي⁵ احتراراً بنحو 0.85 [من 0.65 إلى 1.06] درجة مئوية⁶ خلال الفترة من 1880 إلى 2012، وهي فترة تتوفر لها مجموعات بيانات عديدة انتجت بصورة مستقلة أظهرت حدوث احترار بنحو 0.89 [من 0.69 إلى 1.08] درجة مئوية خلال الفترة من 1901 إلى 2012، ونحو 0.72 [من 0.49 إلى 0.89] درجة مئوية خلال الفترة من 1951 إلى 2012 استندت إلى مجموعات بيانات انتجت بصورة مستقلة. وبلغت الزيادة الإجمالية بين متوسط الفترة من 1850 إلى 1900 والفترة من 2003 إلى 2012 0.78 [من 0.72 إلى 0.85] درجة مئوية على أساس مجموعة البيانات الشبكية⁴ لدرجة الحرارة السطحية المستمدة من مركز هادلي/وحدة البحوث المناخية (HadCRUT4)، وهي مجموعة بيانات لمتوسط درجة الحرارة السطحية لها أطول سجل لمجموعات البيانات الثلاث المنتجة بصورة مستقلة. وبلغ الاحترار خلال الفترة من 1850 إلى 1900 إلى الفترة من 1986 إلى 2005 (وهي الفترة المرجعية المستخدمة لنمذجة الفصول والأطلس الوارد في المرفق الأول) 0.61 [من 0.55 إلى 0.67] درجة مئوية، عندما تحسب باستخدام مجموعة البيانات [HadCRUT4] وتقديرات عدم التيقن المتعلقة بها. كما أن من المؤكد تقريباً أن درجتنا الحرارة القصوى والدنيا فوق اليابسة قد زادت على النطاق العالمي منذ 1950. {2.4.1، 2.4.3؛ الفصل 2، القسم SM.3.2}.

5 يعد الاحترار كمتوسط غير مرجح على أساس تقديرات اتجاه تغير خطي يحسب من مركز هادلي/وحدة بحوث المناخ والمجموعة (HadCRUT4) للبيانات الشبكية، درجة الحرارة السطحية، وتحليل درجة الحرارة السطحية المدمجة لليابسة - المحيط (MLOST)، ومجموعات بيانات وتحليل درجة الحرارة السطحية لمعهد غودارد للدراسات الفضائية (GISTEMP) (انظر الشكل TS.2؛ القسم 2.3.4).

6 تحدد القيم الكمية لعدم التيقن في إسهام الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الخامس باستخدام فترات عدم تيقن مقدارها 90 في المائة ما لم يذكر خلاف ذلك. وفترة عدم التيقن البالغة 90 في المائة الواردة بين قوسين معقوفين يتوقع أن تكون لها أرجحية نسبتها 90 في المائة في تغطية القيمة التي يجري تقديرها. ونقطة التعادل العليا لفترة عدم التيقن يتوقع أن تكون لها أرجحية تبلغ 95 في المائة في تجاوز القيمة التي يجري تقديرها، كما أن لنقطة التعادل الدنيا أرجحية تبلغ 95 في المائة في أن تكون أقل من تلك القيمة. كما يقدم أفضل تقدير لتلك القيمة عندما يكون متاحاً. ولا تكون فترات عدم التيقن متماثلة بالضرورة حول أفضل تقدير مناظر.

7 الطريقتان المقدمتان في هذه الفقرة لحساب التغير في درجة الحرارة كلتاهما استخدمتا أيضاً في تقرير التقييم الرابع. وبحسب الفرق في الطريقة الأولى باستخدام أفضل توافق لاتجاه التغير الخطي لجميع النقاط بين سنتين، مثل 1880 و 2012. وبحسب الفرق بين المتوسطات في الطريقة الثانية لفترتين، مثل الفترة من 1850 إلى 1900 ومن 2003 إلى 2012. ومن ثم، لا يمكن عقد مقارنة مباشرة بين القيم الناتجة وفترات عدم التيقن لهما عند 90 في المائة.

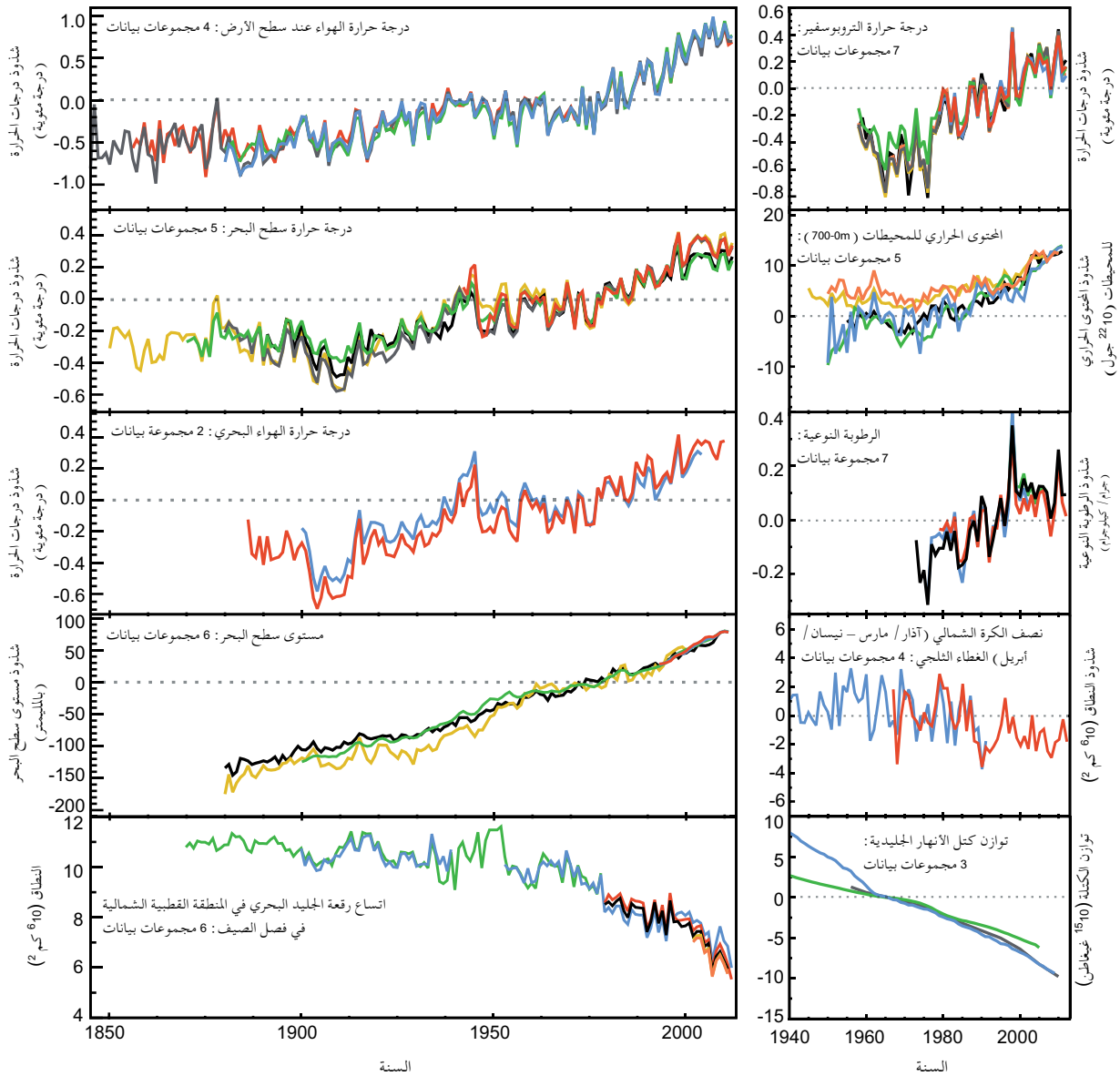
TS.2.2.3 الخيط

من المؤكد تقريباً أنه حدث احترار في النطاق العلوي من المحيط (فوق 700 م) خلال الفترة من سنة 1971 إلى سنة 2010، ومن المرجح أنه حدث به احترار خلال الفترة من سبعينيات القرن التاسع عشر إلى سنة 1971 (الشكل 1.TS). ويقل التأكد فيما يتعلق بالتغيرات السابقة. وقد تم التعرف على تحيزات للأجهزة الآلية في القياسات التاريخية لدرجة حرارة النطاق العلوي من المحيط وتم التقليل منها منذ صدور تقرير التقييم الرابع، لتقليل التغير المصطنع على مدى العقود في درجة الحرارة والمحتوى الحراري للنطاق العلوي للمحيط، واتخذ ذلك أبرز صورة له خلال عقود السبعينيات والثمانينيات من القرن العشرين. {1.3.2-3.2.3، 3.5.3}

السطحية وتوقيتاتها خلال الفترة الواقعة بين شذوذ المناخ في القرون الوسطى والعصر الجليدي الصغير (من سنة 1450 إلى سنة 1850). {5.5.1، 5.3.5}

TS.2.2.2 التروبوسفير والستراتوسفير

استناداً إلى تحليلات مستقلة متعددة لقياسات مأخوذة بالمسابير الراديوية وأجهزة الاستشعار الموجودة على متن السواتل، فإن من المؤكد تقريباً أن التروبوسفير شهد احتراراً وأن درجة حرارة الستراتوسفير قد انخفضت على النطاق العالمي منذ منتصف القرن العشرين (الشكل 1.TS). ورغم الإجماع على التوافق على الإشارة واتجاهات التغير، يوجد اختلاف كبير بين التقديرات المتاحة بشأن معدلات التغير في درجة الحرارة، وبخاصة في التروبوسفير خارج المناطق المدارية في نصف الكرة الأرضية الشمالي التي تمت معاينتها جيداً باستخدام المسير الراديوي. ومن ثم لا توجد سوى ثقة متوسطة في معدل التغير وهيكله الرأسي في التروبوسفير خارج المناطق المدارية في نصف الكرة الأرضية الشمالي وثقة منخفضة في سائر المناطق الأخرى. {2.4.4}



الشكل 1.TS | المؤشرات التكميلية المتعددة للتغير العالمي للمناخ. ويمثل كل خط تقديراً مستنبطاً بصورة مستقلة للتغير في العنصر المناخي. ويرد تقييم للمجموعات الزمنية المقدمة في الفصول 2 و 3 و 4. وقد سويت مجموعة البيانات الواردة في كل لوحة على أساس فترة مشتركة في السجل. وترد في الفرع SM.5.2 من الفصل 2 المتعلقة بالمواد التكميلية وفي الفصول ذات الصلة لمصادر مجموعات البيانات الواردة في كل لوحة. كما ترد تفاصيل أخرى بشأن الشكل ذي الصلة SPM.3 في المواد التكميلية للملخص الفني. {1.2.1، 2.4، 2.5، 3.2، 3.7، 4.5.2، 4.5.3}

عمق 3000 م، يلاحظ أن أكبر احترار قد حدث في المحيط الجنوبي. (3.2.4، 3.5.1؛ الشكلان 3.3، 3.2b؛ 3.1؛ FAQ)

TS.2.3 التغيرات في ميزانية الطاقة واحتوى الحراري

تشهد الأرض اختلالاً في التوازن الإشعاعي، مع زيادة الطاقة الداخلة إليها من الشمس عن الطاقة الخارجة من قمة الغلاف الجوي، منذ نحو 1970 على الأقل. ومن المؤكد تقريباً أن الأرض اكتسبت طاقة كبيرة خلال الفترة من 1971 إلى 2010. وتبلغ الزيادة التقديرية في رصيد الطاقة فيما بين 1971 و2010 [من 196 إلى 351] × 1021 جول (ثقة عالية)، بمعدل تسخين 213 × 1012 واط مقوماً من أفضل توافق خطي للقيم السنوية على مدى تلك الفترة الزمنية (انظر أيضاً 4. TFE). (الإطاران 3.1، 3.1؛ 13.1)

ويسود احترار المحيط معدل الاحترار الكلي هذا، حيث يمثل احترار العمق الكامل للمحيط نحو 93 في المائة (ثقة عالية)، ويمثل احترار النطاق العلوي من المحيط (من 0 إلى 700 م) نحو 64 في المائة. ويمثل كل من الجليد المنصهر (بما في ذلك الجليد البحري في القطب الشمالي، والصفائح الجليدية والأنهار الجليدية) واحترار القارات نحو 3 في المائة من القيمة الكلية. ويمثل احترار الغلاف الجوي الكمية المتبقية البالغة 1 في المائة. ويبلغ المعدل التقديري لكسب المحيط للطاقة خلال الفترة من 1971 إلى 2010 199 × 1012 واط/م² محسوباً من التوافق الخطي للبيانات على مدى تلك الفترة الزمنية، الذي يكافئ 0.42 واط/م² من الاحترار المطبق بصورة مستمرة على السطح الكامل للأرض، و 0.55 واط/م² للجزء الناتج عن احترار المحيط المطبق على المساحة الكلية لسطح المحيط. وتبلغ الزيادة التقديرية في طاقة الأرض خلال الفترة من 1993 إلى 2010 [من 127 إلى 201] × 1021 جول مع اتجاه تغير تقديري قيمته 275 × 1015 واط. ويبلغ الجزء الخاص بالمحيط من اتجاه التغير للفترة 1993-2010 ما قيمته 257 × 1012 واط، تكافئ متوسط دفق حراري في المحيط يبلغ 0.71 واط/م². (3.2.3، 3.2.4؛ الإطار 3.1)

وتساوى تقريباً أرجحية وعدم أرجحية حدوث زيادة في المحتوى الحراري للمحيط من 0-700 متر خلال الفترة من 2003 إلى 2010 ببطء أكبر من ببطء الزيادة التي حدثت خلال الفترة من 1993 إلى 2002 (الشكل 1. TS). ويرجح أن امتصاص المحيط للحرارة في الطبقة من 700-2000 م، حيث تقل التقلبية من سنة إلى أخرى، قد استمرت دون توقف من سنة 1993 إلى سنة 2009. (3.2.3، 3.2.4؛ الإطار 2.9)

TS.2.4 التغيرات في الحركة الدورانية وطرائق التقلبية

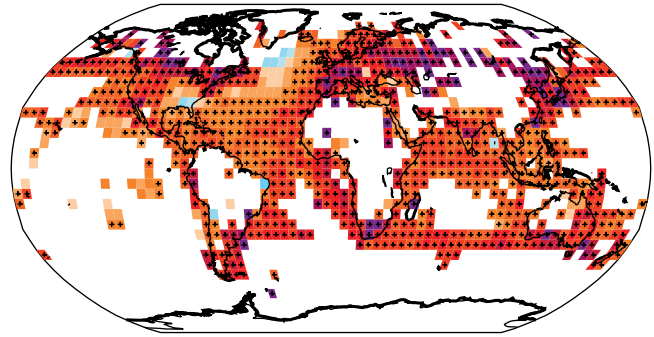
تؤدي التقلبية الكبيرة على النطاق الزمني فيما بين السنوات إلى ما بين العقود إلى إعاقه التوصل إلى استنتاجات قوية بشأن التغيرات الطويلة الأجل في الحركة الدورانية للغلاف الجوي في الكثير من الحالات. وثمة ثقة عالية في أن معامل الزيادة في الرياح الغربية عند خطوط العرض الشمالية والوسطى ومعامل التذبذب في شمال المحيط الأطلسي خلال الفترة من الخمسينيات إلى التسعينيات من القرن الماضي، وأن توهن دروان واكر في المحيط الهادي من أواخر القرن التاسع عشر إلى التسعينيات من القرن الماضي، قد تم معادلتها إلى حد كبير عن طريق التغيرات الأخيرة. وثمة ثقة عالية في أن التغيرات العقدية والمتعددة العقود في معامل التذبذب في شمال المحيط الأطلسي في الشتاء الملاحظ منذ القرن العشرين ليست غير مسبوقه في سياق الـ 500 سنة الماضية. (2.7.2، 2.7.5، 2.7.8، 5.4.2؛ الإطار 2.5؛ الجدول 2.14)

ومن المرجح أن سمات الحركة الدورانية قد تحركت باتجاه القطبين منذ سبعينيات القرن الماضي، متضمنة توسعاً في الحزام المداري، وتحول لمسارات العواصف والتيارات النفتية، وتقلص في دوامة القطب الشمالي. واقتربت بتزايد في قوة الأدلة بالنسبة لنصف الكرة الأرضية الشمالي. ومن المرجح أن النمط الحلقي الجنوبي (SAM) أصبح أكثر إيجابية منذ خمسينيات القرن الماضي. والزيادة في شدة النمط الحلقي الجنوبي الصيفي المشاهد منذ عام 1950 كانت شادة، مع ثقة متوسطة في سياق الـ 400 سنة الماضية. (2.7.5، 2.7.6، 2.7.8، 5.4.2؛ الإطار 2.5؛ الجدول 2.14)

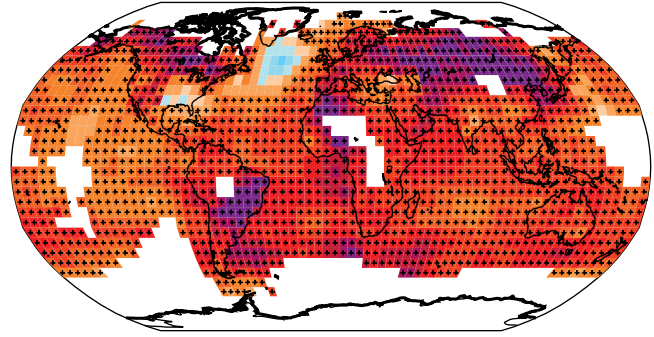
والنتائج الجديدة التي تم الحصول عليها من سجلات المرجان توثق بثقة عالية أن التذبذب الجنوبي لنظام ظاهرة النينيو (ENSO) ظل متقلبا بدرجة كبيرة طوال الـ 7000 سنة الماضية، ولم يظهر أي أدلة يمكن استنباطها على وجود نمط مداري لظاهرة التذبذب الجنوبي للنينيو (5.4.1؛ ENSO)

ومن المرجح أن المحيط شهد احتراراً للطبقة الواقعة بين 700 و 2000 م خلال الفترة من سنة 1957 إلى سنة 2009، على أساس متوسطات خمس سنوات. ومن المرجح أن المحيط شهد احتراراً في النطاق الذي يبدأ من 3000 م حتى القاع خلال الفترة من سنة 1992 إلى سنة 2005، في الوقت الذي لم تظهر فيه أي اتجاهات تغير مهمة في متوسط درجة الحرارة العالمية في النطاق الواقع بين 2000 م و 3000 م خلال الفترة من 1992 إلى 2005. وفي النطاق الواقع تحت

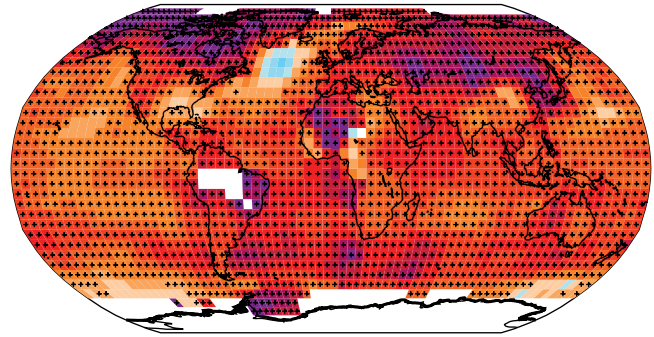
HadCRUT4 1901-2012



MLOST 1901-2012



GISS 1901-2012



اتجاهات التغير (بالدرجات المئوية خلال الفترة)

الشكل 2. TS.2 | التغير في درجة الحرارة السطحية على مدى الفترة من 1901 إلى 2012 المعين من الاتجاه الخطي لثلاث مجموعات بيانات. وتمثل المساحات البيضاء بيانات غير كاملة أو غير موجودة. وقد حسبت اتجاهات التغير للأطر الشبكية التي تزيد نسبة اكتمال سجلاتها عن 70 في المائة فقط كما يزيد توفر بياناتها عن 20 في المائة في الـ 10 في المائة الأولى والـ 10 في المائة الأخيرة من الفترة الزمنية. وتشير علامات الإضافة (+) السوداء إلى أطر شبكية ذات اتجاهات تغير مهمة (إذ يقع اتجاه تغير صفري خارج نطاق فترة الثقة البالغة 90 في المائة). والفروق في التغطية تعكس أساساً درجة من استيفاء البيانات للتعبير عن المناطق الخالية من البيانات التي يضطلع بها مقدمو مجموعات البيانات وتتراوح بين عدم وجود أي منها خارج متوسط الأطر الشبكية (مجموعة البيانات 4 لدرجة الحرارة السطحية (مركز هادلي) / وحدة البحوث المناخية (HadCRUT4)) إلى المناطق المدارية (معهد غودارد للدراسات الفضائية لتحليل درجات الحرارة السطحية (GISTEMP)). وثمة تفاصيل أخرى بشأن الشكل SPM.1 واردة في المواد التكميلية للملخص الفني. (الشكل 2.1)

المتاحة حالياً دون إمكانية الاعتماد على استخدام نواتج التدفق في التعرف على اتجاهات التغير في التوزيع الإقليمي أو العالمي للتبخر أو سقوط الأمطار فوق المحيطات على النطاق الزمني للتغيرات المشاهدة في الملوحة منذ خمسينيات القرن الماضي. (3.3.2-3.3.4، 3.4.2، 3.4.3، 3.9، 3.2؛ FAQ.3.2)

TS.2.5.3 الجليد البحري

مع استمرار اتجاهات التغير المشار إليها في تقرير التقييم الرابع، هناك ثقة عالية بدرجة كبيرة في أنه حدث تراجع في رقعة الجليد البحري (السنوية، والمتعددة السنوات، والدائمة) في منطقة القطب الشمالي خلال الفترة من 1979 إلى 2012 (الشكل TS.1). ومن المرجح بدرجة كبيرة أن معدل التناقص السنوي تراوح بين 3.5 و 4.1 في المائة لكل عقد من الزمن (يتراوح النطاق بين 0.45 و 0.51 مليون كم² لكل عقد من الزمن). وبلغ متوسط التناقص في اتساع الرقعة السنوية للجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية على مدى عقد من الزمان أسرع معدل له في الصيف والخريف (ثقة عالية)، ولكن اتساع الرقعة تناقص في كل فصل من الفصول، وفي كل عقد من العقود المتتالية منذ عام 1979 (ثقة عالية). وتناقص اتساع رقعة الجليد الدائم والجليد الذي يستمر لسنوات عديدة في منطقة القطب الشمالي فيما بين عامي 1979 و 2012 (ثقة عالية بدرجة كبيرة). ومن المرجح بدرجة كبيرة أن المعدلات تراوح بين 11.5 [من 9.4 إلى 13.6] في المائة لكل عقد من الزمن (من 0.73 إلى 1.07 مليون كم² لكل عقد من الزمن) لاتساع الجليد البحري عند أدنى رقعة له في الصيف (الجليد الدائم) ومن المرجح بدرجة كبيرة أيضاً أنها تراوح بين 13.5 [من 11 إلى 16] في المائة لكل عقد من الزمن للجليد الذي يستمر لسنوات عديدة. وهناك ثقة متوسطة من عمليات التمثيل بأن انحسار رقعة الجليد البحري في صيف المنطقة القطبية الشمالية حالياً (من 1980 إلى 2012) كان انحساراً غير مسبوق وأن درجات حرارة سطح البحر كانت مرتفعة بصورة شاذة غير عادية خلال الـ 1450 سنة الأخيرة على الأقل. (2.2، 4.2، 5.5)

ومن المرجح أن الفترة السنوية للانصهار السطحي للجليد الدائم قد ازدادت طويلاً بمقدار 5.7 [من 4.8 إلى 6.6] أيام لكل عقد من الزمن على مدى الفترة من 1979 إلى 2012. وعلى مدى هذه الفترة، زاد طول فترة الظروف الخالية من الجليد في المنطقة الواقعة بين بحر شرق سيبيريا وبحر بوفورت الغربي بنحو 3 أشهر. (2.2، 4.2)

وهناك ثقة عالية في أن متوسط سمك الجليد البحري الشتوي داخل حوض المنطقة القطبية الشمالية تناقص فيما بين عامي 1980 و 2008. ومن المرجح أن متوسط النقص تراوح بين 1.3 م و 2.3 م. وتستند الثقة العالية في هذا التقييم إلى رصدات مأخوذة من مصادر عديدة: الغواصات، والمسابير الكهرومغناطيسية، وقياس الارتفاعات من السواتل؛ وأنه متسق مع النقص في رقعة الجليد المتعدد السنوات والجليد الدائم. وتظهر القياسات المأخوذة من السواتل خلال الفترة من 2010 إلى 2012 تناقصاً في حجم الجليد البحري مقارنة بالقياسات المأخوذة خلال الفترة من 2003 إلى 2008 (ثقة متوسطة). وهناك ثقة عالية في أنه حدثت زيادة في سرعة انتقال الجليد البحري، في المناطق القطبية الشمالية التي تناقص فيها سمك الجليد. (2.2، 4.2)

ومن المرجح بدرجة كبيرة أنه حدثت زيادة في رقعة الجليد البحري السنوية في المنطقة القطبية الشمالية بمعدل تراوح بين 1.2 و 1.8 في المائة لكل عقد من الزمن (من 0.13 إلى 0.20 مليون كم² لكل عقد من الزمن) خلال الفترة من 1979 إلى 2012 (ثقة عالية بدرجة كبيرة). وحدثت زيادة أكبر في رقعة الجليد البحري، نتيجة لنقصان النسبة المئوية للمياه المفتوحة داخل التكتلات الجليدية. وثمة ثقة عالية في وجود فروق إقليمية قوية في هذا المعدل السنوي، مع تزايد الرقعة/المساحة في بعض المناطق ونقصانها في مناطق أخرى. وهناك أيضاً تباين في المناطق المحيطية بالقطب الجنوبي حيث ازداد طول الموسم الخالي من الجليد في بعض المناطق، وشهد نقصاناً في مناطق أخرى على مدى الفترة منذ بدء استخدام السواتل (ثقة عالية). (3.2، 4.2)

TS.2.5.4 الأنهار والصنائح الجليدية

هناك ثقة عالية بدرجة كبيرة في أن الأنهار الجليدية على الصعيد العالمي تنقل بصورة مطردة كما يتبين من السلاسل الزمنية للتغيرات المقاسة لطول الأنهار الجليدية، ومساحتها، وحجمها، وكتلتها (الشكلان TS.1

وعززت الرصدات الحديثة الأدلة على حدوث تقلبية في نظم الحركة الدورانية الرئيسية للمحيط على نطاقات زمنية تتراوح بين سنوات وعقود. ومن المرجح بدرجة عالية أن الحركة الحلزونية دون المدارية في شمال وجنوب المحيط الهادي قد توسعت وازدادت قوة منذ عام 1993. واستناداً إلى قياسات الدوران الانقلابي الجنوبي في كامل المحيط الأطلسي ومكوناته الفردية الأساسية عند درجات العرض المختلفة ولفترات زمنية مختلفة، ليس هناك دليل على وجود اتجاه تغير طويل الأجل. وليس هناك دليل أيضاً على وجود اتجاهات في عمليات نقل من خلال التدفق الإندونيسي، أو التيار المحيطي في القطب الجنوبي (ACC) أو في عمليات الانتقال بين المحيط الأطلسي وبحار الشمال. ومع ذلك، يلاحظ وجود تحول نحو الجنوب للتيار المحيطي في القطب الجنوبي في البيانات التي تغطي الفترة من 1950 إلى 2010 بثقة متوسطة بنحو درجة واحدة من خطوط العرض في البيانات المرصودة. (3.6)

TS.2.5.5 التغيرات في دورة الماء والغلاف الجليدي

TS.2.5.1 الغلاف الجوي

كانت الثقة في متوسط التغير في كمية الأمطار المحسوب من كامل مناطق اليابسة منخفضة قبل سنة 1951، ومتوسطة بعد ذلك بسبب عدم وجود بيانات كافية، وبخاصة في الجزء المبكر من السجل (للاطلاع على نظرة شاملة للتغيرات المشاهدة والمسجلة في دورة الماء العالمية، انظر عناصر التركيز المواضيعية (1. TFE)). وعلاوة على ذلك، وعندما تدرج جميع مناطق اليابسة تقريباً في استخدام طريقة التمثيل، تظهر المجموعات الزمنية الناتجة تغيراً ضعيفاً في كمية الأمطار المتساقطة على اليابسة منذ 1901. ومساحات اليابسة الموجودة عند خطوط العرض المتوسطة في نصف الكرة الشمالي تظهر بالفعل زيادة شاملة محتملة في كمية الأمطار (ثقة متوسطة قبل 1951، وثقة عالية بعد ذلك). وبالنسبة لخطوط العرض الأخرى هناك ثقة متوسطة في الاتجاهات الموجبة أو السالبة الطويلة الأجل التي حسب متوسطها على أساس المساحة (1. TFE، الشكل 1). (1، 2.5.1)

ومن المرجح إلى حد كبير أن الرطوبة النوعية للهواء قرب السطح وفي التروبوسفير على الصعيد العالمي قد زادت منذ سبعينيات القرن الماضي. ومع ذلك، تراجع اتجاه تزايد الرطوبة قرب السطح فوق اليابسة (ثقة متوسطة) خلال السنوات الأخيرة (الشكل TS.1). ونتيجة لذلك، يلاحظ حدوث نقص منتشر إلى حد ما في متوسط الرطوبة النسبية قرب السطح فوق اليابسة خلال السنوات الأخيرة. (2.4.4، 2.5.5، 2.5.6)

ورغم أن اتجاهات الغطاء السحابي تظهر توافقاً بين مجموعات البيانات المستقلة في مناطق معينة، يظل هناك غموض كبير، ومن ثم تظل الثقة منخفضة في رصدات تقلبية السحب واتجاهات تغيرها على النطاق العالمي. (2.5.7)

TS.2.5.2 التدفقات المحيطية والسطحية

من المرجح بدرجة كبيرة أن اتجاهات التغير الإقليمية قد عززت متوسط أوجه التباين الجغرافي في ملوحة سطح البحر منذ خمسينيات القرن الماضي. فالمياه السطحية المالحة في مناطق خطوط العرض الوسطى التي يسودها التبخر أصبحت أكثر ملوحة، بينما أصبحت المياه السطحية ذات العذوبة النسبية الأعلى في المناطق المدارية والقطبية التي يسودها سقوط الأمطار أكثر عذوبة. وازداد متوسط التباين بين المناطق المرتفعة الملوحة والمناطق المنخفضة الملوحة بمقدار 0.13 [من 0.08 إلى 0.17] خلال الفترة من 1950 إلى 2008. ومن المرجح بدرجة كبيرة أنه حدثت زيادة في التباين فيما بين الأحواض في محتوى المياه العذبة. ازدادت مياه المحيط الأطلسي ملوحة وازدادت مياه المحيطين الهادئ والجنوبي عذوبة. ورغم التوصل إلى استنتاجات متشابهة في تقرير التقييم الرابع، فإن الدراسات الحديثة المستندة إلى نهج تضم مجموعات أوسع نطاقاً من البيانات وتحليلات جديدة توفر ثقة عالية في هذه التقييمات. (3.2، 3.3.3، 3.3.3، 3.9، 3.2؛ FAQ.3.2)

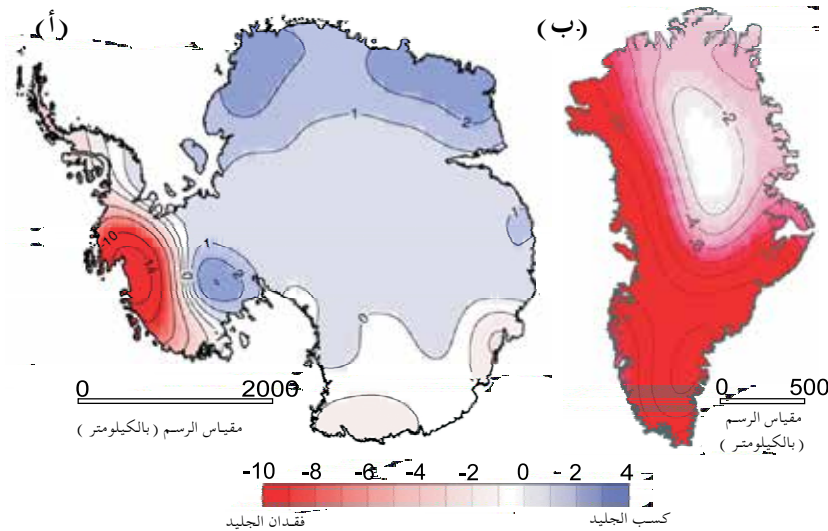
وثمة تشابه بين جميع الأنماط المكانية لاتجاهات تغير الملوحة، ومتوسط الملوحة، ومتوسط توزيع التبخر مطروحاً منها كميات الأمطار المتساقطة (1. TFE، الشكل 1). وتوفر أوجه التشابه هذه أدلة غير مباشرة على تعزيز نمط التبخر مطروحاً منه كمية الأمطار المتساقطة على المحيطات منذ خمسينيات القرن الماضي (ثقة متوسطة). وتحول أوجه عدم التيقن في التدفقات السطحية

وثمة ثقة عالية في أن اتساع رقعة الأنهار الجليدية في الوقت الراهن غير متوازنة مع الظروف المناخية الحالية، مما يشير إلى استمرار الأنهار الجليدية في التقلص في المستقبل حتى لو لم تحدث أي زيادة أخرى في درجة الحرارة. {4.3.3}

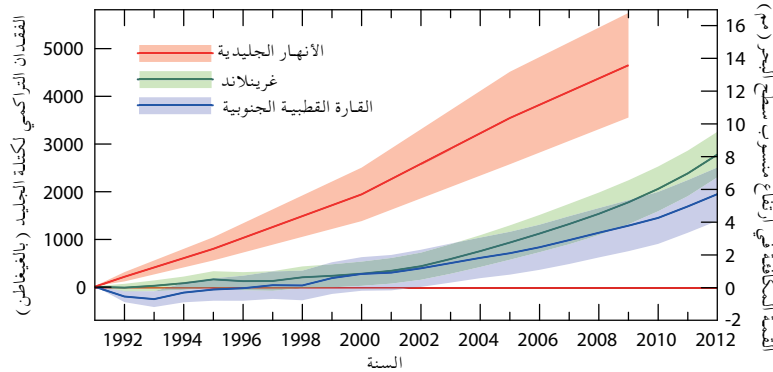
وثمة ثقة عالية بدرجة كبيرة في أن الصفائح الجليدية لغرينلاند قد فقدت جليداً خلال العقد الأخيرين. والافتتان بين كل من السواتل ووسائل الاستشعار عن بعد الموجودة على متنها وبين البيانات الميدانية يبين بثقة كبيرة أن فقدان الجليد حدث في قطاعات عديدة وأن المعدلات العالية لفقدان الكتلة قد انتشر في مناطق أوسع من تلك التي تضمنها تقرير التقييم الرابع (الشكل TS.3). وثمة ثقة عالية في أن فقدان الكتلة في الصفائح الجليدية لغرينلاند قد تسارع منذ عام 1992: من المرجح بدرجة كبيرة أن المعدل المتوسط قد ارتفع من 34 [من -6 إلى 74] غيغاطن كل سنة على مدى الفترة من 1992 إلى 2001 (تكافئ 0.09 [من -0.02 إلى 0.20] مم كل سنة في مستوى سطح البحر) إلى 215 [من 157 إلى 274] غيغاطن كل سنة على مدى الفترة من 2002 إلى 2011 (تكافئ 0.59 [من 0.43 إلى 0.76] مم كل سنة). وثمة ثقة عالية في أن فقدان الجليد من غرينلاند ناشئ عن تزايد الانصهار السطحي والسيح وزيادة تصريف مصبات الأنهار الجليدية، وأن هذه الزيادات حدثت بكميات متماثلة. وثمة ثقة عالية في أن فقدان المساحة المعرضة للانصهار الصيفي قد زادت على مدى العقد الأخيرين. {4.4.2، 4.4.3}

و (TS.3). والاستثناءات القليلة إقليمياً وزمنياً محدودة. وقد ازداد عدد القياسات التي تجرى للتغير في الأنهار الجليدية بدرجة كبيرة منذ صدور تقرير التقييم الرابع. فمعظم مجموعات البيانات الجديدة، والرصد الكامل للأنهار الجليدية استمدت من الاستشعار عن بعد بواسطة السواتل. {4.3.1، 4.3.3}

وهناك ثقة عالية بدرجة كبيرة في أن العقد الأخير شهد أكبر إسهامات في فقدان الجليد من جميع الأنهار الجليدية على المستوى العالمي في آلاسكا، والمنطقة القطبية الشمالية في كندا، ومن حواف الصفائح الجليدية لغرينلاند، وجنوب منطقة الإنديز، والجبال الآسيوية. وتشكل هذه المناطق معاً أكثر من 80 في المائة من إجمالي ما يفقد من جليد. ومن المرجح بدرجة كبيرة أن الكتلة الإجمالية التي تفقد من جميع الأنهار الجليدية في العالم، باستثناء ما هو موجود منها عند حواف الصفائح الجليدية بلغت 226 [من 91 إلى 361] غيغاطن كل سنة (تكافئ 0.62 [من 0.25 إلى 0.99] مم كل سنة من ارتفاع مستوى سطح البحر) خلال الفترة من سنة 1971 إلى سنة 2009، و 275 [من 140 إلى 410] غيغاطن كل سنة (تكافئ 0.76 [من 0.39 إلى 1.13] مم كل سنة من ارتفاع مستوى سطح البحر) خلال الفترة من 1993 إلى 2009 و 301 [من 166 إلى 436] غيغاطن كل سنة (تكافئ 0.83 [من 0.46 إلى 1.20] مم كل سنة من ارتفاع مستوى سطح البحر) خلال الفترة من 2005 إلى 2009⁸. {4.3.3، 4.4.4، 4.5}

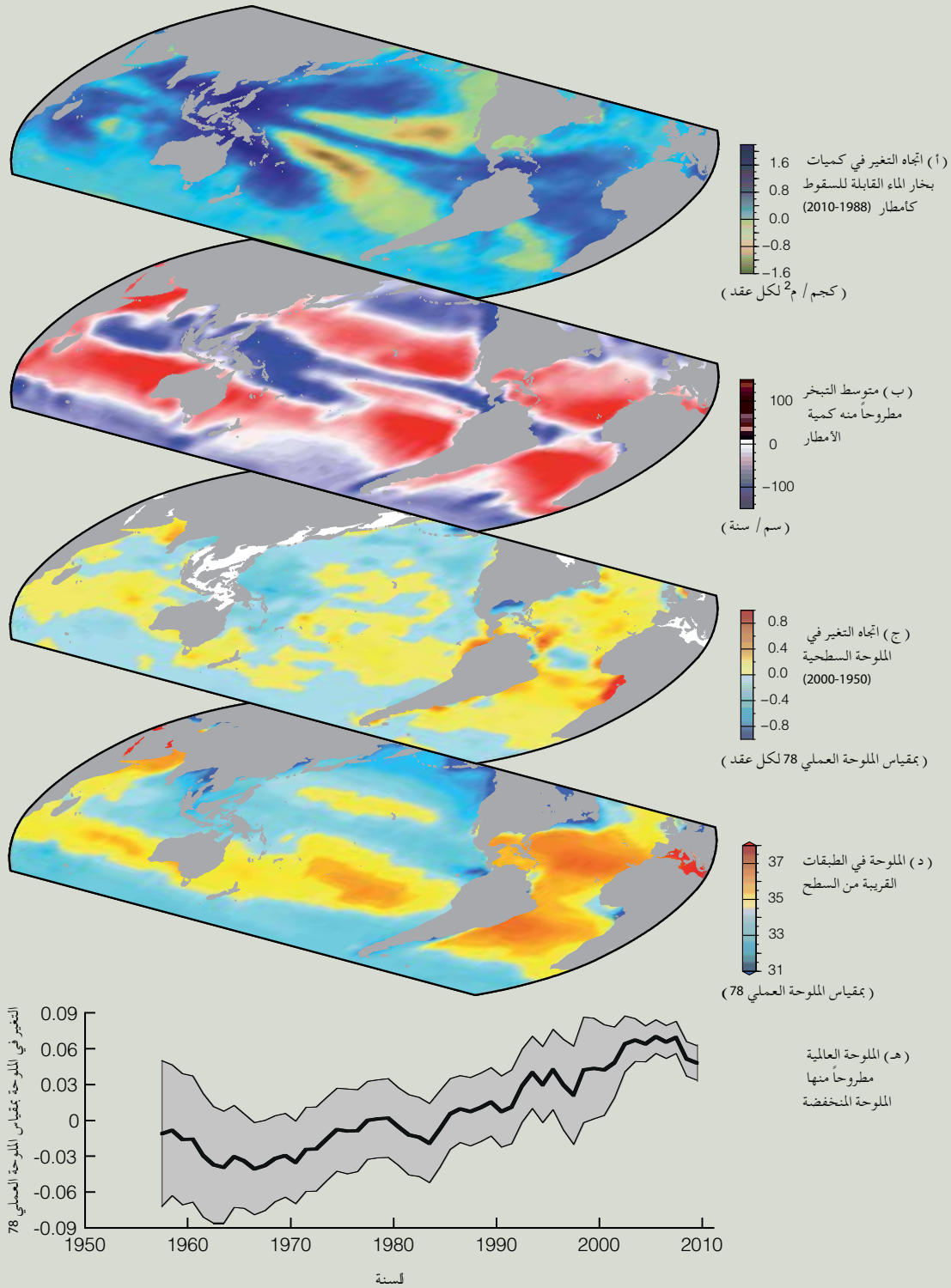


التغيرات خلال الفترة من 2003 إلى 2012 (مم ماء كل سنة)

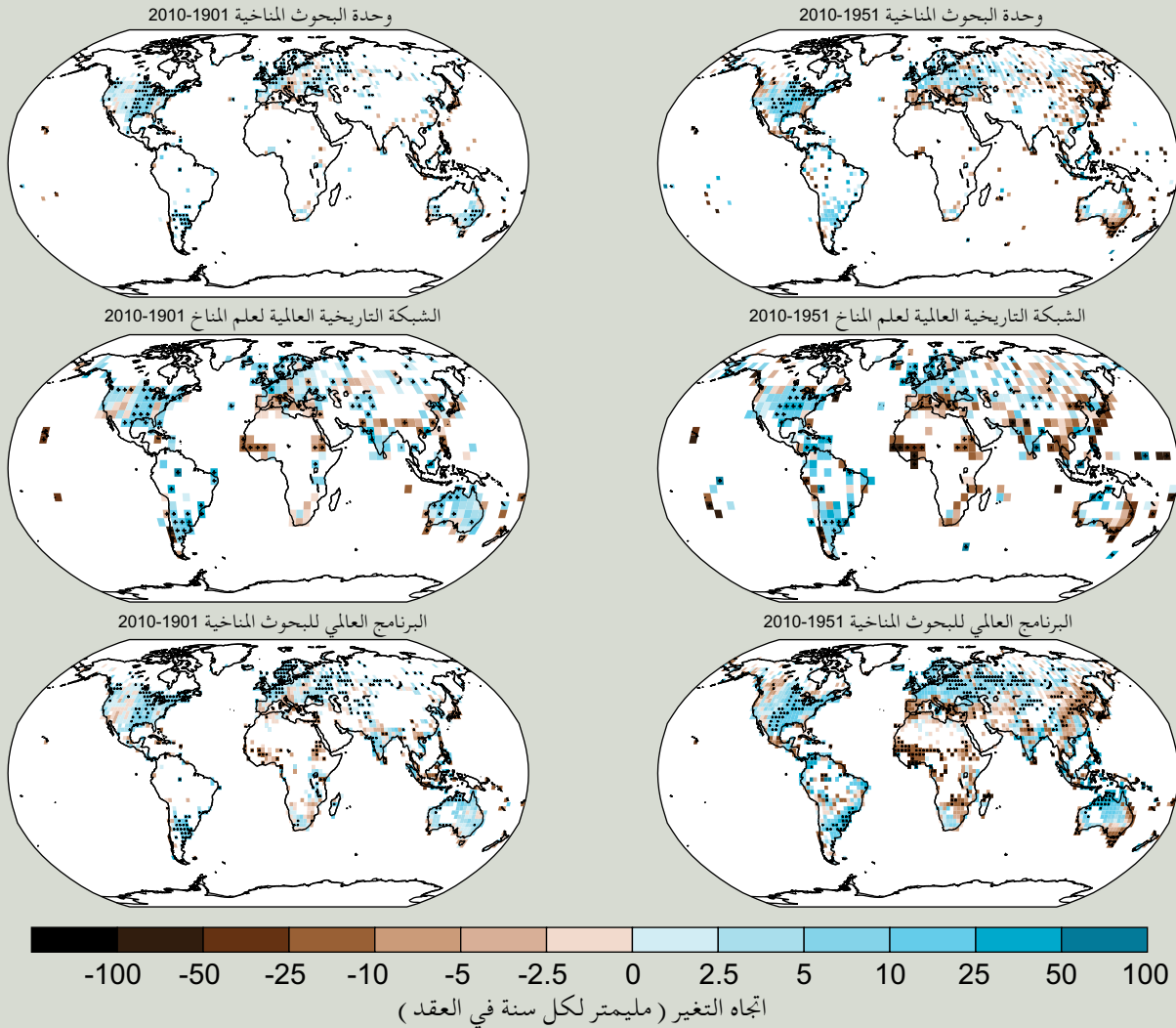


الشكل TS.3 | اللوحة العليا) توزيع فقدان الجليد المعين من تجربة استعادة الجاذبية والمناخ (GRACE) والمتغير الزمني للجاذبية لكل من (أ) القارة القطبية الجنوبية و (ب) غرينلاند، مبينا بالسنتيمترات من المياه لكل سنة (مم ماء/سنة) للفترة من 2003 إلى 2012. (اللوحة السفلى) تقييم الكمية الإجمالية للجليد المفقود من الأنهار الجليدية والصفائح الجليدية معبراً عنها بالكتلة (غيغاطن) والقيمة المكافئة في مستوى سطح البحر (مم). ولا يشمل إسهام الأنهار الجليدية الكتلة المفقودة من الصفائح الجليدية عند حواف تلك الصفائح. {4.3.4؛ الأشكال 4.12-4.14، 4.16، 4.17، 4.25}

8 100 غيغاطن كل سنة من الجليد المفقود تكافئ تغيراً قدره نحو 0.28 مم في السنة في مستوى سطح البحر.



TFE. 1 الشكل 1 ترتبط التغيرات في ملوحة سطح البحر بالأنماط الجوية للتبخير مطروحاً منها كمية الأمطار المتساقطة (E-P) واتجاهات التغير في إجمالي المياه القابلة للتساقط: (أ) اتجاه التغير الخططي (من 1988 إلى 2010) معبراً عنها بإجمالي الماء القابل للتساقط (الكمية الكاملة لبخار الماء بدءاً من سطح الأرض وشاملة كامل الغلاف الجوي) (كجم / م² / عقد من الزمان) مقياساً بالرصد من السواتل. (ب) صافي المتوسط المناخي للتبخير مطروحاً منه كمية الأمطار (سم / سنة) خلال الفترة من 1979 إلى 2005 محسوبين من بيانات إعادة تحليل الرصدات الجوية. (ج) اتجاهات التغير في الملوحة السطحية خلال الفترة 1950 إلى 2000 (مقياس الملوحة العملي 78 (PSS78) لكل 50 سنة). (د) المتوسط المناخي للملحمة السطحية (PSS78) (اللون الأزرق > 35؛ اللون الأصفر - اللون الأحمر < 35). (هـ) الفرق بين المتوسط العالمي للملحمة في المناطق التي تزيد فيها الملوحة السطحية عن المتوسط العالمي للملحمة سطح البحر (”ملوحة عالية“) ومتوسط الملوحة في المناطق التي تقل فيها تلك القيم عن المتوسط العالمي (”ملوحة منخفضة“). للاطلاع على تفاصيل مصادر البيانات، انظر الشكل 3.21 و 3.2 FAQ، الشكل 1. {3.9}



TFE.1، الشكل 2 | خرائط التغيير في كميات الأمطار المرصودة المساقطة على اليابسة خلال الفترة من 1901 إلى 2010 (اللوحات الموجودة إلى جهة اليسار)، ومن 1951 إلى 2010 (اللوحات الموجودة إلى جهة اليمين المأخوذة من وحدة البحوث المناخية (CRU)، والشبكة العالمية التاريخية لعلم المناخ (GHCN) ومجموعة بيانات المركز المناخي العالمي لتساقط الأمطار (GPCP). وقد حسبت اتجاهات التغيير في التراكم السنوي للمربعات الشبكية التي تزيد فيها نسبة السجلات الكاملة عن 70 في المائة وتزيد فيها إمكانية توفير البيانات عن 20 في المائة من العشريين الأول والأخير من الفترة فقط. وتشير المساحات البيضاء إلى بيانات غير كاملة أو غير متاحة. وتشير الإشارة (+) السوداء إلى المربعات الشبكية ذات التغييرات المهمة (بمعنى أن، اتجاه التغيير الصفري يقع خارج نطاق فترة الثقة البالغة 90 في المائة). وترد تفاصيل إضافية بشأن الشكل ذي الصلة SPM.2 في قسم المواد التكميلية من الملخص الفني. (2.5.1، 2.29)

ولا تدعم أحدث التحليلات وأكثرها شمولاً لسيح الأنهار الاستنتاج الوارد في تقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيير المناخ بأن السيح قد ازداد على الصعيد العالمي خلال القرن العشرين. وتشير النتائج الجديدة إلى أن استنتاجات تقرير التقييم الرابع بشأن اتجاهات تزايد حالات الجفاف على الصعيد العالمي منذ سبعينيات القرن الماضي لم تعد تحظى بالدعم. (2.5.2، 2.62)

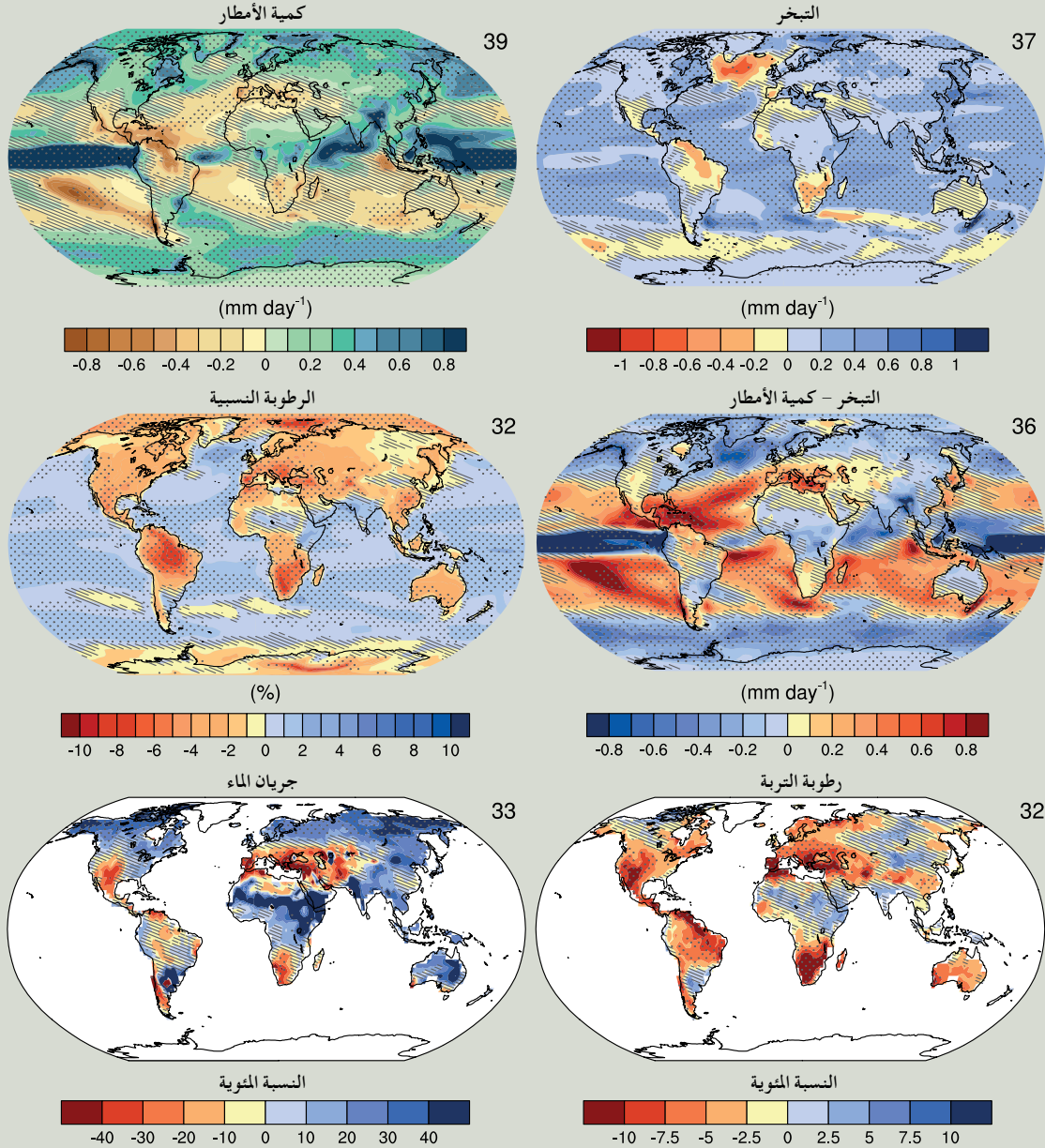
الإسقاطات المتعلقة بالتغيرات في المستقبل

من المتوقع أن تحدث تغييرات في الدورة المائية في مناخ الاحترار (TFE.1، الشكل 3، انظر أيضاً TS 4.6، TS 5.6، المرفق الأول). ومن المتوقع أيضاً حدوث زيادة تدريجية في كميات الأمطار على النطاق العالمي خلال القرن الحادي والعشرين. ويتوقع أن تكون الزيادة في كمية الأمطار أقل كثيراً (نحو 2 في المائة لكل درجة كلفن) من الزيادة في بخار الماء في التروبوسفير السفلي (نحو 7 في المائة لكل درجة كلفن)، نتيجة للقيود النشطة على الصعيد العالمي. ولن يكون التغيير في متوسط كميات الأمطار منتظماً في عالم أكثر احتراراً، إذا استشهد بعض المناطق سقوط كميات أكبر من الأمطار، بينما ستشهد مناطق أخرى نقصاناً في تلك الكميات أو عدم حدوث تغيير على الإطلاق. ومن المرجح أن تشهد الكتل الأرضية الموجودة عند خطوط العرض العالية سقوط كميات أكبر من الأمطار نتيجة لزيادة قدرة التروبوسفير الأكثر احتراراً على حمل كميات إضافية من الماء. ومن المرجح أن تشهد الكثير من المناطق الموجودة عند خطوط

العرض المتوسط والمناطق دون المدارية الجافة وشبه الجافة سقوط كميات أقل من الأمطار. ومن المتوقع أن تحدث أكبر التغيرات في كمية الأمطار فوق شمال أوراسيا وأمريكا الشمالية خلال فصل الشتاء. {12.4.5، المرفق الأول}

ولاتزال التوقعات على النطاق الإقليمي إلى العالمي لرطوبة التربة والجفاف غير مؤكدة نسبياً مقارنة بالجوانب الأخرى للدورة المائية. ومع ذلك، فإن الجفاف في مناطق البحر الأبيض المتوسط، وجنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية، والجنوب الأفريقي متسق مع التغيرات المتوقعة في دوران هادلي، ومن ثم، فإن من المرجح أن يصل الجفاف في هذه المناطق مع زيادة درجات الحرارة العالمية إلى العديد من درجات الاحترار في حالة مسار التركيز النموذجي (RCP8.5). ومن المرجح أن يحدث تناقص في حالات السيح في الجنوب الأوروبي والشرق الأوسط. ومن المرجح حدوث زيادة في السيح عند خطوط العرض الشمالية المرتفعة، وأن يكون متسقاً مع الزيادات المتوقعة في كميات الأمطار في تلك المناطق. {12.4.5}

المتوسط السنوي للتغير في الدورة المائية (مسار التركيز النموذجي RCP.8.5:2081-2100)



الشكل 3 | TFE. 1 متوسط التغيرات السنوية في كمية الأمطار (P)، والتبخّر (E)، والرطوبة النسبية، والتبخّر - سقوط الأمطار (E-P)، وسيح الماء ورطوبة التربة للفترة من 2081 إلى 2100 بالنسبة للفترة من 1986 إلى 2005 في إطار مسار التركيز النموذجي RCP8.5 (انظر الإطار TS.6). ويرد في الركن الأيمن العلوي من كل لوحة عدد النماذج المستخدمة في المرحلة 5 من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) لحساب المتوسط المتعدد النماذج. ويشير التخطيط إلى مناطق يقل فيها متوسط التغير المتعدد النماذج عن وحدة انحراف معياري واحدة من التقلبية الداخلية. ويشير التخطيط إلى مناطق يزيد فيها متوسط التغير المتعدد النماذج إلى أكبر من وحدتين من وحدات الانحراف المعياري للتقلبية الداخلية ويحدث فيها اتفاق لـ 90 في المائة من النماذج بشأن إشارة التغير (انظر الإطار 12.1). {الأشكال 12.25-12.27}

التقديرات المستقاه من طرائق مختلفة تشير بثقة عالية إلى أن مستوى سطح البحر لم يتجاوز +20 م خلال أذفا فترات حقب البليوسين، نتيجة لانصهار جليد الصفائح الجليديتين في غرينلاند وغرب القارة القطبية الجنوبية والمناطق التي تغطيها الصفائح الجليدية لشرفي القارة القطبية الجنوبية. (13.2، 5.6، 1)

وهناك ثقة عالية بدرجة كبيرة في أن القيمة القصوى لمتوسط المستوى العالمي لسطح البحر (GMSL)، خلال آخر مرحلة بين جليدية (من 129 إلى 116 ألف سنة قبل الآن)، والتي استمرت لآلاف عديدة من السنين، كانت أعلى بمقدار 5 أمتار على الأقل مما هي عليه في الوقت الراهن، وثقة عالية في أنه لم يتجاوز 10 أمتار فوق المستوى الحالي، مما يعني وجود إسهامات كبيرة من الصفائح الجليديتين لغرينلاند والقارة القطبية الجنوبية. وقد حدث هذا التغيير في مستوى سطح البحر في سياق تأثير مداري قسري مختلف ودرجة حرارة سطحية عند خطوط العرض العالية، حسب متوسطها على مدى آلاف عديدة من السنين؛ أذفا بدرجتين مؤويتين على الأقل من درجة الحرارة الآن (ثقة عالية). واستنادا إلى عمليات محاكاة باستخدام نموذج الصفائح الجليدية متسقة مع التغييرات المستنبطة من عينات جليدية جديدة مأخوذة من غرينلاند، من المرجح بدرجة كبيرة أن الصفائح الجليدية لغرينلاند أسهمت بمقدار يكافئ 1.4 م و 4.3 أمتار في مستوى سطح البحر، مما يعني بثقة متوسطة إسهام الصفائح الجليدية للقارة القطبية الجنوبية في متوسط المستوى العالمي لسطح البحر، خلال آخر مرحلة بين جليدية. (13.2، 5.6، 2، 3، 4)

وتبين البيانات غير المباشرة والبيانات المأخوذة بواسطة الأجهزة الآلية لمستوى سطح البحر في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين حدوث تحول في الارتفاع بمتوسط معدلات ارتفاع منخفضة نسبيا على مدى الألفيتين السابقتين إلى معدلات ارتفاع عالية (ثقة عالية). (13.2، 5.6، 3، 7، 4)

وارتفع متوسط المستوى العالمي لسطح البحر (GMSL) بمقدار 0.19 م [من 0.17 إلى 0.21] م، مقدرا من اتجاه تغيير خطي على مدى الفترة من 1901 إلى 2010، استنادا إلى سجلات قياس المد والجزر وبيانات ساتلية إضافية تسجل منذ عام 1993. ومن المرجح بدرجة كبيرة أن قيمة متوسط معدل الارتفاع في مستوى سطح البحر زاد بمقدار 1.7 م [من 1.5 إلى 1.9] م كل سنة خلال الفترة من 1901 إلى 2010. وفيما بين 1993 و 2010، من المرجح بدرجة كبيرة أن المعدل كان أعلى من 3.2 م [من 2.8 إلى 3.6] م كل سنة؛ وبالمثل، من المرجح أن المعدلات العالية حدثت فيما بين عامي 1920 و 1950. ومن المرجح أن معدل الارتفاع في متوسط المستوى العالمي لسطح البحر قد زاد منذ أوائل العقد الأول من القرن الماضي بتقديرات تتراوح بين 0.000 م [من -0.002 إلى 0.002] إلى 0.013 م [من -0.007 إلى 0.019] م كل سنة. (13.2، 5.6، 3، 7، 4)

TS.2.7 التغييرات في الظواهر المتطرفة

TS.2.7.1 الغلاف الجوي

بصفة عامة، تدعم التحليلات الحديثة للظواهر المتطرفة الاستنتاجات الواردة في تقرير التقييم الرابع وفي استنتاجات إدارة مخاطر الظواهر المتطرفة والكوارث لتعديل التكيف مع تغيير المناخ (SREX) (للاطلاع على التقييم المؤلف، انظر TFE.9، وبصفة خاصة TFE.9، الجدول 1). ومن المرجح بدرجة كبيرة أن عدد الأيام والليالي الباردة قد انخفض وأن عدد الأيام والليالي الحارة قد ارتفع على النطاق العالمي فيما بين عامي 1951 و 2010. وثمة ثقة متوسطة على النطاق العالمي في أن طول وتواتر الفترات الدافئة، بما في ذلك موجات الحرارة قد ارتفع منذ منتصف القرن العشرين، وأن ذلك يرجع في معظمه إلى نقص البيانات أو الدراسات في أفريقيا وأمريكا الجنوبية. ومع ذلك، فإن من المرجح أن تواتر حدوث موجات الحرارة قد ارتفع على مدى هذه الفترة في أجزاء كبيرة من أوروبا، وآسيا، وأستراليا. (2.6، 1؛ الجدولان 2.12، 2.13)

ومن المرجح أن عدد ظواهر سقوط أمطار غزيرة على اليابسة منذ عام 1950 تقريباً قد زاد في مناطق أكثر من تلك التي نقص فيها. وتصل الثقة إلى أعلى حد لها بالنسبة لأمريكا الشمالية وأوروبا، حيث إن من المرجح أنه حدثت زيادات في تواتر أو شدة الأمطار الغزيرة مع بعض التغييرات الموسمية والإقليمية. ومن المرجح بدرجة كبيرة أنه كانت هناك تغيير باتجاه سقوط أمطار أكثر غزارة في وسط أمريكا الشمالية. (2.6، 2؛ الجدول 2.13)

وثمة ثقة عالية في أن الصفائح الجليدية للمنطقة القطبية الجنوبية فقدت جليداً خلال العقدين الأخيرين (الشكل TS.3). وهناك ثقة عالية بدرجة كبيرة في أن هذا الفقدان يحدث أساساً في شمالي شبه الجزيرة القطبية الجنوبية وقطاع بحر أمندسن في غرب القارة القطبية الجنوبية وثقة عالية في أن ذلك ينشأ من تسارع مصبات الأنهار الجليدية. ومن المرجح أن المعدل المتوسط لفقدان الجليد من القارة القطبية الجنوبية قد زاد من 30 [من -37 إلى 97] غيغاطن في السنة (تكافئ تغييراً في مستوى سطح البحر مقداره 0.08 م [من -0.10 إلى 0.27] م في السنة) على مدى الفترة من 1992 إلى 2001، إلى 147 م [من 72 إلى 221] غيغاطن في السنة على مدى الفترة من 2002 إلى 2011 (0.40 م [من 0.20 إلى 0.61] م في السنة). (4.4، 3، 4، 2)

وهناك ثقة عالية في أن الأرفف الجليدية الطافية في القارة القطبية الجنوبية تشهد تغييرات كبيرة. وثمة ثقة متوسطة في أن سمك الأرفف الجليدية يتناقص في منطقة بحر أمندسن في غرب القارة القطبية الجنوبية، وثقة منخفضة في أن هذا يرجع إلى التدفق الحراري في أعالي المحيط. وثمة ثقة عالية في أن الأرفف الجليدية حول شبه جزيرة القارة القطبية الجنوبية تواصل اتجاهها طويل الأجل من التراجع والانهيال الجزئي الذي بدأ منذ عقود. (4.4، 5، 4، 2)

TS.2.5.5 الغطاء الثلجي، وجليد المياه العذبة، والأراضي المتجمدة

هناك ثقة عالية بدرجة كبيرة في أن رقعة الغطاء الثلجي قد تناقصت في نصف الكرة الشمالي وبخاصة في الربيع (الشكل TS.1). وتبين السجلات الساتلية أن من المرجح بدرجة كبيرة أن رقعة الغطاء الثلجي قد تراجعت على مدى الفترة من 1967 إلى 2012؛ وأن أكبر تغيير هو -53 في المائة [من -40 إلى -66] في المائة حدث في شهر حزيران/يونيو. ولا يوجد شهر حدثت فيه زيادات إحصائية ملموسة. وعلى مدى الفترة الأطول الممتدة من سنة 1922 إلى 2012، تتوفر بيانات عن شهري آذار/مارس ونيسان/أبريل فقط، ولكن هذه البيانات تظهر أن من المرجح بدرجة كبيرة أنه حدث انخفاض بنسبة 7 في المائة [من 4.5 إلى 9.5] في المائة ومضاهاه سلبية (-0.76) مع الفترة من آذار/مارس إلى نيسان/أبريل في النطاق من 40° شمالاً إلى 60° شمالاً في درجة حرارة اليابسة. أما في نصف الكرة الجنوبي، فإن الأدلة المتاحة غير كافية للتوصل إلى استنتاج بشأن ما إذا كانت قد حدثت تغييرات بالفعل. (4.5، 3، 4، 5، 2)

وارتفعت درجات حرارة التربة الدائمة التجمد في معظم المناطق حول العالم منذ أوائل ثمانينيات القرن الماضي (ثقة عالية). وحدثت هذه الارتفاعات استجابة لارتفاع درجة حرارة الهواء وللتغيرات في توقيت تكون الغطاء الثلجي وسمكه (ثقة عالية). وكان الارتفاع في درجة حرارة التربة الدائمة التجمد الأكثر برودة أكبر بصفة عامة منه في التربة الدائمة التجمد الأذفا (ثقة عالية). (4.7، 2؛ الجدول 4.8)

TS.2.6 التغييرات في مستوى سطح البحر

تتمثل الإسهامات الرئيسية للتغيرات في حجم الماء في المحيط في تمدد مياه المحيط مع ارتفاع درجة حرارتها وانتقال المياه المختزنة حالياً على اليابسة إلى المحيط، وبخاصة من الأنهار الجليدية والصفائح الجليدية. كما يؤثر احتجاز الماء في المستودعات ونضوب المياه الجوفية (وجريانها بعد ذلك إلى المحيط) في الارتفاع النسبي لمستوى سطح البحر. والتغير في مستوى سطح البحر بالنسبة إلى اليابسة (المستوى النسبي لسطح البحر) يمكن أن يختلف اختلافاً كبيراً عن متوسط المستوى العالمي لسطح البحر (GMSL) نتيجة لما يحدث من تغييرات في توزيع الماء في المحيط، والحركة الرأسية لليابسة، والتغيرات في مجال الجاذبية للأرض. للاطلاع على استعراض عام للمفاهيم العلمية ولأوجه عدم التيقن المرتبطة بالتغير المعاصر (والمسقط) في مستوى سطح البحر، انظر TFE.2. (13.1، 3، 7، 3)

وخلال الفترات الدافئة في منتصف حقب البليوسين (من 3.0 إلى 3.0 ملايين سنة قبل الآن) في وجود ثقة متوسطة في أن المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST) كانت أذفا بمقدار يتراوح بين 1.9 درجة مئوية و 3.6 درجات مئوية من مناخ عصر ما قبل الصناعة، وكانت مستويات تركيز ثاني أكسيد الكربون (CO2) تتراوح بين 350 و 450 جزءاً في المليون، وتوجد ثقة عالية في أن مستوى المتوسط العالمي لسطح البحر (GMSL) كان أعلى من المستوى الحالي، مما يعني نقصاناً في حجم الصفائح الجليدية القطبية. وأفضل

2.TFE | التغيير في مستوى سطح البحر: الفهم العلمي وأوجه عدم التيقن

بعد آخر فترة جليدية قصوى، وصل متوسط المستويات العالمية لسطح البحر (GMSLs) إلى قيم قريبة من القيم الحالية قبل آلاف عديدة من السنين. ومنذ ذلك الحين، يكاد يكون من المؤكد أن معدل ارتفاع مستوى سطح البحر قد ارتفع من المعدلات المنخفضة للتغير في مستوى سطح البحر خلال حقبة الهولوسين (في حدود عشرات المليمترات في السنة) إلى معدلات القرن العشرين (في حدود مليمترات في السنة، الشكل 1.TS). {3.7، 5.6، 13.2}

والتمدد الحراري للمحيط ونقصان كتلة الأنهار الجليدية هما العنصران الرئيسيان اللذان أسهما في ارتفاع المتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر (GMSL) خلال القرن العشرين (ثقة عالية). ومن المرجح بدرجة كبيرة أن ارتفاع درجة حرارة المحيط قد أسهم بمقدار 0.8 [من 0.5 إلى 1.1] مم سنويا في تغير مستوى سطح البحر خلال الفترة من 1971 إلى 2010، مع حدوث غالبية الإسهام من الـ 700 متر العليا. ومتوسط المستوى المعتمد على النماذج للتمدد الحراري للمحيط خلال الفترة من 1971 إلى 2010 قريب من القيم المرصودة. {3.7، 13.3}

وتبين الرصدات، المقترنة بطرائق تحليل محسنة أن قيمة الإسهام العالمي للأنهار الجليدية (باستثناء تلك الموجودة عند حواف غرينلاند والقارة القطبية الجنوبية) في مستوى سطح البحر تراوحت بين 0.25 و 0.99 مم كل سنة من القيمة المكافئة لمستوى سطح البحر خلال الفترة من 1971 إلى 2010. وتنشأ الثقة المتوسطة في نماذج التوازن العالمي في كتلة الأنهار الجليدية المستخدمة في عمل إسقاطات للتغير في فهم توازن الكتلة عند أسطح تلك الأنهار، والتوافق بين الرصدات ونماذج محاكاة التغير في الأنهار الجليدية، والأدلة على أن محاكاة الدوران العام للغلاف الجوي - المحيط (AOGCM) بواسطة النماذج يمكن أن توفر مدخلات واقعية للمناخ. وتظهر المحاكاة باستخدام البيانات المناخية المرصودة معدلا أعلى لفقدان الكتلة من الأنهار الجليدية خلال ثلاثينيات القرن الماضي مقارنة بالمحاكاة باستخدام مدخلات نموذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيط (AOGCM)، وربما يكون هذا ناتجا عن أن فترة احتراق غرينلاند مرتبطة بتقلبية مناخية إقليمية غير قسرية. {4.3، 13.3}

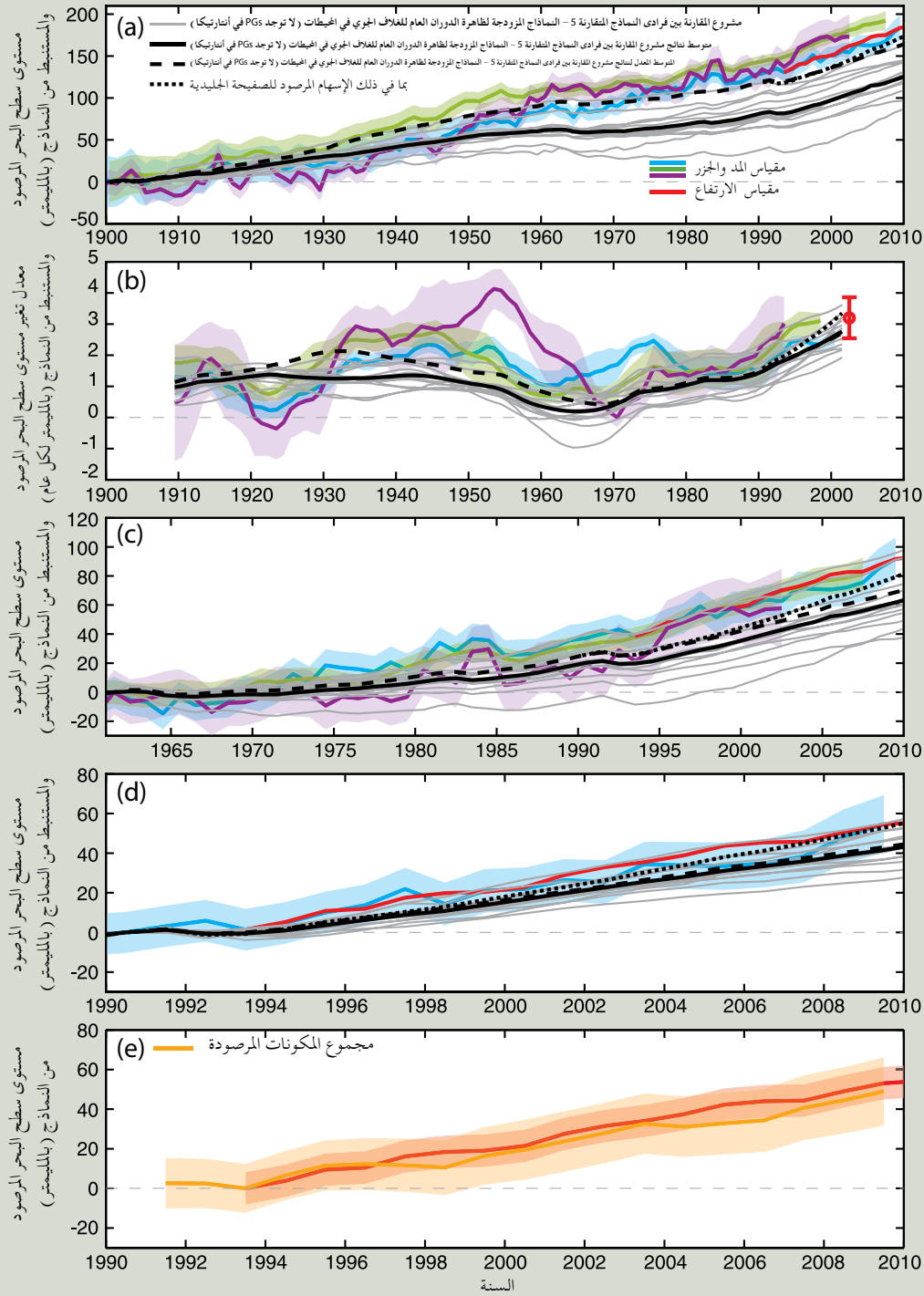
وتبين المشاهدات أن من المرجح بدرجة كبيرة أن الصفيحة الجليدية لغرينلاند قد تعرضت لفقدان صاف في الكتلة نتيجة لتزايد انصهار الجليد وجريان الماء عند السطح، ولتزايد تصريف الجليد على مدى العقدين الماضيين (الشكل 3.TS). وتبين نماذج المناخ الإقليمي أن التوازن الكتلي للصفيحة الجليدية لغرينلاند لم يظهر أي اتجاه تغير ملموس خلال الفترة الممتدة من ستينيات القرن الماضي إلى ثمانينياته، غير أنه حدثت زيادة في انصهار الجليد وفي جريان الماء الناتج من الانصهار منذ أوائل التسعينيات من القرن الماضي. ويرتبط اتجاه التغير هذا باحتراق إقليمي واضح، يمكن أن يعزى إلى التأثير المزدوج لتقلبية إقليمية شاذة خلال السنوات الأخيرة وتغير مناخي ناشئ عن الأنشطة البشرية. وتستند الثقة العالية في إسقاطات الاحتراق في غرينلاند في المستقبل وزيادة الانصهار السطحي إلى توافقات نوعية بين النماذج في إسقاط احتراق مضخم عند خطوط العرض الشمالية العالية لأسباب فيزيائية مفهومة بصورة جيدة. {4.4، 13.3}

وثمة ثقة عالية في أن الصفيحة الجليدية للقارة القطبية الجنوبية تمر الآن بحالة من الفقدان الصافي للكتلة وأن من المرجح أن إسهامها في مستوى سطح المحيط قد زاد على مدى العقدين الأخيرين. ولوحظ أن هناك تسارعا في تصريف الجليد منذ التسعينيات من القرن الماضي، وبخاصة في قطاع بحر أمندسن في غرب القارة القطبية الجنوبية. والتقلبية فيما بين السنوات في التراكم كبيرة، ونتيجة لذلك لا يوجد حاليا اتجاه تغير ملموس في التراكم منذ 1979، سواء في النماذج أو في الرصدات. والانصهار السطحي في القارة القطبية الجنوبية حاليا ضعيف. {4.4، 13.3}

والتقديرات المستندة إلى النماذج للتغيرات المناخية المتعلقة بتخزين الماء على اليابسة (في شكل غطاء ثلجي، ومياه سطحية، ورطوبة في التربة، ومياه جوفية) تبين عدم وجود إسهامات طويلة الأجل ملموسة في مستوى سطح البحر خلال العقود الأخيرة. ومع ذلك، فإن كلا من التغيرات البشرية المنشأ (احتجاز الماء في المستودعات، ونضوب المياه الجوفية) قد أسهم في تغيير مستوى سطح البحر بعدة عشرات من المليمترات سنويا، على الأقل. كما أن تأثير احتجاز الماء في المستودعات تجاوز تأثير نضوب المياه الجوفية خلال الجزء الأكبر من القرن العشرين ولكن معدل نضوب المياه الجوفية تزايد وأصبح يتجاوز الآن معدل الاحتجاز. ومن المقدر أن إسهامهما الصافي المشترك معا خلال القرن العشرين سيكون ضعيفا. {13.3}

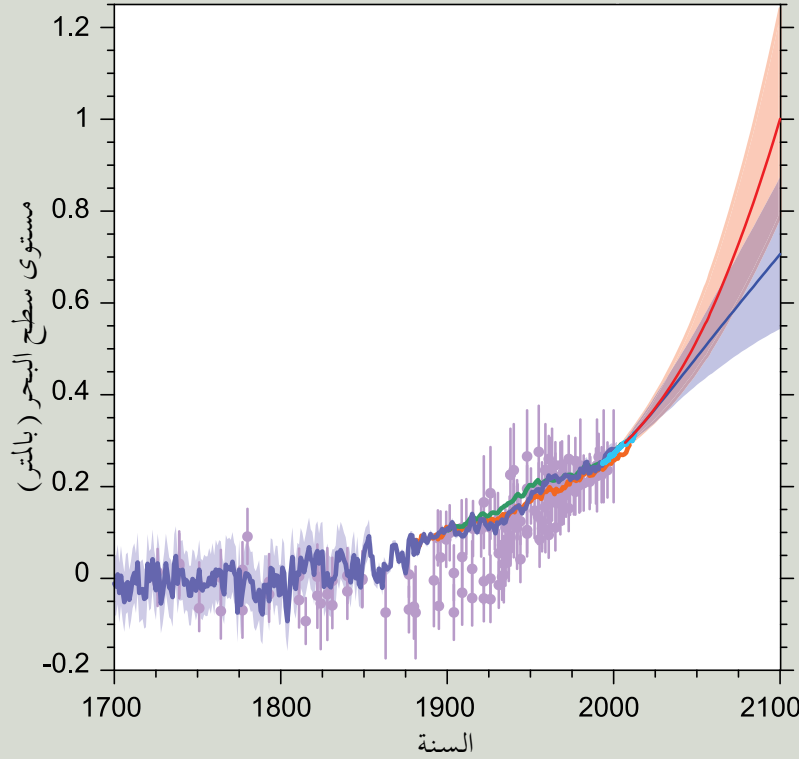
وثمة اتفاق بين الارتفاع الملاحظ في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) خلال الفترة من 1993 إلى 2010 ومجموع الإسهامات المقدرة من خلال الملاحظة (2.TFE، الشكل 1 هـ). ويمثل إغلاق ميزانية الملاحظات للفترات الأخيرة في نطاق أوجه عدم التيقن تقدما ملموسا منذ تقديم تقرير التقييم الرابع للهيئة IPCC في الفهم الفيزيائي لأسباب التغير في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر في الماضي، كما يوفر أساسا محسنا للتقييم البالغ الأهمية لنماذج هذه الإسهامات من أجل تقييم إمكانية التعويل عليها في إعداد الإسقاطات. {13.3}

ويمثل مجموع التمدد الحراري للمحيطات وإسهامات الأنهار الجليدية المحسوبة باستخدام النماذج والتغير المقدر في تخزين المياه على اليابسة (وهو ضعيف نسبيا) نحو 65 في المائة من ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر الملاحظ خلال الفترة من 1901 إلى 1990، و 90 في المائة خلال الفترتين من 1971 إلى 2010 و من 1993 إلى 2010 (2.TFE، الشكل 1). ويعد إدراج الإسهامات الطويلة الأجل الصغيرة من الصفائح الجليدية والنقص الكبير المحتمل لفقدان الكتلة من الأنهار الجليدية خلال ثلاثينيات القرن الماضي بسبب التقلبية غير القسرية في المناخ، يصبح مجموع الإسهام الناتج من استخدام النماذج قريبا من الارتفاع المشاهد. وتؤدي إضافة الإسهام المشاهد للصفائح الجليدية منذ عام 1993 إلى زيادة تحسين التوافق بين ارتفاع مستويي سطح البحر المشاهد والمستنبط من النماذج (2.TFE، الشكل 1). وتوفر الأدلة المتاحة الآن تفسيراً أوضح من التفسير الوارد في التقييمات السابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ للتغير في مستوى سطح البحر خلال القرن العشرين. {13.3}



الشكل 2 | 1 (أ) مستوى سطح البحر المرصود والمستنبط من النماذج خلال الفترة من 1900 إلى 2010. (ب) معدلات التغير في مستوى سطح البحر خلال الفترة نفسها، مع تمثيل بيانات الارتفاع المقيسة بالسواحل كمنطقة حمراء. (ج) مستوى سطح البحر المرصود والمستنبط من النماذج خلال الفترة من 1961 إلى 2010. (د) مستوى سطح البحر المرصود والمستنبط من النماذج خلال الفترة من 1990 إلى 2010. وتضمن اللوحة (هـ) مقارنة بين مجموعة الإسهامات المرصودة (باللون البرتقالي) ومستوى سطح البحر المرصود المعين بمقياس الارتفاع بواسطة مصادر ساتلية (باللون الأحمر). وترد قيم المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) المأخوذة من مصادر مختلفة، وفيها يبين التظليل تقديرات عدم التيقن (لاثنين من الانحرافات المعيارية). وتظهر بيانات الارتفاع المقيسة بالسواحل منذ عام 1993 باللون الأحمر. وتمثل الخطوط الرمادية في اللوحات من (أ) إلى (د) مجاميع الإسهامات الناتجة من نماذج التمدد الحراري للمحيط والأنهار الجليدية (باستثناء الأنهار الجليدية الموجودة عند حواف الصفائح الجليدية للقارة القطبية الجنوبية)، مضافا إليها التغيرات في تخزين الماء على اليابسة (انظر الشكل 13.4). ويمثل الخط الأسود متوسط الخطوط الرمادية مضافا إليها تصويب لقيمة التمدد الحراري ناتج من عدم إدراج القسور البركاني في نموذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيط (AOGCM) في التجربة المرجعية للنموذج (انظر القسم 13.3.1). ويمثل الخط الأسود المتقطع (متوسط النموذج المعدل) مجموع التمدد الحراري لمتوسط النموذج المعدل، والتغير في التخزين على اليابسة، وتقدير الأنهار الجليدية باستخدام المناخ المرصود (وليس باستخدام النماذج) (انظر الشكل 13.4)، والإسهام التوضيحي الطويل الأجل لصفائح جليدية (البالغ 0.1 مم/سنة). ويمثل الخط المنقط الأسود متوسط النموذج المعدل، ولكنه يشمل الآن الإسهامات المرصودة لصفائح الجليدية التي بدأت في 1993. ولأن التقديرات الملاحظة للصفائح الجليدية تشمل الأنهار الجليدية الموجودة عند حواف الصفائح الجليديتين لغرينلاند والقارة القطبية الجنوبية (من القسم 4.4)، فإن إسهام الأنهار الجليدية في متوسط النموذج المعدل لا يشمل الأنهار الجليدية الموجودة عند الحواف، لتجنب احتسابها مرتين. (الشكل 13.7؛ القسم 4.4)؛

وعند معايرة النماذج الدينامية بصورة سليمة للصفائح الجليدية المحسنة مؤخراً، فإنها يمكن أن تعيد إنتاج التغيرات السريعة المشاهدة في التدفق من الصفائح الجليدية لفرادى نظم الأنهار الجليدية (مثل، النهر الجليدي لجزيرة باين في القارة القطبية الجنوبية؛ ثقة متوسطة). غير أن نماذج استجابة الصفائح الجليدية للاحتراق العالمي، وبخاصة للتفاعلات بين الصفائح الجليدية والمحيط غير مكتملة، كما أن إغفال نماذج الصفائح الجليدية، وبخاصة ديناميتها، من ميزانيات النماذج السابقة يعني أنها لم تقيّم التقييم الحاسم الذي أُجري للإسهامات الأخرى. {13.3، 13.4}



TFE.2، الشكل 2 | تجميع البيانات القديمة لمستوى سطح البحر (اللون الأرجواني)، وبيانات مقاييس المد والجزر (الأزرق والأحمر والأخضر)، وبيانات مقياس الارتفاع (الأزرق الفاتح)، والتقديرات المركزية والنطاقات المرجحة للإسقاطات المتعلقة بارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر المستمد من اقتران (CMIP5) والنماذج القائمة على العمليات لسيناريوهات المسار RCP2.6 (اللون الأزرق) والمسار RCP8.5 (اللون الأحمر)، وجميعها منسوبة إلى قيم عصر ما قبل الصناعة. {الشكل 13.3، 13.11، 13.27}

ومن المرجح أن يكون الارتفاع في المتوسط العالمي لسطح البحر (GMSL) للفترة من 2081 إلى 2100 (بالنسبة إلى الفترة من 1986 إلى 2005) مسارات التركيز النموذجية في النطاق من 5 إلى 95 في المائة المستنبط من المرحلة 5 من الإسقاطات المناخية لمشروع المقارنة البيئية للنماذج المتقارنة بالاقتران مع النماذج المستندة إلى العمليات للإسهامات الأخرى (ثقة متوسطة)، أو من 0.26 إلى 0.55 م (RCP2.6)، ومن 0.32 إلى 0.63 م (RCP4.5)، ومن 0.33 إلى 0.63 م (RCP6.0)؛ ومن 0.45 إلى 0.82 م (RCP8.5) م (للاطلاع على قسم مسارات التركيز النموذجية، انظر الجدول TS.1 والشكل TS.15). وبالنسبة إلى المرحلة RCP8.5، يتراوح المعدل في 2100 من 0.52 إلى 0.98 م. وتنتج الثقة في النطاقات المرجحة المسقط من اتفاق النماذج القائمة على العمليات مع الرصدات والفهم الفيزيائي. وتشير التقديرات إلى عدم وجود أدلة كافية حالياً لتقييم احتمال وجود مستويات معينة فوق النطاق المرجح. واستناداً إلى الفهم القائم حالياً، وإذا بدأ انهيار قطاعات الصفيحة الجليدية للقارة القطبية الجنوبية الموجودة فوق البحر فقط، فإنه يمكن أن يسبب ارتفاعاً كبيراً في متوسط المستوى العالمي لسطح البحر (GMSL) يتجاوز النطاق المرجح خلال القرن الحادي والعشرين. وليس هناك توافق في الآراء بشأن احتمال حدوث هذا الانهيار، كما أنه يتعذر تعيين المقدار الإضافي المحتمل لارتفاع متوسط المستوى العالمي لسطح البحر بدقة، غير أن هناك ثقة متوسطة في أنها لن تتجاوز عدة أعشار من المتر في ارتفاع سطح البحر خلال القرن الحادي والعشرين. ويكاد يكون من المؤكد أن الارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر سوف يستمر بعد سنة 2100. {13.5.1، 13.5.3}

وتزيد إسقاطات الكثير من النماذج شبه الأمبيريقية للارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر GMSL عن إسقاطات النماذج القائمة على العمليات، غير أنه لا يوجد توافق في الآراء في المجتمع العلمي بشأن إمكانية التعويل عليها، ومن ثم هناك ثقة منخفضة في إسقاطاتها. {13.5.2، 13.5.3}

يجمع الشكل 2 في TFE.2، المشاهدات القديمة، ورصدات مقاييس المد والجزر، ورصدات ارتفاع سطح البحر منذ عام 1700 والتغير المسقط في المتوسط العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر (GMSL) حتى العام 2100. {13.5، 13.7، 13.8}

وثمة ثقة عالية بدرجة كبيرة في أن المعدلات الحالية لزيادة التركيزات الجوية لثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز والزيادات المقترنة بها في القسور الإشعاعي هي معدلات غير مسبوق في أن لها أعلى استبانة في سجلات العينات الجليدية خلال الـ 22 ألف سنة الماضية. وهناك ثقة متوسطة في أن معدل التغيير المرصود في زيادة تركيز غازات الاحتباس الحراري غير مسبوق أيضاً إذا ما قورن بالاستبانة المنخفضة لسجلات الـ 800 ألف سنة الماضية. {2.2.1، 2.2.2} {5.2.2}

وهناك ثقة متوسطة في أن عدداً من الفترات التي اتسمت بوجود تركيزات عالية لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، شهدت متوسطاً عالمياً لدرجة الحرارة كان أعلى بدرجة ملحوظة من التركيز الذي كان سائداً في عصر ما قبل الصناعة. وخلال منتصف حقبة البليوسين (قبل 3.3 إلى 3.0 ملايين سنة)، تراوح تركيز ثاني أكسيد الكربون الجوي بين 350 و450 جزء في المليون (ثقة متوسطة) عندما كان المتوسط العالمي للتغير في درجة الحرارة السطحية (GMST) أدفاً بمقدار يتراوح بين 1.9 درجة مئوية و 3.6 درجات مئوية (ثقة متوسطة) منه في مناخ عصر ما قبل الصناعة. وخلال الفترات الأولى من حقبة الأيوسين (قبل 52 مليون سنة إلى 48 مليون سنة)، تجاوز تركيز ثاني أكسيد الكربون الجوي نحو 1000 جزء في المليون عندما كان التغيير في المتوسط العالمي لدرجة حرارة سطح الأرض أعلى من الظروف التي كانت سائدة في عصر ما قبل الصناعة بمقدار يتراوح بين 9 درجات مئوية و 14 درجة مئوية (ثقة متوسطة). {5.3.1}

TS.2.8.1 ثاني أكسيد الكربون

قدرت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري وإنتاج الأسمنت، فيما بين عامي 1750 و 2011، من إحصاءات استخدام الطاقة والوقود بنحو 375 [من 345 إلى 405] بيتاغرام من الكربون⁹. وفي الفترة من 2002 إلى 2011، بلغ متوسط الانبعاثات المنطلقة من الوقود الأحفوري وصنع الأسمنت 8.3 [من 7.6 إلى 9.0] بيتاغرام من الكربون سنوياً (ثقة عالية)، بمتوسط معدل نمو يبلغ 3.2 في المائة سنوياً (الشكل TS.4). ويزيد هذا المعدل لزيادة انبعاثات الوقود الأحفوري عن المعدل الذي كان سائداً خلال تسعينيات القرن الماضي (1.0 في المائة سنوياً). وفي 2011، بلغت الانبعاثات الصادرة من الوقود الأحفوري 9.5 [من 8.7 إلى 10.3] بيتاغرام من الكربون. {2.2.1، 6.3.1؛ الجدول 6.1}

قدر أن التغيير في استخدامات الأراضي (إزالة الأحراج أساساً)، فيما بين عامي 1750 و 2011، المستنبط من بيانات رقعة الأراضي والنمذجة، أدى إلى إطلاق 180 (من 100 إلى 260) بيتاغرام من الكربون. وسادت الانبعاثات الناجمة عن إزالة الأحراج المدارية التغيير في استخدامات الأراضي فيما بين عامي 2002 و 2011، والذي يقدر بنحو 0.9 [من 0.1 إلى 1.7] بيتاغرام من الكربون سنوياً (ثقة متوسطة)، مع إمكانية حدوث انخفاض طفيف من بداية تسعينيات القرن الماضي نتيجة لانخفاض مساحة الغابات المبلغ عن فقدانها خلال ذلك العقد. ويشمل هذا التقدير الانبعاثات الإجمالية الناتجة عن إزالة الأحراج البالغة 3 بيتاغرام من الكربون سنوياً والتي تحتاج معادلتها إلى إعادة زراعة نحو 2 بيتاغرام من الكربون في الأراضي الزراعية المهجورة في بعض المناطق. {6.3.2؛ الجدول 6.2}

ومن الـ 555 [من 470 إلى 640] بيتاغرام كربون من انبعاثات الوقود الأحفوري واستخدامات الأراضي التي تم إطلاقها في الغلاف الجوي خلال الفترة من 1750 إلى 2011، تراكم في الغلاف الجوي 240 [من 230 إلى 250] بيتاغرام من الكربون، وذلك وفقاً لتقدير أجري بدقة عالية للغاية من الزيادة المرصودة في تغيير تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من 278 [من 273 إلى 283] جزء في المليون¹⁰ في عام 1750 إلى 390.5 [من 390.4 إلى 390.6] جزء في المليون في عام 2011. وزادت كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بمقدار 4.0 [من 3.8 إلى 4.2] بيتاغرام

وثمة ثقة منخفضة في اتجاهات التغيير المشاهدة على النطاق العالمي في الجفاف أو قلة الأمطار (شحة الأمطار)، نتيجة للافتقار إلى رصدات مباشرة واعتماد اتجاهات التغيير المستنبطة على اختيار الرقم القياسي وعدم الاتساق الجغرافي في اتجاهات التغيير. غير أن هذا يخفي تغيرات إقليمية مهمة، فمن المرجح، مثلاً، أن تواتر وشدة الجفاف قد زادا في البحر الأبيض وغرب أفريقيا وتناقصا في وسط أمريكا الشمالية وشمال غرب أستراليا منذ عام 1950. {2.6.2؛ الجدول 2.13}

وهناك ثقة عالية في أن حالات الجفاف خلال الألف سنة الأخيرة كانت أشد قوة وامتدت لفترات أطول من حالات الجفاف التي رصدت منذ بداية القرن العشرين في مناطق كثيرة. وهناك ثقة متوسطة في أن المنطقة الآسيوية التي تهب عليها الرياح الموسمية شهدت حالات جفاف على نطاق واسع وأن منطقة آسيا الوسطى الجافة ومنطقة الرياح الموسمية في أمريكا الجنوبية شهدت ظروفًا أكثر رطوبة خلال العصر الجليدي الصغير (من 1450 إلى 1850) مقارنة بالظواهر المناخية الشاذة في القرون الوسطى (من 950 إلى 1250). {5.5.4، 5.5.5}

ولا تزال الثقة منخفضة في التغيرات الطويلة الأجل (مئات السنين) في نشاط الأعاصير المدارية، بعد أخذ التغيرات السابقة في قدرات الرصد بعين الاعتبار. ومع ذلك، يكاد يكون من المؤكد أنه حدثت زيادة في وتيرة وشدة العواصف في شمال الأطلسي منذ سبعينيات القرن الماضي وإن كان الجدول لا يزال دائراً حول أسباب هذه الزيادة (انظر TFE.9). وهناك ثقة منخفضة في اتجاهات التغيير الواسعة النطاق في معدل هبوب العواصف على مدى القرن الماضي ولا تزال الأدلة غير كافية لاثبات وجود اتجاهات تغيير قوية على وجود ظواهر طقس شديدة محدودة النطاق، مثل البرد أو العواصف الرعدية. {2.6.2-2.6.4}

وفي وجود ثقة عالية في أنه حدثت خلال القرون الخمسة الماضية في شمال ووسط أوروبا ومنطقة غرب البحر الأبيض المتوسط وشرقي آسيا فيضانات أكبر من تلك التي سجلت منذ بداية القرن العشرين. وهناك ثقة متوسطة في أن الفيضانات الكبيرة المعاصرة في الشرق الأدنى، والهند، ووسط أمريكا الشمالية تقارب أو تتجاوز الفيضانات التاريخية في الشدة و/أو الوتيرة. {5.5.5}

TS.2.7.2 المحيطات

من المرجح أن شدة الظواهر المتطرفة لارتفاع سطح البحر قد زادت منذ عام 1970 (انظر TFE.9، الجدول 1). ويمكن تفسير معظم الزيادة المتطرفة في مستوى سطح البحر عن طريق متوسط الارتفاع في مستوى سطح البحر: تنخفض التغيرات في مستويات سطح البحر المتطرفة عن 5 مم في السنة عند 94 في المائة من مقياس المد والجزر بمجرد أخذ الارتفاع في متوسط سطح البحر بعين الاعتبار. وهناك ثقة متوسطة، مستندة إلى إعادة تحليل التنبؤات اللاحقة للنموذج القسري ورصدات السفن، في أن متوسط ارتفاع الموجات الكبير قد ازداد منذ خمسينيات القرن الماضي فوق جزء كبير من شمال الأطلسي شمال خط عرض 45° شمالاً، مع وجود اتجاهات التغيير التقليدية لفصل الشتاء والتي تصل إلى 20 سم في كل عقد. {3.4.5، 3.7.5}

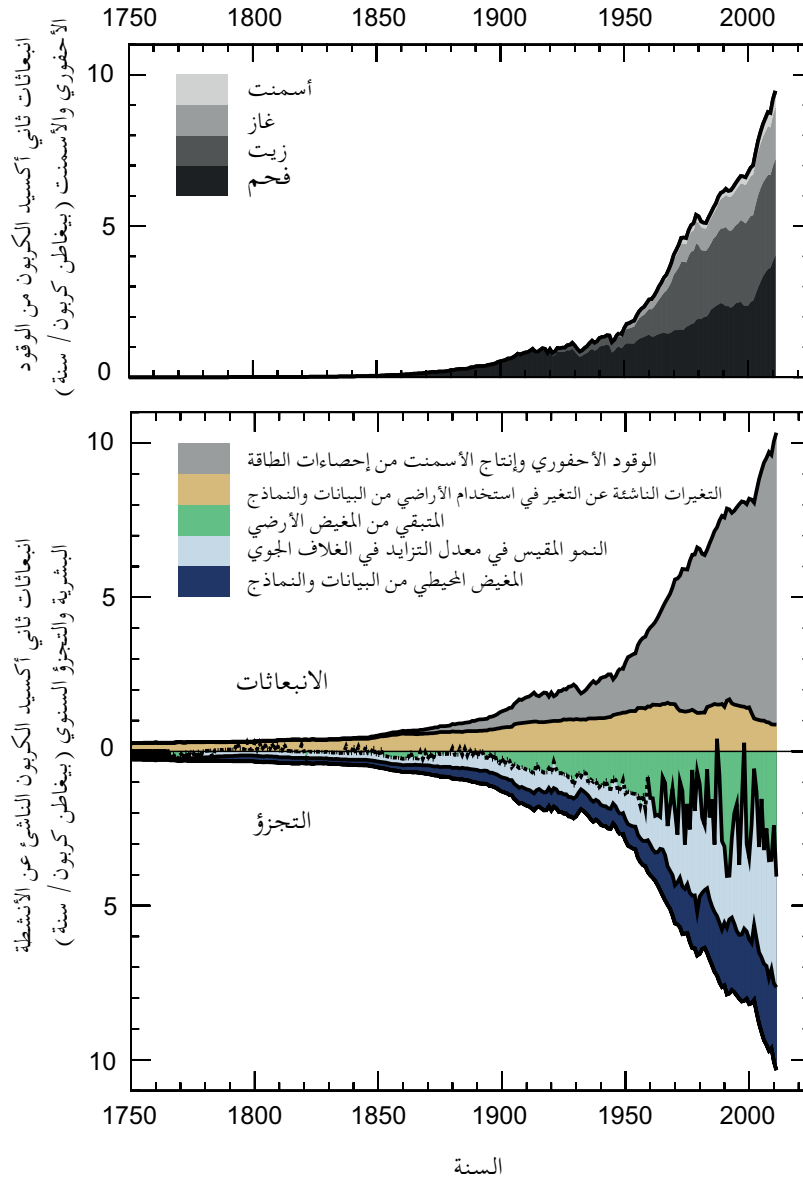
TS.2.8 التغيرات في دورات الكربون والعناصر الجيو كيميائية البيولوجية الأخرى

تجاوزت تركيزات غازات الاحتباس الحراري (GHG)، وهي ثاني أكسيد الكربون (CO₂)، والميثان (CH₄)، وأكسيد النيتروز (N₂O) في عام 2011 نطاق التركيزات المسجلة في العينات الجليدية خلال الـ 800 ألف سنة الماضية. وتعين التغيرات السابقة في تركيزات غازات الاحتباس الحراري (GHG) بدرجة كبيرة من الثقة من عينات الجليد القطبية. وقد تم توسيع النطاق الزمني لهذه السجلات منذ صدور تقرير التقييم الرابع من 650 ألف سنة إلى 800 ألف سنة. {5.2.2}

9 بيتا غرام كربون- 1015 غرام كربون- 1 غيغاطن كربون. وتكافئ هذه الكمية 3.667 غيغاطن من ثاني أكسيد الكربون.
10 ppm (جزء في المليون)، أو ppb (جزء في البليون، 1 بليون= 1000 مليون) هي نسبة عدد جزيئات غازات الاحتباس الحراري إلى العدد الكلي لجزيئات الهواء الجاف. فمثلاً 300 ppm تعني وجود 300 جزيء من غاز ما من غازات الاحتباس الحراري في كل مليون جزيء من الهواء الجاف.

وقد امتص المحيط والنظم الإيكولوجية الأرضية الكمية المتبقية من الكربون المنبعث من الوقود الأحفوري ومن استخدامات الأراضي. واستناداً إلى الاتفاق الكبير بين التقديرات المستقلة التي استخدمت فيها طرائق مختلفة ومجموعات بيانات مختلفة (مثل بيانات الكربون والأكسجين المحيطية والبيانات الكاشفة العابرة)، من المرجح بدرجة كبيرة أن الرصيد العالمي للمحيطات من الكربون البشري المنشأ قد زاد خلال الفترة من 1994 إلى 2010. وفي عام 2011، قدر أنها تبلغ 155 [من 125 إلى 185] بيتاغرام من الكربون. وبلغت المعدلات السنوية العالمية لامتصاص المحيط المحسوبة من مجموعات بيانات مستقلة (من التغيرات في أرصدة المحيطات من الكربون البشري المنشأ، أو من قياسات النسبة بين الأكسجين والنيتروجين في الغلاف الجوي، أو من بيانات الضغط البخاري الجزئي لثاني أكسيد الكربون

كربون سنوياً خلال العقد الأول من القرن الحادي والعشرين. ويبين توزيع الزيادات المرصودة في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مع خطوط العرض بوضوح أن القوة الدافعة للزيادات هي الانبعاثات البشرية المنشأ التي تحدث أساساً في البلدان الصناعية شمال خط الاستواء. واستناداً إلى متوسط التركيزات السنوية، تبين المحطات الموجودة في نصف الكرة الشمالي وجود تركيزات أعلى قليلاً من التركيزات المقیسة في نصف الكرة الجنوبي. ويبين خط مستقل من الأدلة أن الأصل المتعلق بالأنشطة البشرية لتزايد تركيز ثاني أكسيد الكربون المرصود في الغلاف الجوي يأتي من النقص المطرد المرصود في تركيز الأكسجين في الغلاف الجوي والنقص المطرد في نسبة النظيرين المستقلين (12C/13C) في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (الشكل 5.TS). {6.1.3، 2.2.1}



الشكل 4.TS | الانبعاثات السنوية البشرية المنشأ لثاني أكسيد الكربون وتوزيعه فيما بين الغلاف الجوي، واليابسة والمحيط (بيتاغرام كربون/سنة) خلال الفترة من 1750 إلى 2011. (اللوحة العليا) انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الوقود الأحفوري وصناعة الأسمنت موزعة بحسب كل فئة حسبما قدرها مركز تحليل معلومات ثاني أكسيد الكربون (CDIAC). (اللوحة السفلى) انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من حرق الوقود الأحفوري وصناعة الأسمنت ومن التغير الصافي في استخدام الأراضي، وبخاصة إزالة الأحراج إلى التغير في بيانات الغطاء الأرضي (انظر الشكل 6.2). ويستند معدل نمو تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي قبل عام 1959 إلى تحقيق تسكين ملائم لعينات الجليد وتوليفة لرصدات الغلاف الجوي منذ عام 1959. ولا يظهر التسكين الملائم لرصدات لعينات الجليد التقلبية الكبيرة فيما بين السنوات في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وهو ممثل بخط متقطع. ويتكون مغيض ثاني أكسيد الكربون المحيطي من مجموعة من النماذج والرصدات. ويحسب المغيض الأرضي المتبقي (المبين في الشكل باللون الأخضر) باعتباره الكمية المتبقية من المكونات الأخرى. ولا تشمل الانبعاثات وتوزعها سوى التدفقات التي تغيرت منذ عام 1750، ولا تشمل التدفقات الطبيعية لثاني أكسيد الكربون (مثل امتصاص ثاني أكسيد الكربون من عمليات التجوية، وانطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون من البحيرات والأنهار، وانطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون من المحيطات التي تصب فيها أنهار؛ انظر الشكل 6.1) بين مستودعات الغلاف الجوي، واليابسة والمحيطات التي كانت موجودة قبل ذلك الوقت ولا تزال موجودة حتى الآن. وترد مناقشة لأوجه عدم التيقن في مختلف الكميات في الفصل 6 كما أنها مبينة في الجدول 6.1 لمؤوسط القيم العقدية. (الشكل 6.8)

TS.2.8.2 الكربون وتحمض المحيط

يسفر امتصاص المحيطات لثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ عن تحمض تدريجي للمحيط. وقد انخفضت قيم مقياس درجة الحموضة pH^{11} لمياه سطح المحيط بمقدار 0.1 وحدة منذ بداية عصر الصناعة (ثقة عالية)، تمثل 26 في المائة زيادة في تركيز أيون الهيدروجين. وتتراوح اتجاهات التغير المرصودة في قيم pH في المياه السطحية بين -0.0014 و -0.0024 وحدة كل سنة. وفي باطن المحيطات، يمكن للعمليات الفيزيائية والبيولوجية الطبيعية، ولامتصاص ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ، أن تتسبب في إحداث تغيرات في قيمة درجة الحموضة pH على مدى العقود والفتريات الزمنية ذات النطاقات الأطول. {3.8.2؛ الإطار 3.2؛ الجدول 3.2؛ و 3.3؛ FAQ.3.3}

TS.2.8.3 الميثان

ازداد تركيز الميثان CH_4 بمعامل يبلغ 2.5 منذ عصر ما قبل الصناعة، إذ ارتفع من 722 [من 697 إلى 747] جزءاً في البليون في الفترة من 1750 إلى 1803 [من 1799 إلى 1807] أجزاء في البليون في سنة 2011 (الشكل 5. TS). وثمة ثقة عالية بدرجة كبيرة جداً في أن تزايد الميثان الجوي خلال عصر الصناعة ناتج عن الأنشطة البشرية. فالزيادة الهائلة في عدد الحيوانات المجتررة، والانبعاثات الصادرة من استخراج الوقود الأحفوري واستخدامه، والتوسع في زراعات الأرز، والانبعاثات الصادرة من مقابل القمامة والنفايات هي المصادر السائدة للميثان الجوي البشري المنشأ. وتمثل الانبعاثات الناتجة عن الأنشطة البشرية ما بين 50 و 65 في المائة من الانبعاثات الكلية. وبإدراج المصادر الجيولوجية الطبيعية لانبعاثات الميثان، التي لم تأخذ في الاعتبار في الميزانيات السابقة، يقدر أن المكون الأحفوري للانبعاثات الإجمالية للميثان (أو، الانبعاثات البشرية المنشأ المرتبطة بعمليات التسرب من صناعة الوقود الأحفوري ومن العمليات الجيولوجية الطبيعية) يمثل حالياً نحو 30 في المائة من إجمالي انبعاثات الميثان (ثقة متوسطة). {2.2.1، 2.2.2، 6.3.3}

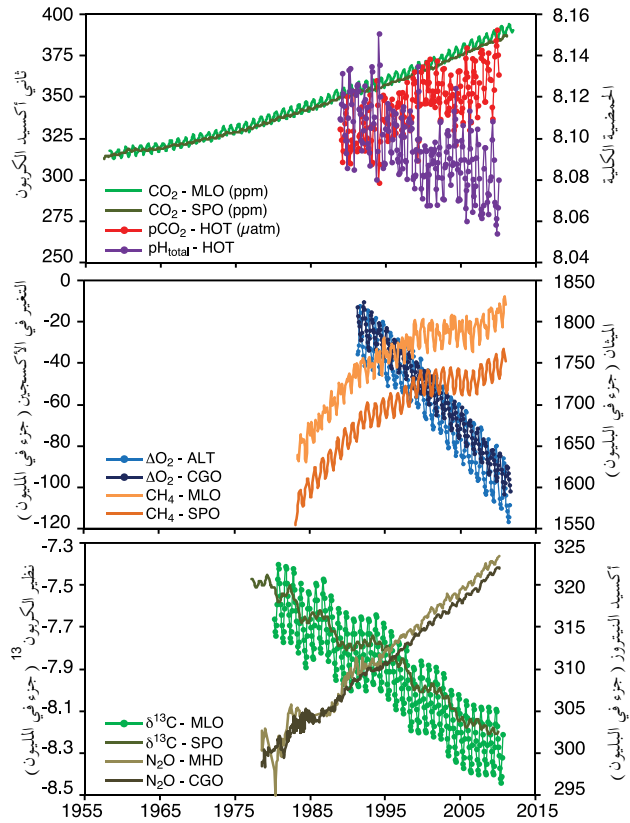
وخلال العقود الأخيرة، كان نمو الميثان في الغلاف الجوي متغيراً. وكانت تركيزات الميثان مستقرة نسبياً لنحو عقد من الزمان في تسعينيات القرن الماضي، ولكنها بدأت تنمو مرة أخرى بدءاً من عام 2007. ولا تزال القوى المحركة لتجدد هذا النمو موضوعاً للجدل. ولا تزال القوى المناخية التي حركت التذبذب في انبعاثات الميثان من المستنقعات العذبة (من 177 إلى 284 × 1012 غرام من الميثان سنوياً خلال الفترة من سنة 2000 إلى 2009 والتي عينت استناداً إلى تقديرات مقلوبة) هي القوى المحركة الرئيسية للتقلبية السنوية العالمية في انبعاثات الميثان (ثقة عالية)، مع إسهام أصغر من الانبعاثات الناشئة عن حرق الكتلة الحيوية خلال السنوات التي ترتفع فيها أعداد الحرائق. {2.2.1، 6.3.3؛ الجدول 6.8}

TS.2.8.4 أكسيد النيتروز

ازداد تركيز أكسيد النيتروز (N_2O) في الغلاف الجوي بمعامل مقداره 1.2 (الشكل 5. TS) منذ عصر ما قبل الصناعة. وتؤثر التغيرات في دورة النيتروجين، إضافة إلى التفاعلات مع مصادر ثاني أكسيد الكربون ومغائضه على انبعاثات أكسيد النيتروز على اليابسة ومن المحيطات. {2.2.1، 6.4.6}

TS.2.8.5 أكسجين المحيطات

يوفر التوافق الكبير فيما بين التحليلات ثقة متوسطة في أن تركيزات الأكسجين قد تناقصت في المنحدر الحراري للمحيط المفتوح في مناطق محيطية كثيرة منذ عقد الستينيات من القرن الماضي. ويتسق الانخفاض العام مع توقع بأن يؤدي تكون الطبقات الناتجة عن الاحترار إلى نقص في توفر الأكسجين للمنحدر الحراري المتكون من المياه القريبة من السطح، وأن المياه الأدفأ تحمل أكسجيناً أقل كما أن التغيرات في الحركة الدورانية المدفوعة بالرياح تؤثر على تركيزات الأكسجين. ومن المرجح أن المناطق المدارية التي يصل فيها الأكسجين إلى الحد الأدنى قد اتسعت خلال العقود الأخيرة. {3.8.3}



الشكل 5. TS | تركيزات ثاني أكسيد الكربون، والأكسجين، ونسبة نظير الكربون $^{13}C/^{12}C$ المستقرة في ثاني أكسيد الكربون وتركيزات الميثان وأكسيد النيتروز في الغلاف الجوي ورسدات سطح المحيط للضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون (pCO_2) ودرجة الحمضية (pH) المسجلة في محطات مجموعات زمنية تمثيلية في نصفي الكرة الشمالي والجنوبي. مرصد مونا لوا، هاواي MLO؛ ومرصد القطب الجنوبي و محطة السلسلة الزمنية للمحيط في هاواي HOT؛ وميسيد، أيرلندا MHD؛ و كيب غريم، تسمانيا CGO؛ وألبرت، الإقليم الشمالي الغربي، كندا ALT. ترد تفاصيل إضافية بشأن الشكل 4. SPM.4 ذي الصلة في المواد التكميلية للملخص الفني. {الشكل 18؛ 3.3؛ 6.3؛ 3.3؛ FAQ.3.3؛ الشكل 1}

(pCO_2) لفترات زمنية مختلفة تتفق فيما بينها في نطاق أوجه عدم التيقن المتعلقة بها، ومن المرجح بدرجة كبيرة أنها تقع في النطاق من 1.0 إلى 3.2 بيتاغرام من الكربون في السنة. وهناك اتفاق عريض بين الرصدات الإقليمية لمعدل تخزين الكربون البشري المنشأ في المحيط والمعدل المتوقع الناتج عن الزيادة في تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، ولكن بتغيرات زمنية ومكانية ملموسة. {3.8.1، 6.3}

النظم الإيكولوجية الأرضية الطبيعية (التي لا تتأثر بالتغير في استخدامات الأراضي) والتي تقدر بأنها الفرق في التغيرات التي تحدث في المكان الأخرى، أدت إلى تراكم 160 [من 70 إلى 250] بيتاغرام من الكربون في الفترة من سنة 1750 إلى سنة 2011. ويقدر أن الكسب في الكربون بواسطة النظم الإيكولوجية الأرضية يحدث أساساً من خلال امتصاص ثاني أكسيد الكربون في عمليات التمثيل الضوئي المعززة عند المستويات الأعلى من ثاني أكسيد الكربون وترسب النيتروجين وزيادة طول مواسم النمو عند خطوط العرض المتوسطة والعالية. وتختلف المغائض الطبيعية للكربون من إقليم إلى آخر نتيجة للعمليات الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية التي تؤثر على نطاقات زمنية مختلفة. وتخزن أي كميات زائدة من ثاني أكسيد الكربون الجوي تمصها النظم الإيكولوجية الأرضية كمواد عضوية في مستجمعات متنوعة للكربون، تتراوح من المواد العضوية القصيرة الأجل (الأوراق، والجذور الصغيرة) إلى المواد العضوية الطويلة الأجل (السيقان، وكربون التربة). {6.3؛ الجدول 6.1}

معروفة جيداً تاريخياً منذ عصر ما قبل الصناعة استناداً إلى القياسات المباشرة، والسجلات الرئيسية للجليد والخصائص الإشعاعية للغازات (WMGHG)، فإن حساب القسر الإشعاعي الناجم عن تغير التركيزات يوفر قيماً محددة بدقة (انظر الشكل TS.6). ولم يطرأ تغيير كبير في فهمنا للتأثيرات الإشعاعية للغازات (WMGHG)، إذ يرجع التغير في تقديرات القسر الإشعاعي مقارنة بتقرير التقييم الرابع أساساً إلى زيادة التركيزات. وأفضل تقدير للقسر الإشعاعي الفعال الناجم عن الغازات (WMGHG) هو قيمة القسر الإشعاعي نفسه، ولكن نطاق عدم اليقين يزيد فيه إلى ضعفي قيمته بسبب ضعف تحديد استجابات السحب. وبفضل الرصدات العالية الجودة، من المؤكد أن تحميل الغلاف الجوي بشكل متزايد بالغازات (WMGHG)، لاسيما ثاني أكسيد الكربون، قد أدى إلى استمرار تزايد القسر الإشعاعي الناجم عن هذه الغازات في الفترة من عام 2005 إلى 2011. واستناداً إلى تغير التركيزات، فإن القسر الإشعاعي الناجم عن جميع الغازات (WMGHG) في عام 2011 بلغ 2.83 [من 2.54 إلى 3.12] واط/2م (نقطة عالية جداً). ويمثل ذلك زيادة منذ تقرير التقييم الرابع قدرها 0.20 [من 0.18 إلى 0.22] واط/2م، وترجع هذه الزيادات كلها إلى تزايد تركيز ثاني أكسيد الكربون منذ عام 2005. ويبلغ القسر الإشعاعي الناجم عن ثاني أكسيد الكربون بمفرده في عصر الصناعة 1.82 [من 1.63 إلى 2.01] واط/2م. وعلى مر الـ 15 عاماً الأخيرة، كان ثاني أكسيد الكربون هو المساهم الرئيسي في تزايد القسر الإشعاعي الناجم عن الغازات (WMGHGs)، قياساً بالقسر الإشعاعي الناجم عن ثاني أكسيد الكربون الذي يقل متوسط معدل زيادته قليلاً عن 0.3 واط/2م لكل عقد. ويرجع عدم اليقين في القسر الإشعاعي الناجم عن الغازات (WMGHG) في جزء منه إلى خصائصه الإشعاعية وإن كان أغلبه يرجع إلى احتساب كامل الانتقال الإشعاعي في الغلاف الجوي، بما في ذلك السحب. {2.1، 2.2، 5.2، 6.3، 8.3، 8.3.2، 8.3.2، 8.3.2، 8.3.2، 8.3.2}

وبعد عقد من حالة قريبة من الاستقرار، أدت الزيادة التي حدثت مؤخراً في تركيز الميثان إلى زيادة القسر الإشعاعي عن القيم الواردة في تقرير التقييم الرابع، بنسبة 2 في المائة ليصل إلى 0.48 [من 0.43 إلى 0.53] واط/2م. ومن المرجح بدرجة كبيرة أن القسر الإشعاعي الناجم عن الميثان يزيد حالياً عن القسر الإشعاعي الناجم عن سائر مركبات الهالوكربون مجتمعة. {2.1، 2.2، 8.3.2، 8.3.2}

وقد ارتفع تركيز أكسيد النيتروز في الغلاف الجوي بنسبة 6 في المائة منذ تقرير التقييم الرابع، مسبباً قسراً إشعاعياً قدره 0.17 [من 0.14 إلى 0.20] واط/2م. ولا تزال تركيزات أكسيد النيتروز آخذة في الارتفاع، بينما تتناقص تركيزات ثنائي كلورو ثنائي فلورو الميثان (CF₂Cl₂)، أو المركب 12-CFC، وهو ثالث أكبر مساهم من غازات (WMGHG) يحدث قسراً إشعاعياً على مدى عدة عقود، وذلك بفضل التخلص التدريجي من انبعاثات هذا المركب

غيرت الأنشطة البشرية ولا تزال تغير التركيب الكيميائي لسطح الأرض وغلافها الجوي. وبعض هذه التغييرات لها تأثير مباشر أو غير مباشر على توازن طاقة الأرض، ومن ثم تمثل هذه التغييرات العوامل الدافعة لتغير المناخ. والقسر الإشعاعي هو مقياس للتغير الصافي في توازن طاقة نظام الأرض بفعل استجابته لاضطراب خارجي ما (انظر الإطار TS.2)، وثمة قسر إشعاعي موجب يؤدي إلى احترار، وقسر إشعاعي سالب يؤدي إلى تبريد. ويفيد مفهوم القسر الإشعاعي في مقارنة تأثير معظم فرادى العوامل التي تؤثر على التوازن الإشعاعي للأرض على المتوسط العالمي لدرجة حرارة سطح الأرض (GMST). وتتسق القيم الكمية الواردة في تقرير التقييم الخامس مع القيم الواردة في التقارير السابقة للهيئة (IPCC)، وإن كان قد أدخل عليها بعض التنقيحات المهمة (انظر الشكل TS.6). وفي الوقت الراهن، يستخدم القسر الإشعاعي الفعال في التحديد الكمي لتأثير بعض العوامل المسببة للقسر، التي تتضمن تكيفات سريعة في مكونات الغلاف الجوي وسطح الأرض والتي يُفترض أنها ثابتة في مفهوم القسر الإشعاعي (انظر الإطار TS.2). ويُقدر القسر الإشعاعي والقسر الإشعاعي الفعال بالتغير الحادث في الفترة من عام 1750 إلى عام 2011 والمعروفة باسم 'عصر الصناعة'، وذلك ما لم تحدد صراحة فترات زمنية أخرى. وتذكر أوجه عدم اليقين مشفوعه بأفضل التقديرات للقسر الإشعاعي والقسر الإشعاعي الفعال بقيم تمثل نطاق الثقة الذي يتراوح بين 5 و95 في المائة (90 في المائة). {1، 8.1، 7.1}

وبالإضافة إلى المتوسط العالمي للقسر الإشعاعي والقسر الإشعاعي الفعال، يؤدي التوزيع المكاني والتطور الزمني للقسر وأصداء تغير المناخ، دوراً في تحديد التأثير النهائي للعوامل الدافعة المختلفة على المناخ. وقد تؤثر التغييرات التي تطرأ على سطح اليابسة على المناخ المحلي والإقليمي من خلال عمليات ذات طابع غير إشعاعي. {1، 8.1، 8.3.5، 8.6}

TS.3.2 القسر الإشعاعي الناجم عن غازات الاحتباس الحراري

تؤدي الأنشطة البشرية إلى تغيير التركيب الكيميائي للغلاف الجوي، إما بطريقة مباشرة (عن طريق انبعاثات الغازات أو الجسيمات) أو بطريقة غير مباشرة (عن طريق كيمياء الغلاف الجوي). وأحدثت الانبعاثات الناجمة عن الأنشطة البشرية تغييرات في تركيزات غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج (WMGHG) خلال عصر الصناعة (انظر القسم TS.2.8 و TFE.7). ونظراً إلى أن تركيزات غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج (WMGHG)

الإطار TS.2 | القسر الإشعاعي والقسر الإشعاعي الفعال

يستخدم القسر الإشعاعي (RF) والقسر الإشعاعي الفعال (ERF) في تحديد مقدار التغير في توازن طاقة الأرض الذي يحدث نتيجة لتغير خارجي مفروض، ويُعبر عنهما بوحدة الواط/2م. ويُعرّف القسر الإشعاعي في تقرير التقييم الخامس، مثلما عُرّف في التقييمات السابقة للهيئة (IPCC)، بأنه التغير في صافي التدفق الهابط (الموجات القصيرة + الموجات الطويلة) في التروبوبوز بعد السماح لدرجات الحرارة الستراتوسفيرية بأن تتكيف مع التوازن الإشعاعي، مع تثبيت المتغيرات الأخرى للحالة من قبيل درجات الحرارة التروبوسفيرية، وبخار الماء، والغطاء السحابي عند قيمها غير المضطربة (انظر المسرد). {1، 8.1}

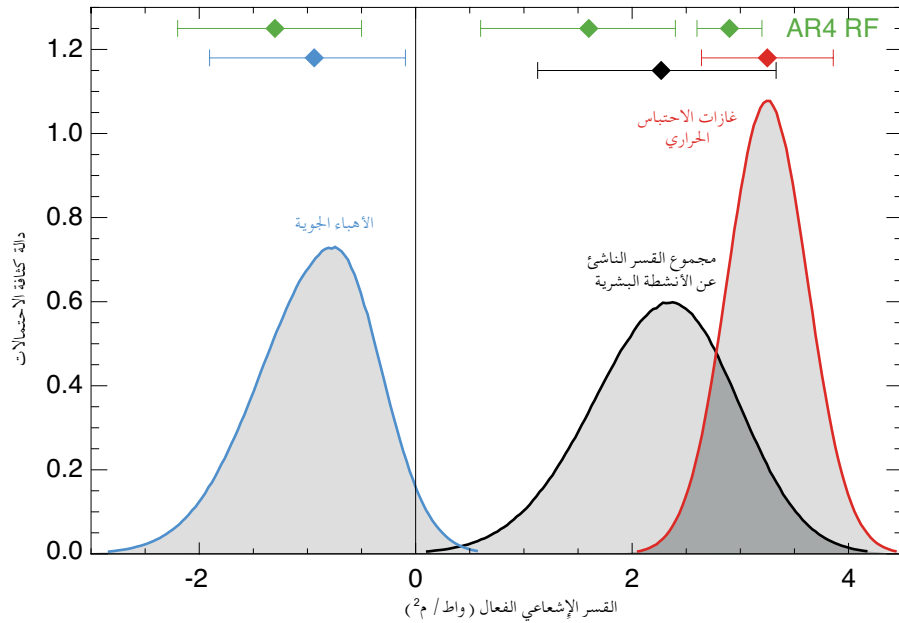
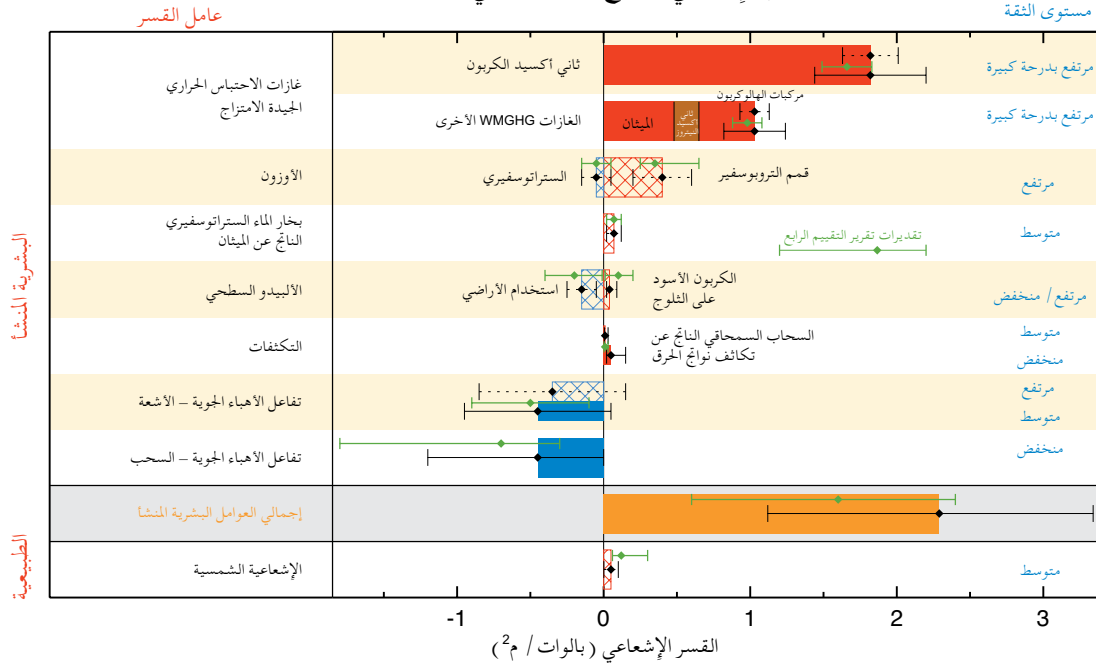
وعلى الرغم من أنه قد ثبتت أهمية مفهوم القسر الإشعاعي، فإن الفهم المحسن أظهر أن إدراج التكيفات السريعة لسطح الأرض والتروبوسفير يمكن أن يوفر مقياساً أفضل لتحديد كمية الاستجابة المناخية. وتحدث هذه التكيفات السريعة على نطاقات زمنية متفاوتة، ولكنها تتميز نسبياً عن الاستجابات للتغير في المتوسط العالمي لدرجة حرارة سطح الأرض (GMST). وتؤثر الأهباء الجوية بوجه خاص على سمات درجات الحرارة في الغلاف الجوي وخصائص السحب على نطاق زمني أقصر بكثير من تكيفات المحيط (حتى الطبقة العليا) مع القسر. ويتيح مفهوم القسر الإشعاعي الفعال المعروف في تقرير التقييم الخامس التكيفات السريعة مع الاضطرابات، وذلك بالنسبة إلى جميع المتغيرات ما عدا المتوسط العالمي لدرجة حرارة سطح الأرض (GMST) أو درجة حرارة المحيطات والغطاء الجليدي البحري. وتتفاوت قيم القسر الإشعاعي الفعال والقسر الإشعاعي تفاوتاً كبيراً بالنسبة للأهباء الجوية البشرية المنشأ، بسبب تأثيراتها على السحب وعلى الغطاء الثلجي. وبالنسبة للمكونات الأخرى المحركة لتوازن طاقة الأرض، من قبيل غازات الاحتباس الحراري، فإن القسر الإشعاعي الفعال والقسر الإشعاعي متماثلان إلى حد كبير، وقد يكون القسر الإشعاعي أداة قابلة للمقارنة نظراً إلى أنه يحتاج في حسابه إلى موارد حسابية أقل، ولأنه لا يتأثر بتقلبية الأحوال الجوية، ومن ثم فإنه يمكن أن يعزل المؤثرات القسرية الصغيرة بشكل أفضل. وفي الحالات التي يكون فيها القسر الإشعاعي والقسر الإشعاعي الفعال مختلفين اختلافاً كبيراً، اتضح أن القسر الإشعاعي الفعال مؤشر أفضل لاستجابة المتوسط العالمي لدرجة حرارة السطح (GMST)، ولذا، تم تأكيد ذلك في تقرير التقييم الخامس. {1، 7.1، 8.1؛ الإطار 8.1}

لمركبات الهالكربون المسببة للقسر الإشعاعي. وتناقص القسر الإشعاعي الناجم عن المركبات الثلاثة الأولى أعلاه على مدى السنوات الخمس الأخيرة، ولكن استعويضاً بأكثر منه من خلال زيادة القسر الإشعاعي الناجم عن المركب HCFC-22. وهناك ثقة عالية في أن معدل نمو القسر الإشعاعي الناجم عن جميع الغازات (WMHG) طوال العقد الماضي أقل من معدل نموه في سبعينات وثمانينات القرن العشرين لأن الزيادة في القسر الإشعاعي الناجم عن الغازات غير ثاني أكسيد الكربون كانت أبطأ. {2.1، 2، 8.3.2}

ولايزال غاز الأوزون، وهو أحد غازات الاحتباس الحراري قصيرة العمر، وبخار الماء الستراتوسفيري يسهمان أيضاً في إحداث تأثيرات قسرية بشرية المنشأ.

الكيميائي بموجب بروتوكول مونتريال. ومنذ صدور تقرير التقييم الرابع، تجاوز تأثير أكسيد النيتروز تأثير CFC-12 ليصبح ثالث أكبر مساهم من غازات (WMHG) يحدث قسراً إشعاعياً. وقيمة القسر الإشعاعي الناجم عن مركبات الهالكربون مماثلة جداً للقيمة الواردة في تقرير التقييم الرابع، مع انخفاض القسر الإشعاعي الناجم عن مركبات الكلوروفلوروكربون (CFCs)، غير أنه حدثت زيادة في كثير من بدائلها. وتمثل أربعة من مركبات الهالكربون (ثلاثي كلوروفلوروميثان CFC-11) و(CFCI₃)، وثلثي كلوروثلاثي فلوروإيثان CFC-113) و(CF₂CICFCI₂)، وكلوروثلاثي فلوروإيثان 85، (HCFC-22) CHF₂Cl في المائة من التأثير الإجمالي

القسر الإشعاعي للمناخ فيما بين عامي 1750 و 2011



الشكل 6.6 | القسر الإشعاعي (RF) والقسر الإشعاعي الفعال (REF) لتغير المناخ خلال عصر الصناعة. يوضح الشكل الأعلى القسر الناجم عن تغير التركيزات فيما بين عامي 1750 و 2011 مع نطاق عدم اليقين المرتبط به (تمثل الشرائط المصمتة القسر الإشعاعي الفعال، وتمثل الشرائط المخطلطة القسر الإشعاعي)، في حين يظهر القسر الإشعاعي المقيم في تقرير التقييم الرابع وعدم اليقين المرتبط به في شكل معينات خضراء). ويوضح الشكل الأدنى دالات توزيع الاحتمالات (PDFs) للقسر الإشعاعي الفعال بالنسبة للأهباء الجوية وغازات الاحتباس الحراري ومجموعهما معاً. وتبين الخطوط الخضراء القسر الإشعاعي الوارد في تقرير التقييم الرابع لفترات ثقة قدرها 90 في المائة ويمكن مقارنتها بالخطوط الحمراء والزرقاء والسوداء التي تظهر القسر الإشعاعي الفعال الوارد في تقرير التقييم الخامس لفترات ثقة قدرها 90 في المائة (رغم اختلاف القسر الإشعاعي والقسر الإشعاعي الفعال، لاسيما بالنسبة للأهباء الجوية). وأدرج القسر الإشعاعي الفعال الناجم عن تغيرات الألبيدو السطحي والتكثفات المجمعة والسماحاق الناجم عن التكثف في إجمالي القسر الناجم عن الأنشطة البشرية، ولكنه لا يظهر بشكل منفصل في دالة توزيع الاحتمالات. وبالنسبة لبعض آليات القسر (الأوزون، استخدام الأراضي، الآلية الشمسية)، يفترض أن القسر الإشعاعي يمثل القسر الإشعاعي الفعال ولكن مع إضافة عدم يقين إضافي قدره 17 في المائة في تربيع عدم اليقين الخاص بالقسر الإشعاعي. (الشكلان 8.15، 8.16).

امتصاص الأهباء الجوية على الثلوج والجليد) بـ 0.9 [من 1.9- إلى 0.1-] واط/2م (ثقة متوسطة). ويشمل هذا التقدير جميع التكيفات السريعة، بما في ذلك تغير فترة بقاء السحب والتأثيرات الميكروفيزيائية للأهباء الجوية على الظروف المختلط، والجليد، وسحب الحمل الحراري. وتم التوصل إلى هذا النطاق من خلال إعطاء أوزان ترجيحية متساوية للدراسات التي تجرى على متن السواحل والتقديرات المستنبطة من النماذج المناخية. ويتفق هذا النطاق مع خطوط أدلة عديدة تشير إلى تقديرات أقل سلبية لتفاعلات الأهباء الجوية - السحب من التقديرات التي جرى مناقشتها في تقرير التقييم الرابع. {7.4، 7.5، 8.5}

ويُقدر القسر الإشعاعي الناجم عن وجود الكربون الأسود على الثلوج والجليد بـ 0.04 [من 0.02 إلى 0.09] واط/2م (ثقة منخفضة). وعلى خلاف ما ورد في تقييم الهيئة (IPCC) السابق، يتضمن هذا التقدير التأثيرات على الجليد البحري، وأخذ مزيد من العمليات الفيزيائية بعين الاعتبار، ويدمج أدلة من كل من النماذج والرصدات. ويسبب هذا القسر الإشعاعي زيادة بمقدار ضعفين إلى أربعة أضعاف في المتوسط العالمي لدرجة حرارة سطح الأرض (GMST) لكل وحدة قسر ناتجة من ثاني أكسيد الكربون ويرجع السبب في ذلك أساساً إلى إيداع كامل طاقة القسر مباشرة في الغلاف الجليدي، الذي يسفر تطوره عن أصداء إيجابية للالبيدو على المناخ. ومن ثم، يمكن أن يمثل هذا التأثير آلية تأثير قسري كبير في المنطقة القطبية الشمالية والمناطق الأخرى المغطاة بالثلوج أو الجليد. {7.3، 7.5.2، 8.3.4، 8.5}

وعلى الرغم من نطاقات عدم التيقن الكبيرة بشأن التأثيرات القسرية للأهباء الجوية، هناك ثقة عالية في أن الأهباء الجوية قد عوضت جزءاً كبيراً من التأثيرات القسرية الناجمة عن غازات الاحتباس الحراري. ويمكن أن تؤثر تفاعلات الأهباء الجوية - السحب على خصائص فرائد العواصف، ولكن الأدلة المتعلقة بوجود تأثير منهجي للأهباء الجوية على شدة العواصف أو شدة سقوط الأمطار يكتنفها كثير من المحدودية والغموض. {7.4، 7.6، 8.5}

TS.3.4 القسر الإشعاعي الناجم عن التغيرات في سطح اليابسة والتكثفات

هناك أدلة قوية على أن التغير في استخدام الأراضي الناجم عن الأنشطة البشرية من قبيل إزالة الأحراج قد زاد من الالبيدو سطح اليابسة الذي يؤدي إلى قسر إشعاعي قدره 0.15- [من 0.25- إلى 0.05-] واط/2م. ولا يزال هناك انتشار كبير في التقديرات الكمية بسبب الافتراضات المختلفة للالبيدو الأسطح الطبيعية والمدارة (من قبيل أراضي المحاصيل، والمراعي). وإضافة إلى ذلك، لا يزال هناك جدل بشأن التطور الزمني للتغير في استخدام الأراضي، ولاسيما بشأن ما تم منها بالفعل خلال السنة المرجعية 1750. وعلاوة على ذلك، فإن التغير في استخدام الأراضي يتسبب في تكيفات أخرى ليست إشعاعية ولكنها تؤثر على درجة حرارة سطح الأرض، بما في ذلك تكيفات في خشونة السطح، وتدفق الحرارة الكامنة وسيح الأنهار والري. وهذه التكيفات يعترها مزيد من عدم التيقن، ويصعب تحديد كمياتها، ولكنها تنتج نحو تعويض التأثيرات الناجمة عن تغيرات الالبيدو على النطاق العالمي. ونتيجة لذلك، هناك اتفاق منخفض على إشارة التغير الصافي في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة كنتيجة للتغير في استخدام الأراضي. ولتغير استخدام الأراضي، ولاسيما إزالة الأحراج، تأثيرات كبيرة أيضاً على تركيزات غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج (WMGHG)، فهو يسهم في إحداث قسر إشعاعي مناظر مرتبط بانبعثات ثاني أكسيد الكربون أو تغير تركيزاته. {8.5.3}

وساهمت التكثفات المتواصلة الناجمة عن الطيران في حدوث قسر إشعاعي إيجابي بلغ 0.01 [من 0.005 إلى 0.03] واط/2م (ثقة متوسطة) في عام 2011، ويُقدر القسر الإشعاعي الفعال للتكثفات مجتمعة والسحب السمحاقية المتكثفة الناجمة عن الطيران بـ 0.05 [من 0.02 إلى 0.15] واط/2م (ثقة منخفضة). ويمكن أن تكون هذه التأثيرات القسرية أكبر إقليمياً ولكن ثمة ثقة متوسطة حالياً في أنها لا تتسبب في تأثيرات إقليمية ملحوظة على أي من النطاق المتوسط أو اليومي لدرجة الحرارة السطحية. {7.2.7}

TS.3.5 القسر الإشعاعي الناجم عن العوامل الدافعة الطبيعية لتغير المناخ

التأثيرات القسرية الشمسية والبركانية هما المساهمان الطبيعيان الرئيسيان في تغير المناخ على الصعيد العالمي خلال عصر الصناعة. وتظهر الرصدات الساتلية للتغيرات في إجمالي الإشعاعية الشمسية (TSI) منذ عام 1978

وتشير الرصدات إلى أن من المرجح أن الأوزون قد زاد في كثير من المواقع المستقرة (التي لم يتعرض أوزونها الطبيعي لأي اضطراب) خلال تسعينيات القرن العشرين. وقد استمرت هذه الزيادات أساساً فوق آسيا (من خلال الرصدات التي تغطي منطقة محدودة) وتسطحت فوق أوروبا خلال العقد الماضي. ويبلغ إجمالي القسر الإشعاعي الناجم عن التغيرات في الأوزون 0.35 [من 0.15 إلى 0.55] واط/2م (ثقة عالية)، ويبلغ القسر الإشعاعي الناجم عن الأوزون التروبوسفيري 0.40 [من 0.20 إلى 0.60] واط/2م (ثقة عالية) والقسر الإشعاعي الناجم عن الأوزون الستراتوسفيري 0.05- [من 0.15- إلى 0.05+] واط/2م (ثقة عالية). ولا ينبعث الأوزون مباشرة في الغلاف الجوي، ولكنه يتكون نتيجة لتفاعلات كيميائية ضوئية. وفي التروبوسفير تتضمن هذه التفاعلات مركبات سليفة تبعث في الغلاف الجوي من مصادر مختلفة طبيعية وبشرية المنشأ. ويعزى القسر الإشعاعي للأوزون التروبوسفيري إلى حد كبير لزيادة انبعاثات الميثان، وأول أكسيد الكربون، والمركبات العضوية المتطايرة، وأكاسيد النيتروجين، بينما ينتج القسر الإشعاعي الستراتوسفيري أساساً عن نضوب الأوزون بفعل مركبات الهالوكربون البشرية المنشأ. على أنه تتوفر حالياً أدلة قوية على وجود ارتباطات كبيرة بين التغيرات في الأوزون التروبوسفيري والأوزون الستراتوسفيري، ويعزى إجمالي القسر الإشعاعي الناجم عن الأوزون البالغ 0.50 [من 0.30 إلى 0.70] واط/2م إلى انبعاثات سلائف الأوزون التروبوسفيري و-0.15 [من 0.30- إلى 0.00] واط/2م إلى نضوب الأوزون بفعل مركبات الهالوكربون. وثمة أدلة قوية على أن الأوزون التروبوسفيري أيضاً له آثار ضارة على فسيولوجيا الغطاء النباتي، ومن ثم قدرته على امتصاص ثاني أكسيد الكربون. ويؤدي انخفاض هذا الامتصاص إلى زيادة غير مباشرة في تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ينبغي إذاً عزو جزء من القسر الإشعاعي لثاني أكسيد الكربون إلى الأوزون أو سلائفه، بدلاً من عزوه للانبعثات المباشرة لثاني أكسيد الكربون، ولكن ثمة ثقة منخفضة في التقديرات الكمية. ويبلغ القسر الإشعاعي الناجم عن بخار الماء الستراتوسفيري الناتج عن أكسدة الميثان 0.07 [من 0.02 إلى 0.12] واط/2م. ويُنظر إلى التغيرات الأخرى في بخار الماء الستراتوسفيري وجميع التغيرات في بخار الماء في التروبوسفير على أنها أصداء وليست قسراً. {2.2.2، 8.1-8.3، 8.1؛ FAQ.8.1}

TS.3.3 القسر الإشعاعي الناجم عن الأهباء الجوية البشرية المنشأ

الأهباء الجوية البشرية المنشأ مسؤولة عن قسر إشعاعي للمناخ من خلال عمليات عديدة يمكن تقسيمها إلى نوعين: تفاعلات الأهباء الجوية - الإشعاع (ari)، وتفاعلات الأهباء الجوية - السحب (aci). وقد أحرز تقدم منذ صدور تقرير التقييم الرابع فيما يتعلق برصد ونمذجة خصائص الأهباء الجوية المتصلة بالمناخ (بما في ذلك توزيعها الحجمي واسترطابيتها وتركيبها الكيميائي وحالة امتزاجها وخصائصها البصرية وخصائص نوي السحب) وتوزيعها في الغلاف الجوي. وعلى الرغم من ذلك، لا يزال هناك عدم تيقن كبير في تقييم اتجاهات التغير الطويلة الأمد للعمق البصري للأهباء الجوية على المستوى العالمي وفي الخصائص العامة الأخرى للأهباء الجوية بسبب صعوبات القياس ووجود قصور في رصدات بعض البارامترات ذات الصلة، والتقلبية المكانية والزمانية الكبيرة، والقصر النسبي لسجلات الرصد الموجودة. والقيمة الفضلى للقسر الإشعاعي الناجم عن تفاعلات الأهباء الجوية - الإشعاع البشري المنشأ هي 0.35- [من 0.85- إلى 0.15+] واط/2م (ثقة عالية) وقد تم الحصول عليها باستخدام أدلة مستمدة من نماذج الأهباء الجوية في وجود بعض القيود المرتبطة بعمليات الرصد. وينتج القسر الإشعاعي لتفاعلات الأهباء الجوية - الإشعاع عن أنواع متعددة من تلك الأهباء (انظر القسم TS.3.6). وتؤدي التكيفات السريعة للقسر الإشعاعي الناجم عن تفاعلات الأهباء الجوية - الإشعاع إلى مزيد من القسر الإشعاعي السلبي، ولاسيما من خلال تكيفات السحب، وتعزى أساساً إلى الكربون الأسود. ونتيجة لذلك، فإن القسر الإشعاعي الفعال الناجم عن تفاعلات الأهباء الجوية - الإشعاع تكون أكثر سلبية من القسر الإشعاعي الناجم عن تفاعلات الأهباء الجوية - الإشعاع (ثقة منخفضة)، وكانت القيمة المقدرة للقسر الإشعاعي هي 0.45- [من 0.95- إلى 0.05+] واط/2م. وجاء تقييم القسر الإشعاعي الناجم عن تفاعلات الأهباء الجوية - الإشعاع أقل سلبية مما هو وارد في تقرير التقييم الرابع بسبب إعادة تقييم امتصاص الأهباء الجوية. وجاء تقدير عدم التيقن أوسع نطاقاً ولكن أقوى. {2.2.3، 7.3، 7.5.2}

وأدى التحسن في فهم تفاعلات الأهباء الجوية - السحب إلى خفض قيمة الكثير من التقديرات العالمية لقسر الأهباء الجوية - السحب. ويُقدر إجمالي القسر الإشعاعي الفعال للأهباء الجوية (القسر الإشعاعي الفعال الناجم عن تفاعلات الأهباء الجوية - الإشعاع وتفاعلات الأهباء الجوية - السحب، باستثناء تأثير

عن غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز (WMGHG) فقط. ومقارنة بتقرير التقييم الرابع، ارتفع مستوى الثقة بالنسبة لسبعة عوامل مسببة للفسر بسبب تحسن الأدلة وتحسن الفهم. {8.5؛ الشكل 8.14}

وبين التطور الزمني لإجمالي القسر الإشعاعي البشري المنشأ حدوث زيادة مستمرة تقريبا منذ عام 1750، وبشكل أساسي منذ عام 1860 تقريبا. ووصل إجمالي معدل الزيادة في القسر الإشعاعي البشري المنشأ منذ عام 1960 إلى قيمة أكبر بكثير من قيمته خلال الفترات الأولى من عصر الصناعة، مدفوعا أساسا بالزيادة المستمرة في تركيزات معظم غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز (WMGHG). ولا يزال الاتفاق منخفضا بشأن التطور الزمني لإجمالي القسر الإشعاعي الفعال الناجم عن الأهباء الجوية، وهو العامل الرئيسي في عدم التيقن بين إجمالي القسر البشري المنشأ. وتناقص تدريجيا بعد عام 1950 عدم التيقن الجزئي في إجمالي القسر البشري المنشأ بسبب التعويض الصغير للفسر الإيجابي الناجم عن الغازات (WMGHG) من القسر السلبي الناجم عن الأهباء الجوية. وهناك دليل قوي واتفاق كبير على أن القسر الطبيعي يمثل جزءا ضئيلا من القسر الناجم عن غازات (WMGHG). ومن المرجح أن التغيير في القسر الطبيعي خلال الـ 15 عاما الأخيرة قد عوض جزءا كبيرا (30 في المائة على الأقل) من الزيادة في القسر البشري المنشأ خلال هذه المدة (الإطار 3.3). وثاني أكسيد الكربون المسبب للفسر هو أكبر مساهم منفرد في إجمالي القسر خلال عصر الصناعة وخلال الفترة من 1980 إلى 2011. وقياسا على كامل عصر الصناعة، فإن سيطرة القسر الناجم عن ثاني أكسيد الكربون يزيد عن التغيير خلال الفترة من 1980 إلى 2011 بالنسبة للغازات (WMGHG) الأخرى، وهناك ثقة عالية في أن التعويض الذي أحدثه القسر الناجم عن الأهباء الجوية للفسر الناجم عن الغازات (WMGHG) خلال هذه الفترة كان أقل بكثير منه خلال الفترة من 1950 إلى 1980. {8.5.2}

ويمكن أيضاً عزو القسر إلى الانبعاثات وليس إلى تغيير التركيزات الناتج (الشكل 7.3). وثاني أكسيد الكربون هو أكبر مساهم منفرد في القسر الإشعاعي التاريخي سواء من منظور تغيير تركيزاته في الغلاف الجوي، أو من منظور تأثير التغيير في انبعاثاته الصافية. وتغيير الأهمية النسبية للعوامل الأخرى المسببة للفسر بتغيير المنظور المختار. وعلى وجه الخصوص، فإن انبعاثات الميثان أحدثت قسرا أكبر بكثير (نحو 1.0 واط/2م خلال عصر الصناعة) من زيادة تركيزات الميثان (نحو 0.5 واط/2م) بسبب عدد من التأثيرات غير المباشرة من خلال كيمياء الغلاف الجوي. إضافة إلى ذلك، فإن من المؤكد تقريبا أن انبعاثات أول أكسيد الكربون قد تسبب في قسر إيجابي، بينما من المرجح أن انبعاثات أكاسيد النيتروجين النشطة قد تسبب في قسر إشعاعي سلبي صاف، وإن بقدر أكبر من عدم التيقن. ومن المرجح بدرجة كبيرة أن تسبب انبعاثات مركبات الهالوكربون المستنفدة للأوزون في قسر إيجابي صاف نظرا لأن تأثيراتها الإشعاعية المباشرة أكبر من تأثيرات استنفاد الأوزون الستراتوسفيري التي تسببها. وتُسبب انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت، والكربون العضوي وغاز النشادر في قسر سلبي، بينما تؤدي انبعاثات الكربون الأسود إلى قسر إيجابي من خلال تفاعلات الأهباء الجوية - الإشعاع. وتجدر الإشارة إلى أن القسر الناجم عن الأثرية المعدنية قد يتضمن مكونا طبيعيا أو أصداء مناخية. {7.3، 7.5.2، 8.5.1}

وعلى الرغم من أن غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز (WMGHG) تظهر قسرا مكانيا متجانسا إلى حد ما، فإن العوامل الأخرى من قبيل الأهباء الجوية والأوزون والتغير في استخدامات الأراضي غير متجانسة مكانيا بشكل كبير. وظهرت أقصى قيم سلبية للفسر الإشعاعي الناجم عن تفاعلات الأهباء الجوية - الإشعاع فوق شرقي أمريكا الشمالية وأوروبا في بدايات القرن العشرين، مع قيم سلبية كبيرة امتدت إلى شرق وجنوب شرق آسيا وأمريكا الجنوبية ووسط أفريقيا بحلول عام 1980. ومع ذلك، فإن الحجم قد تناقص منذ ذلك الحين فوق شرقي أمريكا الشمالية وأوروبا بسبب مكافحة التلوث، وتحولت ذروة القسر السلبي إلى جنوب وشرق آسيا أساسا نتيجة النمو الاقتصادي والزيادة الناتجة عنه في انبعاثات هذه المناطق. ويظهر إجمالي القسر الإشعاعي الفعال الناجم عن الأهباء الجوية سلوكا مماثلا للمواقع ذات القسر السلبي الأقصى، ولكنه يظهر أيضا قسرا إيجابيا كبيرا فوق بعض الصحاري والمنطقة القطبية الشمالية. وفي المقابل، زاد المتوسط العالمي لإجمالي قسر أوزون الغلاف الجوي خلال القرن العشرين، وتكون ذروة موجبة بين 15 درجة شمالا و30 درجة شمالا ولكن قيمته تكون سالبة

حدوث تقلبات شبه دورية تتم على فترات منتظمة مدة كل منها 11 عاماً تقريبا. وعادة ما يُقدر القسر الطويل الأمد بمقارنة القيم الدنيا للنشاط الشمسي التي تصل التقلبية عندها إلى الحد الأدنى. وهذا يعطي تغيير القسر الإشعاعي قيمة قدرها -0.04 [من 0.08 إلى 0.00] واط/2م بين أحدث قيمة دنيا مسجلة (في عام 2008) والقيمة الدنيا لعام 1986. ومع ذلك، هناك بعض التفاوت في اتجاهات التغيير المقدر للبيانات المؤلف من بيانات ساتلية مختلفة. وتعتمد اتجاهات التغيير القرنية لإجمالي الإشعاعية الشمسية (TSI) قبل بدء الرصدات الساتلية على عدد من البيانات غير المباشرة. وأفضل تقدير للفسر الإشعاعي الناجم عن التغيير في إجمالي الإشعاعية الشمسية (TSI) خلال عصر الصناعة هو 0.05 [من 0.00 إلى 0.10] واط/2م (ثقة متوسطة)، والذي يتضمن الوصول إلى قيم أعلى للفسر الإشعاعي حول عام 1980، ثم يتخذ انحدارا هابطا يميل ضئيل. وهذا التقدير للفسر الإشعاعي يقل كثيرا عن التقدير الوارد في تقرير التقييم الرابع بسبب إضافة آخر دورة شمسية والاختلافات في طريقة تقدير القسر الإشعاعي الشمسي في التقييمات الأولى للهيئة (IPCC). ويبدو أن قيمة الحد الأدنى الأخير للنشاط الشمسي منخفضة بصورة غير عادية وأنها استمرت لمدة طويلة، ويشير عدد من الإسقاطات إلى أن إجمالي الإشعاعية الشمسية (TSI) سيصل إلى أقل قيمة خلال العقود المقبلة. ومع ذلك، فإن القدرات الحالية للتنبؤ بالإشعاعية الشمسية محدودة للغاية، مما يجعل الثقة منخفضة إلى حد كبير في القسر الشمسي المستقبلي. وعلى الرغم من ذلك، هناك ثقة عالية في أن القسر الشمسي في القرن الحادي والعشرين سيكون أقل بكثير من الزيادة المسقط في القسر الناجم عن غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز (WMGHGs) {5.2.1، 4.1.8؛ 5.1؛ FAQ.5.1}

ويؤثر التغيير في النشاط الشمسي على تدفق الأشعة الكونية التي تخترق الغلاف الجوي للأرض، ويُفترض أنه يؤثر على المناخ من خلال تغيير في التغميم. وتُعزز الأشعة الكونية تنوية الأهباء الجوية ومن ثم قد تؤثر على إنتاج نوى تكاثف السحب في التروبوسفير الحر، ولكن هذا التأثير أضعف من أن يحدث أي تأثير على المناخ في أثناء الدورة الشمسية أو خلال القرن الأخير (أدلة متوسطة، اتفاق كبير). وليس هناك ارتباط قوي محدد بين التغييرات في الأشعة الكونية والتغميم. وفي حالة وجود مثل هذا الارتباط، سيلزم إيجاد آلية غير التنوية المحفزة بالأشعة الكونية لجسيمات الأهباء الجوية الناشئة لشرح ذلك. {7.3، 7.4.6}

والفسر الإشعاعي الناجم عن الأهباء الجوية البركانية الستراتوسفيرية أصبح الآن من الأمور المفهومة جيدا، وقد حدث قسر إشعاعي كبير يستمر لسنوات قليلة بعد الانفجارات البركانية الكبيرة (الإطار 5.5، الشكل 1). وعلى الرغم من أن الانفجارات البركانية تحقن الغلاف الجوي بجسيمات معدنية وسلائف كبريتات الأهباء الجوية، فإن سلائف كبريتات الأهباء الجوية، نظرا لصغر حجمها وطول فترة بقائها في الجو، هي المسؤولة عن القسر الإشعاعي الذي يؤدي دورا مهما في تغيير المناخ. وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن الانفجارات البركانية هي أقل مرة على الأقل من الانبعاثات البشرية المنشأ، كما أنها غير مهمة بالنسبة للمناخ على النطاقات الزمنية القرنية. وتؤدي الانفجارات البركانية المدارية الكبيرة دورا مهما في قيادة تغيير المناخ على النطاقات الزمنية السنوية إلى العقدية خلال عصر الصناعة بسبب ما ينجم عنها في بعض الأحيان من قسر إشعاعي سلبي كبير جدا. ولم تحدث أي انفجارات بركانية كبيرة منذ انفجار بركان جبل بيناتوبو في عام 1991 الذي سبب قسرا إشعاعيا استمر لمدة عام بلغ نحو -3.0 واط/2م، ولكن عددا من الانفجارات البركانية الصغيرة التي حدثت خلال الفترة من 2008 إلى 2011 سببت قسرا إشعاعيا بلغ متوسطه -0.11 [من 0.15 إلى -0.08] واط/2م (ثقة عالية)، أي ما يعادل ضعفي قوتها إذا ما قيس حجمها بمتوسط الفترة من 1999 إلى 2002. وأدت الانفجارات الصغيرة إلى تحسين فهم اعتماد القسر الإشعاعي على كمية المواد المنبعثة من عملية الحقن عند خطوط العرض العليا وعلى توقيت حدوثها خلال السنة. {5.2.1، 5.3.5، 8.4.2؛ المرفق الثاني}

TS.3.6 التوليف بين التأثيرات القسرية؛ التطور المكاني والزمني

وُجد من التوليف بين عوامل القسر في عصر الصناعة أن من بين العوامل المسببة للفسر، هناك ثقة عالية بدرجة كبيرة في القسر الإشعاعي الناجم

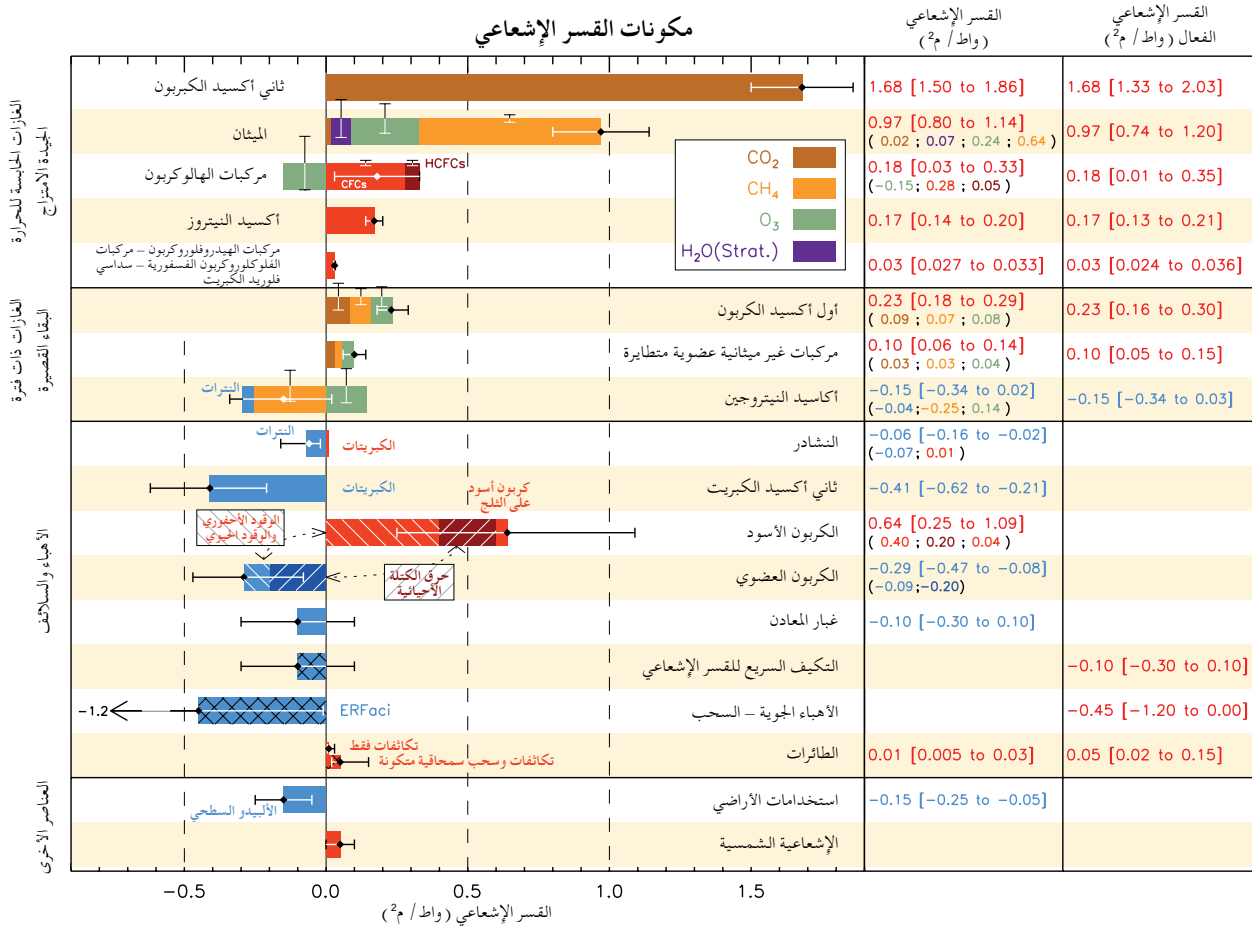
لنصف الثاني من القرن الحادي والعشرين مدفوعة في جزء كبير منها بثاني أكسيد الكربون. وتشير النتائج المستندة إلى سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCPs) إلى حدوث تغيرات ضئيلة فقط في القسر الإشعاعي الفعال (ERF) فيما بين عامي 2000 و 2030، يعقبه انخفاض شديد في الأهباء وتوهن ملموس في إجمالي القسر الإشعاعي الفعال السالب للأهباء. وتمثل أهباء مركبات النيترات استثناء من هذا الانخفاض، مع زيادة كبيرة في القسر السلبى الذي يمثل سمة قوية فيما بين النماذج القليلة المتاحة. ويبين التفرق عبر مسارات التركيز النموذجية (RCPs) أنه على الرغم من أن كمية معينة من تغير المناخ في المستقبل موجودة بالفعل في النظام نتيجة لعدم التوازن الإشعاعي الحالي الناتج عن الانبعاثات التاريخية وطول فترة بقاء بعض عوامل القسر في الغلاف الجوي، لا يزال من الممكن للخيارات المجتمعية أن تحدث تأثيراً كبيراً للغاية في القسر الإشعاعي RF في المستقبل ومن ثم في تغير المناخ. {8.2، 8.5.3، 8.6، 8.22، 12.4}

TS.3.7 أصداء تغير المناخ

ستؤدي أصداء تغير المناخ أيضاً دوراً مهماً في تحديد التغير في المناخ في المستقبل. والواقع أن التغير في المناخ قد يحدث تعديلاً في الدورة المائية، ودورة الكربون، والدورات الجيوكيميائية البيولوجية الأخرى مما قد يعزز (الأصداء

في القارة القطبية الجنوبية. ووصل الاستخدام السلبى للأراضي الذي ينتج بصورة مباشرة عن التغير في الأليبدو إلى أقوى قيمة له في المناطق الصناعية والمناطق التي تعتمد على حرق الكتلة الحيوية ويمكن للطابع غير المتجانس لعوامل القسر هذه أن تؤثر تأثيراً إيجابياً على الدورة الهيدرولوجية أكبر بكثير من المتوسط العالمي المكافئ للقسر المتجانس. {8.6، 8.3.5}

وعلى مدى القرن الحادي والعشرين، يتوقع أن يزيد القسر الإشعاعي في إطار مسارات التركيز النموذجية (RCPs؛ انظر الإطار TS.6). وتبين تقديرات النموذج البسيط للقسر الإشعاعي الناتجة من مسارات التركيز النموذجية (RCPs)، والتي تشمل انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج التي تغطي نطاقاً عريضاً من فترات المستقبل المحتملة، حدوث القسر الإشعاعي الناتج عن الأنشطة البشرية سوف يزيد عن عام 1750 إلى ما بين 3.0 و 4.8 واط/م² في عام 2050، وإلى ما بين 2.7 و 8.4 واط/م² في عام 2100. وعلى الأجل القريب، ستكون مسارات التركيز النموذجية (RCPs) مشابهة إلى حد كبير لبعضها البعض (لن تغطي الانبعاثات المتعلقة بقوى القسر المناخية على الأجل القريب النطاق المذكور في الأعمال السابقة فيما يتعلق بنطاقات المستقبل)، مع تراوح القسر الإشعاعي RF في عام 2030 من 2.9 إلى 3.3 واط/م² فقط (وقسر إشعاعي إضافي بين 2010 و 2030 يتراوح بين 0.7 و 1.1 واط/م²)، ولكنها تظهر قيمة متباعدة بدرجة كبيرة



الشكل 7.7 | القسر الإشعاعي (RF) للتغير في المناخ خلال عصر الصناعة مبيناً من خلال المكونات المنبعثة خلال الفترة من 1750 إلى 2011. القضبان الأفقية تمثل عدم التيقن الكلي، بينما تمثل القضبان الرأسية فرادى المكونات (ويتناسب طول القضيب الرأسى مع عدم التيقن النسبي، والطول الكلي للقضيب يساوي عرض القضيب لنسبة عدم التيقن ±50 في المائة). وترد أفضل التقديرات المتعلقة بالمكونات الكلية وفرادى المكونات (من اليسار إلى اليمين) للاستجابة في القضيب الأيمن. والقيم الواردة هي قيم قسر إشعاعي باستثناء القسر الإشعاعي الفعال (ERF) ناتجة عن تفاعلات الأهباء - السحب (ERFaci) والتكيف السريع المقترن بالقسر الإشعاعي والناتج عن تفاعل الأهباء - الأشعة (التكيف السريع RFari). ويلاحظ أن القسر الإشعاعي الإجمالي الناتج عن تفاعل الأهباء - الأشعة هو أساس الشكل SPM.5. ولم يتم إدراج الأهباء العضوية الثانوية حيث أن تكوينها يعتمد على عدد واط/م². والقسر الإشعاعي الإجمالي الناتج عن تفاعل الأهباء - الأشعة هو أساس الشكل SPM.5. ولم يتم إدراج الأهباء العضوية الثانوية حيث أن تكوينها يعتمد على عدد من العوامل غير المحددة بصورة كافية في الوقت الراهن. ويشمل القسر الإشعاعي الفعال (ERF) للسحب السحابة المتكونة من التكثفات. وينتج عن الجمع بين القسر الإشعاعي الفعال -0.45 [من -1.2 إلى 0.0] واط/م² والتكيف السريع ل-0.1 [من 0.3 إلى 0.1] واط/م² عامل متكامل للتكيف نتيجة الأهباء يبلغ -0.55 [من -1.33 إلى -0.06] واط/م². =CFCs =مركبات الكلوروفلوروكربون، =HCFCs =مركبات هيدروفلوروكربون، =PFCs =مركبات بيرفلوروكربون، =NMVOC =مركبات غير ميثانية عضوية متطايرة، =BC =كربون أسود. وترد تفاصيل إضافية بشأن الشكل SPM.5 في الملخص الفني. (الشكل 8.17)

السياق الذي يختار فيه. وعموماً، فإن إمكانيات القوى المناخية على إحداث احترار عالمي للقوى التي تؤثر على المناخ على الأجل القريب تكون أعلى من إمكانيات إحداث تغير في درجات الحرارة العالمية (GTPs) نتيجة لتساوي الزمن المرجح في القسور المتكامل المستخدم في إمكانيات إحداث الاحترار العالمي. وعلى ذلك، فإن اختيار المقياس يمكن أن يؤثر تأثيراً كبيراً على الأهمية النسبية للتغيرات القسرية في المناخ وعلى غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز وكذلك اختيار الأفق الزمني. ويبين تحليل أثر الانبعاثات الحالية (نبضة انبعاثات مدتها سنة واحدة) أن القوى المناخية القصيرة الأجل، مثل الكربون الأسود، أو ثاني أكسيد الكبريت أو الميثان قد تكون لها إسهامات مماثلة لإسهام ثاني أكسيد الكربون في الأفق الزمنية القصيرة الأجل (مع إشارة رياضية تكون إما ماثلة أو مخالفة له)، ولكن تأثيراتها تقل تدريجياً بالنسبة للأفق الزمنية الأطول التي تسود فيها انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (الجزء العلوي في الشكل 8.7). (7.7)

ويمكن تعريف عدد كبير من المقاييس الأخرى عبر سلسلة القوى المحركة - الاستجابة - التأثير. ولا يوجد مقياس وحيد يمكن أن يقارن بدقة بين جميع العواقب (أو بعبارة أخرى استجابات البارامترات المناخية مع الزمن) للانبعاثات المختلفة، كما أن أي معيار يحدد التكافؤ فيما يتعلق بتأثير واحد لن يعطي التكافؤ للتأثيرات الأخرى. اختيار المقياس إذا يعتمد بقوة على عاقبة محددة يرغب المرء في تقييمها. ويجدر بالملاحظة أن المقاييس لا تتحدد السياسات ولا الأهداف، ولكنها تيسر تحليل وتنفيذ السياسات العديدة العناصر من أجل تحقيق أهداف معينة. وتتضمن جميع خيارات المقاييس أحكاماً ضمنية مرتبطة بالقيمة، مثل نوع التأثير قيد الدراسة ووزن ذلك التأثير مع الزمن. وفي حين أن إمكانيات إحداث احترار عالمي تدمج تأثيرات حتى أفق زمني مختار (تعطي وزناً مساوياً لجميع الأزمنة وطول الأفق الزمني وتعطي وزناً يساوي صفراً بعد ذلك)، فإن إمكانيات إحداث تغيير في درجة الحرارة العالمية تعطي درجة حرارة لسنة واحدة مختارة فقط دون أن تعطي وزناً للسنوات السابقة عليها أو اللاحقة لها. (7.7)

وإمكانية إحداث احترار عالمي (GWP) وإمكانية إحداث تغيير في درجة الحرارة العالمية لهما حدود ويتسمان بأوجه عدم اتفاق تتعلق بمعالجة الآثار والأصداء غير المباشرة، مثلاً إذا كانت أصداء المناخ - الكربون مدرجة لنسبة الغاز المرجعي (ثاني أكسيد الكربون)، ولكنها غير مدرجة بالنسبة لغيره من الغازات. وتزداد أوجه عدم التيقن بصورة مطردة مع الزيادة في إمكانية إحداث احترار عالمي مع الأفق الزمني، ولفترة الـ 100 سنة يمكن أن يصل عدم التيقن من إمكانية إحداث غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز لاحترار عالمي إلى $40\pm$ في المائة. كما تشير عدد من الدراسات إلى أن هذا المقياس ليس مقياساً ملائماً للسياسات التي تعتمد على درجة حرارة قصوى. وأوجه عدم التيقن في إمكانية إحداث تغيير في درجة الحرارة العالمية (GTP) أيضاً تزيد مع الزمن لكونها تنشأ من نفس العوامل التي تسهم في أوجه عدم التيقن التي تسهم في إمكانية إحداث احترار عالمي (GWP) مع إسهامات إضافية ناشئة عن كونها تأتي عند مسافة أبعد من بداية سلسلة القوى المحركة - الاستجابة - التأثير وتتضمن استجابة المناخ. ومقياس إمكانية إحداث تغيير في درجة الحرارة العالمية (GTP) يكون أكثر ملاءمة للسياسات القائمة على هدف، ولكنه في الوقت نفسه غير ملائم لكل هدف. وتتوفر الآن قيم المقاييس المحدثة التي تراعي التغيرات في معرفة فترات البقاء في الغلاف الجوي والكفاءات الإشعاعية وأصداء المناخ - الكربون. (7.7)، الجدول 8.7، الجدول 8.A.1، الفصل 8 جدول المواد التكميلية 8.SM.16

وباستخدام مقاييس الانبعاثات هذه، يمكن تقييم التأثير المناخي للانبعاثات السابقة أو الحالية الناشئة عن الأنشطة المختلفة. ويمكن لهذا التحديد القائم على الأنشطة أن يوفر معلومات إضافية متصلة بالسياسات، إذ إن التأثير المباشر لهذه الأنشطة باختيارات مجتمعية معينة يفوق تأثير الانبعاثات الكلية. فالانبعاثات المكافئة لسنة واحدة (نبضة) تستخدم في أحيان كثيرة لتحديد الأثر الكمي على المناخ في المستقبل. ومن هذا المنظور، وباستخدام المقياس المطلق لإمكانية إحداث تغيير في درجة حرارة العالم (GTP) لتوضيح النتائج، تكون للطاقة والصناعة أكبر الإسهامات في الاحترار الذي يحدث على مدى الـ 50 إلى الـ 100 سنة التالية (الشكل 8.7)، اللوحة السفلي). كما ينتج عن حرق الوقود المنزلي الأحفوري والحيوي والكتلة الأحيائية والنقل على الطرق إسهامات كبيرة نسبياً على الاحترار على هذه

الإيجابية) أو يوهن الزيادة المتوقعة في درجة الحرارة (الأصداء السلبية). ومن المعروف أن أصداء ألبيدو الثلج والجليد تكون إيجابية. ومن المرجح للغاية أن الأصداء المشتركة لبخار الماء والتناقص في درجات حرارة الغلاف الجوي مع الارتفاع سيكون إيجابياً وأنه أصبح الآن محدد القيمة بصورة جيدة، في حين أن الملاحظات المتعلقة بالسحب لا يزال يكتنفها قدر أكبر من أوجه عدم التيقن (انظر 6.7 TFE). وإضافة إلى ذلك، فإن نماذج المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة البيئية للنماذج المتقارنة الجديد (CMIP5) تعطي دائماً أصداء إيجابية لدورة الكربون، بمعنى أنه يشير إلى وجود كميات أقل من مغاثن ثاني أكسيد الكربون كأصداء التغير في المناخ في المستقبل. وبصفة خاصة، فإن أصداء دوره الكربون في المحيطات تكون إيجابية في النماذج. وثمة اتفاق أقل فيما يتعلق بمغاثن الكربون في النظم الإيكولوجية البرية في المناطق المدارية، وقد تكون حساسة للتغير في المناخ عن طريق عمليات من قبيل حالات الجفاف والحرائق التي لا تمثل تمثيلاً كاملاً في بعض الأحيان حتى الآن. ويتمثل أحد التحديثات المهمة منذ صدور تقرير التقييم الرابع في إدخال ديناميات العناصر الغذائية في بعض نماذج المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المتقارنة (CMIP5)، وبخاصة الفيود التي يفرضها نقص النيتروجين على نمو النباتات. ويتمثل التأثير الصافي لتوضيح دورة النيتروجين في صغر حجم المغيض البري المسقط فيما يتعلق بمسار معين لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن النشاط البشري (انظر 7.7 TFE). (6.4)، الإطار 6.1، 7.2

وتبين النماذج وتجارب احترار النظم الإيكولوجية اتفاقاً كبيراً على أن انبعاثات الميثان الصادرة من مستنقعات المياه العذبة سوف تزداد لكل وحدة مساحة من الأرض في المناخ الأكثر احتراراً، ولكن نطاق امتداد مستنقعات المياه العذبة المقيسة من الجو قد يزيد أو ينقص بحسب التغيرات الإقليمية في درجة الحرارة وكمية الأمطار التي تؤثر على هيدرولوجيا مستنقعات المياه العذبة، ومن ثم يسفر ذلك عن ثقة منخفضة في الإسقاطات الكمية لانبعاثات الميثان الصادرة من تلك المستنقعات. وتكون مستودعات الكربون في صخور الهيدرات [hydrates] والتربة الدائمة التجمد بالغة الضخامة، ومن ثم، من المحتمل أن تعمل كمصدر قوي لمعرفة أصداء التغير. ورغم ضعف الفيود، فإن من المرجح أن انبعاث الميثان على الصعيد العالمي في الغلاف الجوي من صخور الهيدرات والتربة الدائمة التجمد كانت منخفضة خلال القرن الحادي والعشرين نتيجة الحالة غير المشبعة للمحيط، وطول الفترة الزمنية لتهوية المحيط وبطء انتشار الاحترار عبر قاع البحر. وثمة ثقة عالية في أن إطلاق الكربون نتيجة انصهار التربة الدائمة التجمد يوفر أصداء إيجابية، ولكن هناك ثقة منخفضة في الإسقاطات الكمية لشده. (7.4.7)

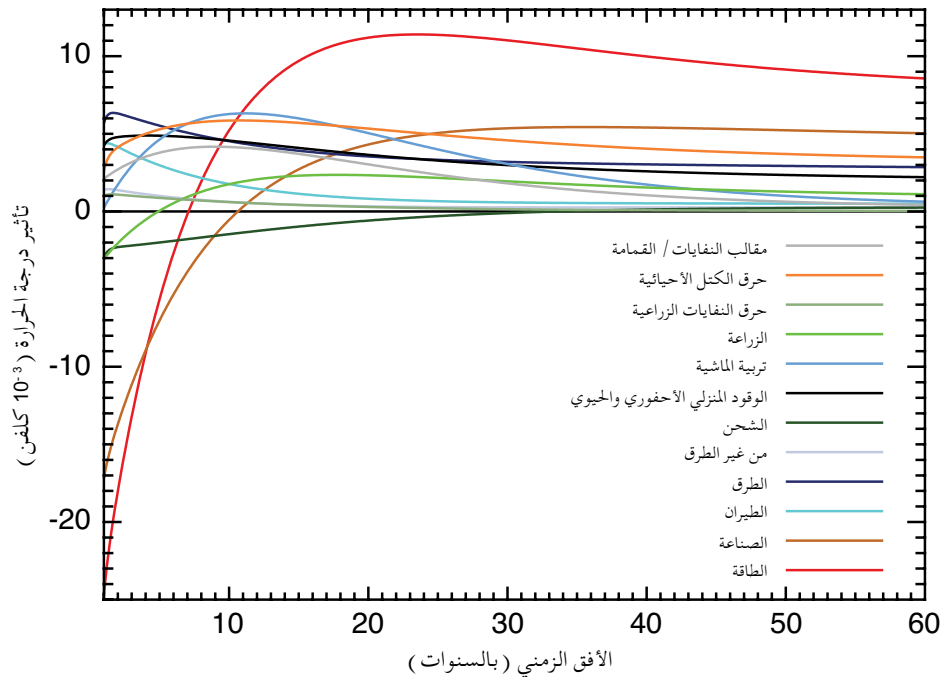
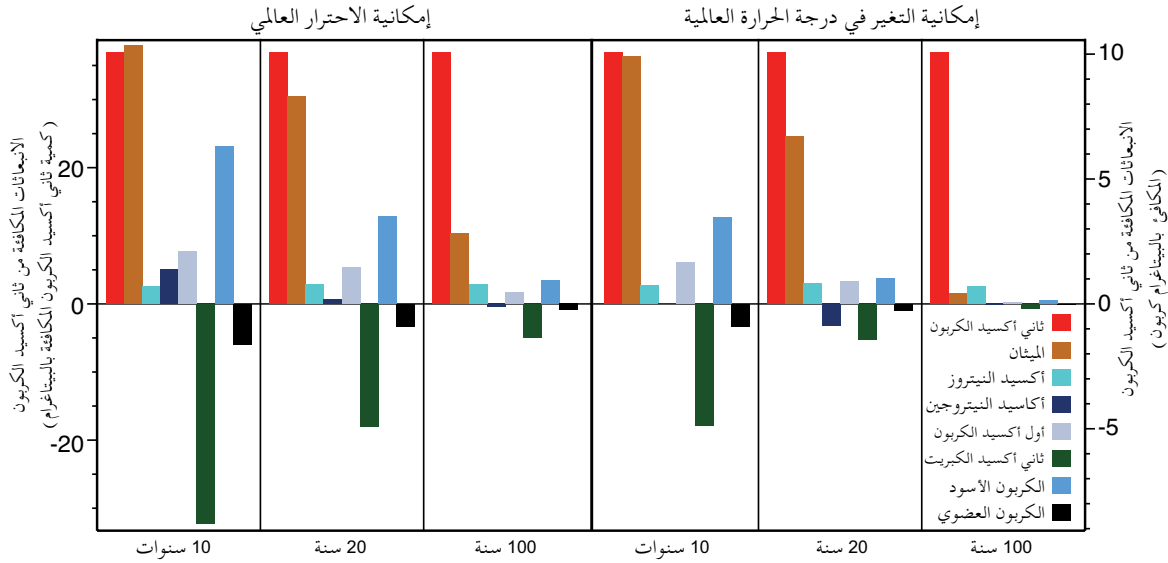
وتحدث أصداء تأثير الأهباء على المناخ من خلال التغيرات في مصدر قوة الأهباء الطبيعية أو ما تحدثه بها من تغيرات أو التغيرات في كفاءة مغاثن الأهباء الطبيعية والأهباء الناشئة عن الأنشطة البشرية؛ وقد أجري عدد محدود من دراسات النمذجة التي قيمت قوة هذه الأصداء بأنها ضئيلة مع ثقة منخفضة. وثمة ثقة متوسطة في أصداء ضعيفة (ذات إشارة رياضية غير مؤكدة) فيما يتعلق بكبريتيد ثنائي الميثيل، ونوى تكاثف السحب، وألبيدو السحب نتيجة ضعف حساسية أعداد نوى تكاثف السحب للتغيرات في انبعاثات كبريتيد ثنائي الميثيل. (7.3.5)

TS.3.8 مقاييس الانبعاثات

يمكن استخدام مقاييس مختلفة لتعيين كميات الإسهامات النسبية والمطلقة لانبعاثات المواد المختلفة في تغير المناخ وإبلاغها، وللانبعاثات الصادرة من الأقاليم/البلدان أو المصادر/القطاعات. وحتى صدور تقرير التقييم الرابع، كان أكثر المقاييس المستخدمة شيوعاً هو القدرة على إحداث احترار عالمي (GWP) التي تحسب قيم تكامل القسور الإشعاعي على مدى أفق زمني معين. يعبر هذا المقياس إذا عن الكفاءات الإشعاعية للمواد المختلفة، ومدد بقائها في الغلاف الجوي، ويوفر لها قيماً بالنسبة إلى القيم المرجعية لثاني أكسيد الكربون. وثمة تركيز متزايد حالياً على القدرة على إحداث تغيير في درجة الحرارة العالمية (GTP)، المستندة إلى المتوسط العالمي لدرجة حرارة سطح البحر (GMST) في نقطة زمنية معينة، وتُنسب هذه أيضاً إلى الاحترار الذي ينتج عن الغاز المرجعي، وهو ثاني أكسيد الكربون، ومن ثم فهي توفر أصداء التغير في المناخ كما توفر قيم الكفاءات الإشعاعية ومدد البقاء في الغلاف الجوي. ويستخدم هذان المقياسان (GWP، GTP) كلاهما إطاراً زمنياً (الجزء العلوي من الشكل 8.7)، يعتمد اختياره على الشخص وعلى

القصير (نتيجة لانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت أساساً)، ومن ثم يمكن أن تؤدي الانبعاثات الصادرة من تلك القطاعات إلى استجابات متعارضة لمتوسط درجة الحرارة العالمية على النطاقات الزمنية القصيرة الأجل والطويلة الأجل. وتعتمد الأهمية النسبية للقطاعات الأخرى على الفترة الزمنية والمنظور المختارين. وكما هو الحال بالنسبة للقسر الإشعاعي (RF) أو القسر الإشعاعي الفعال (ERF)، فإن أوجه عدم التيقن في تأثيرات الأهباء كبيرة، وأرجاع التفاعلات بين الأهباء والسحب إلى مكونات فردية معينة هو عزو ضعيف التقييم. (8.7؛ الفصل 8 – المواد التكميلية، الشكلان 8.SM.9، 8.SM.10)

النطاقات الزمنية، بينما تكون الانبعاثات الحالية من القطاعات التي تطلق كميات كبيرة من الميثان (تربية الماشية ومقالب النفايات والزراعة) أكثر أهمية في الأفق الزمني الأقصر (حتى نحو 20 سنة). ويتمثل منظور مفيد آخر في فحص تأثير الانبعاثات الحالية المستدامة. ولأن زوال المواد المنبعثة يتم على أساس فترة بقائها في الغلاف الجوي، فإن الفصائل التي تبقى لفترات قصيرة تظل عند قيم ثابتة تقريباً بينما تتراكم الغازات التي تبقى لفترات طويلة في هذا التحليل. وفي كلتا الحالتين، تؤدي القطاعات التي تحدث أكبر التأثيرات في الاحترار الطويل الأجل (الطاقة والصناعة) إلى حدوث تبريد على الأجل



الشكل 8.11 | (اللوحة العليا) الانبعاثات العالمية البشرية المنشأ في الوقت الراهن المرجحة بإمكانية إحداث احترار عالمي (GWP) وإمكانية إحداث تغير في درجة الحرارة العالمية (GTP) في الأفق الزمني المختارة. وانبعاثات العام 2008 (نبضة لعام واحد) مرجحة بإمكانية إحداث احترار عالمي (GWP)، وهي المتوسط العالمي للقسر الإشعاعي (RF) لكل وحدة كتلة منبعثة متكاملة على مدى عدد السنوات بالنسبة إلى القسر الناتج عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وإمكانية إحداث تغير في درجة الحرارة العالمية (GTP) التي تقدر التأثير على المتوسط العالمي لدرجة الحرارة على أساس التطور الزمني لكل من القسر الإشعاعي واستجابة المناخ لكل وحدة كتلة منبعثة بالنسبة إلى تأثير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. والوحدات المستخدمة هي 'مكافئ ثاني أكسيد الكربون'، الذي يعكس التكافؤ بين بارامتر التأثير لوحدة القياس المختارة فقط (القسر الإشعاعي (RF) المتكامل في الأفق الزمني لإمكانية إحداث احترار عالمي (GWP)؛ والتغير في درجة الحرارة في النقطة المختارة من الزمن لدرجة الحرارة العالمية مقومة بوحدات بيتاغرام من ثاني أكسيد الكربون المكافئ) (المحور الأيسر) وبيتاغرام من الكربون المكافئ (المحور الأيمن). (اللوحة السفلى) تستخدم إمكانية إحداث تغير في درجات الحرارة العالمية المطلقة (AGTP) كدالة للزمن مضروبة في كمية الانبعاثات الراهنة لجميع المركبات من القطاعات المبينة لتقدير الاستجابة لمتوسط إمكانية إحداث تغير في درجة الحرارة العالمية (AGTP) مماثلة إلى GTP، إلا أنها غير معدلة لمراعاة تأثير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون). ولا يوجد سوى تأثير طفيف في القيم النسبية للقطاعات للأفق الزمني البالغ 60 إلى 100 سنة. ولا تظهر التفاعلات بين الأهباء والسحب ولا للسحب السمحاقية الناتجة من التكاثر في اللوحة العليا. (الشكلان 8.32، 8.33)

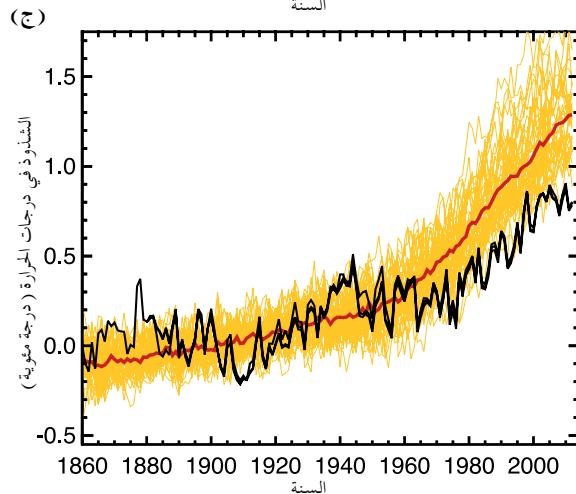
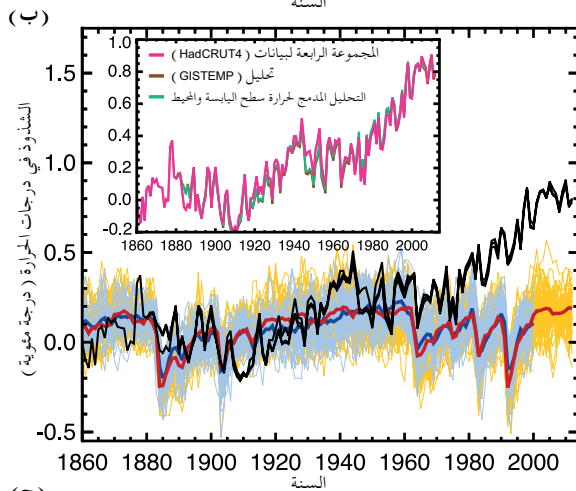
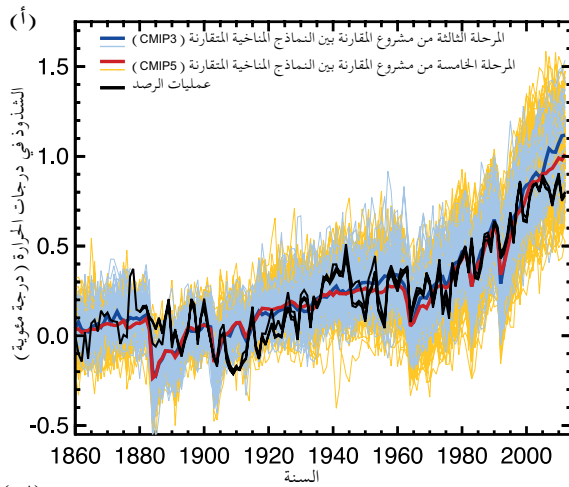
TS.4 فهم النظام المناخي وتغيراته الأخيرة

TS.4.1 المقدمة

يتحقق فهم نتائج النظام المناخي من خلال دمج الرصدات والدراسات النظرية لعمليات التأثير التفاعلي ونماذج المحاكاة. ومقارنة بتقرير التقييم الرابع (AR4)، تسمح الرصدات الأكثر تفصيلاً وتحسُن النماذج المناخية (انظر الإطار TS.4) حالياً بعزو التغيرات المكتشفة إلى التأثيرات البشرية في عدد أكبر من مكونات النظام المناخي. ويشير اتساق التغيرات المرصودة والمتمثلة عبر النظام المناخي، بما في ذلك التغيرات في درجات الحرارة الإقليمية والدورة المائية وميزانية الطاقة العالمية والغلاف الجليدي والمحيطات (بما في ذلك تجمد المحيطات)، إلى حدوث تغيير في المناخ العالمي ناجم أساساً عن الزيادات في تركيزات غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز الناتجة عن الأنشطة البشرية. {10}

TS.4.2 درجة الحرارة السطحية

منذ صدور تقرير التقييم الرابع (AR4)، سمحت تطورات عديدة بإجراء تحديد كمي أكثر دقة للتأثير البشري للتغيرات في درجة الحرارة السطحية. وقد درست أوجه عدم اليقين المتعلقة بالرصد بعمق أكبر بكثير من ذي قبل، وينظر التقييم حالياً في رصدات العقد الأول من القرن الحادي والعشرين كما تحسنت عمليات المحاكاة باستخدام جيل جديد من النماذج المناخية القادرة على محاكاة المناخ التاريخي في جوانب كثيرة مقارنة بالجيل السابق من النماذج التي استخدمت في تقرير التقييم الرابع (AR4). وتبقى حالات الشذوذ المرصودة خلال السنوات الأخيرة والمتعلقة بالمتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية للفترة 1880-1919 خارج نطاق حالات الشذوذ الخاصة بالمتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية في عمليات المحاكاة التي تجرى في إطار المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5)، مع أخذ التأثير الطبيعي فقط في الاعتبار، إلا أنها تتسق مع مجموعة عمليات المحاكاة التي تجرى ضمن المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5)، بما في ذلك التأثيرات البشرية المنشأ والطبيعية (الشكل TS.9)، مع أن بعض النماذج الفردية تتباين في تقدير اتجاه التغير نحو الاحترار، بينما تقلل النماذج الأخرى من شأنه. وبشكل عام، تظهر عمليات المحاكاة التي تشمل تغيرات في غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز فقط بدون أن تشمل تغيرات في الأهباء الجوية، احتراراً أقوى من الاحترار الذي تم رصده (الشكل TS.9). ويتسق منحى درجات الحرارة المرصودة خلال الفترة 1951-2010، التي تميزت باحترار معظم مناطق العالم وبأشد الاحترار في قارات نصف الكرة الشمالي في أغلبية الأماكن المرصودة، مع اتجاهات التغير في درجات الحرارة الناتجة من عمليات المحاكاة التي تجرى ضمن المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، بما في ذلك التأثيرات البشرية المنشأ والطبيعية، ولكنها لا تتسق مع التغير في درجات الحرارة في عمليات المحاكاة التي تجرى ضمن المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، بما في ذلك تلك التي تدرس التأثيرات الطبيعية فقط. ويقوم عدد من الدراسات بتقصي آثار التذبذب المتعدد العقود في المحيط الأطلسي (AMO) على المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية. ومع أن بعض الدراسات تخلص إلى أن التذبذب المتعدد العقود في المحيط الأطلسي (AMO) يضطلع بدور مهم كمحرك لتقلبية المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية على مدى العقود، لم يظهر التذبذب المتعدد العقود في المحيط الأطلسي (AMO) تغيراً ملحوظاً خلال الفترة 1951-2010 يمكن أن تستند إليه التقييمات الحالية، كما تشير التقييمات بدرجة عالية من الثقة إلى أن التذبذب المتعدد العقود في المحيط الأطلسي لم يسهم إلا بقدر ضئيل في اتجاه تغير المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية بين عام 1951 وعام 2010 (أقل بكثير من 0.1 درجة مئوية). {2,4, 9.8.1, 10.3, 10.3.1, 10.3.2}



الشكل 9.9 | ثلاثة تقديرات رصدية للمتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (الخطوط السوداء) حسب مركز هادلي / وحدة البحوث المناخية والمجموعة الرابعة لبيانات درجات الحرارة السطحية المعروضة في شكل نقاط شبكية (HadCRUT4)، ومعهد Goddard للدراسات الفضائية وتحليل GISTEMP لدرجات الحرارة السطحية والتحليل المدمج لدرجة حرارة سطح اليابسة والمحيط (MLOST) بالمقارنة مع نماذج المحاكاة (المرحلة الثالثة من مشروع مقارنة النماذج المناخية المتقارنة (CMIP3) - الخطوط الزرقاء الرفيعة والمرحلة الخامسة من مشروع مقارنة النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) - الخطوط الصفراء الرفيعة) مع التأثيرات البشرية المنشأ والطبيعية (أ) التأثيرات الطبيعية فقط (ب) تأثير غازات الاحتباس الحراري فقط (ج) تمثل الخطوط الحمراء والزرقاء السمكية المتوسطات المتاحة من كافة عمليات المحاكاة المتعلقة بالمرحلتين الثالثة والخامسة لمشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة على التوالي. وتستمر جميع بيانات المحاكاة والرصد باستخدام تغطية Had-CRUT4 (إذ أن لمجموعة البيانات المعنية تغطية مكانية محدودة إلى أقصى مدى)، وتظهر متوسط حالات الشذوذ في المتوسط العالمي للفترة 1880-1919، حيث تتسبب جميع البيانات أولاً كحالات شاذة بالنسبة للفترة 1961-1990 في كل إطار شبكي. تبين الصورة المدرجة داخل اللوحة (ب) المجموعات الثلاث من البيانات الرصدية المميزة بالوان مختلفة. (الشكل 10.1)

ومن المرجح إلى حد كبير أن تكون الأنشطة البشرية قد تسببت في أكثر من نصف الزيادة المرصودة في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية خلال الفترة من 1951 إلى 2010. وتدعم هذا التقييم أدلة قوية مستقاة

الإطار 3.3 | النماذج المناخية والفجوة في المتوسط العالمي للاحتراق السطحي في السنوات الخمس عشرة الماضية

أظهر المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST) تغيراً خطياً متزايداً أصغر بكثير على مدى السنوات الخمس عشرة الماضية مما كان عليه خلال السنوات الثلاثين إلى الستين الماضية (الإطار 3.3، الشكل 1، ج). واستناداً لمجموعة البيانات الرصدية، قدر أن التغير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية خلال الفترة 1998-2012 يبلغ نحو ثلث إلى نصف التغير خلال الفترة 1951-2012. وعلى سبيل المثال، تبلغ قيمة التغير في المجموعة HadCRUT4 0.04 درجة مئوية في العقد للفترة 1998-2012 مقارنة مع 0.11 درجة مئوية في العقد للفترة 1951-2012. وسجل التغير المرصود للمتوسط GMST تراجعاً ملحوظاً بشكل واضح خلال فصل الشتاء في نصف الكرة الأرضية الشمالي. وحتى في وجود هذه الفجوة في تغير المتوسط العالمي GMST، كان العقد الأول من القرن الحادي والعشرين أكثر العقود احتراراً في سجلات المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية GMST. ومع ذلك، إن ظهور الفجوة في تغير المتوسط العالمي GMST خلال السنوات الخمس عشرة الماضية يثير سؤالين عن سبب حدوثها وعن قدرة النماذج المناخية على التنبؤ بها مرة أخرى. {2.4، 3، 9.4.1، 9.4.2؛ الجدول 2.7}

وفترات الفجوة البالغة خمس عشرة سنة شائعة في كل من السلاسل الزمنية المرصودة والسلاسل الزمنية التاريخية الخاصة بالمتوسط العالمي GMST في المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة. غير أن تحليل المجموعة الكاملة لعمليات المحاكاة التاريخية في المرحلة الخامسة من المشروع CMIP5 تكشف أن أصل 111 من أصل 114 من هذه المجموعات تظهر اتجاه تغير متوسط أعلى مما سجل خلال الفترة 1998-2012 لكامل المجموعة (يبلغ متوسط التغير للمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة البيئية للنماذج المناخية المتقارنة 0.21 درجة مئوية لكل عقد (الإطار 3.3، الشكل 1 أ)). وهذا الفرق بين التغير المحاكى والتغير المرصود يمكن أن ينتج عن اقتران أكثر من سبب واحد (أ) التقلبية الداخلية للمناخ، و (ب) تأثير إشعاعي غير موجود أو غير صحيح، و (ج) خطأ في استجابة النموذج. وسيتم أدناه تقييم هذه المصادر المحتملة للاختلاف التي لا يستبعد بعضها بعضاً، كما يجري تقييم سبب الفجوة في اتجاه التغير المرصود للمتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية GMST. {2.4، 3، 9.3.2، 9.4.1، 9.4.2؛ الإطار 9.2}

التقلبية الداخلية للمناخ

يمكن أن تنشأ الفترات من 10 إلى 15 سنة التي تبرز فيها الفجوة كمظهر من مظاهر التقلبية الداخلية العقدية للمناخ التي تعزز في بعض الأحيان اتجاه التغير الطويل الأجل الناتج عن العوامل الخارجية وتتصدى له في أحيان أخرى. وتقلل التقلبية الداخلية إذا من أهمية التغيرات على فترات قصيرة تمتد من 10 إلى 15 سنة فيما يتعلق بتغير المناخ في الأجل الطويل. وعلاوة على ذلك، لا يتوقع أن يتوافق توقيت تقلبية المناخ العقدية الداخلية مع عمليات المحاكاة التاريخية التي تجرى في إطار المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، نظراً لأن أفق إمكانية التنبؤ لا يزيد عن 10 إلى 20 سنة (تبدأ عمليات المحاكاة التاريخية التي تجرى في إطار المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) عادة نحو عام 1850 من خلال تشغيل محكوم). ولكن النماذج المناخية تظهر عقوداً فردية تبرز خلالها الفجوة في تغير المتوسط العالمي للاحتراق السطحي حتى خلال فترة طويلة من امتصاص طاقة النظام المناخي، وفي مثل هذه الحالة، يتحقق التوازن في ميزانية الطاقة بامتصاص متزايد للحرارة من تحت سطح المحيطات. {2.4، 3، 9.3.2، 9.4.1، 11.2.2؛ الأطران 2.2، 9.2}

ونظراً للقيود التي تكتنف أخذ العينات، فإن من غير المؤكد ما إذا كانت قد حدثت زيادة في معدل امتصاص الحرارة تحت سطح المحيطات خلال السنوات الخمس عشرة الماضية. ولكن من المرجح بدرجة كبيرة أن يكون النظام المناخي، بما في ذلك أجزاء المحيطات التي يزيد عمقها عن 700 م، قد وصلت امتصاص الطاقة خلال الفترة 1998-2010. وأسفر الاتساق بين المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية وتراكم الطاقة المعني، فاستمر في الارتفاع خلال الفترة 1998-2012 بمعدل يقل قليلاً عن معدله خلال الفترة 1993-2012. ويؤدي الاتساق بين المحتوى الحراري المرصود والتغيرات في مستوى سطح البحر إلى درجة عالية من الثقة في تقييم تراكم طاقة المحيطات المتواصل، الذي يتسق بدوره مع اختلال التوازن الإشعاعي الإيجابي للنظام المناخي. وعلى النقيض من ذلك، هناك أدلة محدودة على أن الفجوة في تغير المتوسط العالمي للاحتراق السطحي قد تراكمت مع معدل زيادة أبطأ في المحتوى الحراري للمحيطات عند أعماق تتراوح بين 0 و 700 متر عند مقارنة الفترة 2003-2010 والفترة 1971-2010. وهناك توافق محدود بشأن هذا التباطؤ في معدل الزيادة، إذ أن ثلاثة من أصل خمسة تحليلات تظهر تباطؤاً في معدل الزيادة بينما يبين التحليلان الآخران استمرار هذه الزيادة بشكل مطرد. {3.2، 3، 3.7، 8.5.1، 13.3؛ الأطران 3.1 و 13.1}

وخلال فترة السنوات الخمس عشرة التي بدأت عام 1998، يقع مستوى النزوع إلى التغير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية للمجموعة Had-CRUT4 تحت مستوى جميع التغيرات التي تركز على المحاكاة بالنماذج تقريباً (الإطار 3.3، الشكل 1أ)، بينما يزيد خلال فترة السنوات الخمس عشرة الماضية التي تنتهي في عام 1998 عن 93 من أصل 114 من اتجاهات التغير المنمذجة (الإطار 3.3، الشكل 1ب)؛ ومتوسط اتجاه التغير للمجموعة HadCRUT4 البالغ 0.26 درجة مئوية في العقد، ومتوسط اتجاه التغير لمجموعة المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) البالغ 0.16 درجة مئوية في العقد). وخلال فترة الاثننتين وستين سنة الممتدة من 1951 إلى 2012 يتوافق متوسط اتجاه المرصود مع متوسط اتجاه مجموعة المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة في حدود 0.02 درجة مئوية في العقد (الإطار 3.3، الشكل 1 ج)؛ متوسط الاتجاه الخاص بمجموعة المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) البالغ 0.13 درجة مئوية للعقد). ومن ثم، هناك ثقة عالية بدرجة كبيرة في أن نماذج المرحلة الخامسة من المشروع CMIP5 تظهر اتجاهات متفقة مع رصدات المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية، على الرغم من الاختلاف حول فترة السنوات الخمس عشرة الأخيرة. ونتيجة لتقلبية المناخ الداخلية، يقترب الاتجاه الخاص بالمتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية في بعض الأحيان من أحد طرفي أي مجموعة نموذجية في أي فترة تمتد لخمس عشرة سنة، وهو تأثير واضح في الإطار 3.3 TS. الشكلان 1 أ و ب بسبب تأثير المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية بظاهرة النينو الشديدة القوة التي حدثت في عام 1998. (الإطار 9.2)

وعلى خلاف عمليات المحاكاة التاريخية التي تجرى ضمن المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) المذكورة أعلاه، بدأت الإسقاطات المتعلقة بالمرحلة الخامسة من المشروع CMIP5 انطلاقاً من حالة المناخ في أواخر التسعينات من القرن الماضي وبداية القرن الحادي والعشرين. وهناك أدلة متوسطة على أن هذه التنبؤات المستهله تظهر متوسطاً عالمياً لدرجة الحرارة السطحية يقل بنحو 0.05 إلى 0.1 درجة مئوية مقارنة بعمليات المحاكاة التاريخية (غير المستهله) وتحافظ على هذا المتوسط العالمي المنخفض لدرجة الحرارة السطحية خلال السنوات القليلة الأولى من عملية المحاكاة. وفي بعض هذه النماذج المستهله، يحدث جزء من هذه المستويات المنخفضة للمتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية نتيجة لمحاكاة النماذج بشكل صحيح لنحو حدث في عام 2000 تقريباً من طور إيجابي إلى طور سلبي للتذبذب فيما بين العقود في المحيط الهادئ (IPO). ولكن تحسين مراحل التذبذب فيما بين العقود في المحيط الهادئ (IPO) عن طريق الشروع فيها لا يسود على النطاق العالمي عبر إسقاطات المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5). وعلاوة على ذلك، وعلى الرغم من أن بعض الانخفاض في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية الذي تؤدي إليه مرحلة الشروع ينشأ بالفعل نتيجة بدء مرحلة التقلبية الداخلية على نحو صحيح، قد ينتج بعضه الآخر عن تصحيح تحيز في أحد النماذج يعود إلى تأثير خاطئ في الماضي أو إلى استجابة نموذجية خاطئة

لتأثير حدث في الماضي، ولا سيما في المحيطات. ولا يزال الحجم النسبي لهذه التأثيرات غير معروف في الوقت الحاضر؛ وبالإضافة إلى ذلك، لا يمكن تقييم نوعية نظام التنبؤ استناداً إلى إسقاط واحد (في هذه الحالة إسقاط مدته عشر سنوات خلال الفترة 1998-2012). وبشكل عام، هناك مستوى متوسط من الثقة في أن مرحلة الشروع تؤدي إلى عمليات محاكاة للمتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية خلال الفترة 1998-2012 تكون أكثر اتساقاً مع اتجاه التغيير في الفجوة المرصود من عمليات المحاكاة التاريخية غير المستهله التي تؤدي في المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، وفي أن الفجوة تنتج جزئياً عن التلقائية الداخلية التي يمكن التنبؤ بها على النطاقات المتعددة السنوات. {11.1، 11.2.3، الإطارات 2.5 و 9.2 و 11.1 و 11.2}

التأثير الإشعاعي

يستجيب المكوّن القسري لتغير المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية لاتجاه التأثير الإشعاعي الفعال على نحو سريع نسبياً وبشكل خطي تقريباً على النطاقات الزمنية العقدية وفيما بين العقود وفي إطار تأثير إشعاعي فعال يتزايد بصفة مستمرة (درجة متوسطة من الثقة). وترتبط الاستجابة القسرية المتوقعة لتغير المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية بالتأثير الإشعاعي الفعال من خلال عامل تم تقديره لزيادة بنسبة 1 في المائة في تركيز ثاني أكسيد الكربون في مجموعة المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) بمقدار 2.0 [من 1.3 إلى 2.7 م/اط لكل درجة مئوية] [نطاق عدم اليقين 90 في المائة]. وعلى ذلك، يمكن تحويل التغيير في التأثير الإشعاعي الفعال تقريباً إلى استجابة قسرية تتعلق بالتغيير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية، مما يسمح بإجراء تقييم لمقدار التغيير في التأثير الإشعاعي الفعال على التغيير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية المبينة في الإطار 3، TS، الشكل 1. {الإطار 9.2}

ويبلغ أفضل تقدير للتغيير في التأثير الإشعاعي الفعال خلال الفترة 1998-2011، 0.22 [من 0.10 إلى 0.34] م/اط لكل عقد (نطاق عدم اليقين 90 في المائة) حسبما ورد في تقرير التقييم الخامس (AR5)، وهو أقل بكثير من التغيير خلال الفترة 1984-1998 [0.32 [من 0.22 إلى 0.42] م/اط لكل عقد؛ مع الإشارة إلى الثوران البركاني الشديد عام 1982 والتغير خلال الفترة 1951-2011 [0.31 [من 0.19 إلى 0.40] م/اط لكل عقد؛ الإطار 3، TS، الشكل 1 -دو؛ واختير عام 2011 كآخر عام لأن البيانات المتاحة أكثر محدودة من البيانات المتعلقة بالمتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية). وتبلغ الاستجابة القسرية الناتجة الخاصة بالمتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية حوالي 0.12 [من 0.05 إلى 0.29] م/اط لكل عقد، و 0.19 [من 0.09 إلى 0.39] م/اط لكل عقد، و 0.18 [من 0.08 إلى 0.37] م/اط لكل عقد للفترة 1998-2011 و 1984-1998 و 1951-2011 على التوالي (تفترض نطاقات عدم اليقين أن نطاق عامل التحويل إلى تغيير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية وللتغيير في التأثير الإشعاعي الفعال ذاته نطاقان مستقلان). وبالتالي، قد يفسر أفضل تقدير للتغيير في التأثير الإشعاعي الفعال بين الفترة 1998-2011 والفترة 1951-2011 حسبما ورد في تقرير التقييم الخامس (AR5) بنحو نصف (0.05 درجة مئوية في العقد) الفرق بين تغيير المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية لهاتين الفترتين (من 0.06 إلى 0.08 درجة مئوية لكل عقد، بحسب مجموعة بيانات الرصد). {8.5.2}

ويعود الانخفاض في أفضل تقدير لتغير التأثير الإشعاعي الفعال الوارد في تقرير التقييم الخامس (AR5) على مدى الفترة 1998-2011 مقارنة بالفترتين 1984-1998 و 1951-2011 في معظمه لتناقض التأثيرات الطبيعية التي بلغت -0.16 [من -0.27 إلى -0.06] م/اط لكل عقد خلال الفترة 1998-2011 بالمقارنة مع 0.01 [من -0.00 إلى +0.01] م/اط لكل عقد خلال الفترة 1951-2011. وانتقل القسر الشمسي من قيمة عليا نسبية في عام 2000 إلى قيمة دنيا نسبية في عام 2009، مع فرق من ذروة إلى ذروة يبلغ نحو 0.15 م/اط واتجاه تغيير خطي يبلغ -0.10 م/اط لكل عقد خلال الفترة 1998-2011. وعلاوة على ذلك، ساهمت سلسلة من الثورات البركانية الصغيرة في زيادة حمل الهباء الجوي الستراتوسفيري المرصود بعد عام 2000، مما أدى إلى إسهام سلبي إضافي لاتجاه التغيير الخطي للتأثير الإشعاعي الفعال من حوالي -0.06 م/اط لكل عقد خلال الفترة 1998-2011 (الإطار 3، TS، الشكل 1، د). وخلافاً لذلك، تشير التقديرات المستمدة من السواتل والمتعلقة بالعمق الضوئي للهباء الجوي التروبوسفيري إلى حدوث تغيير إجمالي طفيف في المتوسط العالمي للعمق الضوئي للهباء الجوي خلال السنوات العشر الأخيرة، مما يدل على تغيير طفيف في التأثير القسري الفعال بسبب التفاعل بين الهباء الجوي والأشعة (مستوى منخفض من الثقة نظراً للمستوى المتدني من الثقة في تغيير العمق الضوئي للهباء الجوي ذاته). وعلاوة على ذلك، ونظراً للمستوى المنخفض من الثقة في التأثير الإشعاعي الفعال بسبب التفاعلات بين الهباء الجوي والسحب، هناك بالمثل مستوى منخفض من الثقة في هذا التغيير على مدى السنوات الخمس عشرة الأخيرة. {2.2.3؛ 4.2.4؛ 8.5.1، 8.5.2، 10.3.1؛ الإطار 10.2؛ الجدول 8.5}

وفيما يتعلق بالفترتين 1984-1998 و 1951-2011، ينحرف متوسط تغيير التأثير الإشعاعي الفعال لمجموعة المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) عن أفضل تقدير لتغير التأثير الإشعاعي الفعال الوارد في تقرير التقييم الخامس (AR5) بمقدار 0.01 م/اط فقط (الإطار 3، TS، الشكل 1، ه). غير أن نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) لا تتضمن بعض المساهمات المتعلقة بخفض التأثير الإشعاعي الفعال بعد عام 1998، مثل كمية الهباء الجوي الستراتوسفيري الذي تزايد بعد عام 2000 والمستوى الأدنى للنشاط الشمسي الذي كان منخفضاً بصورة غير عادية في عام 2009. ومع ذلك، يقل متوسط التغيير في التأثير الإشعاعي الفعال لمجموعة المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) خلال الفترة 1998-2011 عن أفضل تقدير للتغيير في التأثير الإشعاعي الفعال الوارد في تقرير التقييم الخامس (AR5) بمقدار 0.03 م/اط لكل عقد (الإطار 3، TS، الشكل 1، د). وعلاوة على ذلك، يظهر المتوسط العالمي للعمق الضوئي للهباء الجوي في نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) تغيراً طفيفاً خلال الفترة 1998-2012 يكون مماثلاً للرصدات. وعلى الرغم من أهمية أوجه عدم اليقين المتعلقة بالتأثيرات القسرية، لا يظهر متوسط عالمي للتأثيرات القسرية غير صحيح أو ناقص في نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) على مدى السنوات الخمس عشرة الأخيرة يمكن أن يفسر الاختلاف بين الرصدات والنماذج خلال فجوة الاحترار. {9.4.6}

الخطأ في استجابة النماذج

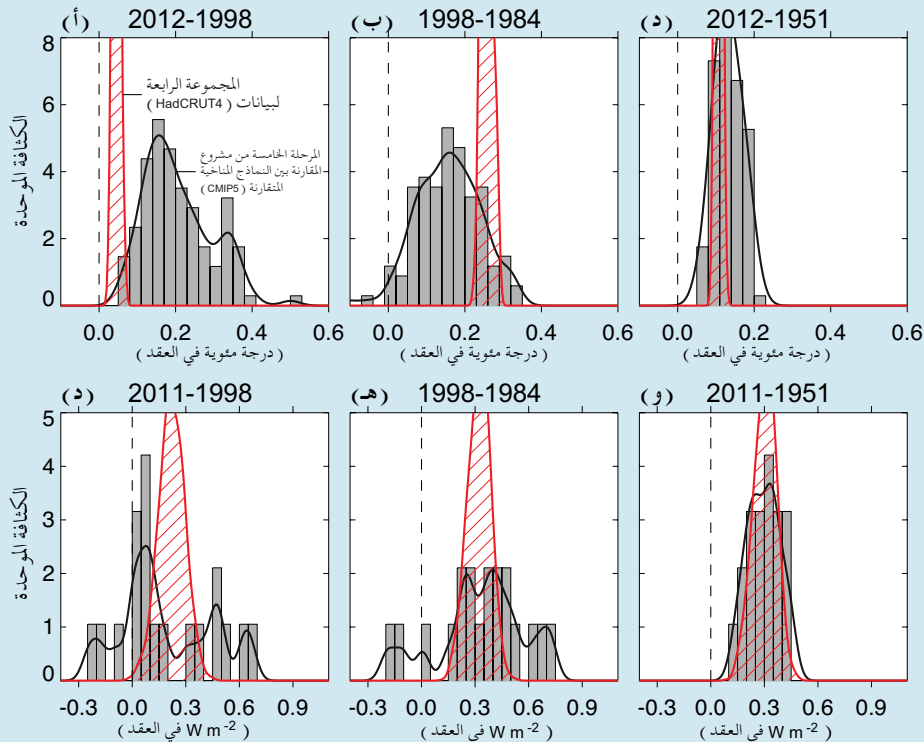
يمكن تفسير التباين بين اتجاهات التغيير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية النمذجة والمرصودة خلال الفترة 1998-2012 بشكل جزئي عن طريق نزوع بعض نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) لمحاكاة درجة احترار أعلى استجابة لزيادات في تركيز غازات الاحتباس الحراري مما يتسق مع الرصدات. وإذا تم حساب المتوسط على نطاق مجموعات النماذج التي جرى تقييمها في القسم 10.3.1، يكون أفضل تقدير لغازات الاحتباس الحراري وعوامل القياس البشرية المنشأ الأخرى أقل من واحد (ولكن ليس بدرجة كبيرة، الشكل 10.4)، مما يشير إلى ضرورة خفض متوسط استجابات النماذج والاستجابات الأخرى البشرية المنشأ لتحقيق أفضل تناسب مع الرصدات. وتوفر هذه النتيجة أدلة على أن بعض نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) تتبالغ في استجابة غازات الاحتباس الحراري والعوامل الأخرى البشرية المنشأ (التي تسيطر عليها تأثيرات الأهباء الجوية) عما يحدث في الواقع (مستوى ثقة متوسط). ونتيجة لذلك، يذكر في الفصل 11 أنه ينبغي خفض إسقاطات النماذج للمتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية في الأجل القريب بنسبة 10 في المائة تقريباً. ولكن هذا الخفض لا يكفي لتفسير المبالغة في تقدير التغيير في المتوسط الذي يسفر عنه النموذج فيما يتعلق بالمتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية على مدى فترة الفجوة. {10.3.1؛ 11.3.6}

ويعد التمثيل الضعيف لبخار الماء في الطبقات العليا للغلاف الجوي مصدراً محتملاً آخر للخطأ في النماذج. وقد أشير إلى أن الانخفاض في بخار الماء الستراتوسفيري بعد عام 2000 قد أدى إلى انخفاض الأشعة الطويلة الموجات الهابطة فساهم بالتالي في التبريد السطحي الذي ربما تكون النماذج قد أغفلته.

ولكن هذا التأثير قيم هنا على أنه تأثير ضئيل، لأن بخار الماء الستراتوسفيري استعاد وضعه الطبيعي بعد عام 2005. {2.2، 9.4.1، الإطار 9.2} وباختصار، تعزى فجوة الاحترار المرصودة مؤخراً، التي تعرف بأنها الانخفاض في اتجاه تغير المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية خلال الفترة 1998-2012 بالمقارنة مع اتجاه التغير خلال الفترة 1951-2012 بنفس القدر تقريباً إلى تبريد ساهمت فيه التقلبية الداخلية واتجاه تراجع في التأثير الخارجي (تقديرات الخبراء، مستوى ثقة متوسط). ويعود التراجع في اتجاه التأثير أساساً إلى اتجاه تأثير سلبية من الثورات البركانية والطور الانحداري للدورة الشمسية. ولكن ثمة مستوى منخفض من الثقة في تحديد دور اتجاه التأثير في حدوث الفجوة تحديداً كيمياً، بسبب أوجه عدم اليقين بشأن تغير مقدار التأثير البركاني ومستوى الثقة المنخفض في اتجاه تأثير الأهباء الجوية. {الإطار 9.2}

وعمليات المحاكاة التاريخية التي تجرى ضمن المرحلة الخامسة من المشروع CMIP5 كلها تقريباً لا تعيد إنتاج فجوة الاحترار المرصودة مؤخراً. وثمة مستوى متوسط من الثقة في أن الاختلاف في تغير المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية بين النماذج والرصدات خلال الفترة 1998-2012 يعود إلى حد كبير إلى التقلبية الداخلية، مع إسهامات ممكنة من الخطأ الناجم عن التأثير ومبالغة بعض نماذج المرحلة الخامسة من المشروع CMIP5 في تقدير الاستجابة للتأثير المتزايد لغازات الاحتباس الحراري. ولا يظهر الاتجاه النموذجي في التأثير الإشعاعي الفعال الخاص بالمرحلة الخامسة من المشروع CMIP5، فيما يبدو، أي تحيز واضح عن أفضل تقدير ورد في تقرير التقييم الخامس AR5 خلال الفترة 1998-2012. غير أن مستوى الثقة في هذا التقييم للتأثير الإشعاعي الفعال في المرحلة الخامسة من المشروع CMIP5 يكون منخفضاً، ويعود ذلك أساساً إلى أوجه عدم اليقين بشأن تأثير الأهباء الجوية في النماذج والعمليات المرتبطة به، التي قد تسبب بفعل عدم التجانس المكاني، خطأ لم يكتشف في تغير المتوسط العالمي للتأثير الإشعاعي الفعال حتى في غياب اتجاه للتغير في المتوسط العالمي لكمية الهباء الجوي المتراكمة. {الإطار 9.2}

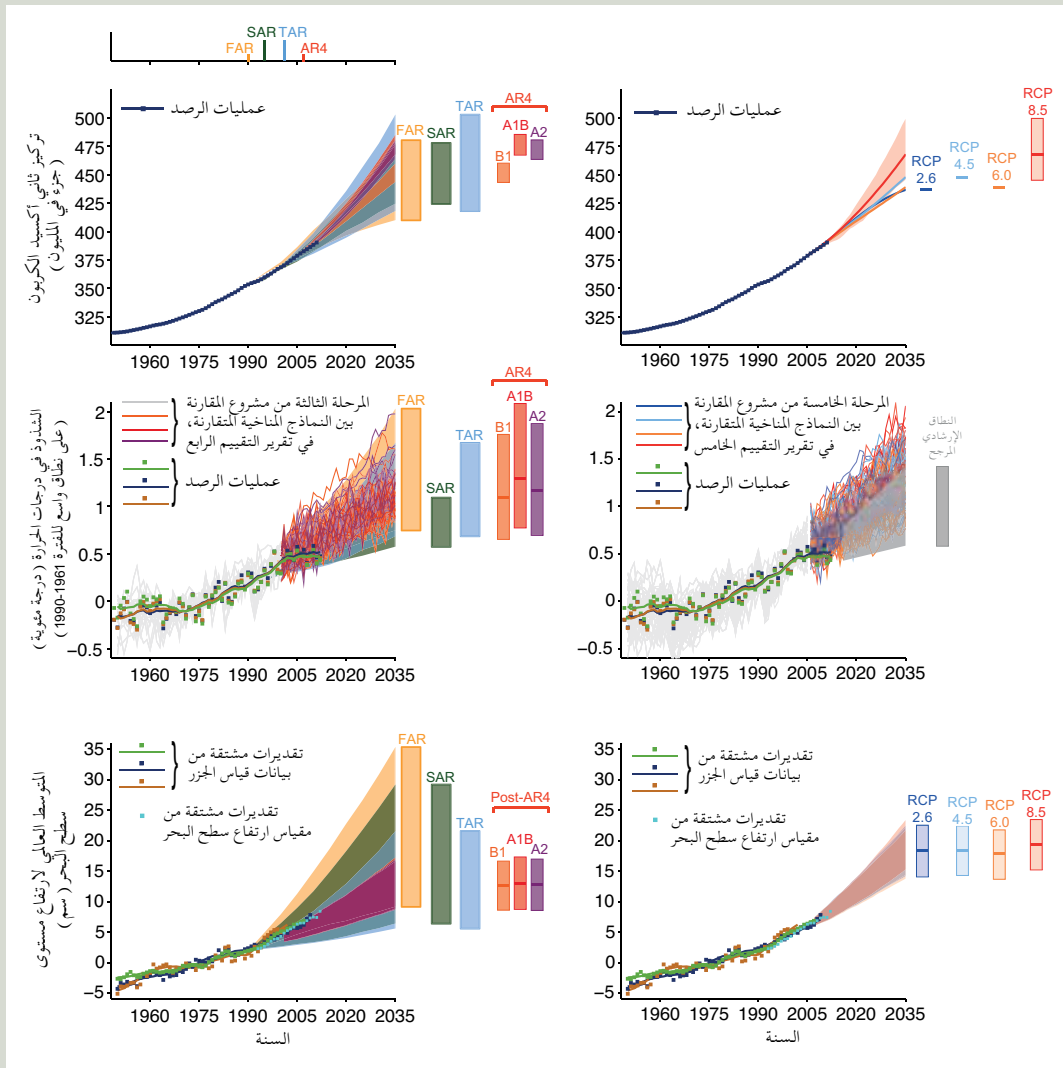
وتشير أسباب الاختلاف بين الفجوة المرصودة في تغير المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية واتجاه المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية المحاكى بالنماذج خلال الفترة 1998-2012 إلى أن أغلبية التغيرات في المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية التي تستمر 15 عاماً ستكون أوسع نطاقاً في المستقبل القريب مما كانت عليه خلال الفترة 1998-2012 إلا في حال حدوث ثوران بركاني مهم (مستوى عالٍ من الثقة؛ للاطلاع على تقييم شامل للإسقاطات على المدى القريب للمتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية، انظر القسم 11.3.6). وهناك أربعة أسباب تؤدي إلى هذا الاستنتاج: أولاً، من المتوقع أن تستمر زيادة تركيزات غازات الاحتباس الحراري البشرية المنشأ في جميع سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية؛ ثانياً، من المتوقع أن تنخفض تركيزات الأهباء الجوية البشرية المنشأ في جميع سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية، وأن ينخفض كذلك أثر التبريد الناجم عنها؛ ثالثاً، من المتوقع أن يكون اتجاه التغير في التأثير الشمسي أوسع نطاقاً خلال أغلبية الفترات القريبة الأجل الممتدة على مدى الـ 15 عاماً مما كانت عليه خلال الفترة 1998-2012 (مستوى ثقة متوسط)، بما أن الفترة 1998-2012 احتوت على مرحلة كامل الطور الانحداري للدورة الشمسية؛ رابعاً، ترجيح تعزيز تقلبية المناخ الداخلية في المدى القريب للاحتراق السطحي الذي يتوقع أن يحدث نتيجة تزايد التأثير البشري المنشأ، وليس أن تتصدى له يفوق عدم ترجيحه. {الإطار 9.2}



الشكل 11 | (اللوحة العليا) اتجاهات المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية المرصودة والمحاكاة بالدرجة المعوية في العقد، خلال الفترات 2012-1998 (أ)، 1998-1984 (ب)، و 1951-2012 (ج)، وفيما يتعلق بالرصدات، هناك 100 عملية محققة في إطار المجموعة الرابعة لبيانات درجات الحرارة مبيّنة في شكل نقاط شبكية (HadCRUT4) مركز هادلي / وحدة البحوث المناخية (باللون الأحمر المخطط). وتتعلق أوجه عدم اليقين المبيّنة بواسطة عرض المجموعة بالبنية الإحصائية للمتوسط العالمي فقط، على نقيض أوجه عدم اليقين المتعلقة بالتغير والمذكورة في القسم 2.4.3، التي تشمل تقديراً لتقلبية المناخ الداخلية. وخلافاً لذلك، تمثل التقلبية الداخلية هنا بواسطة عرض مجموعة النماذج. وفيما يتعلق بالنماذج، يتم بيان جميع العمليات التاريخية المحققة والمتاحة الـ 114 التي تجرى ضمن المرحلة الخامسة من المشروع CMIP5، ويتم توسيع نطاقها بعد عام 2005 بواسطة سيناريو مسار التركيز النموذجي 4.5 وخلال عام 2012 (اللون الرمادي المظلل). (اللوحة السفلى) اتجاهات التأثير الإشعاعي الفعال (بالواط/2م لكل عقد) خلال الفترات (د) 1998-2011، و 1998-1984 (هـ)، و 1951-2011 (و). ويبيّن الشكل أفضل تقدير لاتجاهات التغير في التأثير الإشعاعي الفعال (اللون الأحمر المظلل) وللتغير في التأثير الإشعاعي الفعال للمرحلة الخامسة من المشروع CMIP5 (اللون الرمادي المظلل) حسبما ورد في تقرير التقييم الخامس. وتمثل الخطوط السوداء المساء نسخاً من مخططات توزيع التواتر. وتتم معايرة كل مخطط من مخططات توزيع التواتر لتصبح مساحته الكلية مساوية لواحد. {2.4.3، 8.5.2، الإطار 9.2، الشكل 8.18، الإطار 9.2، الشكل 11}

3. TFE | مقارنة الإسقاطات من التقييمات السابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) مع الرصدات

يمكن القول بأن التحقق من الإسقاطات هو أكثر الوسائل إقناعاً لإثبات موثوقية علم تغير المناخ. وتجري مقارنة كمية لنتائج التغيرات المسقطه لثاني أكسيد الكربون، والمتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية، والمتوسط العالمي لمستوى سطح البحر مع أفضل التقديرات الرصدية المتوافرة. وتسلط مقارنة تقارير التقييم الأربعة السابقة الضوء على تطور فهمنا لكيفية استجابة النظام المناخي للتغيرات التي تطرأ على كل من التأثير الطبيعي والتأثير البشري المنشأ، كما تقدم تقييماً لكيفية مقارنة الإسقاطات مع التقديرات الرصدية. وعلى سبيل المثال، يبين الشكل 1 في القسم 3. TFE التقديرات المسقطه والمرصودة لـ: (1) تغيرات ثاني أكسيد الكربون (الصف العلوي)، و(2) حالات الشذوذ في المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية للفترة 1961-1990 (الصف الأوسط) و(3) المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر للفترة 1961-1990 (الصف السفلي). وترد في العمود الأيسر نتائج تقارير التقييم السابقة، ولغرض الاستكمال، ترد في العمود الأيمن نتائج التقييم الحالي. {2.4، 3.7، 6.3، 11.3، 13.3}



الشكل 3.1 | TFE، أعلى اليسار) التركيزات المرصودة عالمياً ومتوسط التركيزات السنوية لثاني أكسيد الكربون مقومة بعدد الأجزاء في المليون منذ عام 1950 ومقارنتها بالإسقاطات من التقييمات السابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC). تركيزات ثاني أكسيد الكربون السنوية المرصودة على النطاق العالمي مبيّنة باللون الأزرق الداكن. ويبيّن التظليل أوسع نطاق نمذجي متوقع لتركيزات ثاني أكسيد الكربون السنوية على النطاق العالمي من عام 1950 إلى عام 2035 كما ورد في تقرير التقييم الأول (تقرير التقييم الأول؛ الشكل ألف 3. من ملخص لصانعي السياسات الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) في عام 1990)، وفي تقرير التقييم الثاني (تقرير التقييم الثاني؛ الشكل 5 ب من الملخص الفني الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) في عام 1996)، وتقرير التقييم الثالث (تقرير التقييم الثالث؛ المرفق الثاني من تقرير الهيئة لعام 2001)، وفيما يتعلق بالتقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات الذي وضعته الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، السيناريوهات A2 و A1B و B1 الواردة في تقرير التقييم الرابع (تقرير التقييم الرابع؛ الشكل 10.26). وترد في الشكل سنوات نشر تقارير التقييم. (أعلى اليمين) متوسط تركيزات ثاني أكسيد الكربون المرصودة على النطاق العالمي نفسها والإسقاطات الواردة في هذا التقرير. لا يتوافق نطاق القيم إلا في مسار التركيز النموذجي RCP.8.5 لأن سيناريوهات الانبعاثات لم تجر إلا لهذا المسار النموذجي فقط. ويرد أفضل تقدير فيما يتعلق بمسارات التركيز النموذجية الأخرى. (وسط اليسار) التغيرات المقدرة في معدل درجات الحرارة السطحية السنوية المرصودة عالمياً فيما يتعلق بحالات الشذوذ للفترة 1961-1990 (بالدرجات المئوية) منذ عام 1950 مقارنة مع نطاق الإسقاطات من التقييمات السابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC. ويتم تنسيق القيم لتبدأ بنفس القيمة في عام 1990. وتبين حالات الشذوذ في درجات الحرارة السنوية المرصودة عالمياً فيما يتعلق بالفترة 1961-1990 بواسطة ثلاث مجموعات بيانات

على شكل مربعات كما تظهر السلاسل الزمنية المساء كخطوط متصلة من مركز هادلي / وحدة البحوث المناخية في إطار المجموعة الرابعة لبيانات درجات الحرارة السطحية المعروفة في شكل نقاط شبكية HadCRUT4؛ اللون الأخضر الفاتح، ومجموعات البيانات الصادرة عن التحليل المدمج لحرارة سطح الأرض والمحيط (MLOST) (اللون الخردلي) ومعهد Goddard للدراسات الفضائية وتحليل GISTEMP لدرجات الحرارة السطحية (اللون الأزرق الداكن). وبين التظليل الملون النطاق المتوقع لتغير المتوسط العالمي السنوي لدرجات الحرارة القريبة من السطح من عام 1990 إلى عام 2035 فيما يتعلق بالتمثيل المرحلي للمناخ المستخدمة في تقرير التقييم الأول (الشكل 6.11)، وتقرير التقييم الثاني (الشكل 19 في الملخص الفني الخاص بالهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) لعام 1996)، وتقرير التقييم الثالث (المجموعة الكاملة لتقرير التقييم الثالث، الشكل 9.13 (ب)). وتستند نتائج تقرير التقييم الثالث إلى التحليل البسيطة للنماذج المناخية المعروضة في هذا التقييم وهي لا تستند إلى عمليات محاكاة النماذج المناخية الإفرادية الكاملة والثلاثية الأبعاد. وفيما يتعلق بتقرير التقييم الرابع، يتم عرض النتائج كتشغيل فردي للنماذج فيما يتعلق بمجموعة المرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3) للمرحلة التاريخية الممتدة بين عام 1950 وعام 2000 (الخطوط الرمادية الفاتحة) وللسيناريوهات الثلاثة الواردة في التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات (السيناريوهات A2 و A1B و B1) من عام 2001 إلى عام 2035. وفيما يتعلق بالسيناريوهات الثلاثة، تبين الأعمدة متوسط مجموعة المرحلة الثالثة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP3) والنطاق المرجح من -40 في المائة إلى +60 من المتوسط كما جرى تقييمه في الفصل 10 من تقرير التقييم الرابع AR4. (بين الوسط) إسقاطات المتوسط العالمي السنوي لدرجات الحرارة السطحية للفترة 2035-1950 (حالة الشذوذ فيما يتعلق بالفترة 1961-1990) في إطار مسارات تركيز نموذجية مختلفة لنماذج المرحلة الخامسة من المشروع CMIP5 (الخطوط الرمادية الفاتحة والخطوط الملونة، عضو واحد في المجموعة لكل نموذج)، والتقدير الرصدية للمعادلة للمجموعة في يسار الوسط. ويشير القسم الرمادي المظلل إلى النطاق المرجح للدلالة للمتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية خلال الفترة 2016-2035 لجميع مسارات التركيز النموذجية (المزيد من التفاصيل، انظر الشكل TS. 14). وبين العمود الرمادي هذا النطاق الإرشادي المرجح نفسه لعام 2035. (أسفل اليسار) التغيرات المقدرة في المتوسط السنوي لمستوى سطح البحر المرصود عالمياً منذ عام 1950. تقديرات مختلفة للتغيرات في حالات الشذوذ الخاصة بمستوى سطح البحر السنوي العالمي استناداً إلى بيانات قياس المد (اللون الأزرق الداكن، اللون الخردلي، واللون الأخضر) وإلى المتوسطات السنوية لبيانات قياس الارتفاع من السواحل (اللون الأزرق الفاتح) بدءاً من عام 1993 (تتنظم القيم لتتماشى مع القيمة لعام 1993 التي توفرها بيانات قياس المد). وتشير المربعات إلى متوسط القيم السنوية، بينما تشير الخطوط المتصلة إلى القيم المقربة. ويظهر التظليل أكبر نطاق نموذجي متوقع لارتفاع المتوسط السنوي العالمي لمستوى سطح البحر من عام 1950 و 2035 فيما يتعلق بتقرير التقييم الأول (الشكلان 9.6 و 9.7)، وتقرير التقييم الثاني (الشكل 21 من الملخص الفني الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) لعام 1996)، وتقرير التقييم الثالث (المرفق الثاني من تقرير الهيئة لعام 2001)، واستناداً إلى نماذج المرحلة الثالثة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة CMIP3 المتاحة عند إصدار تقرير التقييم الرابع AR4 باستخدام السيناريو A1B الوارد في التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات. ويجدر بالملاحظة أنه لم يذكر في تقرير التقييم الرابع نطاق كامل بالنسبة لإسقاطات مستوى سطح البحر لتلك الفترة. ومن ثم، يبين الشكل النتائج التي تم نشرها في أعقاب صدور تقرير التقييم الرابع AR4. وتبين الأعمدة في الجهة اليمنى لكل رسم بياني النطاق الكامل المذكور لعام 2035 لكل تقرير تقييم. (أسفل اليمين) نفس التقدير الرصدية الوارد في أسفل اليسار. وتمثل الأعمدة النطاقات المرجحة (مستوى ثقة متوسط) لارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر في عام 2035 بالنسبة للفترة 1961-1990 على غرار مسارات التركيز النموذجية الأربعة. ويتضمن التذييل 1 ألف تفاصيل بشأن البيانات والحسابات المستخدمة لرسم هذه الأشكال. لمزيد من التفاصيل، انظر الفصول 1 و 11 و 13. (الأشكال 1.4 و 1.5 و 1.10 و 11.9 و 11.25 و 13.11)

التغيرات في ثاني أكسيد الكربون

ازدادت تركيزات ثاني أكسيد الكربون المرصودة في الغلاف الجوي باطراد بين عام 1950 وعام 2011. وبالنظر إلى الفترة 1990-2011، يستمر رصد التغيرات في تركيزات ثاني أكسيد الكربون في إطار السيناريوهات المستخدمة في تقارير التقييم الأربعة. ويتميز تقرير التقييم الرابع (AR4) الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC بصفته تقيماً صادراً قبل التقييم الحالي وأحدث التقييمات التي صدرت قبله (القسم 3. TFE الشكل 1؛ أعلى اليسار) بأنه أكثر نطاقات السيناريوهات ضيقاً، وأن تركيزه المرصود يتبع هذا النطاق. وتتسق نتائج تقرير التقييم الخامس (AR5) (القسم 3. TFE، الشكل 1؛ أعلى اليمين) مع نتائج تقرير التقييم الرابع (AR4)، وقد زادت تركيزات ثاني أكسيد الكربون بمعدل 1.9 إلى 2.1 جزء في المليون في السنة خلال الفترة 2002-2011. {1.2، 2.2، 6.3، الجدول 6.1}

المتوسط العالمي للشذوذ في درجات الحرارة

كان الشذوذ في المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية بالنسبة لمتوسط الفترة من 1961-1990، إيجابياً وأكبر من 0.25 درجة مئوية منذ عام 2001. وتبقى الرصدات عموماً ضمن نطاق الإسقاطات السابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC (القسم 3. TFE، الشكل 1؛ وسط اليسار). ويصدق هذا أيضاً على نتائج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) (القسم 3. TFE، الشكل 1، وسط اليمين) بمعنى أن السجل المرصود يقع داخل نطاق إسقاطات النماذج، ولكنه يظل عند الحد الأدنى للنطاق. وقد ثار بركان بيناتوبو عام 1991 (للاطلاع على مناقشة بشأن كيفية تأثير البراكين على النظام المناخي، انظر السؤال 11.2)، مما أدى إلى فترة وجيزة اتسمت بمتوسط عالمي ذو تأثير مبرد في أوائل التسعينيات من القرن الماضي. ولم يشمل كل من تقرير التقييم الأول والثاني والثالث للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC آثار الثورات البركانية ولم تشمل بالتالي التأثير المبرد المرتبط بثوران بركان بيناتوبو. غير أن تقرير التقييم الرابع والخامس اشتملا بالفعل على تأثيرات البراكين ونجحا في محاكاة التأثير المبرد المرتبط بها. وخلال الفترة 1995-2000 شهد تباين المتوسط العالمي لدرجات الحرارة تغييرات عديدة - يعزى جزء مهم من هذه التقلبات إلى ظاهرة "النينيو" الواسعة النطاق خلال الفترة 1997-1998 وإلى ظاهرة لانينيا القوية التي جاءت في أعقابها خلال الفترة 1999-2001. ولا تسعى الإسقاطات المرتبطة بتقارير التقييم المعنية لخصر التطور الفعلي لظاهرتي النينيو ولانينيا إنما تشملهما كمصدر عدم يقين بسبب التقلبات الطبيعية التي يتضمنها على سبيل المثال النطاق الوارد في عمليات المحاكاة الفردية في إطار المرحلة الثالثة والمرحلة الخامسة من مشروع مقارنة النماذج المتقارنة (CMIP3 و CMIP5) والإسقاطات (القسم 3. TFE، الشكل 1). ويعادل الإسفين الرمادي في القسم 3. TFE، الشكل 1 (وسط اليمين) النطاق الدلالي المرجح لدرجات الحرارة السنوية، الذي يتم تحديده بواسطة القيم المقدرة الخاصة بمسارات التركيز النموذجية لمتوسط فترة العشرين عاماً 2016-2035 (المزيد من التفاصيل، انظر المناقشة الواردة في الشكل TS. 14 والقسم 6.3.11). ومن عام 1998 إلى عام 2012، بقيت التقديرات الرصدية عند أدنى مستويات النطاق المذكور في السيناريوهات التي وردت في تقارير التقييم السابقة وإسقاطات المرحلتين الثالثة والخامسة من مشروع مقارنة النماذج المتقارنة (CMIP3 و CMIP5). (2.4؛ الإطار 9.2)

المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر

استناداً إلى بيانات مقياس المد والجزر وقياس الارتفاع من السواحل استمر المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر في الارتفاع بالنسبة للفترة 1961-1990. وعلى الرغم من اطراد الزيادة إلى حد ما، يبين كلا سجلي الرصد فترات قصيرة لم تشهد أي تغيير أو شهدت انخفاضاً طفيفاً. وتبقى التقديرات المرصودة في إطار جميع الإسقاطات ربما باستثناء السنوات الأولى من تسعينيات القرن الماضي. وتكون أوجه عدم اليقين المتعلقة بمستوى ارتفاع سطح البحر بسبب أوجه عدم اليقين المتصلة بالسيناريوهات أقل عدداً بالنسبة لأحدث التقييمات (تقرير التقييم الرابع وتقرير التقييم الخامس)، وتبقى التقديرات المرصودة منحصرة في إطار أوجه عدم اليقين المتصلة بهذه السيناريوهات. ومن شبه المؤكد أن مستوى سطح البحر قد ارتفع خلال القرن العشرين. وبلغت الزيادة في متوسط مستوى سطح البحر نحو 1.7 م في السنة مع نطاق مرجح بدرجة عالية بين 1.5 و 1.9 م بين عامي 1901 و 2010، ثم ارتفع هذا المعدل إلى 3.2 م مع نطاق مرجح بين 2.8 و 3.6 م في السنة بين عامي 1993 و 2010 (انظر القسم 2. TFE). {3.7.4، 3.7.2}

الشمسي تؤثر على التقلبات المناخية العقدية في بعض المناطق من خلال الكيات التضخيم. {8.4، 10.3؛ الإطار 10.2}

ولا يندرج الاحترار الملحوظ على مدى السنوات الستين الماضية في نطاق تقليدية المناخ الداخلية المقدرة بواسطة البيانات المستقاة قبل استخدام الأدوات، كما أنه لا يندرج في نطاق التقلبية الداخلية المحاكاة في النماذج المناخية. ويقدر أن عمليات المحاكاة للتقلبية الداخلية القائمة على النماذج مناسبة لإجراء هذا التقييم. وبالإضافة إلى ذلك، يختلف النمط المكاني للاحترار المرصود عن الأنماط المرتبطة بالتقلبية الداخلية. واستناداً إلى هذه الأدلة، يقدر أن إسهام التقلبية الداخلية في تغير المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية للفترة 1951-2010 تتراوح على الأرجح بين 0.1 و 0.1 درجة مئوية كما أن من المؤكد تقريباً أنه لا يمكن تفسير الاحترار منذ عام 1951 بالاعتماد على التقلبية الداخلية وحدها. {9.5، 10.3، 10.7}

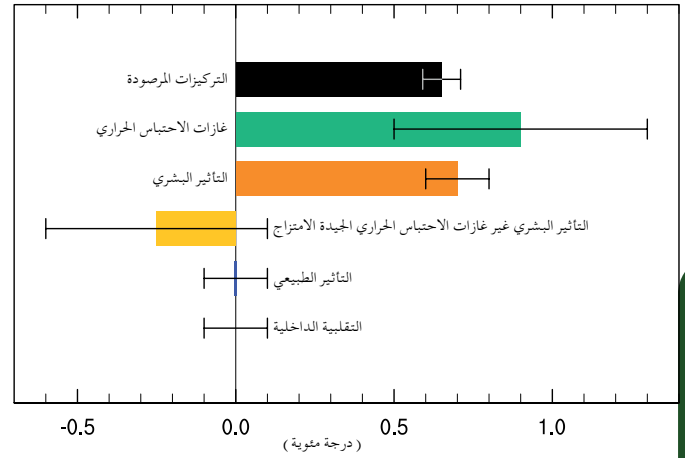
وبيّن سجل الرصد باستخدام الأدوات احتراراً واضحاً خلال النصف الأول من القرن العشرين. واتساقاً مع تقرير التقييم الرابع، تشير عمليات التقييم إلى أنه من غير المرجح تماماً أن يعزى الاحترار في أوائل القرن العشرين إلى التقلبية الداخلية وحدها. ولا يزال من الصعب إجراء تقييم كمي لإسهامات كل من التقلبية الداخلية والتأثير الطبيعي والتأثير البشري المنشأ في هذا الاحترار المبكر في القرن العشرين، بسبب التأثير القسري وأوجه عدم اليقين المتعلقة بالاستجابة والتغطية الرصدية غير الكاملة. {10.3}

TS. 4.3 درجة حرارة الغلاف الجوي

منذ صدور تقرير التقييم الرابع، بحث عدد من الدراسات في اتساق اتجاهات التغير المحاكاة والمرصودة في درجات الحرارة في طبقة التروبوسفير الحرة (انظر القسم 2.2 TS). وتبالغ معظم نماذج المرحلتين الثالثة والخامسة من مشروعي المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP3 و CMIP5) وليس كلها، في تقدير الاحترار المرصود في طبقة التروبوسفير الحرة في المناطق المدارية خلال الفترة الساتلية 1979-2012. ويعزى نصف إلى ثلثي هذا الاختلاف تقريباً في التغير المرصود إلى المبالغة في تقدير اتجاه درجة حرارة سطح البحر الذي ينتشر إلى أعلى لأن النماذج تحاول الحفاظ على استقرار استاتيكي. وثمة مستوى منخفض من الثقة في هذه التقييمات، نظراً لمستوى الثقة المنخفض في المعدلات المرصودة للتغير في طبقة التروبوسفير في المناطق المدارية وفي هيكله الرأسي. ويكون الاختلاف بين الاتجاهات المحاكاة والمرصودة أصغر خارج المناطق المدارية وخلال فترة المسابير الراديوية التي بدأت في عام 1961. {2.4.4، 9.4، 10.3}

ويستمر تحليل مجموعات بيانات المسابير الراديوية والسواتل مشفوعاً بعمليات محاكاة المرحلتين الثالثة والخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP3 و CMIP5)، بالتأكيد على عدم اتساق احترار طبقة التروبوسفير المرصود مع التقلبية الداخلية وعمليات المحاكاة المتعلقة بالاستجابة للتأثيرات الطبيعية وحدها. وتقوم نماذج المرحلة الخامسة من المشروع CMIP5 بمحاكاة احترار طبقة التروبوسفير الناجم عن التغيرات في غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز خلال الفترة 1961-2010، مع تعويض بسيط للتبريد فقط للتأثيرات المشتركة للتغيرات في انعكاس الأهباء الجوية وامتصاصها وكذلك الأوزون التروبوسفيري. ومع أخذ هذه الأدلة ونتائج التحليل المتعلقة بكشف الإشارات المتعددة وتحديد أسبابها بعين الاعتبار، من المرجح أن تكون التأثيرات البشرية المنشأ، التي تهيمن عليها غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز، قد ساهمت في احترار طبقة التروبوسفير منذ عام 1961. وتجعل أوجه عدم اليقين المتعلقة بسجلات المسابير الراديوية والسواتل تقييم أسباب التغيرات المرصودة في طبقة التروبوسفير العليا أقل موثوقية من تقييم التغيرات الشاملة في درجات حرارة الغلاف الجوي. {2.4.4، 9.4، 10.3}

وتعيد عمليات المحاكاة بصورة عامة في المرحلة الخامسة من المشروع CMIP5، بما في ذلك التغيرات المرتبطة بغازات الاحتباس الحراري الجيدة



الشكل 10. TS | النطاقات المرجحة المقدرة (السنابل) ونقاط الوسط الخاصة بها (الأعمدة) فيما يتعلق باتجاهات الاحترار خلال الفترة 1951-2010 بسبب غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز والتأثيرات البشرية المنشأ والتأثيرات البشرية المنشأ غير غازات الاحتباس الحراري والتأثيرات الطبيعية والتقلبية الداخلية. وبيّن الاتجاه المتعلق برصدات مركز هادلي/ وحدة البحوث المناخية في إطار المجموعة الرابعة لبيانات درجات الحرارة المعروضة في شكل نقاط شبكية (HadCRUT4) باللون الأسود ونطاق عدم اليقين الخاص بها الذي يتراوح بين 5 و 95 في المائة بسبب عدم اليقين المتعلق بالرصد فقط كما ورد في هذا السجل. {الشكل 10.5}

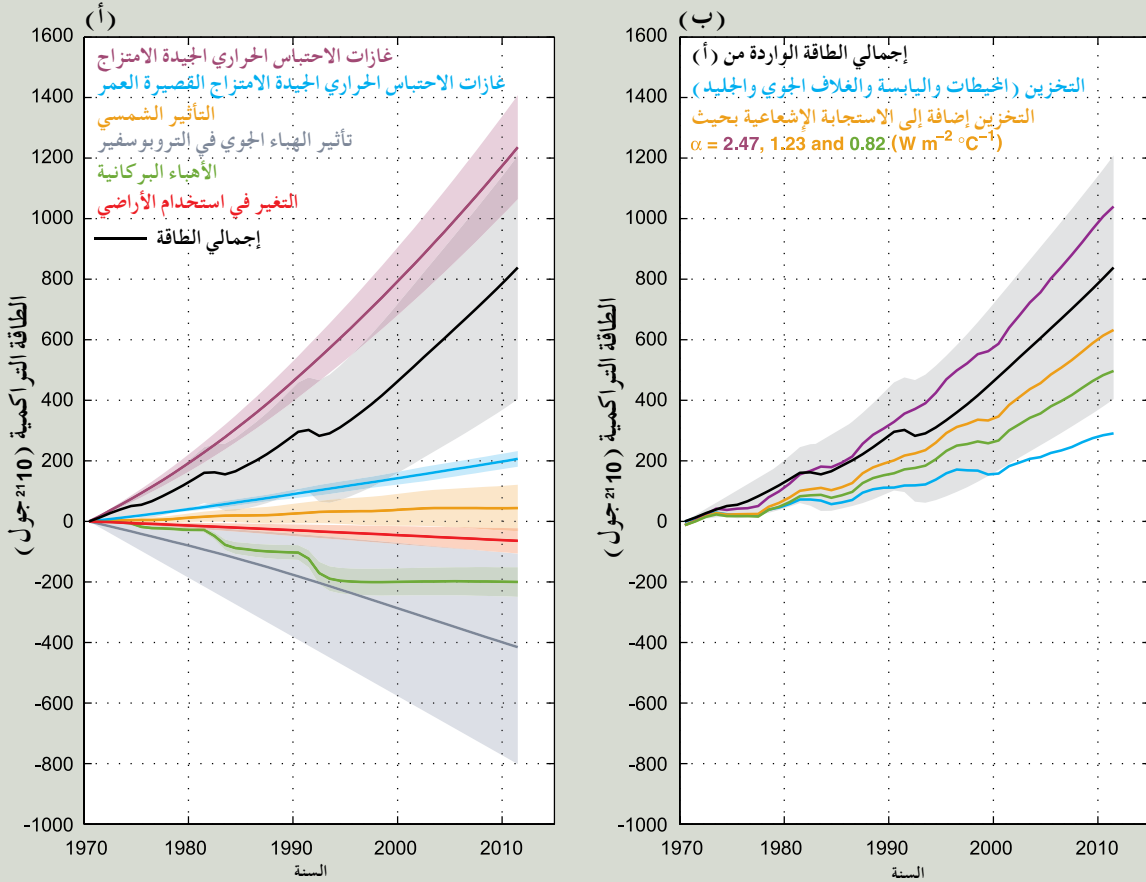
من دراسات عديدة استخدمت فيها طرائق مختلفة. وعلى وجه التحديد، يمكن حصر التغير في درجات الحرارة الذي يعزى إلى مجموع التأثيرات البشرية المنشأ في التحليل المتعلقة بكشف الإشارات المتعددة وتحديد أسبابها. وتحول أوجه عدم اليقين في التأثيرات وفي استجابات النماذج المناخية لهذه التأثيرات وصعوبة التمييز بين أنماط استجابة درجة الحرارة لغازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز والتأثيرات البشرية المنشأ الأخرى، دون إجراء تحديد كمي دقيق للتغيرات في درجات الحرارة التي تعزى إلى غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز وإلى فرادى التأثيرات البشرية المنشأ الأخرى. وعلى نحو يتسق مع تقرير التقييم الرابع، تشير التقديرات أن من المرجح بدرجة كبيرة أن أكثر من نصف الزيادة الملحوظة في المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية بين عامي 1951 و 2010 يعزى إلى الزيادة البشرية المنشأ المرصودة في تركيزات غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز. وقد ساهمت غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز في المتوسط العالمي للاحترار السطحي بمقدار يرجح أنه يتراوح بين 0.5 و 1.3 درجة مئوية خلال الفترة الممتدة بين عام 1951 وعام 2010، مع إسهامات من التأثيرات البشرية المنشأ الأخرى يرجح أنها تتراوح بين 0.6- درجة مئوية و 0.1 درجة مئوية وإسهامات من التأثيرات الطبيعية يرجح أنها تتراوح بين 0.1- درجة مئوية و 0.1 درجة مئوية. وتتسق هذه الإسهامات التقديرية جميعها مع الاحترار المرصود البالغ 0.6 درجة مئوية تقريباً خلال هذه الفترة (الشكل 10. TS) {10.3}

والقصر الشمسي هو التأثير الطبيعي الوحيد المعروف المسبب لاحترار المناخ خلال الفترة 1951-2010 إلا أنه شهد زيادة أقل بكثير من التأثير الناجم عن غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز، كما أن النمط المرصود في الاحترار الطويل الأجل للتروبوسفير وفي تبريد الستراتوسفير لا يتسق مع الاستجابة المتوقعة لتقلبات الأشعة الشمسية. ومع أخذ هذه الأدلة والإسهام المقدّر للتأثيرات الطبيعية على الاتجاهات المرصودة خلال هذه الفترة بعين الاعتبار، يقدر أن من غير المرجح بدرجة عالية أن يكون إسهام القصر الشمسي في الاحترار العالمي المرصود منذ عام 1951 أكبر من إسهام غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز. وبما أنه من المرجح بدرجة عالية أن يكون القصر الشمسي قد انخفض خلال فترة محددة مع قياسات ساتلية مباشرة لنواحي القصر الشمسي من عام 1986 إلى عام 2008، ثمة مستوى مرتفع من الثقة في أن التغيرات في إجمالي الأشعة الشمسية لم تساهم في الاحترار العالمي خلال هذه الفترة. ولكن هناك مستوى متوسط من الثقة في أن دورة الأحد عشر عاما لتقلبية التأثير

TFE.4 | ميزانية الطاقة المتغيرة الخاصة بالنظام المناخي العالمي

تعتبر ميزانية الطاقة العالمية جانب أساسي من جوانب نظام مناخ الأرض كما أنها تعتمد على ظواهر كثيرة فيه. وقد اختزن المحيط نحو 93 في المائة من الزيادة في طاقة النظام المناخي العالمي خلال العقود الأخيرة، مما أدى إلى التمدد الحراري للمحيطات وبالتالي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر. ويجب أن يكون معدل تخزين الطاقة في نظام الأرض مساوياً لصادق الإشعاعي الهابط عند قمة أعلى الغلاف الجوي، الذي يمثل الفرق بين التأثير الإشعاعي الفعال بسبب التغيرات المفروضة على النظام والاستجابة الإشعاعية للنظام. وهناك أيضاً عمليات نقل مهمة للطاقة بين مكونات النظام المناخي ومن موقع إلى آخر. ويتم التركيز هنا على ميزانية الطاقة العالمية الخاصة بالأرض منذ عام 1970 حيث تتاح تغطية بيانات رصدية عالمية أفضل. (3.7، 9.4، 13.4؛ الإطار 3.1)

وكان التأثير الإشعاعي الفعال للنظام المناخي إيجابياً نتيجة الزيادات في تركيزات غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز (الطويلة الأجل)، والتغيرات في غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز القصيرة الأجل (مثل الأوزون التروبوسفيري والستراتوسفيري وبخار الماء الستراتوسفيري)، والزيادة في الأشعة الشمسية (القسم TFE.4، الشكل 1 أ). ويعوض عن هذا جزئياً بإسهام سلبي للنظام المناخي في التأثير الإشعاعي الفعال نتيجة التغيرات في الهباء الجوي التروبوسفيري، ويعكس أشعة الشمس ويعزز عاكسية السحب، وإن كان الكربون الأسود ينتج تأثيراً إيجابياً. ويمكن أن تحقن الثورات البركانية المتفجرة (بركان الشيشون في المكسيك في عام 1982 وبركان جبل بيناتوبو في الفلبين في عام 1991) ثاني أكسيد الكبريت في طبقة الستراتوسفير، مما يؤدي إلى تكوين الهباء الجوي الستراتوسفيري الذي يستمر لسنوات عديدة. ويعكس الهباء الجوي الستراتوسفيري بعض الإشعاع الشمسي الوارد فينجح عنه بالتالي تأثير قسري سلبي. وقد أدت التغيرات في الألبيدو السطحي الناجم عن التغيرات في استخدام الأراضي كذلك إلى زيادة انعكاس الأشعة القصيرة الموجات في الفضاء وبالتالي إلى تأثير قسري



الشكل 4 | ميزانية طاقة الأرض من عام 1970 إلى عام 2011. (أ) التدفق التراكمي الوارد للطاقة في نظام الأرض من التغيرات في غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز والقصيرة الأجل، والتأثير الشمسي، وتأثير الهباء الجوي في التروبوسفير، والتأثيرات البركانية والتغيرات في الألبيدو السطحي نتيجة التغيرات في استخدام الأراضي (التي تتعلق جميعها بالفترة 1860-1879) مبنية بالخطوط الملونة؛ وتضاف جميع هذه الإسهامات للحصول على التدفق الإجمالي للطاقة الواردة (اللون الأسود) وتشمل إسهامات الكربون الأسود في الثلج والتكثف والسحب السحابية الناتجة عن تأثير التكثف والتي لا تظهر بشكل منفصل). (ب) يوازن التدفق التراكمي لإجمالي الطاقة الواردة من (أ، اللون الأسود) مجموع امتصاص طاقة نظام الأرض (اللون الأزرق؛ الطاقة الممتصة لتدفئة المحيطات والغلاف الجوي واليابسة وانصهار الجليد) وزيادة الأشعة الصادرة عن التغيرات في المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية. ويعطى مجموع هاتين القيمتين لبارامتر التأثير التفاعلي للمناخ من 2.47 و 1.23 و 0.82 واط/م لكل درجة مئوية الذي يناظر حساسية المناخ عند الاتزان عند 1.5 درجة مئوية و 3.0 و 4.5 درجات مئوية على التوالي؛ ويقدر أن النطاق المرجح لحساسية المناخ عند الاتزان يتراوح بين 1.5 درجة مئوية و 4.5 درجات مئوية. ويتم حصر ميزانية الطاقة لقيمة معينة لـ a إذا كان الخط الموازي يتوافق مع إجمالي تدفق الطاقة. ولغرض التوضيح، تبين جميع أوجه عدم اليقين (التظليل) كنطاقات مرجحة. (الإطار 12.2؛ الإطار 13.1، الشكل 1)

سليبي. وقد زاد صافي التأثير الإشعاعي الفعال للنظام المناخي منذ عام 1970 كما أن التأثير المتكامل لهذه التأثيرات القسرية عبارة عن تدفق للطاقة الواردة خلال هذه الفترة (القسم 4. TFE الشكل 1 أ). (2.3، 8.5؛ الإطار 13.1)

ومع احتراق النظام المناخي، تسقط الطاقة في الفضاء من خلال تزايد الأشعة الصادرة. ويعزى سبب هذه الاستجابة الإشعاعية للنظام بشكل أساسي إلى زيادة الإشعاع الحراري، إلا أنه يتم تعديله بفعل التأثيرات التفاعلية للمناخ مثل التغيرات في بخار الماء، والسحب والألبينو السطحي، التي تؤثر على الأشعة الصادرة الطويلة الموجات وعلى الأشعة القصيرة الموجات المنعكسة. وقد تم قياس التدفقات في أعلى الغلاف الجوي بواسطة سواتل تجريبية ميزانية الإشعاع الأرضي (ERBE) من عام 1985 إلى عام 1999 وسواتل نظام دراسة الطاقة الإشعاعية للسحب والأرض (CERES) من آذار/مارس 2000 إلى اليوم. وتتميز قياسات التدفقات الإشعاعية لأعلى الغلاف الجوي بدرجة عالية من الدقة، مما يسمح بالتعرف على التغيرات في صافي ميزانية طاقة الأرض من سنة إلى أخرى في إطار مهام تجريبية ميزانية الإشعاع الأرضي ونظام دراسة الطاقة الإشعاعية للسحب والأرض، إلا أن المعايرة المطلقة للأدوات لا تبلغ من الدقة حداً يسمح بتحديد تدفق الطاقة المطلق في أعلى الغلاف الجوي أو بتوفير الاستمرارية عبر المهام. ويربط القسم 4. TFE الشكل 1 ب بين الإجمالي التراكمي لتغير طاقة نظام الأرض والتغير في تخزين الطاقة والإشعاع التراكمي الصادر. ويستند حساب هذا التغير إلى المتوسط العالمي المرصود لدرجات الحرارة السطحية مضروباً في بارامتر التأثير التفاعلي للمناخ a ، الذي يتعلق بدوره بحساسية المناخ عند الأتزان. وتوافق القيمة المتوسطة المدى a البالغة 1.23 واط/م لكل درجة حرارة مئوية التأثير الإشعاعي الفعال لضعف تركيز ثاني أكسيد الكربون من 3.7 [من 2.96 إلى 4.44] واط/م مقترناً بحساسية المناخ عند الأتزان البالغة 3.0 درجات مئوية. ومن المرجح أن يكون بارامتر التأثير التفاعلي للمناخ a في نطاق يتراوح بين 0.82 و 2.47 واط/م لكل درجة حرارة مئوية (مما يعادل النطاق المرجح لحساسية المناخ عند الأتزان من 1.5 درجة مئوية إلى 4.5 درجات مئوية). (9.7.1؛ الإطار 12.2)

وإذا كان التأثير الإشعاعي الفعال ثابتاً، سيشهد النظام المناخي احتراقاً كافياً بشكل يسمح في النهاية بموازنة الاستجابة الإشعاعية للتأثير الإشعاعي الفعال، ولن يكون هناك تغير آخر في تخزين الطاقة في النظام المناخي. ولكن التأثير القسري يزداد، وتعني القدرة الحرارية الكبيرة للمحيطات أن النظام المناخي ليس في حالة اتزان إشعاعي وأن محتواه من الطاقة يتزايد (القسم 4. TFE، الشكل 1 ب). ويوفر هذا التخزين أدلة قوية على تغير المناخ. ويحدث الجزء الأكبر من هذا الاحتراق الإضافي في الـ 700 متر العليا من المحيطات، ولكن الاحتراق يحدث أيضاً في المناطق الأعمق من المحيطات وفي أغوارها. وقد ساهم التمدد الحراري للمحيطات المرتبط بالاحتراق في ارتفاع مستوى سطح البحر المرصود بنسبة 40 في المائة منذ عام 1970. واستخدم جزء ضئيل من الحرارة في رفع درجة حرارة القارات وفي صهر الجليد والجليد البحري واحتراق الغلاف الجوي. (13.4.2، الإطاران 3.1 و 13.1)

وبالإضافة إلى هذه التغيرات القسرية في ميزانية الطاقة الخاصة بالأرض، هناك أيضاً تقلبية داخلية على نطاقات زمنية عقدية. وتشير الرصدات والنماذج إلى إمكانية حدوث عقد تكون فيه درجات الحرارة مستقرة أو حتى منخفضة في عالم يشهد احتراقاً، وذلك نظراً لقدرة الحرارة الصغيرة نسبياً للغلاف الجوي. وتشير عمليات المحاكاة بالنماذج المناخية إلى أن هذه الفترات ترتبط بنقل الحرارة من الطبقة العليا للمحيطات إلى أعماقها بقيمة 0.1 واط/م 2 ، مع إشعاع في الفضاء شبه مستقر أو متزايد أيضاً بمقدار 0.1 واط/م 2 . ومع أن هذه التقلبات الطبيعية تمثل كمية كبيرة من الحرارة، فهي تكون أقل أهمية من التأثيرات البشرية المنشأ على ميزانية الطاقة الخاصة بالأرض، لا سيما على نطاقات زمنية من عدة عقود أو على فترات أطول. (9.4؛ الإطاران 9.2 و 13.1)

وتقرن التقديرات المستقلة المتاحة في التأثير الإشعاعي الفعال للتخزين الحراري المرصود والاحتراق السطحي لتعطي ميزانية طاقة خاصة بالأرض تتسق مع النطاق المقدر المرجح لحساسية المناخ عند الأتزان في إطار أوجه عدم اليقين المقدرة (مستوى مرتفع من الثقة). ويوفر التحديد الكمي القيم الداخلة في تحديد ميزانية الطاقة الخاصة بالأرض والتحقق من أنها تتوازن على مدى العقود الأخيرة دليلاً قوياً على فهمنا لتغير المناخ الناجم عن الأنشطة البشرية. (الإطار 13.1)

TS.4.4 المحيطات

جرى تقييم الاحتراق المرصود للطبقة العليا من المحيطات وأسبابه خلال أواخر القرن العشرين وأوائل القرن الحادي والعشرين على نحو أكثر اكتمالاً منذ صدور تقرير التقييم الرابع باستخدام الرصدات المحدثة وعدد أكبر من عمليات المحاكاة (انظر القسم TS.2.2). وتتسق التغيرات الطويلة الأجل والتقلبية في الرصدات على أكمل وجه مع عمليات المحاكاة المتعلقة بالاستجابة للتأثير البشري المنشأ والتأثير البركاني. وقد تم أيضاً الكشف عن البصمة البشرية في الاحتراق المرصود في الطبقات العليا من المحيطات، والمكونة من تغيرات في المتوسط العالمي وتغيرات نمطية على نطاق الأحواض. وهذه النتيجة مهمة بالنسبة لعدد من أوجه عدم اليقين على مستوى الرصد والنماذج والمنهجيات أو الهياكل. ومن المرجح بدرجة عالية أن تكون التأثيرات البشرية المنشأ قد أسهمت مساهمة كبيرة في الاحتراق المرصود لطبقة المحيطات العليا (فوق 700 متر) منذ السبعينات. وقد ساهم احتراق المحيطات البشرية المنشأ المعنى في ارتفاع مستوى سطح البحر خلال هذه الفترة من خلال التمدد الحراري. (3.2.3، 3.7.2، 10.4.1، 10.4.3؛ الإطار 3.1)

الامتزاج والأوزون والتأثيرات الطبيعية إنتاج التطور المرصود لدرجة حرارة طبقة الستراتوسفير السفلى على نطاق واسع، مع ميل إلى التقليل من أهمية اتجاهات البرودة الملحوظة بالمقارنة مع عصر السواتل (انظر القسم TS.2). وتثبت دراسات جديدة لدرجة حرارة الستراتوسفير، تأخذ بعين الاعتبار الاستجابات للتأثيرات الطبيعية ولغازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج وللمواد المستنفدة للأوزون، أن من المرجح بدرجة عالية أن تكون التأثيرات البشرية المنشأ، التي يسيطر عليها استنفاد طبقة الأوزون بسبب المواد المستنفدة للأوزون، قد ساهمت في تبريد طبقة الستراتوسفير السفلى منذ عام 1979. وتقوم نماذج المرحلة الخامسة من المشروع CMIP5 بمحاكاة تبريد ضعيف بدرجة كبيرة فقط لطبقة الستراتوسفير السفلى استجابة للتغيرات التاريخية في غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج، كما أنه لم يتم الكشف بعد عن تأثير غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج على درجة حرارة طبقة الستراتوسفير السفلى. ومع أخذ كلتا المنطقتين بعين الاعتبار، من المرجح بدرجة كبيرة أن يكون التأثير البشري المنشأ، لا سيما غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج واستنفاد الأوزون الستراتوسفيري، قد أدى إلى تمط ملحوظ للاحتراق التروبوسفيري وإلى تبريد طبقة الستراتوسفير السفلى منذ عام 1961. (2.4، 9.4، 10.3)

المواسم الأكثر برودة. واستناداً إلى عمليات المحاكاة المعنية للجليد البحري وإلى رقعة الجليد البحري المرصود من خلال سجل الأدوات مع التوافق الكبير بين الدراسات، يمكن الاستنتاج بأنه من المرجح بدرجة عالية أن تكون التأثيرات البشرية المنشأ قد ساهمت في فقدان الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية منذ عام 1979 (الشكل 10.5.1). {10.5.1}

وفيما يتعلق برقعة الجليد البحري في منطقة القطب الجنوبي، يحول قصر السجل المرصود وأوجه الاختلاف في التقلبية المحاكاة والمرصودة دون إجراء تقييم لما إذا كانت الزيادة المرصودة منذ عام 1979 متسقة أو غير متسقة مع التقلبية الداخلية. ويبقى إزالة الالتباس الذي يكتنف العمليات المتعلقة بالنوازل والتقلبية في منطقة القطب الجنوبي والمياه المجاورة مسألة معقدة وهناك دراسات عديدة تتناقض مع بعضها البعض في هذا الشأن. ونتيجة لذلك، هناك مستوى ثقة منخفض في الفهم العلمي للزيادة المرصودة في رقعة الغطاء الجليدي في منطقة القطب الجنوبي منذ عام 1979، بسبب أوجه الاختلاف الكبيرة بين عمليات محاكاة الجليد البحري من نماذج المرحلة الخامسة من المشروع CMIP5 والتفسيرات العلمية غير الكاملة والمتنافسة بشأن أسباب التغير ومستوى الثقة المنخفض في تقديرات التقلبية الداخلية (الشكل 10.5.1، 9.4.3). {10.5.1؛ الجدول 10.1}

وتظهر الصفحة الجليدية لغرينلاند فترات انصهار حديثة ومهمة استجابة لدرجات الحرارة القياسية بالنسبة للقرن العشرين المقترنة بتحولات مستمرة في دورة الغلاف الجوي الصيفية المبكرة، وقد أصبحت هذه التغيرات أشد وقعا منذ عام 2007. ومع أن الكثير من سجلات الأدوات الخاصة بغرينلاند قصيرة نسبياً (تغطي عقدين)، تعطي النمذجة والرصدات الإقليمية صورة متسقة لاستجابة درجات الحرارة في غرينلاند وجريان الغطاء الجليدي للتحولات في دورة الغلاف الجوي الإقليمية المرتبطة بأنماط التدفق على نطاق أوسع وزيادات في درجات الحرارة العالمية. وتشهد غرينلاند أيضاً فقداناً للكتلة وانصهاراً من خلال اقتحام المياه الدافئة إلى الفيوردات الرئيسية التي تحتوي على الأنهار الجليدية مثل نهر جاكوبسهافين الجليدي. ومن المرجح أن يكون التأثير البشري المنشأ قد ساهم في انصهار سطح الغطاء الجليدي في غرينلاند منذ عام 1993. {10.5.2؛ الجدول 10.1}

وتشير تقديرات الكتلة الجليدية في القارة القطبية الجنوبية منذ عام 2000 إلى أن أكبر الخسائر تحصل عند الحواف. ويفضي تحليل الرصدات تحت جرف جليدي طاف قرب المنطقة القطبية الجنوبية إلى استنتاج مؤداه أن احترار المحيطات في هذه المنطقة والنقل المتزايد للحرارة بفعل دوران المحيطات يؤدي إلى تسارع كبير في معدلات الانصهار. ويكون سجل الرصد الخاص بفقدان الكتلة في المنطقة القطبية الجنوبية قصيراً والتقلبية الداخلية للصفحة الجليدية غير مفهومة بصورة جيدة. ونتيجة لانخفاض مستوى الفهم العلمي، هناك مستوى منخفض من الثقة في تحديد أسباب فقدان كتلة من الصفحة الجليدية في المنطقة القطبية الجنوبية منذ عام 1993. {3.2، 4.2، 4.3، 4.4، 10.5.2}

والأدلة على تراجع الأنهار الجليدية نتيجة للاحتراق والتغير في الرطوبة أكثر اكتمالاً الآن مما كانا عليه عند صدور تقرير التقييم الرابع. وثمة مستوى مرتفع من الثقة في التقديرات المتعلقة بفقدان الكتلة المرصود والتقديرات المتعلقة بالتقلبات الطبيعية والتقلبية الداخلية التي ترد في السجلات الطويلة الأجل للأنهار الجليدية. واستناداً إلى هذه العوامل وإلى فهمنا لاستجابة الأنهار الجليدية للعوامل المناخية الدافعة، هناك مستوى مرتفع من الثقة في أن من المرجح أن جزءاً مهماً من فقدان الكتلة من الأنهار الجليدية يعود إلى التأثير البشري. ومن المرجح أن يكون مكّون بشري المنشأ قد ساهم في الانخفاضات المرصودة للغطاء الثلجي في نصف الكرة الشمالي منذ عام 1970. {3.3، 4.3، 10.5.2، 10.5.3؛ الجدول 10.1}

كما تشير التغيرات المرصودة في الملوحة السطحية كذلك إلى حدوث تغير في الدورة المائية العالمية (انظر القسم TFE.1). وتظهر النوازل الطويلة الأجل وجود ارتباط إيجابي قوي بين متوسط مناخ الملوحة السطحية والتغيرات الزمنية لملوحة السطح من عام 1950 إلى عام 2000. ويبين هذا الارتباط تعزيز نمط الملوحة المناخي – إذ ازدادت عذوبة المياه في مناطق المياه العذبة وأصبحت مناطق المياه المالحة أكثر ملوحة. ويتم تسجيل أقوى الإشارات البشرية في المناطق المدارية (30° جنوباً إلى 30° شمالاً) وفي غرب المحيط الهادئ. كما زاد التباين في الملوحة بين المحيط الهادئ والمحيط الأطلسي مع إسهامات كبيرة من التأثير البشري. {3.3، 10.3.2، 10.4.2؛ FAQ 3.2}

وعلى النطاق العالمي، لا تتوافق التغيرات في الملوحة السطحية ودون السطحية (1955–2004) في الـ 250 متراً العليا من عمود المياه مع التغيرات المنمذجة من التقلبية الطبيعية ولكنها تتوافق مع التوزيع المنمذج للتغيرات القسرية (غازات الاحتباس الحراري الجيدة الأمتزاج، والأهباء الجوية في التروبوسفير). ولا تتماشى التقلبية الطبيعية الخارجية المأخوذة من عمليات المحاكاة التي تأخذ بعين الاعتبار تغيرات التأثير الشمسي والبركاني فقط مع الرصدات بتاتا، مما يستبعد الفرضية القائمة على إمكانية تفسير النوازل المرصودة بواسطة التغيرات الشمسية أو البركانية فقط. وتفضي هذه الأدلة وفهمنا للعمليات الفيزيائية إلى الاستنتاج بأنه من المرجح بدرجة كبيرة أن تكون التأثيرات البشرية المنشأ قد ساهمت بشكل ملحوظ في تغيرات الملوحة في الطبقات السطحية وتحت السطحية للمحيطات منذ الستينيات من القرن الماضي. {10.4.2؛ الجدول 10.1}

ويعد الأكسجين كاشفاً فيزيائياً وبيولوجياً مهماً في المحيطات. وتوسع التحاليل العالمية لبيانات الأكسجين في ستينيات القرن الماضي وتسعينياته التغطية المكانية من النطاقات المحلية إلى النطاقات العالمية وقد استخدمت في دراسات تحديد العلاقات السببية، مع نواتج من نطاق محدود لنماذج نظام الأرض. وخلصت الاستنتاجات إلى أن هناك مستوى متوسط من الثقة في أنه يمكن عزو النمط العالمي المرصود لانخفاض الأكسجين الذائب في المحيطات بشكل جزئي إلى التأثيرات البشرية. {3.8.3، 10.4.4؛ الجدول 10.1}

وتبين الرصدات نوازل متباينة لتمحض المحيطات (التي تشير الرصدات إلى أنها تراوحت بين -0.0014 و -0.0024 وحدة درجة حموضة (PH) في السنة). وثمة مستوى مرتفع من الثقة في أن درجة حموضة مياه البحر في المياه السطحية للمحيطات قد انخفضت بحوالي 0.1 منذ بداية عصر الصناعة نتيجة امتصاص المحيطات لثاني أكسيد الكربون الناجم عن الأنشطة البشرية. {3.8.2، 10.4.4؛ الإطار 3.2؛ الجدول 10.1}

TS.4.5 الغلاف الجليدي

انخفاض نطاق رقعة الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية ونطاق رقعة الغطاء الثلجي في نصف الكرة الشمالي والتراجع الواسع الانتشار للأنهار الجليدية وتزايد الانصهار السطحي في غرينلاند كلها أدلة على حدوث تغيرات منهجية في الغلاف الجليدي. وترتبط جميع هذه التغيرات بالتأثيرات البشرية المنشأ. {4.2.2، 4.4–4.6، 10.5.1، 10.5.3؛ الجدول 10.1}

وتثبت دراسات تحديد العلاقات السببية، التي تقارن التطور الموسمي لرقعة الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية استناداً إلى عمليات رصد تم إجراؤها في خمسينات القرن الماضي وإلى عمليات المحاكاة بالنماذج المتقارنة، أنه يمكن الكشف عن التأثير البشري على التغيرات في رقعة الجليد البحري على أسس متينة منذ أوائل التسعينيات من القرن الماضي. كما يمكن الكشف عن الإشارة البشرية المنشأ لفرادى الأشهر من أيار/مايو إلى كانون الأول/ديسمبر، مما يشير إلى أن التأثير البشري الذي يبلغ أقصى قوة له في أواخر فصل الصيف، يتوسع الآن أيضاً ليشمل

5. TFE | اللاعكوسية والتغير المفاجئ

اقترح عدد من المكونات أو الظواهر الموجودة داخل النظام المناخي لتكون بمثابة عتبات متعلقة بالسلوك. ويمكن أن يؤدي تجاوز هذه العتبات إلى الانتقال إلى حالة مختلفة للنظام المناخي أو لبعض مكوناته يمكن أن تكون مفاجئة أو غير عكوسة.

ويعرف التغير المناخي المفاجئ في تقرير التقييم الخامس الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC بأنه تغيرٌ واسع النطاق في النظام المناخي يحدث على مدى بضعة عقود أو أقل، ويستمر (أو من المتوقع أن يستمر) بضعة عقود على الأقل، وتنجم عنه اضطرابات كبيرة في النظم البشرية والطبيعية. وتتوافر معلومات بشأن العواقب المحتملة لبعض التغيرات المفاجئة، ولكن هناك عموماً مستوى منخفض من الثقة وتوافق محدود في الآراء بشأن أرجحية حدوث هذه الظواهر خلال القرن الحادي والعشرين. ومن أمثلة المكونات القابلة للتأثر بهذا التغير المفاجئ قوة الدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي (AMOC) وإطلاق الهيدرات (غاز الميثان)، وسقام الغابات المدارية الشمالية، واختفاء رقعة الجليد البحري الصيفي في المحيط القطبي الشمالي وحالات الجفاف الطويلة الأمد والدوران المتعلق بالرياح الموسمية. {5.7، 6.4.7، 12.5.5؛ الجدول 12.4}

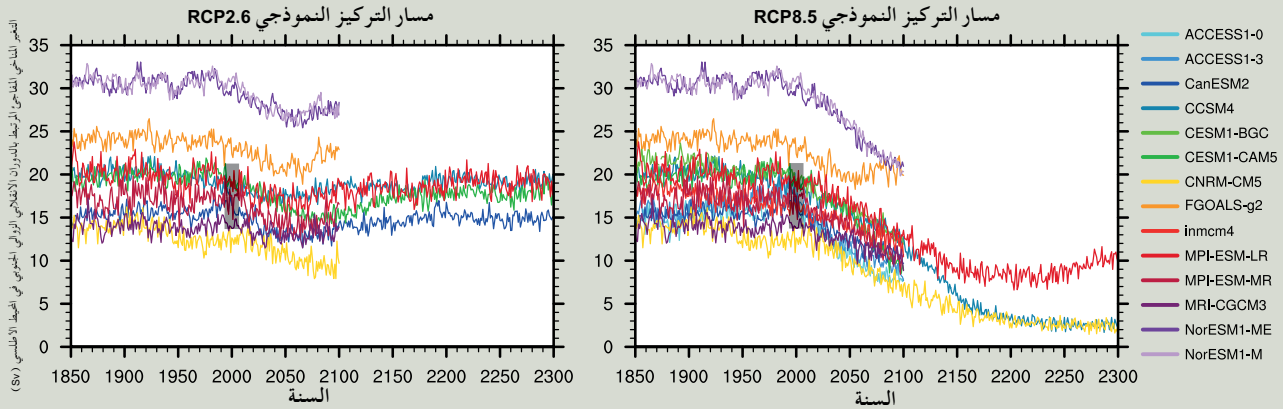
ويعرف أي تغير بأنه غير عكوس ما إذا كان النطاق الزمني للتعافي من هذه الحالة نتيجة للعمليات الطبيعية أطول بكثير من المدة التي يستغرقها النظام للوصول إلى هذه الحالة المضطربة. وقد ينشأ مثل هذا السلوك بسبب اختلاف النطاقات الزمنية الخاصة بالاضطرابات وعمليات التعافي، أو احتمال استمرار تغير المناخ نظراً لطول فترة بقاء اضطراب ناتج عن ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (انظر القسم 8. TFE). أما التغيرات في رقعة الجليد البحري الصيفي في المحيط القطبي الشمالي، وحالات الجفاف الطويلة الأمد، ودوران الرياح الموسمية فتقيم على أنها عكوسة على مدى فترات تمتد بين سنوات إلى عقود، وقد يكون سقام الغابات المدارية والشمالية عكوساً فقط على مدى القرون. وقد تكون التغيرات في إطلاق الهيدرات (غاز الميثان) وكربون التربة الصقيعية، وانهيار الصفائح الجليدية في غرينلاند والمنطقة القطبية الجنوبية غير عكوسة بعد مرور آلاف السنين على حدوث الاضطراب المسبب لها. {5.8، 6.4.7، 12.5.5، 13.4.3، 13.4.4؛ الجدول 12.4}

التغير المناخي المفاجئ المرتبط بالدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي AMOC

أكدت عمليات المحاكاة بالمداج المناخية الجديدة العابرة مع مستوى مرتفع من الثقة أن التغيرات القوية في قوة الدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي AMOC تؤدي إلى تغيرات مناخية مفاجئة على النطاق العالمي تتسم بحجم ونمط مشابه لذلك المصاحب لظواهر دانزغارد - أو شغرا السابقة والفترات الفاصلة بين عصرين جليديين والتي تتميز بدرجات حرارة منخفضة حسب تحديد هاينريخ القياسي. وقد ازدادت الثقة في العلاقة بين التغيرات التي يشهدها المناخ في المحيط الأطلسي الشمالي وكمية الأمطار عند خطوط العرض المنخفضة منذ صدور تقرير التقييم الرابع للهيئة (IPCC). واستناداً إلى إعادة تحديد الظروف المناخية في العصور الجيولوجية القديمة وإلى دراسات النمذجة، هناك مستوى ثقة مرتفع بدرجة كبيرة في أن انخفاض قوة الدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي AMOC والتبريد السطحي المصاحب لها في منطقة شمال المحيط الأطلسي قد أدى إلى تحولات نحو الجنوب على مستوى منطقة الالتقاء المدارية كما أثر على الرياح الموسمية الأمريكية (الشمالية والجنوبية)، والأفريقية والآسيوية. {5.7}

ويمكن أن تشهد الفترة الفاصلة بين عصرين جليديين للدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي AMOC تعافياً (مستوى عال من الثقة) بفعل مدخلات من المياه العذبة القصيرة العمر في المناطق دون القطبية للمحيط الأطلسي الشمالي. ومنذ نحو 8200 سنة، تدفقت المياه العذبة فجأة خلال المراحل الأخيرة من انصهار الصفحة الجليدية في أمريكا الشمالية. وتشير عمليات رصد المناخ القديم ونتائج النماذج، بمستوى مرتفع من الثقة، إلى انخفاض ملحوظ في قوة الدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي AMOC يتبعه مرحلة تعافي سريعة في غضون مئتي عام تقريبا من حصول الاضطراب. {5.8.2}

وعلى الرغم من إجراء عدد أكبر من عمليات المحاكاة للنماذج منذ تقرير التقييم الرابع في إطار مجموعة عريضة من سيناريوهات التأثير المستقبلية، لم تتغير الإسقاطات المتعلقة بسلوك الدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي AMOC. ولا يزال من المرجح بدرجة كبيرة أن الدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي AMOC سيضعف على مدى القرن الحادي والعشرين بالنسبة للقيم المرتبطة بالفترة 1850-1900. وتبلغ أفضل التقديرات ونطاقات الانخفاض الواردة في المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة CMIP5 11 في المائة (من 1 إلى 24 في المائة) فيما يتعلق بمسار التركيز النموذجي RCP2.6 و 34 في المائة (من 12 إلى 54 في المائة) فيما يتعلق بمسار التركيز النموذجي RCP5.5، ولكن هناك مستوى منخفض من الثقة بشأن مقدار هذا الضعف. ولا يزال من غير المرجح بدرجة كبيرة أن يمر الدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي AMOC بمرحلة انتقالية مفاجئة أو يشهد انهياراً خلال القرن الحادي والعشرين فيما يتعلق بالسيناريوهات التي تدرس (مستوى مرتفع من الثقة) (القسم 5. TFE، الشكل 1). ولكي يحدث انتقال مفاجئ في الدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي AMOC، يجب أن تكون حساسية هذا الدوران للتأثير القسري أكبر بكثير من حساسية النماذج الحالية، أو أن يتجاوز تدفق المياه الناتجة من انصهار من الصفحة الجليدية في غرينلاند إلى حد كبير من الإسقاطات الحالية. ومع أنه لا يمكن استبعاد أي من الاحتمالين تماماً، فإن من غير المرجح أن ينهار الدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي AMOC بعد انتهاء القرن الحادي والعشرين فيما يتعلق بالسيناريوهات التي تدرس، إلا أنه لا يمكن استبعاد انهيار الاحترار المستمر بعد انتهاء القرن الحادي والعشرين. وثمة مستوى منخفض من الثقة في تقييم تطور الدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي AMOC بعد القرن الحادي والعشرين بسبب عدم توافر عدد كاف من التحليل والشك الذي يكتنف النتائج. {12.4.7، 12.5.5}



القسم 5، الشكل 11 قوة الدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي (AMOC) عند النقطة 30° شمالاً كدالة للفترة من 1850 إلى 2300 المحاكى بنماذج مختلفة للدوران العام للمحيطات والغلاف الجوي استجابة للسيناريو RCP2.6 (اللوحة اليسرى) والسيناريو RCP8.5 (اللوحة اليمنى). ويبيّن العمود الأسود الرأسي نطاق قوة الدوران الانقلابي الزوالي الجنوبي في المحيط الأطلسي (AMOC) المقاسة عند 26° شمالاً خلال الفترة من 2004 إلى 2011 (الشكلان 3 و 11.35)

اللاعكوسية المحتملة للتغيرات في التربة الصقيعية والهيدرات المشابهة (لغاز الميثان) والغابات

في مناخ يتعرض للاحتراق، قد يتسبب انصهار التربة الصقيعية في تحلل الكربون المتراكم في التربة المتجمدة الذي قد يستمر على مدى مئات إلى آلاف السنين، مما يؤدي إلى زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون و/أو الميثان (CH₄) في الغلاف الجوي. ولا تؤدي دراسات النمذجة الحالية لتوازن كربون التربة الصقيعية في ظل احتراق مستقبلي، والتي تأخذ بعين الاعتبار بعض العمليات الرئيسية المرتبطة بالتربة الصقيعية على الأقل، إلى نتائج متسقة باستثناء أن التربة الصقيعية الموجودة حالياً ستصبح مصدراً صافياً باعناً للكربون خلال القرن الحادي والعشرين في إطار سيناريوهات معقولة للاحتراق المستقبلي (مستوى ثقة منخفض). ويعكس ذلك أيضاً عدم كفاية فهم العمليات المتعلقة بالتربة ذات الصلة خلال انصهار التربة الصقيعية وبعدها، بما في ذلك العمليات التي تؤدي إلى تثبيت كربون التربة غير المتجمدة، كما أنه يحول دون إجراء أي تقييم كمي لسعة التغيرات غير العكوسة في النظام المناخي والتي تتعلق بإزالة الغازات من التربة الصقيعية وبالتأثيرات التفاعلية المرتبطة بها. {6.4.7، 12.5.5}

ومن المرجح بدرجة عالية أن يؤدي الاحتراق الناجم عن الأنشطة البشرية إلى تعزيز انبعاثات الميثان الناتجة عن هيدرات اليابسة والمحيطات. وقد يهدد احتراق المحيطات استقرار رواسب هيدرات الميثان الموجودة تحت سطح البحر. غير أن ارتفاع مستوى سطح البحر بسبب التغيرات في كتلة المحيط يعزز استقرار الهيدرات في المحيط. وعلى الرغم من صعوبة تقييمها رسمياً، تكون التقديرات الأولية للتأثير التفاعلي الخاص بالقرن الحادي والعشرين والناجم عن انعدام استقرار هيدرات الميثان محدودة النطاق ولكنها ليست ضئيلة. ومن غير المرجح بدرجة كبيرة أن يسبب إطلاق غاز الميثان من الهيدرات كوارث خلال القرن الحادي والعشرين (مستوى مرتفع من الثقة). وقد توفر انبعاثات الميثان على نطاقات زمنية تمتد لعدة آلاف من السنين تأثيراً تفاعلياً إيجابياً للاحتراق الناجم عن الأنشطة البشرية، وقد تكون غير عكوسة بسبب الاختلاف بين النطاقات الزمنية المتعلقة بالإطلاق والتراكم. {6.4.7، 12.5.5}

ويبقى وجود عتبات السقام بفعل حدوث تغير المناخ الحرج في غابات الأمازون والغابات الاستوائية المطيرة الأخرى، والمدفوعة بتغير المناخ البحت، غير مؤكد إلى حد كبير. ولا ينبغي استبعاد إمكانية تجاوز عتبة حرجية في حجم الأمطار ومدة مواسم الجفاف. كما أن استجابة الغابات الشمالية للتغير المناخي المسقط غير مؤكدة بدرجة عالية من عدم اليقين، كما أنه لا يمكن استبعاد وجود العتبات الحرجية في الوقت الحاضر. وهناك مستوى منخفض من الثقة في الإسقاطات المتعلقة بانهيار المناطق الواسعة من الغابات المدارية و/أو الغابات الشمالية. {12.5.5}

اللاعكوسية المحتملة للتغيرات في الغلاف الجليدي

جرى تقييم عكوسية فقدان الجليد البحري بصورة مباشرة في دراسات الحساسية لزيادة ونقصان ثاني أكسيد الكربون من خلال النماذج المتقارنة للدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات (AOGCMs) أو نماذج نظام الأرض (ESMs). ولم تظهر أي منها دليلاً على حدوث تغيرات غير عكوسة في الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية في أي وقت. وعلى النقيض من ذلك، ونتيجة للتقارن الشديد بين المياه السطحية والمياه العميقة في المحيط الجنوبي يظهر الجليد البحري في المنطقة القطبية الجنوبية سلوكاً تخلفياً في بعض النماذج المتكاملة مع تزايد وانخفاض تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. {12.5.5}

وفي الوقت الحاضر، تتميز الصفائح الجليدية في غرينلاند والمنطقة القطبية الجنوبية بتوازن كتلي سطحي إيجابي (يتجاوز سقوط الثلوج الانصهار)، مع أن كلاهما يشهد فقداناً في الكتلة بسبب تجاوز التدفق الخارجي للجليد في البحر التوازن الكتلي السطحي الصافي. ويعمل تأثير تفاعلي إيجابي لخفض حجم الصفائح الجليدية ورفعتها عندما يؤدي تراجع في الارتفاع السطحي للصفحة الجليدية إلى انخفاض في التوازن الكتلي السطحي. وينشأ ذلك عموماً من خلال زيادة الانصهار السطحي، ومن ثم فهو ينطبق في القرن الحادي والعشرين على غرينلاند، ولكنه لا ينطبق على القارة القطبية الجنوبية التي تشهد حالياً انصهاراً سطحياً طفيفاً. وتشير الإسقاطات إلى أن الانصهار السطحي في القارة القطبية الجنوبية مهما بعد مرور عدة قرون في إطار سيناريوهات التأثير القسري الإشعاعي لغازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز. {4.4، 13.4.4، 5.2، 13.2}

وقد يسبب التراجع غير المستقر لنقطة التلاقي في المناطق التي تكون فيها القاعدة الصخرية تحت مستوى سطح البحر وتطل منحدراتها على الجزء الداخلي للصفحة الجليدية، تغيراً مفاجئاً في التدفق الخارجي للصفحة الجليدية نحو البحر. وينطبق ذلك بشكل أساسي على غرب القارة القطبية الجنوبية وعلى أجزاء من شرق القارة القطبية الجنوبية وغرينلاند على حد سواء. وقد يؤدي تحلل الجرف الجليدي إلى تراجع نقطة التلاقي نظراً لأن مياه المحيط تكون أكثر دفئاً تحت الأجراف الجليدية، مما يعزز انصهار الجرف الجليدي الموجود تحت البحر، أو لبرك المياه المنصهرة على سطح الجرف الجليدي مما يعزز صدع الجرف الجليدي. وبما أن نمو الصفحة الجليدية عملية بطيئة، قد تكون مثل هذه التغيرات غير عكوسة في التعريف المعتمد في هذا السياق. {4.4.4؛ الإطار 13.2}

وهناك مستوى ثقة مرتفع في أن الصفحة الجليدية في كل من غرينلاند وفي غرب القارة القطبية الجنوبية شهدتا انخفاضاً في الحجم على مدى ملايين السنين الماضية التي كانت أكثر دفئاً من اليوم على النطاق العالمي. وتشير عمليات محاكاة الصفائح الجليدية والبيانات الجيولوجية إلى أن الصفحة الجليدية في غرب القارة القطبية الجنوبية حساسة بدرجة كبيرة لاحتراق تحت سطح المحيطات كما تشير بمستوى ثقة متوسط إلى تراجع الصفحة الجليدية في غرب القارة القطبية الجنوبية إذا بقيت تركيزات ثاني أكسيد الكربون ضمن نطاق 350-450 جزءاً في المليون لعدة آلاف من السنين أو إذا تجاوزت هذا النطاق. {13.4.4، 5.8.1، الإطار 13.2}

وتشير الأدلة المتاحة إلى أن الاحتراق العالمي الذي يتجاوز عتبة معينة يؤدي إلى فقدان شبه كامل للصفحة الجليدية في غرينلاند لألف سنة أو أكثر، مما سيسبب ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر بنحو 7 أمتار. وتشير الدراسات التي تتحدّد طوبوغرافياً للصفائح الجليدية الحالية إلى أن العتبة تزيد عن درجتين مئويتين إلا أنها تبقى تحت 4 درجات مئوية (مستوى ثقة متوسط) من ارتفاع المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية فوق درجات حرارة عصر ما قبل الصناعة. وتشير إحدى الدراسات، التي تركز على الصفائح الجليدية الدينامية، إلى أن العتبة تتجاوز بدرجة مئوية واحدة (مستوى ثقة منخفض) متوسط الاحتراق العالمي فيما يتعلق بعصر ما قبل الصناعة. ومع مراعاة الحالة الراهنة لعدم اليقين العلمي، فإنه لا يمكن تحديد النطاق تحديداً كميًا. ولا يعد فقدان الكامل للصفحة الجليدية في غرينلاند أمراً محتملاً لأنه سيستغرق ألف سنة أو أكثر؛ فإذا انخفضت درجات الحرارة قبل زوال الصفحة الجليدية تماماً، قد تنمو الصفحة الجليدية من جديد. ولكن قد يكون جزء من فقدان الكتلة غير عكوس، بحسب مدة ودرجة تجاوز العتبة، لأن الصفحة الجليدية قد يكون لها عدة حالات استقرار نتيجة لتفاعلها مع المناخ الإقليمي. {13.4.4، 13.4.3}

TS.4.7 الظواهر المناخية المتطرفة

TS.4.6 الدورة المائية

اكتشفت عدة دراسات جديدة لتحديد العلاقات السببية وجود تأثير بشري المنشأ قابل للكشف للزيادة المرصودة في وتيرة الأيام والليالي الدافئة وانخفاض وتيرة الأيام والليالي الباردة. ومنذ صدور تقرير التقييم الرابع والتقارير الخاص بإدارة مخاطر الظواهر المتطرفة والكوارث من أجل تعزيز التكيف مع تغير المناخ (SREX)، ظهرت أدلة جديدة لكشف التأثير البشري على درجات الحرارة النهارية المرتفعة بدرجة عالية وأدلة جديدة على أنه يمكن الكشف عن قوة التأثير البشري المنشأ بشكل منفصل عن قوة التأثير الطبيعي على نطاقات عالمية وفي بعض المناطق القارية ودون القارية. ويساهم ذلك في تعزيز نتائج تقرير التقييم الرابع والتقارير الخاص بإدارة مخاطر الظواهر المتطرفة والكوارث من أجل تعزيز التكيف مع تغير المناخ (SREX)، ومن المرجح بدرجة كبيرة الآن أن يكون التأثير البشري المنشأ قد ساهم في التغيرات المرصودة في وتيرة وحدّة درجات الحرارة المتطرفة اليومية على النطاق العالمي منذ منتصف القرن العشرين. ومن المرجح أن يكون التأثير البشري قد زاد بدرجة كبيرة من احتمال حدوث موجات حارة في بعض المواقع. انظر القسم TFE.9 والقسم TFE.9، الجدول 1 للملخص عن تقييم ظواهر الطقس والمناخ المتطرفة. {10.6}

ومنذ صدور تقرير التقييم الرابع، ظهرت بعض الأدلة الجديدة المحدودة بشأن التأثير البشري المنشأ على كميات الأمطار المتطرفة، بما في ذلك دراسة رسمية للكشف عن العلاقات السببية وتحديدها وأدلة غير مباشرة بتوقع زيادة كمية الأمطار المتطرفة نظراً للأدلة بشأن التأثير الناجم عن الأنشطة البشرية على جوانب عديدة للدورة الهيدرولوجية العالمية وارتفاع مستوى الثقة بأن كثافة ظواهر كميات الأمطار المتطرفة ستزداد مع الاحترار بمعدل يتجاوز إلى حد كبير متوسط سقوط الأمطار. وفي المناطق الأرضية التي تكون فيها التغطية الرصدية كافية لإجراء التقييم، ثمة مستوى ثقة متوسط في أن تأثيرات الأنشطة البشرية قد ساهمت في زيادة شدة الأمطار المتطرفة على النطاق العالمي خلال النصف الثاني من القرن العشرين. {10.6، 7.6}

منذ صدور تقرير التقييم الرابع (AR4)، ظهرت أدلة جديدة بشأن التأثير البشري القابل للكشف بشأن على جوانب عديدة للدورة المائية. وثمة مستوى ثقة متوسط في أن التغيرات المرصودة في الرطوبة النوعية بالقرب من السطح منذ عام 1973 تشمل مكوناً بشرياً قابلاً للكشف. وقد تم الكشف عن بصمة بشرية المنشأ لبخار الماء تقوم بمحاكاتها مجموعة من النماذج المناخية في تقديرات محتوى رطوبة طبقة التروبوسفير السفلى الناجمة عن بيانات جهاز التصوير الخاص بالاستشعار بالموجات الصغرى (SSM/I) التي تغطي الفترة 1998-2006. وقد وجد أن هناك إسهاماً بشري المنشأ في الزيادات التي حدثت في الرطوبة النوعية في التروبوسفير بمستوى ثقة متوسط. {2.5، 10.3}

وتشير دراسات تحديد العلاقات السببية المتعلقة بمتوسط كمية الأمطار التي تسقط على اليابسة على مستوى المناطق في العالم والدراسات المتعلقة بكمية الأمطار في المنطقة القطبية الشمالية إلى وجود تأثير بشري المنشأ. وهناك عموماً مستوى ثقة متوسط في التأثير البشري الكبير على التغيرات في أنماط سقوط الأمطار على النطاق العالمي، بما في ذلك الزيادات التي حدثت عند خطوط العرض المتوسطة إلى العالية في نصف الكرة الشمالي. وتحول أوجه عدم اليقين المتبقية المتعلقة بالرصد والنمذجة والأثر الكبير للتقلبية الداخلية على سقوط الأمطار المرصود دون إجراء تقييم أكثر موثوقية. {2.5، 7.6، 10.3}

واستناداً إلى الأدلة التي تم جمعها بشأن التغيرات التي يمكن تحديد العلاقات السببية لها (مع مستويات متباينة من الثقة والترجيح) في الرطوبة النوعية وكميات الأمطار التي تسقط على اليابسة وملوحة سطح المحيط من خلال ارتباطها بكمية الأمطار والتبخّر، والفهم الفيزيائي للدورة المائية، من المرجح أن يكون التأثير البشري قد أثر على الدورة المائية العالمية منذ عام 1960. ويعد هذا تقدماً بارزاً منذ صدور تقرير التقييم الرابع (AR4). {2.4، 2.5، 3.3، 9.4.1، 10.3، 10.4.2؛ الجدول 10.1؛ {FAQ 3.2}

المتوقعة للتغير الناجم عن الأنشطة البشرية ومع الاستجابات المتوقعة من الانفجارات البركانية (الشكل 12. TS). {10.9، 10.6-10.3}

واكتُشف التأثير البشري في جميع المكونات الرئيسية للنظام المناخي التي جرى تقييمها تقريبا (الشكل 12. TS). وإذا ما أخذت معا، تزيد الأدلة المجتمعة مستوى الثقة الشامل في عزو تغير المناخ المرصود، كما أنها تقلل أوجه عدم اليقين المرتبطة بالتقييم استنادا إلى متغير مناخي واحد. وانطلاقا من هذه الأدلة المجتمعة، من شبه المؤكد أن التأثير البشري قد ساهم في احترار النظام المناخي. وقد تم تحديد التأثير الناجم عن الأنشطة البشرية في تغيرات درجات الحرارة قرب سطح الأرض وفي الغلاف الجوي والمحيطات كما تم تحديده في تغيرات الغلاف الجليدي والدورة المائية وبعض الظواهر المتطرفة. وهناك أدلة قوية تستثني القسر الشمسي، والبراكين والتقلبية الداخلية بصفتها أقوى العوامل الدافعة للاحترار منذ عام 1950. {9، 10.9؛ الجدول 10.1؛ 5.1 FAQ}

ومن المرجح أن التأثير البشري قد ساهم مساهمة كبيرة في الزيادات في درجة حرارة سطح الأرض منذ منتصف القرن العشرين في جميع القارات باستثناء القارة القطبية الجنوبية (الشكل 12. TS). ومن المرجح أن تكون الأنشطة البشرية قد أسهمت إسهاما كبيرا في الارتفاع الكبير لدرجات حرارة سطح الأرض في المنطقة القطبية الشمالية خلال السنوات الخمسين الماضية. وفيما يتعلق بالقارة القطبية الجنوبية، تؤدي أوجه عدم اليقين الرصدية العديدة إلى مستوى ثقة منخفض في أن التأثير البشري قد ساهم في الاحترار المرصود الذي تقوم بحساب متوسطه المحطات المتاحة. وما يعقد الكشف وتحديد العلاقات السببية الدور الأبرز الذي تلعبه العوامل الدينامية (تغيرات الدوران)، والنطاق الأوسع للتأثيرات القسرية

وعلى النطاق العالمي، هناك مستوى ثقة منخفض في عزو التغيرات في نشاط الأعاصير المدارية إلى التأثير البشري. ويرجع هذا إلى عدم كفاية الأدلة الرصدية، وعدم وجود فهم فيزيائي للروابط بين العوامل البشرية المنشأ المحركة لتغير المناخ ونشاط الأعاصير المدارية، وانخفاض مستوى التوافق بين الدراسات فيما يتعلق بالأهمية النسبية للتقلبية الداخلية، وللتأثيرات البشرية المنشأ والطبيعية. وفي منطقة شمال الأطلسي، ثمة مستوى متوسط من الثقة في أن انخفاض تأثير الأهباء الجوية فوق شمال المحيط الأطلسي قد ساهم على الأقل بجزء من الزيادة المرصودة في نشاط الأعاصير المدارية في هذه المنطقة منذ سبعينيات القرن الماضي. ولا يزال هناك اختلاف بارز بشأن الأهمية النسبية للتقلبية الداخلية، وتأثير غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج والأهباء الجوية فيما يتعلق بهذا الاتجاه المرصود. {2.6، 10.6، 14.6}

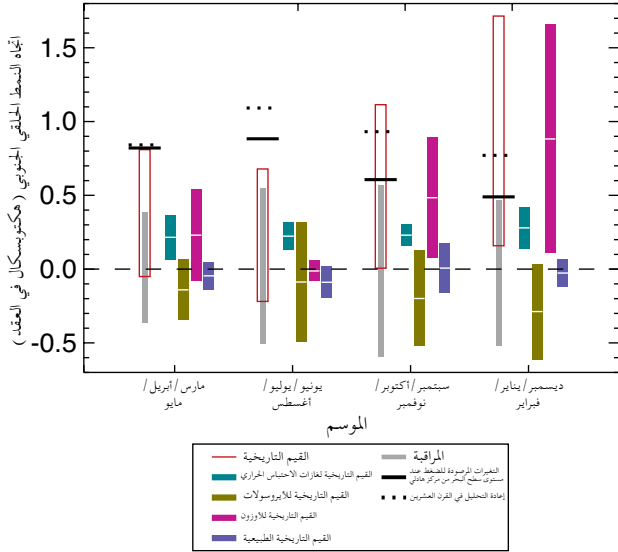
ومع أن تقرير التقييم الرابع قد خلص إلى أن ترجيح أن يكون التأثير البشري المنشأ قد ساهم في زيادة خطر حدوث جفاف أكبر من عدم ترجيحه خلال النصف الثاني من القرن العشرين، يشير تقييم محدث للأدلة الرصدية إلى أن استنتاجات تقرير التقييم الرابع فيما يتعلق بالاتجاهات العالمية المتزايدة في حالات الجفاف الهيدرولوجي منذ السبعينيات لم تعد مدعومة. ونظراً لمستوى الثقة المنخفض في التغيرات المرصودة الواسعة النطاق في حالات الجفاف بالاقتران مع الصعوبات في التمييز بين تقلبية حالات الجفاف على المستوى العقدي وتغير المناخ في الأجل الطويل، ثمة مستوى ثقة منخفض الآن بشأن عزو التغيرات في حالات الجفاف على سطح اليابسة على الصعيد العالمي منذ منتصف القرن العشرين إلى التأثير البشري. {2.6، 10.6}

TS.4.8 من المستوى العالمي إلى المستوى الإقليمي

يشير منظور أطول أجلاً إلى دور التأثيرات الخارجية الكبير في تحريك تقلبية المناخ على نطاقات نصف الكرة الأرضية خلال عصور ما قبل الصناعة (الإطار 5. TS). ومن غير المرجح بدرجة كبيرة أنه يمكن تفسير التباينات في درجات الحرارة في نصف الكرة الشمالي من عام 1400 إلى عام 1850 بواسطة التقلبية الداخلية وحدها. وثمة مستوى متوسط من الثقة في أن التأثير الخارجي قد ساهم في تقلبية درجات الحرارة في نصف الكرة الشمالي من عام 850 إلى عام 1400 وفي تباينات درجات الحرارة في أوروبا خلال القرون الخمسة الأخيرة. {3.3، 5.1، 5.5.1، 10.7.2، 10.7.5؛ الجدول 10.1}

وتعد التغيرات في دوران الغلاف الجوي مهمة بالنسبة لتغير المناخ على المستوى المحلي لأنها قد تؤدي إلى تغيرات مناخية أصغر أو أكبر في منطقة معينة أكثر من غيرها. ومن المرجح أن يكون التأثير البشري قد أحدث تغييراً في أنماط الضغط عند مستوى سطح البحر على النطاق العالمي. وثمة مستوى متوسط من الثقة في أن استنفاد الأوزون الستراتوسفيري قد ساهم في التحول صوب القطبين المرصود للحد الجنوبي لخلية هادلي خلال الصيف الجنوبي. ومن المرجح أن يكون استنفاد الأوزون الستراتوسفيري قد ساهم في الاتجاه الإيجابي للنمط الحلقي الجنوبي (SAM) الملاحظ خلال الصيف الجنوبي منذ منتصف القرن العشرين، والذي يناظر الانخفاضات في الضغط عند مستوى سطح البحر في مناطق خطوط العرض العليا والزيادات في المناطق شبه الاستوائية (الشكل 11. TS). {10.3}

وتتوفر أدلة قوية على أنه يمكن الآن عزو التغيرات المرصودة في النظام المناخي إلى الأنشطة البشرية على النطاقين العالمي والإقليمي في الكثير من المكونات (الشكل 12. TS). وقد تم استكشاف أوجه عدم اليقين الرصدية بدقة أكبر كثيراً من ذي قبل، كما تم استنتاج بصمات التأثير البشري من الجيل الجديد من النماذج المناخية. وطراً تحسن في فهم التغيرات المتعلقة بالمحيطات، بما في ذلك التغيرات في الملوحة، التي تتسق مع تزايد شدة الدورة المائية الواسعة النطاق التي تتنبأ بها النماذج المناخية. ولا تظهر التغيرات في درجات الحرارة قرب السطح، ودرجات حرارة الغلاف الجوي الحر، ودرجات حرارة المحيطات، والغطاء الثلجي ونطاق الجليد البحري في نصف الكرة الشمالي، عندما تحسب مع بعضها البعض، متوسط التغيرات العالمية فحسب، إنما تظهر أيضاً أنماطاً إقليمية مميزة تتسق مع البصمات

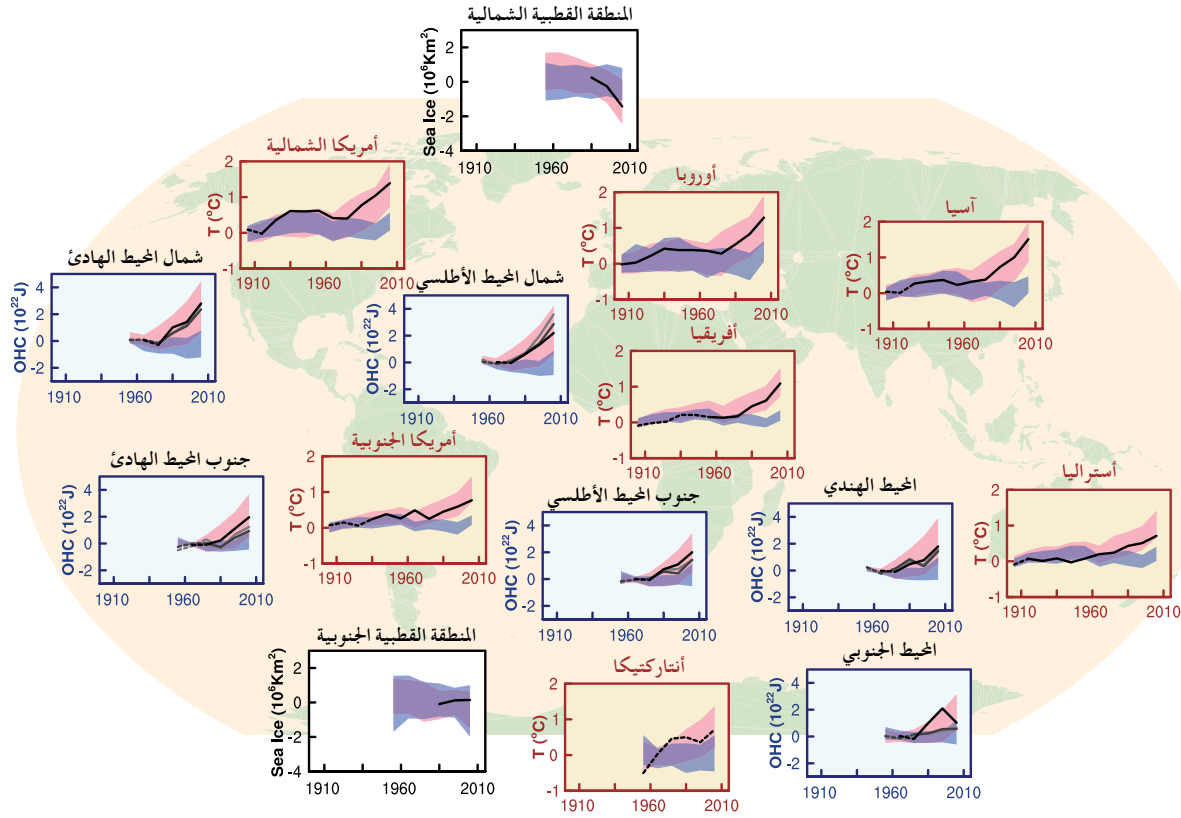


الشكل 11. TS | التغيرات المحاكاة والمرصودة خلال الفترة 1951-2011 في معامل النمط الحلقي الجنوبي (SAM) لكل فصل. ويعرف معامل النمط الحلقي الجنوبي SAM بأنه الفرق بين متوسط الضغط الجوي عند سطح البحر في منطقة ما عند 40 درجة جنوباً و 65 درجة جنوباً. ويتم تحديد معامل النمط الحلقي الجنوبي SAM بدون تطبيع، على نحو يتيح المقارنة بين التغيرات المحاكاة والمرصودة. وتظهر الخطوط السوداء مجموعة البيانات الخاصة بالتغيرات المرصودة للضغط عند مستوى سطح البحر من مركز هادلي (HadSLP2r) (الخطوط المتصلة) وإعادة التحليل في القرن العشرين (الخطوط المنقط). وتشير الأعمدة الرمادية إلى نطاقات الجزء المثني الخامس والتاسع والخمسين للتغيرات المرجعية، بينما تبين المربعات الحمراء نطاق المثني الخامس والمئتين الخامس والتسعين للتغيرات في عمليات المحاكاة التاريخية، بما في ذلك التأثيرات البشرية والطبيعية. وتظهر الأعمدة الملونة مجموعة متوسط للتغيرات ونطاقات الثقة المرتبطة بها من 5 إلى 95 في المائة التي تجري محاكاتها في إطار الاستجابة لغازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج (اللون الأخضر الفاتح) والهباء الجوي (اللون الأخضر الداكن)، والأوزون (اللون الأرجواني) وتغيرات التأثير القسري الطبيعية (اللون الأزرق) في عمليات محاكاة التأثير الفردية التي تجرى ضمن المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة CMIP5. (الشكل 10.13)

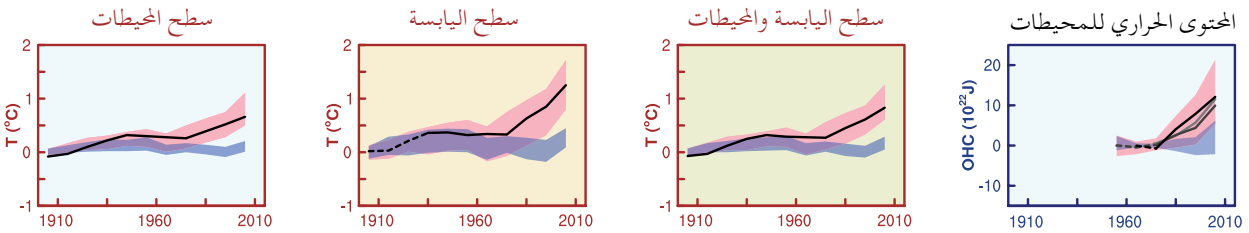
الأرض والاحتوى الحراري للمحيطات إشارات ناشئة بشرية المنشأ وطبيعية في كلا السجلين، وانفصالاً واضحاً عن الفرضية البديلة المتعلقة بالتغيرات الطبيعية فقط. ولا تظهر هذه الإشارات في المتوسطات العالمية فحسب، إنما تظهر كذلك على النطاقات الإقليمية في القارات وفي أحواض المحيطات في كل من هذه المتغيرات. وتظهر رقعة الجليد البحري بوضوح من نطاق التقلبية الداخلية للمنطقة القطبية الشمالية. وعلى النطاقات دون القارية، من المرجح أن يكون التأثير البشري قد ساهم إلى حد كبير في زيادة احتمال حدوث موجات حارة في بعض الأماكن. {الجدول 10.1}

التي قد تكون مهمة على المستوى الإقليمي، والصعوبة الأكبر في نمذجة العمليات ذات الصلة على النطاقات الإقليمية. ومع ذلك، من المرجح أن يكون التأثير البشري قد ساهم في الزيادات في درجات الحرارة في مناطق دون قارية عديدة. {10.3؛ الإطار 5.1}

وهناك اتساق ملحوظ بين التغيرات المرصودة وعمليات المحاكاة للتأثير البشري المنشأ والطبيعي في النظام الفيزيائي (الشكل 12.TS)، لاسيما بالنسبة للمتغيرات المتعلقة بدرجات الحرارة. وتظهر درجة حرارة سطح



المتوسطات العالمية



الرصدات

النماذج باستخدام التأثيرات القسرية الطبيعية فقط
النماذج باستخدام التأثيرات القسرية الطبيعية والبشرية معا

الشكل 12.TS مقارنة التغير المرصود والمحاكى في النظام المناخي على نطاقات إقليمية (اللوحة العلوية) وعلى نطاقات عالمية (اللوحة الأربعة في الصف السفلي). تمثل اللوحات البنية السلاسل الزمنية المتعلقة بدرجة حرارة سطح الأرض، وتمثل اللوحات الزرقاء السلاسل الزمنية المتعلقة بالجليد البحري (التظليل الأزرق) والتأثيرات الطبيعية والبشرية المنشأ (التظليل الرمادي)، و 5 إلى 95 في المائة من نطاق الاستجابة المحاكاة للتأثيرات الطبيعية (التظليل الأزرق) والتأثيرات الطبيعية والبشرية المنشأ (التظليل الرمادي)، مع متوسطات المجموعات الموازية لها (اللون الأزرق الداكن واللون الأحمر القاتم على التوالي). وتوفر درجة حرارة سطح الأرض المرصودة من المجموعة الأربعة لبيانات درجات الحرارة السطحية المعروضة في شكل نقاط شبكية لمركز هادلي/وحدة البحوث المناخية (HadCRUT4). ويبين الشكل ثلاثة سجلات مرصودة للمحتوى الحراري للمحيطات. ويتم إدراج حالات الشذوذ المتعلقة بالجليد البحري (عوضاً عن القيم المطلقة) المعتمدة على النماذج الواردة في الشكل 10.16. وتكون خطوط الرصد متصلة أو متقطعة كما أنها تشير إلى مدى جودة الرصدات والتقدير. وفيما يتعلق باللوحة الخاصة بدرجات حرارة سطح الأرض والمحيطات و لوحات كمية الأمطار، تشير خطوط الرصد المتصلة إلى المناطق التي درست والتي تتجاوز فيها التغطية المكانية 50 في المائة بينما تشير الخطوط المنقطعة إلى المناطق التي تقل فيها التغطية عن 50 في المائة. فمثلاً، لا تتجاوز تغطية البيانات المتعلقة بالقارة القطبية الجنوبية 50 في المائة من مساحة اليابسة في القارة. وفيما يتعلق باللوحة المتعلقة بالاحتوى الحراري للمحيطات والجليد البحري، يشير خط الرصد المتصل إلى تغطية البيانات الجيدة والأفضل نوعية، بينما يشير الخط المنقطع إلى ملاءمة تغطية البيانات فقط. ويستند هذا الشكل إلى الشكل 10.21 باستثناء أنه يجري تقديمه كمتوسطات عقدية عوضاً عن متوسطات سنوية. وتحتوي المواد التكميلية على مزيد من التفاصيل بشأن الشكل SPM.6 ذي الصلة. (الشكل 10.21)

الإطار 4. TS | تقييم النماذج

استمر تحسين النماذج المناخية منذ صدور تقرير التقييم الرابع، كما تم توسيع نطاق العديد من هذه النماذج ليشمل نماذج نظام الأرض من خلال تضمين تمثيل الدورات الجيوكيميائية الحيوية المهمة لتغير المناخ. ويقدم الشكل 1 في الإطار 4. TS عرضاً جزئياً لقدرات النماذج بصورتها المقيمة في هذا التقرير، بما في ذلك تحسين أو عدم تحسين النماذج التي قيمت في تقرير التقييم الرابع أو التي كانت متاحة خلال تقرير التقييم الرابع. {9.1، 9.8.1، الإطار 9.1}

وقد تحسنت قدرة النماذج المناخية على محاكاة درجة الحرارة السطحية في جوانب كثيرة تتعلق بجيل النماذج التي قيمت في تقرير التقييم الرابع ولكنها لم تقيم في جميع الجوانب. ولا يزال هناك مستوى ثقة مرتفع بدرجة كبيرة في أن النماذج تعيد إنتاج أنماط متوسط درجات الحرارة السطحية المرصودة على نطاق واسع (ارتباط يبلغ نحو 0.99 بين الأنماط)، على الرغم من العثور على أخطاء منهجية تبلغ عدة درجات مئوية في بعض المناطق. وعلى النطاق الإقليمي (النطاق دون القاري والنطاقات الأصغر)، وهناك مستوى عالٍ من الثقة في أنه جرت محاكاة متوسط درجات الحرارة السطحية بشكل أفضل من محاكاتها في إطار تقرير التقييم الرابع؛ إلا أن مستوى الثقة في قدرة النماذج أكثر انخفاضاً مما هو عليه بالنسبة للنطاق الواسع. وتتميز النماذج بالقدرة على إعادة إنتاج تقلبية متوسط درجات الحرارة العالمية المرصودة أو متوسط درجات الحرارة في نصف الكرة الشمالي على نطاقات سنوية إلى مئوية. ويمكن للنماذج أيضاً إعادة إنتاج أنماط درجات الحرارة الواسعة النطاق خلال الحد الأقصى للعصر الجليدي الأخير، مما يشير إلى قدرتها على محاكاة حالة مناخية تختلف إلى حد كبير عن حالة المناخ الحالية (انظر كذلك الإطار 5. TS). {9.4.1، 9.6.1}

وثمة مستوى من الثقة مرتفع بدرجة كبيرة في أن النماذج تعيد إنتاج السمات العامة لتغيرات متوسط درجات الحرارة السطحية على المستويين العالمي والسنوي خلال الفترة التاريخية، بما في ذلك الاحترار الذي حدث في النصف الثاني من القرن العشرين والتبريد الذي يعقب مباشرة الثورات البركانية الكبيرة. ومعظم عمليات المحاكاة للفترة التاريخية لا تعيد إنتاج الانخفاض المرصود في اتجاه المتوسط العالمي للاحتراق السطحي خلال السنوات العشر إلى الخمس عشرة الماضية (انظر الإطار 3. TS). وهناك مستوى ثقة متوسط بأن سبب الاختلاف في التغير بين النماذج والرصدات خلال الفترة 1998-2012 يعود إلى حد كبير إلى التقلبية الداخلية، مع إسهامات محتملة من أوجه القصور المؤثرة على النماذج ومبالغة بعض النماذج في تقدير الاستجابة للتأثير المتزايد لغازات الاحتباس الحراري. وتبالغ أغلبية النماذج، وليس كلها، في تقدير الاحترار المرصود في طبقة التروبوسفير في المناطق المدارية خلال السنوات الثلاثين الأخيرة، كما أنها تنحوي إلى التقليل من أهمية التبريد الطويل الأجل في طبقة الستراتوسفير السفلى. {9.4.1، الإطار 9.2}

وقد تحسنت إلى حد ما محاكاة أنماط الهطول الواسعة النطاق منذ تقرير التقييم الرابع، مع أن النماذج لا تزال تؤدي دوراً أقل فعالية فيما يتعلق بالهطول بالمقارنة مع الدور الذي تؤديه فيما يتعلق بدرجات الحرارة السطحية. وقد زاد الارتباط على مستوى النمط المكاني بين متوسط الهطول العالمي المنمذج والمتوسط العالمي المرصود لكمية الأمطار من 0.77 للنماذج المتاحة عند صدور تقرير التقييم الرابع إلى 0.82 للنماذج الحالية. وعلى النطاقات الإقليمية، لا تتم كذلك محاكاة كمية الأمطار، ولا يزال إجراء التقييم أمراً صعباً نظراً لأوجه عدم اليقين الرصدية. {9.4.1، 9.6.1}

ولا تزال نماذج كثيرة قادرة على إعادة إنتاج التغيرات المرصودة في المحتوى الحراري في الطبقات العليا من المحيطات من عام 1961 إلى عام 2005. وتندرج السلاسل الزمنية لمتوسط المتعدد النماذج في نطاق التقديرات الرصدية المتاحة للجزء الأكبر من هذه الفترة. {9.4.2}

وهناك أدلة قوية على أنه تجري محاكاة الاتجاه الانحداري في رقعة الجليد البحري الصيفي في المنطقة القطبية الشمالية بشكل أفضل من محاكاته عند صدور تقرير التقييم الرابع. ويظهر نحو ربع النماذج تغيراً يتميز بالقوة نفسها أو بقوة أكبر من التغير في الرصدات في عصر السواتل خلال الفترة 1979-2012. وتحاكي معظم النماذج الاتجاه التناقضي في رقعة الجليد البحري في المنطقة القطبية الجنوبية، على الرغم من الامتداد الواسع النطاق بين النماذج، على نقيض الاتجاه المتزايد الطفيف في عمليات الرصد. {9.4.3}

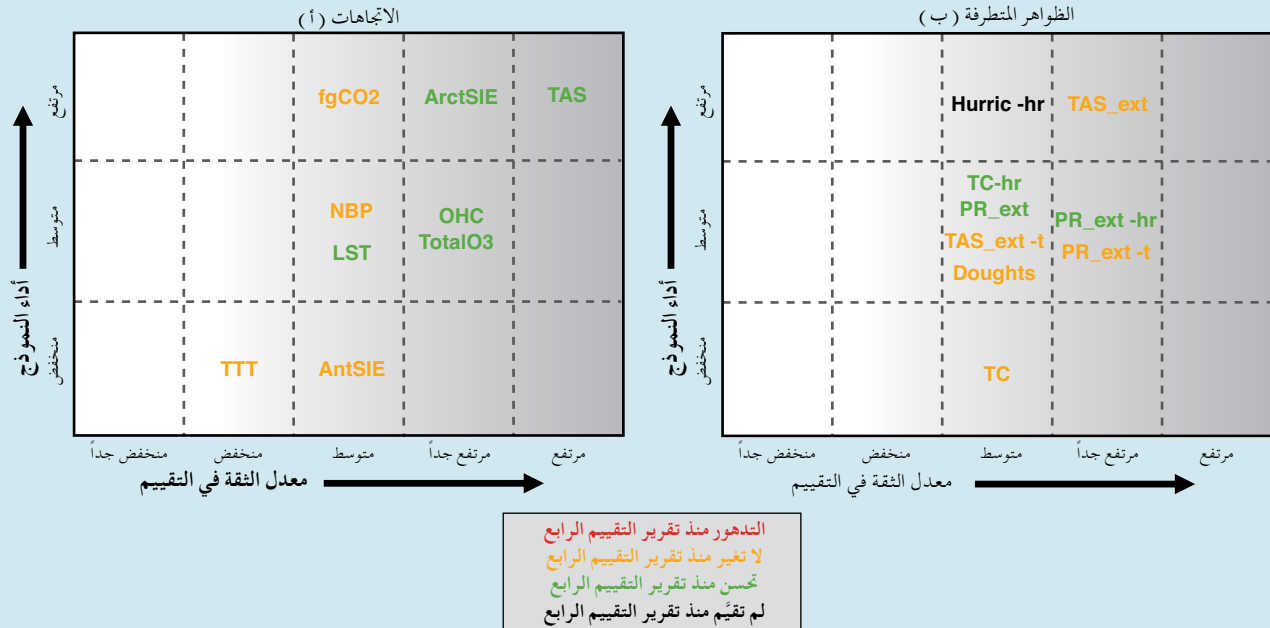
وأحرز تقدم كبير منذ صدور تقرير التقييم الرابع في تقييم عمليات محاكاة الظواهر المتطرفة بواسطة النماذج. وتتسق التغيرات في وتيرة الأيام والليالي الشديدة البرودة خلال النصف الثاني من القرن العشرين مع النماذج والرصدات، مع إدراج المتوسط العالمي للسلاسل الزمنية الخاص بمتوسط المجموعة في نطاق التقديرات المرصودة عموماً. وتقلل أغلبية النماذج من تقدير حساسية كميات الأمطار المتطرفة لتقلبية درجات الحرارة أو مناحي التغير، لاسيما في المناطق المدارية. {9.5.4}

وفي غالبية النماذج التي تشمل دورة كربون تفاعلية، تقع المغائص العالمية لمحاكاة كربون اليابسة وكربون المحيطات خلال الفترة الأخيرة من القرن العشرين في نطاق التقديرات الرصدية. ولكن النماذج تقلل بشكل منتظم من أهمية مغيض اليابسة في نصف الكرة الشمالي الذي تشير إليه أساليب انقلابات الغلاف الجوي. {9.4.5}

وتوفر طرائق تقليص النطاقات الإقليمية المعلومات المناخية إلى النطاقات الأصغر الضرورية لإجراء دراسات عن تأثيرات المناخ. وهناك مستوى عالٍ من الثقة في أن تقليص النطاق يضيف قيمة في المناطق التي تتميز بطوبوغرافيا شديدة التباين وللظواهر الصغيرة الحجم على حد سواء. {9.6.4}

ويتراوح اتساع النماذج لحساسية المناخ عند الاتزان بين 2.1 درجة مئوية و 4.7 درجات مئوية كما أنه يشبه إلى حد كبير اتساع النماذج في تقرير التقييم الرابع. وثمة مستوى من الثقة مرتفع بدرجة كبيرة في أن العامل الرئيسي الذي يساهم في اتساع حساسية المناخ عند الاتزان لا يزال التأثيرات التفاعلية للسحب. وينطبق هذا على كل من المناخ الحديث والحد الأقصى للعصر الجليدي الأخير. وبالمثل، هناك مستوى ثقة مرتفع بدرجة كبيرة في أنه، اتساقاً مع الرصدات، تظهر النماذج ارتباطاً إيجابياً قوياً بين درجات الحرارة في التروبوسفير وبخار الماء على نطاقات إقليمية إلى عالمية، مما يشير إلى تأثيرات تفاعلية إيجابية لبخار الماء في كل من النماذج والرصدات. {9.7، 9.4.1، 5.3.3}

وتقوم النماذج المناخية على مبادئ فيزيائية، كما أنها تعيد إنتاج الكثير من العناصر المهمة للمناخ المرصود. ويسهم هذين الجانبين في ثقتنا في ملاءمة النماذج للتطبيق في دراسات الكشف وتحديد العلاقات السببية (انظر الفصل العاشر) وفي القيام بتنبؤات وإسقاطات كمية في المستقبل (انظر الفصول من 11 إلى 14). وهناك أدلة متزايدة على أن بعض عناصر التقلبية أو اتجاهات التغيير المرصودة ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالاختلافات بين النماذج بإسقاطات النماذج المتعلقة بكميات مثل منحى الجليد البحري الصيفي في المنطقة القطبية الشمالية، والتأثيرات التفاعلية للبيدوثلوج وفقدان الكربون في المناطق المدارية. غير أنه لا تتوفر إستراتيجية عالمية تسمح بتحويل الأداء السابق لنموذج معين إلى الوزن النسبي لهذا النموذج في إطار متوسط مجموعة متعددة النماذج من الإسقاطات المناخية. {9.8.3}



الإطار TS.4، الشكل 1 | ملخص مدى جودة محاكاة الجيل الحالي من النماذج المناخية للسّمات المهمة المميزة للمناخ في القرن العشرين. وتزداد الثقة في التقييم باتجاه اليمين كما يتضح من زيادة شدة التظليل. وتتحسن جودة النماذج من أسفل إلى أعلى. ويشير الترميز الملون إلى التحسينات التي استجرت في النماذج منذ إصدار تقرير التقييم الرابع وحتى التقييم الحالي. وقد تم إجراء عدد من التحسينات منذ صدور تقرير التقييم الرابع، ولم تجر محاكاة لبعض الكميات النمذجة بشكل أفضل. وتدرج الكميات المناخية الرئيسية في هذا الملخص ولا يشهد أي منها تراجعاً. ويستند التقييم أساساً إلى المتوسط المتعدد النماذج، ولا يستثنى منها وجود انحرافات للنماذج الفردية. وتبسط جودة النماذج التي يجري تقييمها لتمثيلها في هذا الشكل؛ ويمكن الاطلاع على التفاصيل المتعلقة بكل تقييم في الفصل 9. {9.8.1}؛ الشكل 9.44.

ويسلط هذا الشكل الضوء على السمات الرئيسية مع إضافة القسم الداعم للتقييم بين قوسين:

(أ) الاتجاهات في:

رقعة الجليد البحري في المنطقة القطبية الجنوبية {9.4.3}	AntSIE
رقعة الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية {9.4.3}	ArctSIE
المغائض العالمية للكربون في المحيطات {9.4.5}	fgCO2
درجات الحرارة في طبقة الستراتوسفير السفلى {9.4.1}	LST
مغائض الكربون في اليابسة على النطاق العالمي {9.4.5}	NBP
المحتوى الحراري للمحيطات على النطاق العالمي {9.4.2}	OHC
عمود الأوزون الكلي {9.4.1}	TotalO3
درجة حرارة الهواء السطحي {9.4.1}	TAS
درجات الحرارة في طبقة التروبوسفير في المناطق المدارية {9.4.1}	TTT

(ب) الظواهر المتطرفة

حالات الجفاف {9.5.4}	Droughts
عدد الأعاصير في المحيط الأطلسي من سنة إلى أخرى في نماذج الدوران العام في الغلاف الجوي ذات الاستبانة العالية {9.5.4}	Hurric-hr
التوزيع العالمي للظواهر المتطرفة لسقوط الأمطار {9.5.4}	PR_ext
التوزيع العالمي للظواهر المتطرفة لسقوط الأمطار في نماذج الدوران العام في الغلاف الجوي ذات الاستبانة العالية {9.5.4}	PR_ext-hr
اتجاهات التغيير العالمية المتعلقة بالظواهر المتطرفة لسقوط الأمطار {9.5.4}	PR_ext-t
التوزيعات العالمية للظواهر المتطرفة المتعلقة بدرجة حرارة الهواء السطحي {9.5.4}	TAS_ext
اتجاهات التغيير العالمية للظواهر المتطرفة المتعلقة بدرجة حرارة الهواء السطحي {9.5.4}	TAS_ext-t
مسارات الأعاصير المدارية وشدتها {9.5.4}	TC
مسارات الأعاصير المدارية وشدتها في نماذج الدوران العام في الغلاف الجوي ذات الاستبانة العالية {9.5.4}	TC-hr

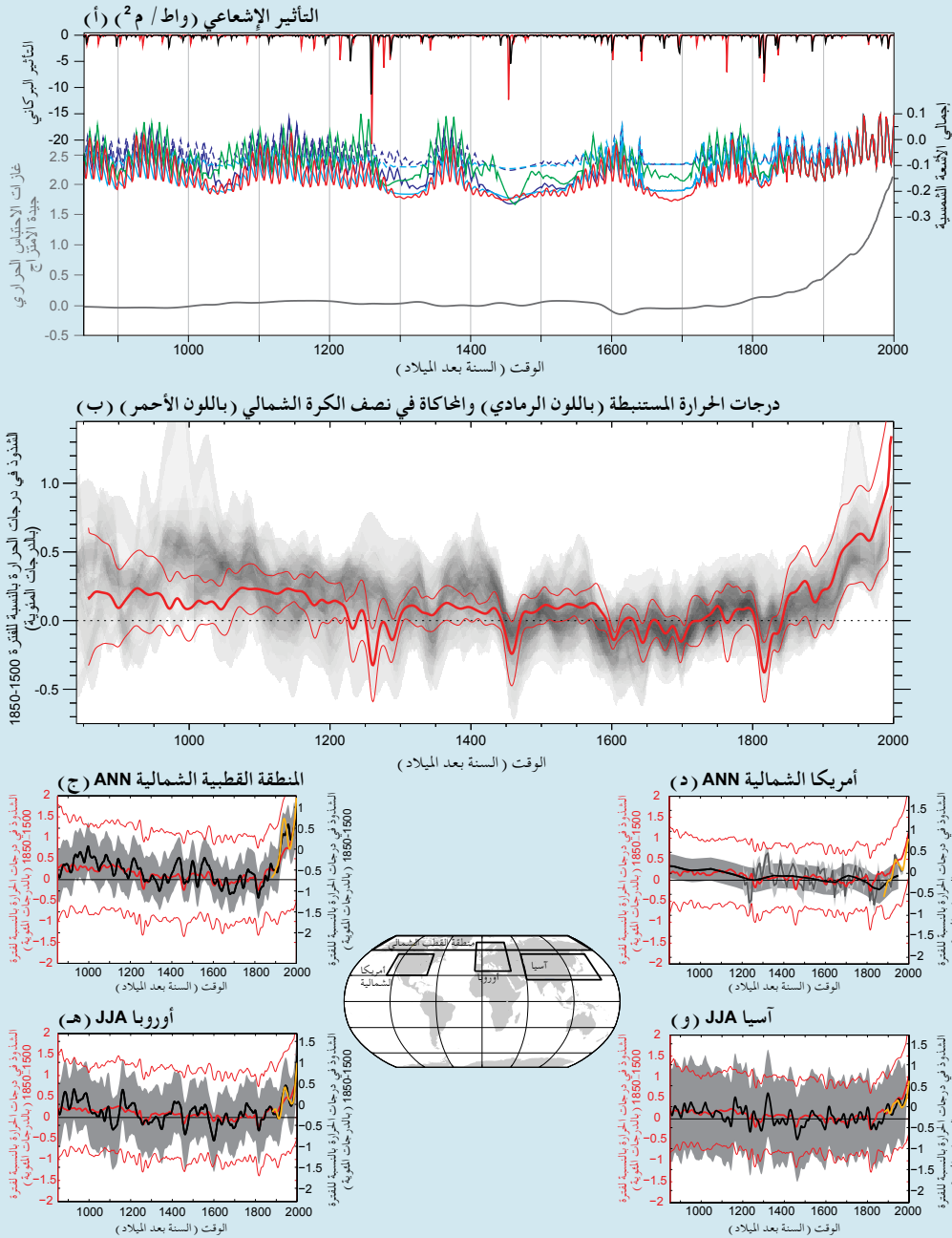
الإطار 5. TS | المناخ القديم

تتيح عمليات استنباط العناصر المناخية من أرشيفات المناخ القديم النظر إلى التغيرات الحالية في تركيب الغلاف الجوي، ومستوى سطح البحر والمناخ (بما في ذلك الظواهر المتطرفة، مثل، حالات الجفاف والفيضانات)، والإسقاطات المستقبلية من منظور أوسع على صعيد التقلبية المناخية السابقة (انظر القسم TS.2). {5.2-5.6؛ 6.2، 10.7}

وتوثق المعلومات المتعلقة بالمناخ السابق أيضاً سلوك العناصر البيئية في النظام المناخي، بما في ذلك دورة الكربون، والصفائح الجليدية، وأعماق المحيط، التي لا يتوفر بشأنها ما يكفي من السجلات الآلية بالمقارنة بالنطاقات الزمنية المميزة لاستجابتها للاضطرابات، فتوفر بذلك معلومات مفيدة عن آليات التغيرات المفاجئة وغير العكوسة. وأتاح اقتران هذه المعلومات بعناصر التأثير الخارجية للمناخ القديم، وعمليات التوليف فيما بين بيانات المناخ القديم توثيق تضخيم قطبي يتسم بتغيرات معززة في درجات الحرارة في المنطقة القطبية الشمالية مقارنة بالمتوسط العالمي، استجابة لتركيزات ثاني أكسيد الكربون المرتفعة أو المتدنية. {5.2.1، 5.2.2، 5.6، 5.7، 5.8، 6.2، 8.4.2، 13.2.1، 13.4؛ الإطاران 5.1، 5.2}

ومنذ صدور تقرير التقييم الرابع، أدى إدراج نماذج محاكاة المناخ القديم في إطار المرحلة الثالثة من مشروع مقارنة نماذج المناخ السابق (PMIP3) / المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) إلى جعل المعلومات عن المناخ السابق أكثر ارتباطاً بالإسقاطات المتعلقة بالمناخ في المستقبل. واستُخدمت المعلومات عن المناخ القديم في منتصف حقبة الهولوسين (6 آلاف سنة)، والفترة الجليدية الأخيرة (21 ألف سنة تقريباً)، والألفية الأخيرة لاختبار قدرة النماذج على إجراء عمليات محاكاة واقعية لحجم التغيرات السابقة وأتماطها الواسعة النطاق. وسمح الجمع بين المعلومات المستمدة من نماذج محاكاة المناخ القديم وعمليات استنباط المناخ القديم بإجراء تحديد كمي لاستجابة نظام المناخ للاضطرابات الإشعاعية، والقيود التي تفرض نطاق حساسية المناخ عند الاتزان، وتوثيق الأنماط السابقة لتقلبية المناخ الداخلي على أطر زمنية تتراوح بين سنوات وقرون. {5.3.1-5.3.5، 5.4، 5.5.1، 9.4.1، 9.4.2، 9.5.3، 9.7.2، 10.7.2، 14.1.2}

ويبين الشكل 1 في الإطار 5. TS مقارنة خلال الألفية الأخيرة بين نماذج المحاكاة وعمليات استنباط المناخ القديم من خلال المرحلة الثالثة من مشروع مقارنة نماذج المناخ القديم في الألفية الماضية (PMIP3) / المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP5) والتأثيرات الإشعاعية المقترنة بها لكل من الشمس والبراكين من جهة وغازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج من جهة أخرى. وبالنسبة لمتوسط درجات الحرارة السنوية في نصف الكرة الشمالي، من المرجح بدرجة كبيرة أن الفترة 1983-2012 كانت أحر فترة ثلاثين سنة في آخر 800 سنة (مستوى ثقة مرتفع) ومن المرجح أيضاً أنها كانت أحر فترة ثلاثين سنة في آخر 1400 سنة (مستوى ثقة متوسط). ويدعم ذلك مقارنة بين سجلات آلية لدرجات الحرارة تضم عمليات استنباط عديدة للمناخ القديم من مجموعة متنوعة من البيانات غير المباشرة، والأساليب الإحصائية، وهي متوافقة مع تقرير التقييم الرابع. واستجابة للتغيرات الإشعاعية من الشمس والبراكين والتغيرات البشرية المنشأ، تحاكي نماذج المناخ التغيرات في درجات الحرارة عبر عدة عقود خلال السنوات الـ 1200 الأخيرة في نصف الكرة الشمالي، والتي تتوافق بصورة عامة من حيث الشدة وتزامن التوقيت مع عمليات استنباط للمناخ القديم، في نطاق ما يكتنفها من أوجه عدم يقين. وتظهر عمليات استنباط درجات الحرارة القديمة على المستوى القاري، بمستوى مرتفع من الثقة، عدة عقود خلال فترة شذوذ المناخ في القرون الوسطى (ما بين 950 و 1250 تقريباً) اتسمت في بعض المناطق باحترار مماثل لاحترار منتصف القرن العشرين، وفي مناطق أخرى باحترار مماثل لاحترار أواخر القرن العشرين. وبمستوى مرتفع من الثقة، لم تكن فترات الاحترار الإقليمية هذه متزامنة عبر المناطق بقدر تزامن الاحترار منذ منتصف القرن العشرين. واستناداً إلى مقارنة بين عمليات استنباط المناخ القديم ونماذج المحاكاة، ثمة مستوى مرتفع من الثقة في أن التأثير المداري والشمسي والبركاني الخارجي إضافة إلى التقلبية الداخلية أسهمت إسهاماً كبيراً في النمط المكاني وفي توقيت التغيرات في درجات الحرارة السطحية بين فترة شذوذ المناخ في القرون الوسطى والعصر الجليدي الصغير (الفترة من 1450 إلى 1850 تقريباً). على أن هناك مستوى منخفضاً بدرجة كبيرة من الثقة على صعيد التقديرات الكمية للمساهمة النسبية لكل منها. ومن غير المرجح بدرجة كبيرة أن يكون بالإمكان تفسير التغيرات في درجات الحرارة في نصف الكرة الشمالي خلال الفترة من 1400 إلى 1850 بالتقلبية الداخلية وحدها. وثمة مستوى متوسط من الثقة في أن التأثير الخارجي ساهم في تقلبية درجات الحرارة في نصف الكرة الشمالي من 850 إلى 1400 وفي أن التأثير الخارجي قد أسهم في حدوث التغيرات في درجات الحرارة في أوروبا خلال القرون الخمسة الأخيرة. {5.3.5، 5.5.1، 10.7.2، 10.7.5؛ الجدول 10.1}



مقارنة بمعدل الفترة 1986-2005، وذلك ما لم يذكر خلاف ذلك. وترد الإسقاطات المتعلقة بتغير المناخ على مدى أبعد والمعلومات المتعلقة باستقرار المناخ والمناخ المستهدف في القسم 8. TFE. وترد طرائق التصدي لتغير المناخ المسماه طرائق الهندسة الأرضية كاقتراحات، ويتم إلقاء نظرة عامة عليها في الإطار TS.7. {11.3، 12.3، 12.5-13.5، 13.7-14.1، الملحق 1}

TS.5.2 التأثيرات والسيناريوهات المستقبلية

تُستخدم في تقرير التقييم الحالي سلسلة من مسارات التركيز النموذجية (RCPs) الجديدة التي تحل إلى حد كبير محل سيناريوهات التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات (SRES) الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) (انظر الإطار TS.6 والمرفق الثاني بجدول سيناريو نظام المناخ)؛ وهي تنتج مجموعة من الاستجابات التي تتراوح من الاحترار المستمر مروراً بالتأثير المستقر نسبياً، إلى سيناريو التخفيف الصارم (RCP2.6) الذي يحقق الاستقرار للتأثير الإشعاعي ثم يخففه شيئاً فشيئاً بعد منتصف القرن الحادي والعشرين. وخلافاً لتقرير التقييم الرابع، يتم تصنيف التغير المناخي من سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP) الواردة في تقرير التقييم الخامس كمزيج من التكيف والتخفيف. ولا تسفر إجراءات التخفيف التي تبدأ الآن في مختلف سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP) عن نتائج مختلفة بشكل ملحوظ على صعيد تغير المناخ في فترة الثلاثين سنة المقبلة أو نحو ذلك، في حين أن تغير المناخ على المدى الطويل إلى ما بعد منتصف القرن يظهر اختلافاً ملحوظاً عبر مسارات التركيز النموذجية (RCPs). {الإطار 1.1}

تجرى الإسقاطات المتعلقة بالتغيرات في نظام المناخ باستخدام هيكل متدرج من النماذج المناخية تتراوح من نماذج مناخ بسيطة إلى نماذج ذات مستوى تعقيد متوسط إلى نماذج المناخ الشاملة ونماذج نظام الأرض (ESM). وتحاكي هذه النماذج التغيرات مستندة إلى مجموعة من سيناريوهات التأثيرات البشرية المنشأ. وتم استخدام مجموعة جديدة من السيناريوهات، ومسارات التركيز النموذجية (RCP) لمحاكاة نماذج المناخ الجديدة المنفذة في إطار المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) التابع للبرنامج العالمي للبحوث المناخية. وتم إدراج عدد كبير من نماذج المناخ الشاملة ونماذج نظام الأرض (ESMs) في المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) الذي تشكل نتائجه أساس الإسقاطات المتعلقة بنظام المناخ.

يلخص هذا القسم تقييم هذه الإسقاطات لتغير المناخ. أولاً، يتم عرض السيناريوهات والتأثيرات المستقبلية. بعد ذلك تعالج الأقسام الفرعية التالية مختلف جوانب الإسقاطات المتعلقة بتغير المناخ العالمي والإقليمي، بما في ذلك الإسقاطات على المدى القريب (لغاية منتصف القرن تقريباً) وال المدى البعيد (لنهاية القرن الحادي والعشرين) في الغلاف الجوي والمحيطات والغلاف الجليدي؛ وإسقاطات دورة الكربون وغيرها من الدورات الجيوكيميائية الحيوية؛ والإسقاطات المتعلقة بتغير مستوى سطح البحر؛ وأخيراً، التغيرات في الظواهر المناخية والجوانب الأخرى للمناخ الإقليمي في القرن الحادي والعشرين. وتقدم التغيرات المسقطة

الإطار TS.6 | سيناريوهات مسار التركيز النموذجي الجديدة ونماذج المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة

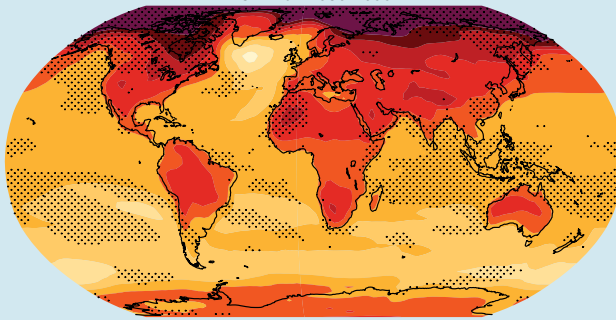
تعتمد الانبعاثات المستقبلية البشرية المنشأ لغازات الاحتباس الحراري وجسيمات الأهباء الجوية وغيرها من عوامل التأثير، مثل التغير في استخدام الأراضي، على عوامل اجتماعية - اقتصادية، وقد تتأثر بالاتفاقات الجغرافية السياسية العالمية الرامية إلى مراقبة تلك الانبعاثات بغية الحد منها. واستخدم تقرير التقييم الرابع بشكل مكثف سيناريوهات التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات (SRES) والتي لا تشمل مبادرات إضافية تتعلق بالمناخ، مما يعني عدم توفر أي سيناريوهات تفترض صراحة تطبيق اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) أو الانبعاثات المستهدفة المحددة في بروتوكول كيوتو. غير أن الانبعاثات من غازات الاحتباس الحراري تتأثر مباشرة بسياسات التغير غير المتعلق بالمناخ المصممة لمجموعة واسعة من الأغراض الأخرى. وقد تم وضع سيناريوهات التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات (SRES) باتباع نهج تدريجي، أي بإدراج عوامل اجتماعية اقتصادية في سيناريوهات الانبعاثات، ثم استخدام تلك العوامل في نماذج مناخ بسيطة لتحديد تركيزات غازات الاحتباس الحراري والعوامل الأخرى اللازمة لإدارة نماذج الدوران العام للمحيطات والغلاف الجوي (AOGCM) الأكثر تعقيداً. وفي هذا التقرير، يتم تقييم نتائج نماذج محاكاة المناخ التي تستخدم سيناريوهات جديدة (بعضها يشمل إجراءات متعلقة بالسياسات بغرض التخفيف) يُشار إليها بتعبير 'مسارات التركيز النموذجية' (RCPs). وتمثل مسارات التركيز النموذجية (RCPs) هذه مجموعة أوسع من سيناريوهات التخفيف وقد تم اختيارها لكونها تضم أهدافاً مختلفة من حيث التأثير الإشعاعي في 2100 (2.6 و 4.5 و 6.0 و 8.5 و 2م/اط تقريباً؛ الشكل TS.15). ويجب النظر إلى السيناريوهات باعتبارها معقولة وتوضيحية، وغير مرتبطة بأي احتمالات. {12.3.1؛ الإطار 1.1}

وقد وضعت مسارات التركيز النموذجية (RCPs) باستخدام نماذج التقييم المتكاملة (IAMs) التي تشمل عادة مكونات اقتصادية وديموغرافية ومكونات متعلقة بالطاقة ومكونات مناخية بسيطة. يتم بعد ذلك إدخال سيناريوهات الانبعاثات الناتجة في نموذج بسيط لإنتاج سلاسل زمنية لتركيزات غازات الاحتباس الحراري يمكن إدخالها في نماذج الدوران العام للمحيطات والغلاف الجوي الأكثر تعقيداً (AOGCMs). ويمكن بعد ذلك استخدام السلاسل الزمنية للانبعاثات الناتجة من مسارات التركيز النموذجية (RCPs) مباشرة في نماذج نظام الأرض (ESMs) التي تشمل الجيوكيمياء الجغرافية البيولوجية التفاعلية (على الأقل لدورة كربون على اليابسة وفي المحيطات). {12.3.1؛ الإطار 1.1}

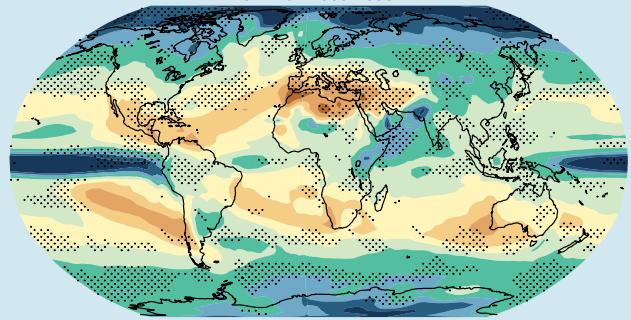
وتوفر التجربة المتعددة النماذج CMIP5 (المنسقة من خلال البرنامج العالمي للبحوث المناخية) مستوى غير مسبوق من المعلومات التي يمكن الاستناد إليها في تقييمات تقلبية المناخ وتغيره. وتضم المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) نماذج نظام الأرض (ESMs) الجديدة، إضافة إلى نماذج للدوران العام للمحيطات والغلاف الجوي وتجارب نماذج جديدة ومخرجات تشخيصية إضافية. وهي شاملة أكثر بكثير مما كانت عليه تجربة النموذج المتعدد السابقة للمرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3) والتي كانت متوفرة في وقت إعداد تقرير التقييم الرابع الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC). فالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) تضم أكثر من ضعف عدد النماذج وعدداً أكبر من التجارب (التي تشمل أيضاً تجارب لمعالجة فهم الاستجابات في سيناريوهات تغير المناخ في المستقبل) ونحو 2 x 1015 بايت من البيانات (مقارنة بأكثر من 30 x 1012 بايت من البيانات في المرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3)). وإضافة إلى ذلك، تعالج نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) عدداً أكبر من عوامل التأثير بشكل أكثر اكتمالاً، لاسيما على صعيد الأهباء الجوية واستخدام الأراضي. والآن، يعد الهباء الجوي للكربون الأسود عاملاً مؤثراً مشمولاً بشكل عام. وعلى صعيد ثاني أكسيد الكربون، وتقييم كل من الإسقاطات "المستندة إلى التركيزات" والإسقاطات "المستندة إلى الانبعاثات" للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5). وهي تسمح بإجراء تحديد كمي لحالات عدم اليقين المتعلقة بالاستجابة الفيزيائية، ولتفاعلات دورة المناخ - الكربون. {1.5.2}

ولو تم استخدام نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) في تقرير التقييم الرابع، لما كان تقييم متوسط قيم ونطاقات التغيرات في متوسط درجة الحرارة العالمية قد اختلف كثيراً. ويمكن عزو الفوارق في إسقاطات درجة الحرارة العالمية بشكل كبير إلى السيناريوهات المختلفة. إذ إن استجابة متوسط درجة الحرارة العالمية التي تحاكيها نماذج المرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3) والمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) متشابهة إلى حد كبير، من حيث المتوسط ونطاق النموذج، سواء في حالات الاستجابة العابرة أو عند الاتزان. وثمة اتساع في نطاق التغير في درجات الحرارة في جميع السيناريوهات لأن مسارات التركيز النموذجية (RCPs) تشمل سيناريو تخفيف قوي (RCP2.6) لم يكن له مثيل بين سيناريوهات التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات (SRES) المستخدمة في المرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3). ويتم الحصول على النطاق 5 إلى 95% لكل سيناريو من إسقاطات المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) عن طريق تقريب عمليات التوزيع في المرحلة الخامسة من المشروع بتوزيع عادي له نفس المتوسط ونفس الانحراف المعياري وتقييمها باعتبارها إسقاطات مرجحة للتغير العالمي في درجات الحرارة في نهاية القرن الحادي والعشرين. وتوفر الإسقاطات الاحتمالية باستخدام نماذج أبسط تمت معايرتها لتوسيع نطاق حساسية المناخ عند الاتزان المقيّمة في تقرير التقييم الرابع نطاقات عدم يقين متسقة مع تلك الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5). ولوحظ في تقرير التقييم الرابع، أن حالات عدم اليقين في إسقاطات درجات الحرارة العالمية تكون ثابتة تقريباً عند التعبير عنها كجزء من متوسط الاحترار في النموذج (عدم يقين جزئي ثابت). وبالنسبة لمسارات التركيز النموذجية (RCPs) الأعلى، يُقدر عدم اليقين الآن بأنه أصغر مما كان عليه في الطريقة التي اتبعت في تقرير التقييم الرابع (AR4) بالنسبة لتغير المناخ البعيد المدى، لأن التأثيرات التفاعلية للمناخ – دورة الكربون غير مهمة لإسقاطات مسارات التركيز النموذجية المستندة إلى التركيز (وعلى خلاف ذلك، فإن حالات عدم اليقين المقيّمة في إسقاطات درجات الحرارة العالمية في تقرير التقييم الرابع شكلت عاملاً في التأثيرات التفاعلية للمناخ – دورة الكربون، على الرغم من أن هذه الأخيرة لم تكن جزءاً من نماذج المرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3)). وعند فرض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في مسار التركيز النموذجي 8.5، بالمقارنة بتركيزات ثاني أكسيد الكربون في مسار التركيز النموذجي 8.5، فإن نماذج نظام الأرض للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5 ESMs) ودورة الكربون التفاعلية تحاكي، في المتوسط، تركيزاً لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي يزيد بنحو 50 (من -140 إلى +210) جزءاً في المليون

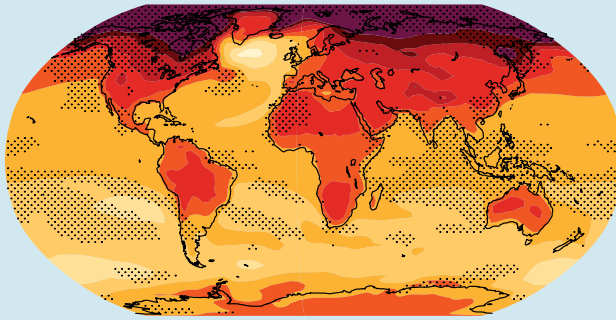
درجة الحرارة التي تم قياسها بحسب درجة الحرارة العالمية (درجة مئوية لكل درجة مئوية)
CMIP3 : 2080-2099



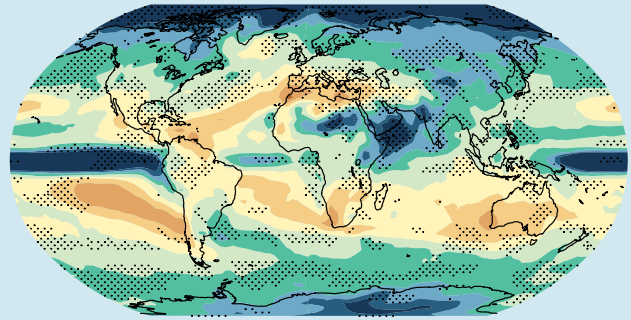
كميات الأمطار التي تم قياسها بحسب درجة الحرارة العالمية (النسبة المئوية لكل درجة مئوية)
CMIP3 : 2080-2099



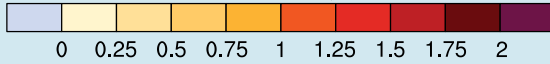
CMIP5 : 2081-2100



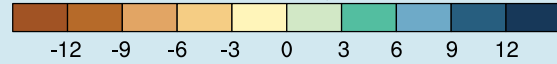
CMIP5 : 2081-2100



(متوسط التغير العالمي بالدرجات المئوية لكل درجة مئوية)



(متوسط التغير العالمي كنسبة مئوية لكل درجة مئوية)



الإطار 6. TS، الشكل 1 | أنماط درجات الحرارة (العمود الأيسر) وتغير النسبة المئوية لكميات الأمطار (العمود الأيمن) لمتوسط نماذج المرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3) (الصف الأول) و متوسط نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) (الصف الثاني)، حسب مقياس التغيرات المناظرة في متوسط درجات الحرارة العالمية. وتحسب الأنماط في كلتا الحالتين عن طريق الفرق بين المتوسطات على مدى السنوات العشرين الأخيرة من تجارب القرن الحادي والعشرين (الفترة 2099–2080 للمرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3) والفترة 2100–2081 للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)) (والسنوات العشرين الأخيرة من التجارب التاريخية (الفترة 1999–1980 للمرحلة الثالثة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة والفترة 2005–1986 للمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة) وفقاً للتغير المناظر في متوسط درجة الحرارة العالمية. ويتم ذلك أولاً لكل نموذج فردي، ثم يحسب متوسط النتائج. ويشير التنقيط إلى قياس أهمية الفرق بين النمطين المناظرين اللذين يتم الحصول عليهما بتكرار المحاولة. وتم أخذ عينات عشوائية 500 مرة من مجموعتين فرعيتين من المجموعة المجمعَة لأفراد مجموعة المرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3) والمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) لهما نفس حجم المجموعات الأصلية، ولكن دون تمييز بين أفراد المرحلة الثالثة والمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة. ويتم حساب الأنماط المناسبة لكل عينة عشوائية وفرقها، ثم تجرى مقارنة للفرق الفعلي لكل نقطة شبكية على حدة، مع توزيع الفروق التي أعيدت معايرتها، ويتم تنقيط النقاط الشبكية التي تكون عندها قيمة الفرق ضمن تعداد التوزيع المعاد معايرته فقط (أقل من المئين 2.5 أو المئين 97.5). (الشكل 12.41)

(لاتساع نموذج المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة CMIP5) ويحدث ارتفاعاً لدرجة حرارة سطح الأرض قيمته 0.2 درجة مئوية بحلول العام 2100. وبالنسبة لمسارات التركيز النمذجية (RCPs) المنخفضة، يكون عدم اليقين الجزئي أكبر لأن التقلبية الداخلية والتأثيرات غير المتعلقة بثاني أكسيد الكربون تسهم بشكل أكبر نسبياً في عدم اليقين الإجمالي. {12.4.1، 12.4.8، 12.4.9}

ثمة اتساق إجمالي بين إسقاطات درجات الحرارة وكمية الأمطار يستند إلى المرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3) والمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، كلاهما على صعيد الأنماط واسعة النطاق ومقدار التغيرات (الإطار TS.6، الشكل 1). ويعتمد التوافق بين النماذج والثقة في الإسقاطات على المتغير والمتوسطات الزمانية والمكانية، ويتحسن الاتفاق على النطاقات الأوسع. وتكون الثقة بالنسبة لدرجة الحرارة أكبر منها للكميات المتصلة بالدورة المائية أو دوران الغلاف الجوي. وقد استحدثت سبل مُحسَّنة لإجراء تحديد كمي لمدى قوة النموذج وعرضها بهدف تحديد المواضيع التي لا يزال يكتنفها عدم التوافق بين النماذج بشأن اتجاهات التغير المحلية نتيجة التقلبية الداخلية وليس نتيجة لعدم التوافق الفعلي للنماذج في استجابتها للتأثيرات. ولم يحدث تغير كبير في فهم مصادر وسبل تحديد سمات أوجه عدم اليقين في الإسقاطات بعيدة المدى وواسعة النطاق المتعلقة بتغير المناخ منذ صدور تقرير التقييم الرابع، إنما ظلت التجارب والدراسات الجديدة تعمل على تحقيق تصنيف أكثر اكتمالاً وشمولاً. {9.7.3، 12.2، 12.4.1، 12.4.4، 12.4.5، 12.4.9، 12.4.1}

ويظل الاستقرار الراسخ للأنماط الجغرافية للتغير في درجات الحرارة وكمية الأمطار خلال تجربة عابرة ما في نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) (الإطار TS.6، الشكل 1). وتكون الأنماط متشابهة عبر الزمن وعبر مختلف السيناريوهات، ويمكن قياسها للترتبة الأولى حسب التغير في متوسط درجة الحرارة العالمية. ولا تزال قابلية هذه التقنية للتطبيق مقصورة على سيناريوهات التخفيف الشديد، وعلى السيناريوهات التي تكون فيها التأثيرات المحلية (مثل الأهباء الجوية) مهمة وتتغير مع الزمن وللمتغيرات غير معدل متوسط درجة الحرارة الموسمية وكمية الأمطار. {12.4.2}

تصل إلى عدد من وحدات واط/م²، وتكون فترة البقاء عادة نحو سنة واحدة، لكن لا يمكن معرفة إمكانية حدوث حالات ثوران للبراكين في المستقبل ولا معرفة توقيتات حدوثها. وباستثناء الدورة الشمسية التي تبلغ أحد عشر عاماً، فإن تغيرات الأشعة الشمسية الإجمالية غير أكيدة. وباستثناء الحالات التي يُشار فيها إلى ذلك صراحة، لا تدرج حالات الثوران البركاني والتغيرات في الأشعة الشمسية الإجمالية بالإضافة إلى دورة الأحد عشر عاماً الشمسية المتكررة في إسقاطات تقييم المناخ على المديين القريب والبعيد. {8، 11.3.6}

TS.5.3 التحديد الكمي لاستجابة النظام المناخي

تشير تقديرات حساسية المناخ عند الاتزان (ECS) المستندة إلى التغير المرصود في المناخ، ونماذج المناخ، وتحليل التأثيرات التفاعلية، فضلاً عن الأدلة المتعلقة بالمناخ القديم إلى أن حساسية المناخ عند الاتزان تكون إيجابية، ومن المرجح أن تكون في نطاق 1.5 درجة مئوية إلى 4.5 درجات مئوية ويمكن القول، بمستوى منخفض من الثقة، أنه من غير المرجح بدرجة كبيرة، أن تكون أقل من درجة واحدة مئوية (مستوى مرتفع من الثقة) ومن غير المرجح بدرجة كبيرة أن تكون أكبر من 6 درجات مئوية (مستوى متوسط من الثقة). وقد تكون حساسية نظام الأرض على مدى آلاف السنين، بما في ذلك التأثيرات التفاعلية على المدى البعيد التي لا تدرج عادة في النماذج أكبر بكثير من نطاق حساسية المناخ عند الاتزان (ECS) (للاطلاع على مزيد من التفاصيل، انظر TFE.6). {5.3.1، 10.8؛ الإطار 12.2}

ويمكن القول بمستوى عالٍ من الثقة أن الاستجابة المناخية العابرة إيجابية، وأن من المرجح أن تتراوح من درجة واحدة مئوية إلى 2.5 درجة مئوية، ومن غير المرجح بدرجة كبيرة أن تكون أكبر من 3 درجات مئوية استناداً إلى التغير المرصود في المناخ ونماذج المناخ (للاطلاع على مزيد من التفاصيل، انظر TFE.6). {10.8؛ الإطار 12.2}

ونسبة التغير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMSJ) إلى إجمالي انبعاثات الكربون البشرية المنشأ التراكمية ثابتة نسبياً ولا تعتمد على السيناريو، ولكنها تعتمد على النموذج، لكونها دالة لكسر الكربون التراكمي المحمول جواً في النموذج وللاستجابة المناخية العابرة. وعلى ذلك، يبدو أنه، لأي درجة حرارة معينة مستهدفة، كلما كانت الانبعاثات أعلى في العقود الأولى قلت بالمقدار نفسه لاحقاً. ومن المرجح أن تكون الاستجابة المناخية العابرة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية (TCRE) بين 0.8 درجة مئوية و2.5 درجة مئوية لكل 1000 بيتاغرام كربون (مستوى مرتفع من الثقة)، للانبعاثات الكربونية التراكمية التي تقل عن 2000 بيتاغرام كربون لحين وصول درجة الحرارة إلى الذروة (للاطلاع على مزيد من التفاصيل، انظر TFE.8). {10.8، 12.5.4؛ الإطار 12.2}

ولنطاق انبعاثات الأهباء الجوية البشرية المنشأ في جميع السيناريوهات أثر على إسقاطات المناخ على المدى القريب أكبر من النطاق المناظر لغازات الاحتباس الحراري التي لها فترة بقاء طويلة، لاسيما على النطاقات الإقليمية وعلى متغيرات الدورة الهيدرولوجية. ولا تغطي سيناريوهات مسارات التركيز النمذجية نطاق انبعاثات الأهباء الجوية المستقبلية الوارد في التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات (SRES) ولا في السيناريوهات البديلة (الإطار TS.6). {11.3.1، 11.3.6}

وعند إجراء خفض سريع للأهباء الجوية للكبريتات بهدف تحسين جودة الهواء أو كجزء من عملية خفض لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة من الوقود الأحفوري، عندئذ يكون هناك مستوى متوسط من الثقة بأن ذلك قد يؤدي إلى احترار سريع على المدى القريب. وثمة أدلة على أن الضوابط المرافقة لانبعاثات الميثان قد تعادل بعضاً من الاحترار الناتج عن الكبريتات، على الرغم من أن التبريد الناشئ من التخفيف من انبعاثات الميثان سيكون أبطأ من الاحترار الناشئ من تخفيف الكبريتات بسبب الاختلاف في النطاقات الزمنية التي تتضاءل بها تركيزات هذه المواد في الغلاف الجوي استجابة لتناقص الانبعاثات. وعلى الرغم من أن إزالة هباء الكربون الأسود يمكن أيضاً أن يعادل الاحترار المرتبط بالتخلص من الكبريتات، فإن تواتر أوجه عدم اليقين أكبر من أن تؤدي إلى تقييد الإشارة الصافية لاستجابة درجة الحرارة العالمية للتخفيضات في انبعاثات الكربون الأسود، التي تعتمد على تخفيض تأثيرات الأهباء الجوية (الانعكاسية) المشتركة معها في وقت الانبعاث وعلى التأثيرات غير المباشرة للأهباء الجوية. {11.3.6}

وإدراج حالات عدم يقين في الإسقاطات المتعلقة بغازات الاحتباس الحراري النشطة كيميائياً، كالميثان وأكسيد النيتروز، من انبعاثات مسارات التركيز النمذجية (RCP) يسفر عن نطاق في مسارات الوفرة من المرجح أن يكون أكبر بنسبة 30% من نطاق تركيزات مسار التركيز النمذجي المستخدمة لفرض نماذج المناخ الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، ويؤدي إدراج حالات عدم اليقين في تقديرات الانبعاثات من المصادر الزراعية ومصادر الغابات واستخدام الأراضي، وفترات البقاء في الغلاف الجوي، والتأثيرات التفاعلية الكيميائية، إلى نطاق أوسع بكثير من الوفرة لغازات أكسيد النيتروز والميثان ومركبات الهيدروفلورو كربون (HFC) ولتأثيرها الإشعاعي. ففي حالة الميثان CH₄، من المرجح أن يزيد النطاق الخاص بوفرة الميثان في سيناريو مسار التركيز النمذجي 8.5، مع حلول العام 2100، بمقدار 520 جزءاً في البليون فوق القيمة المفردة لوفرة الميثان في سيناريو مسار التركيز النمذجي 8.5، وسيقال الميثان في RCP2.6 بمقدار 230 جزءاً في البليون عن قيمته في سيناريو مسار التركيز النمذجي 2.6. {11.3.5}

وثمة مستوى ثقة منخفض بدرجة كبيرة في إسقاطات التأثيرات الطبيعية. فحالات ثوران البراكين الكبرى قد تسبب في تأثيرات إشعاعية سلبية قد

6. TFE | حساسية المناخ وتأثيراته التفاعلية

وصف التغيير المناخي بأنه استجابة لتأثير مُضخَّم بفعل التأثيرات التفاعلية ليس بالجديد، بل يعود إلى عقود كثيرة. ولا يزال مفهوم التأثير الإشعاعي والتأثيرات التفاعلية المناخية يخضعان للتنقيح على صعيد التعريف، وأوجه القصور وباتا مفهومين على نحو أفضل الآن؛ فعلى سبيل المثال، قد تكون التأثيرات التفاعلية أسرع بكثير من الاحترار السطحي، إذ تعتمد التأثيرات التفاعلية على نوع العامل المؤثر (غاز الاحتباس الحراري مقابل التأثير الشمسي مثلا) أو قد تكون لها نطاقات زمنية نوعية (ترتبط أساسا بالتغير في الغطاء النباتي والصفائح الجليدية) تتراوح بين عدة قرون وآلاف السنين. ولا يزال تحليل التأثيرات التفاعلية الفيزيائية في النماذج ومن الرصدات إطارا قويا يفرض قيودا على الاحترار المستقبلي العابر في مختلف السيناريوهات وعلى حساسية المناخ ويحدد، عند جمعه مع تقديرات التأثيرات التفاعلية لدورة الكربون (انظر TFE.5)، انبعاثات غازات الاحتباس الحراري المتماشية مع استقرار المناخ أو درجات الحرارة المستهدفة للمناخ (انظر TFE.8). {7.1، 7.2، 9.7.2، 12.5.3؛ الإطار 12.2}

وبخار الماء / معدل التناقص مع الارتفاع، والأليبدو، والتأثيرات التفاعلية للسحب هي المحددات الأساسية لحساسية المناخ عند الاتزان. وتقييم كل هذه التأثيرات التفاعلية بأنها إيجابية، لكن مع تعيين مستويات أرحجية مختلفة تتراوح بين مرجح ومرجح بدرجة كبيرة. ومن ثم، فإن هناك مستوى عاليا من الثقة في أن التأثيرات التفاعلية الصافية تكون إيجابية وفي أن استجابة المناخ لتأثير ما بحسبانه جسما أسود سوف تزداد. ولا تزال التأثيرات التفاعلية للسحب أكبر مصدر لعدم اليقين. ومن المرجح بدرجة كبيرة أن تكون التأثيرات التفاعلية الصافية من التغيرات في بخار الماء ومعدل التناقص معا إيجابية وأن تضاعف مرتين تقريبا من استجابة المناخ كجسم أسود. ولم يتغير متوسط القيمة والامتداد لهذين الإجراءين في نماذج المناخ عما كانا عليه في تقرير التقييم الرابع للهيئة (IPCC)، إلا أنهما باتا الآن مدعومين بأدلة أقوى بفضل الرصدات، وأصبح هناك فهم أفضل لما يحدد توزيعات الرطوبة النسبية. وتستجيب السحب لآليات تأثيرات المناخ بطرائق شتى، وقد تكون التأثيرات التفاعلية الفردية للسحب إيجابية أو سلبية. وتشمل المسائل الرئيسية تمثيل الحمل الحراري للسحب الركامية السطحية والعميقة، والعمليات الفيزيائية المصغرة في السحب الثلجية والغطاء السحابي الجزئي الذي ينتج من التغيرات البسيطة في العمليات المكونة للسحب والمبددة لها. وقد أوضحت نهج جديدة لتشخيص التأثيرات التفاعلية للسحب في نماذج الدوران العام (GCM) استجابات قوية للسحب، في حين استمرت في تضمين غلاف السحب المنخفضة باعتباره أهم مصدر للامتداد بين النماذج في التأثيرات التفاعلية المحاكاة للسحب. ومن المرجح أن يكون التأثير الإشعاعي الصافي بسبب جميع أنواع السحب إيجابيا. وقد تم التوصل إلى هذا الاستنتاج عن طريق أخذ نطاق معقول من المساهمات غير المعروفة المساهمة والتي ينبغي أخذها في الحسبان، إضافة إلى تلك التي تتم في نماذج المناخ الحالية. والرصدات بمفردها لا توفر حاليا معوقات قوية ومباشرة، غير أن عدة خطوط أدلة تشير الآن إلى مساهمات إيجابية على صعيد التأثيرات التفاعلية من التغيرات في ارتفاع السحب العالية والتوزيع الأفقي للسحب. وإضافة إلى ذلك، فإن التأثير التفاعلي من كمية السحب المنخفضة إيجابي في معظم نماذج المناخ، إلا أن هذه النتيجة غير مفهومة جيدا، ولا مقيدة بشكل فعال في الرصدات، لذا يكون مستوى الثقة منخفضا. {7.2.4-7.2.6، 9.7.2}

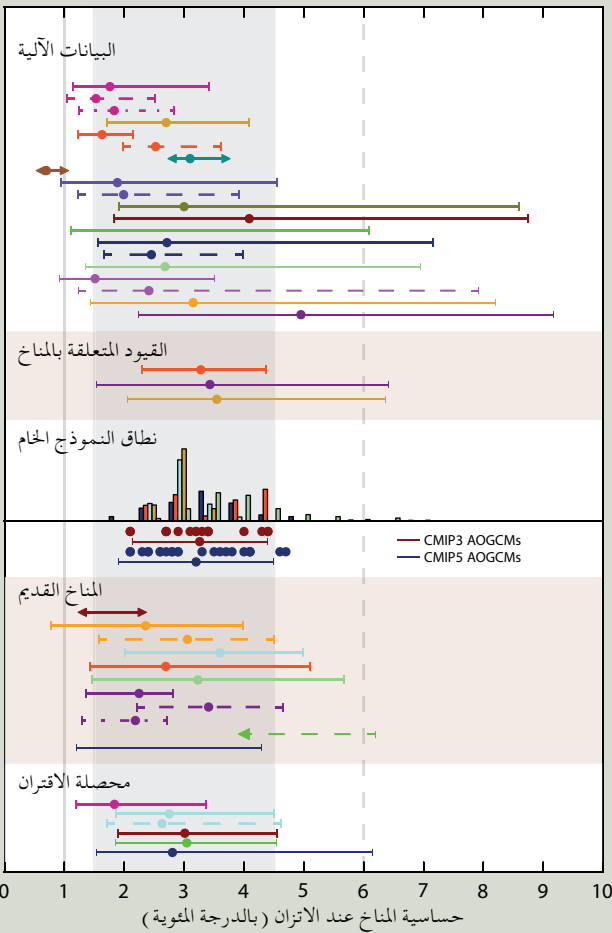
ولا يزال تمثيل عمليات الأهباء الجوية - السحب في نماذج المناخ يشكل تحدياً. فنطاقات تقلبية الأهباء الجوية - السحب أصغر بكثير من تلك التي تبينها نماذج المناخ وعدم وضوح استجابات السحب للأهباء الجوية في تلك النطاقات يعني أن نماذج المناخ ستستمر، في المستقبل المنظور، في الاعتماد على أسلوب تحديد البارامترات لتفاعلات الأهباء الجوية - السحب أو على أساليب أخرى تمثل التقلبية دون الشبكية. ويعني ذلك، ضمنا، أن هناك حالات عدم يقين كبيرة في تقديرات التأثيرات التفاعلية المرتبطة بتفاعلات الأهباء الجوية - السحب. {7.4، 7.5.3}

وتشكل حساسية المناخ عند الاتزان (ECS) والاستجابة المناخية العابرة (TCR) مقياسان مفيدان لتلخيص استجابة درجة حرارة نظام المناخ العالمي لأي تأثير إشعاعي مفروض من الخارج. وتعرف حساسية المناخ عند الاتزان (ECS) بأنها التغير عند الاتزان في المتوسط العالمي للمتوسط السنوي لدرجة الحرارة السطحية (GMST) الذي يحدث عقب زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى ضعف قيمته، فيما تعرف الاستجابة المناخية العابرة (TCR) بأنها المتوسط السنوي للتغير في متوسط درجة الحرارة العالمية لسطح الأرض في وقت مضاعفة ثاني أكسيد الكربون بعد ارتفاع خطي في تأثير ثاني أكسيد الكربون على مدى 70 عاما (راجع المسرد). وللمقياسان كلاهما استخدام أوسع نطاقا مما يوحي به تعريفهما: تحدد حساسية المناخ عند الاتزان الاحترار الحتمي استجابة لاستقرار تكوين الغلاف الجوي خلال نطاقات زمنية متعددة القرون، بينما تحدد الاستجابة المناخية العابرة الاحترار المتوقع في وقت معين عقب أي ارتفاع ثابت في التأثير خلال نطاق زمني يتراوح بين 50 و100 سنة. {الإطار 12.2؛ 12.5.3}

ويمكن تقدير حساسية المناخ عند الاتزان والاستجابة المناخية العابرة من مختلف خطوط الأدلة (TFE.6، الشكلان 1 و2). ويمكن إسناد التقديرات إلى قيم حساسية المناخ عند الاتزان والاستجابة المناخية العابرة المشخصة من نماذج المناخ، أو يمكن تقييدها بتحليل التأثيرات التفاعلية في نماذج المناخ، مع مقارنة أنماط متوسط المناخ والتقلبية في النماذج بالرصدات والتقلبات في درجات الحرارة المستنبطة من أرشيفات المناخ القديم، والاضطرابات قصيرة الأجل المرصودة والنمذجة لتوازن الطاقة، وتلك الناجمة عن ثوران البراكين والتغيرات المرصودة لدرجة حرارة اليابسة والمحيطات منذ عصر ما قبل الصناعة. وفي العديد من الاستخدامات، يجب مراعاة قيود إطار تحليل التأثيرات التفاعلية - التأثيرات واعتمادية التأثيرات التفاعلية على النطاقات الزمنية وحالة المناخ. {5.3.1، 5.3.3، 9.7.1-9.7.3، 10.8.1، 10.8.2، 12.5.3؛ الإطار 5.2؛ الجدول 9.5}

تستند الدراسات الأحدث للقيود المفروضة على حساسية المناخ عند الاتزان إلى الاحترار المرصود منذ عصر ما قبل الصناعة، الذي تم تحليله باستخدام نماذج بسيطة ومتوسطة التعقيد وأساليب إحصائية محسنة ومجموعات عديدة مختلفة من البيانات الأحدث عهداً. وتظهر هذه الدراسات مجتمعة، في وجود القيود المفروضة على المناخ القديم، ولكن دون مراعاة للأدلة المستندة إلى مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (CMIP)، أن من المرجح أن تكون حساسية المناخ عند الاتزان (ECS) بين 1.5 درجة مئوية و 4.5 درجات مئوية (مستوى متوسط من الثقة) وأن من غير المرجح بدرجة كبيرة أن تكون أقل من 1.0 درجة مئوية. {10.8.2، 5.3.3، 5.3.1؛ الإطاران 5.2، 12.2}

تشير التقديرات المستندة إلى نماذج الدوران العام المتقارنة للغلاف الجوي – المحيطات (AOGCM) وإلى تحليل التأثيرات التفاعلية إلى نطاق يتراوح بين 2.0 درجة مئوية و 4.5 درجات مئوية، فيما يكون متوسط نموذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) عند 3.2 درجات مئوية، مثل المرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3). وقد وُجد أن حساسية المناخ تكون مرتفعة في بعض نماذج المجموعات المعيارية المضطربة، إلا أن مقارنات حديثة بين مجموعات فيزيائية مضطربة والمناخ المرصود أظهرت أن النماذج التي تكون لها قيم حساسية للمناخ عند الاتزان (ECS) ضمن نطاق 3 إلى 4 درجات مئوية تظهر أصغر الأخطاء في الكثير من الحقول. وغالباً ما يتضمن نموذج محدد لمجموعة مضطربة البارامترات علاقات بين الكميات المناخية وحساسية المناخ، لكن في العديد من الحالات لا تكون العلاقة قوية عبر نماذج المجموعات المضطربة البارامترات عن مختلف النماذج أو عن المرحلة الثالثة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة والمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة. وتشير الأعمال القديمة التي خضعت للتقييم إلى عدم إمكانية تضييق نطاق حساسية المناخ والاستجابة العابرة المشمولين في المرحلة الثالثة والمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة عبر تقييم النماذج برصدات متوسط المناخ والتقليبية. وتدعم الدراسات المستندة إلى نماذج المجموعات المضطربة البارامترات والمرحلة الثالثة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة الاستنتاج الذي يخلص إلى أنه من الصعب بدرجة كبيرة تحقيق تمثيل موثوق لمتوسط المناخ والتقليبية عندما تكون حساسية المناخ عند الاتزان (ECS) أقل من درجتين مئويتين. {9.2.2، 9.7.3؛ الإطار 12.2}

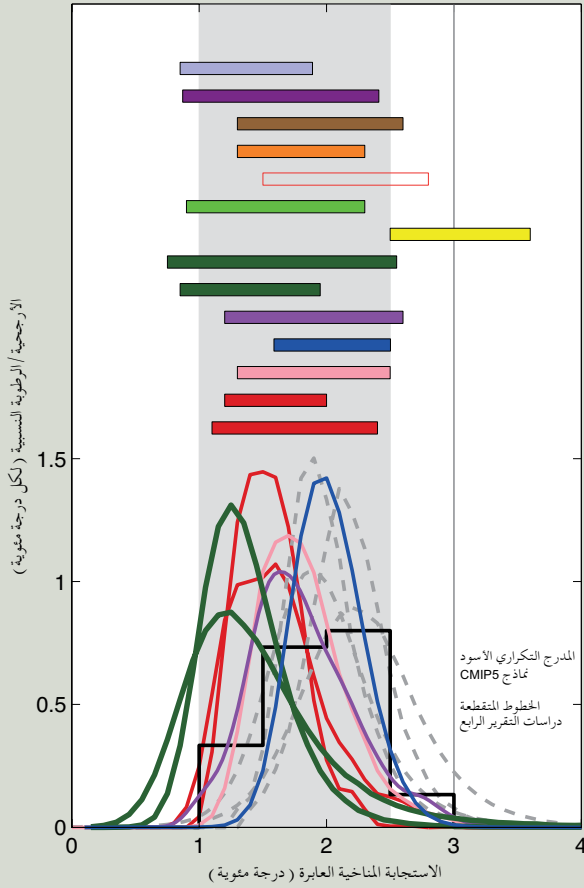


الشكل 6 | TFE، كثافة الاحتمالات والتوزيعات ونطاقات حساسية المناخ عند الاتزان، بالاستناد إلى الشكل 10.20، بالإضافة إلى المعوقات في علم المناخ المبينة في تقرير التقييم الرابع (AR4) للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) (الإطار 10.2 AR4، الشكل 1) والنتائج من المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) (الجدول 9.5). ويشير النطاق المظلل باللون الرمادي إلى النطاق من 1.5 درجة مئوية إلى 4.5 درجات مئوية المرجح بدرجة كبيرة فيما يشير الخط الرمادي المستمر إلى النطاق الأقل من درجة مئوية واحدة وهو نطاق غير مرجح بدرجة كبيرة ويشير الخط المتقطع إلى النطاق الذي يزيد عن 6 درجات مئوية وهو نطاق غير مرجح بدرجة كبيرة. للتعليق الكامل والتفاصيل، انظر الشكل 10.20 ب والفصل 10، المواد التكميلية. {الإطار 12.2؛ الشكل 1}

وتظهر التقديرات الجديدة لحساسية المناخ عند الاتزان المستندة إلى عمليات استنباط المناخ القديم ومحاكاة الحد الأقصى للعصر الجليدي الأخير (21 ألف سنة إلى 19 ألف سنة) أن من غير المرجح بدرجة كبيرة وجود قيم تقل عن درجة مئوية واحدة أو تزيد عن 6 درجات مئوية. ففي بعض نماذج المناخ، تختلف حساسية المناخ بين حالات المناخ الدافئة والباردة نظراً للاختلاف في تمثيل التأثيرات التفاعلية للسحب. وثمة صعوبة أكبر في ربط تقديرات حساسية نظام الأرض، بما في ذلك التأثيرات التفاعلية الطبيعية (كما في الصفائح الجليدية أو الغطاء النباتي) بحساسية المناخ لحالة المناخ الحالية. والقيود الرئيسية لتقديرات حساسية المناخ عند الاتزان لحالات المناخ القديم هي عدم اليقين المتعلق بالبيانات غير المباشرة والتغطية المكانية للبيانات وعدم اليقين المتعلق ببعض التأثيرات التفاعلية والقيود البنيوية في النماذج المستخدمة في عمليات مقارنة النماذج – البيانات. {10.8.2، 5.3، 12.5.3}

وتتسم طرائق بايزيان لتقييم حساسية المناخ عند الاتزان أو الاستجابة المناخية العابرة بحساسيتها لعمليات التوزيع السابقة المفترضة. ويمكن من حيث المبدأ أن يؤدي تضييق نطاق التقديرات عن الجمع بين القيود المتأتمية من اتجاه التغير المرصود نحو الاحترار، وثوران البراكين وعلم المناخ المطبق المنمذج والمناخ القديم، وقد نفذ ذلك في بعض الدراسات، غير أنه لا يوجد إجماع على الطريقة الصحيحة للقيام بذلك بشكل سليم. ويعتمد هذا النهج بدقة على الافتراضات المتعلقة باستقلالية مختلف خطوط الأدلة، واحتمال وجود تميزات مشتركة في تقديرات التأثيرات التفاعلية أو النماذج، وافتراض عدم تمييز كل خط أدلة فردي. ويستند الجمع بين تقديرات مختلفة في هذا التقييم إلى آراء الخبراء. {10.8.2؛ الإطار 12.2}

بالاستناد إلى الأدلة المجمعة من التغير المناخي المرصود، بما في ذلك الاحترار المرصود في القرن العشرين، ونماذج المناخ، وتحليل التأثيرات التفاعلية، والمناخ القديم، كما ورد آنفاً، يمكن القول، بمستوى عالٍ من الثقة، أن من المرجح أن تكون حساسية المناخ عند الاتزان في نطاق يتراوح بين 1.5 درجة مئوية و 4.5 درجات مئوية. وحساسية المناخ عند الاتزان (ECS) إذا موجبة، ومن غير مرجح بدرجة كبيرة أن تقل عن



الشكل 6 | TFE، 2 | دوال توزيع الاحتمالات والتوزيعات والنطاقات (من 5 إلى 95%) للاستجابة المناخية العابرة من مختلف الدراسات، بالاستناد إلى الشكل 10.20، ونتائج المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (المخطط الدرسي الأسود، الجدول 9.5). ويشير النطاق المظلل باللون الرمادي إلى نطاق 1 إلى 2.5 درجة مئوية المرجح فيما يشير الخط الرمادي المتصل إلى النطاق غير المرجح بدرجة كبيرة الذي يتجاوز 3 درجات مئوية. للاطلاع على التعليق الكامل والتفاصيل الكاملة، انظر الشكل 10.20؛ والفصل 10، المواد التكميلية. (الإطار 12.2، الشكل 2)

وفي النطاقات الزمنية التي تبلغ قروناً كثيرة أو تزيد عن ذلك، قد تصبح التأثيرات التفاعلية الإضافية التي لها نطاقات زمنية خاصة بها (مثل الغطاء النباتي، الصفائح الجليدية) مهمة، غير أنها لا تدخل عادة في النماذج المقترنة للدوران العام للغلاف الجوي - المحيط (AOGCMs). وتكون الاستجابة الناتجة لدرجة الحرارة عند الاتزان إزاء تضاعف ثاني أكسيد الكربون مرتين على مدى ملايين السنين أو حساسية نظام الأرض غير مقيدة بشكل جيد، غير أنه من المرجح أن تكون أكبر من حساسية المناخ عند الاتزان (ECS)، مما يعني أن انخفاض تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي متوافقة مع الحد من الاحترار إلى ما دون درجة حرارة معينة. ومن غير المرجح كثيراً أن تكون هذه التأثيرات التفاعلية البطيئة متناسبة مع التغيير في متوسط درجة الحرارة العالمية، مما يعني أن حساسية نظام الأرض تتغير مع الوقت. ويصعب أيضاً ربط تقديرات حساسية نظام الأرض بحساسية المناخ لحالة المناخ الحالية. {3.2، 9.7.3، 10.8؛ الإطاران 9.2، 13.1}

وفيما يتعلق بسيناريوهات زيادة التأثير الإشعاعي، توفر الاستجابة المناخية العابرة (TCR) مؤشراً مفيداً يعكس تغيير المناخ في المستقبل بصورة أفضل من حساسية المناخ عند الاتزان (ECS). ويستنتج هذا التقييم بمستوى عالٍ من الثقة أن من المرجح أن تكون الاستجابة المناخية العابرة في نطاق 1 إلى 2.5 درجة مئوية، وهو قريب من نطاق 5 إلى 95% المقدّر للمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (1.2 درجة مئوية إلى 2.4 درجة مئوية) وأن تكون موجبة؛ ومن غير المرجح بدرجة كبيرة أن تتجاوز 3 درجات مئوية. وكما هو الحال بالنسبة لحساسية المناخ عند الاتزان، فهو نطاق مقيم بواسطة الخبراء ومدعوم بعدد من خطوط الأدلة المختلفة والمستقلة جزئياً، ويستند كل واحد منها إلى عدة دراسات ونماذج ومجموعات بيانات. ويتم تقدير الاستجابة المناخية العابرة من التغييرات العالمية المرصودة في درجة الحرارة السطحية، وامتصاص المحيط للحرارة، والتأثير الإشعاعي، بما في ذلك دراسات الكشف/تحديد الآليات المسببة للتغيرات والتي تحدد أنماط الاستجابة للزيادة في تركيزات غازات الاحتباس الحراري، ونتائج المرحلة الثالثة والمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة. ويواجه تقدير الاستجابة المناخية العابرة صعوبات أقل من حيث التأثيرات التفاعلية التي تعتمد على الحالة أو الوقت، كما أنه

درجة مئوية واحدة (مستوى عالٍ من الثقة)، ومن غير المرجح بدرجة كبيرة أن تزيد عن 6 درجات مئوية (مستوى متوسط من الثقة). وأصبح أطراف منحني توزيع حساسية المناخ عند الاتزان (ECS) مفهومة على نحو أفضل. وتوفر عدة خطوط أدلة مستوى عالٍ من الثقة بأنه من غير المرجح بدرجة كبيرة أن تقل أي قيمة لحساسية المناخ عند الاتزان عن درجة مئوية واحدة. ولم يتغير الحد الأعلى للنطاق المرجح بالمقارنة مع تقرير التقييم الرابع (AR4). والحد الأدنى لنطاق 1.5 درجة مئوية المرجح هو أقل من حد الدرجتين المؤقتتين الأدنى الوارد في تقرير التقييم الرابع. ويعكس هذا التغيير الأدلة التي أظهرتها الدراسات الحديثة للتغير المرصود في درجات الحرارة، باستخدام سجلات ممددة للغلاف الجوي والمحيط. وتقتصر هذه الدراسات أفضل ملاءمة لاحتراق سطح الأرض والمحيطات المرصود في ما يتعلق بقيم حساسية المناخ عند الاتزان في الجزء الأسفل من نطاق مرجح. ويجدر بالإشارة أن هذه الدراسات ليست دراسات رصدية خالصة، فهي تتطلب تقديراً للاستجابة للتأثير الإشعاعي من النماذج. وبالإضافة إلى ذلك، لا يزال عدم اليقين لجهة امتصاص المحيط للحرارة هائلاً. ولا يزال احتساب التقلبية على المدى القريب في النماذج البسيطة مهمة صعبة، ومن المهم عدم إعطاء الأهمية غير اللازمة لأي فترة زمنية قصيرة قد تكون متأثرة بشدة بالتقلبية الداخلية. من جهة أخرى، تُظهر النماذج المقترنة للدوران العام للغلاف الجوي (AOGCM) مع علم المناخ المرصود عندما تكون قيم حساسية المناخ عند الاتزان (ECS) في الجزء العلوي ضمن نطاق 1.5 درجة مئوية إلى 4.5 درجات مئوية متوافقة جيداً جداً مع علم المناخ القائم على الرصد، إلا أن محاكاة التأثيرات التفاعلية الأساسية مثل السحب تبقى صعبة في تلك النماذج. وتتوافق التقديرات من الاحترار والمناخ القديم المرصود ومن النماذج المناخية مع حالات عدم اليقين الخاصة بها، وكل تقدير مدعوم بعدة دراسات وعدة مجموعات بيانات، وكلها تقدم مستوى عالٍ من الثقة للنطاق المرجح المقيم. وعلى الرغم من أن هذا النطاق المقيم مشابه لما جاء في التقارير السابقة، إلا أن مستوى الثقة اليوم أعلى بكثير نتيجة للجودة العالية وسجلات الرصد الطويلة والإشارة البشيرية المنشأ الأوضح، ومستوى الفهم الأعلى للعملية والأدلة الأكثر عدداً وفهماً من عمليات استنباط المناخ القديم ونماذج المناخ المحسنة، إضافة إلى الدقة الأعلى في تسجيل عدد أكبر من العمليات بشكل أكثر واقعية. تدعم كل خطوط الأدلة هذه بشكل منفصل النطاق المرجح المقيم الذي يتراوح بين 1.5 درجة مئوية و4.5 درجات مئوية. {3.2، 9.7.3، 10.8؛ الإطاران 9.2، 13.1}

أقل تأثراً بعدم اليقين المرتبط بمقدار الطاقة التي يمتصها المحيط. وخلافاً لاستجابة المناخ عند الاتزان، هناك توافق جيد بين نطاقات الاستجابة المناخية العابرة المقدر من الاحترار المرصود ومن النماذج المقترنة للدوران العام للغلاف الجوي – المحيط، مما يزيد من مستوى ثقتنا في تقييم أوجه عدم اليقين في الإسقاطات خلال القرن الحادي والعشرين.

وثمة توافق كبير بين النطاقات المقيّمة لحساسية المناخ عند الاتزان والاستجابة المناخية العابرة من جهة والاحترار المرصود والتأثير المُقدَّر والاحترار المُستقبلي المسقط من جهة أخرى. وعلى خلاف تقرير التقييم الرابع، لا يتم إعطاء أفضل تقدير لاستجابة المناخ عند الاتزان (ECS) نظراً لعدم وجود توافق بشأن أفضل تقدير عبر خطوط الأدلة والدراسات ولتحسين فهم حالات عدم اليقين في التقديرات المستندة إلى الاحترار المرصود. وتظهر نماذج المناخ التي تكون قيم استجابة المناخ عند الاتزان فيها في الجزء العلوي من النطاق المرجح توافقاً جيداً بدرجة كبيرة مع المناخ المرصود، في حين تنحوا التقديرات المشتقة من التغير المرصود في المناخ إلى تحقيق أفضل ملاءمة للاحترار المرصود للبايسة والمحيطات مع وقوع قيم استجابة المناخ عند الاتزان في الجزء السفلي من النطاق المرجح. وفي التقديرات المستندة إلى الاحترار المرصود، تكون القيمة الأكثر ترجيحاً حساسة لحالات عدم اليقين في الرصدات والنماذج، ولتقلبية المناخ الداخلية، وللافتراضات المتعلقة بالتوزيع السابق لحساسية المناخ عند الاتزان. وبالإضافة إلى ذلك، يتم تعريف مصطلحي "أفضل تقدير" و"القيمة الأكثر ترجيحاً" بطرائق شتى في مختلف الدراسات. {9.7.1، 10.8.1، 12.5.3؛ الجدول 9.5}

TS.5.4 تغيير المناخ على المدى القريب

السنوي لدرجة الحرارة لأول سنتين وفي مهارة توقع المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST) ودرجة الحرارة في شمال الأطلسي، ومناطق جنوب المحيط الهادئ والمناطق المدارية في المحيط الهندي لغاية 10 سنوات (مستوى ثقة مرتفع) ويرجع ذلك جزئياً إلى تصحيح الاستجابة للتأثيرات. وتتسم التوقعات الاحتمالية لدرجات الحرارة بإمكانية الوثوق بها إحصائياً (للاطلاع على تعريف للموثوقية، انظر القسم 11.2.3) وذلك بسبب التمثيل الصحيح لاتجاهات التغير العالمية، غير أنه لا يزال من المتعذر الوثوق بها على الصعيد الإقليمي عند احتساب الاحتمالات من مجموعة متعددة النماذج. وتؤدي التنبؤات التي تم تحديد قيمها الأولية على مدى الفترة 2000–2005 إلى تحسين تقديرات الفجوة المتعلقة بمتوسط درجة الحرارة العالمية. كما تظهر التنبؤات المتعلقة بكمية الأمطار فوق المناطق القارية التي لها اتجاهات تغير قسري كبيرة مهارة إيجابية. {11.2.2، 11.2.3؛ الإطار 9.2}

TS.5.4.1 التغيرات المناخية المُسقط على المدى القريب

تظهر إسقاطات المناخ على المدى القريب حساسية ضعيفة إزاء سيناريوهات غازات الاحتباس الحراري بالمقارنة مع امتداد النموذج، لكنها تظهر حساسية كبيرة إزاء أوجه عدم اليقين في انبعاثات الأهباء الجوية، لاسيما على المستويات الإقليمية، ولتغيرات الدورة الهيدرولوجية. وفي بعض المناطق، ستكون الاستجابات المحلية والإقليمية في كمية الأمطار وفي متوسط درجة الحرارة ودرجات الحرارة المتطرفة للتغير في استخدام الأراضي أكبر من تلك العائدة إلى تأثير غازات الاحتباس الحراري الواسعة النطاق والأهباء الجوية. وتفترض هذه السيناريوهات عدم وجود أي حالات ثوران بركاني كبيرة وأن انبعاثات الأهباء الجوية البشرية المنشأ ستُخفض بسرعة على المدى القريب. {11.3.1، 11.3.2، 11.3.6}

TS.5.4.2 التغيرات المُسقط في درجة الحرارة على المدى القريب

في غياب أي ثورات بركانية كبيرة – مما قد يسبب تبريداً كبيراً وإن بصورة مؤقتة – وبافتراض عدم وجود أي تغييرات مستقبلية كبرى على المدى البعيد في الإشعاعية الشمسية، من المرجح أن شذوذ المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST) للفترة 2016–2035 بالنسبة للفترة المرجعية 1986–2005 سوف يكون ضمن نطاق 0.3 درجة مئوية إلى 0.7 درجة مئوية (مستوى ثقة متوسط). ويستند ذلك إلى عدة خطوط أدلة. ويتسق هذا النطاق مع النطاق الذي تم الحصول عليه باستخدام اتجاهات نموذج 5 إلى 95% في المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) للفترة 2012–2035.

يوفر التنبؤ العقدي بالمناخ على المدى القريب معلومات لا تتوفر من التنبؤات على النطاقات الفصلية ونطاقات ما بين السنوات (أشهر إلى سنة أو سنتين) أو من إسقاطات التغير في المناخ على المدى البعيد (منتصف القرن الحادي والعشرين وما بعده). وتتطلب جهود التنبؤ على النطاقات الفصلية ونطاقات ما بين السنوات تقديرات دقيقة لحالة المناخ الأولية مع تركيز أقل على التغيرات في التأثير الخارجي¹²، في حين أن الإسقاطات المتعلقة بالمناخ على المدى البعيد تعتمد بشدة على تقديرات التأثير الخارجي دون الاعتماد كثيراً على الحالة الأولية للتقلبية الداخلية. وتعتمد تقديرات المناخ على المدى القريب على حتمية الاحترار (الناتج بفعل القصور الذاتي للمحيطات والتي تستجيب للتأثير الخارجي التاريخي) والتطور الزمني لتقلبية المناخ المتولدة داخلياً والمسار المستقبلي للتأثير الخارجي. أما التنبؤات على المدى القريب الذي يصل إلى عقد تقريبا (الشكل 13 TS)، فتعتمد بشدة أكبر على الإدراج الدقيق لتقلبية المناخ المتولدة داخلياً. {11.1، 12، 14}

ولا يمكن تجنب أي احترار إضافي على المدى القريب من الانبعاثات السابقة بسبب القصور الذاتي الحراري للمحيطات. وسيزداد هذا الاحترار بفعل الانبعاثات المتواصلة لغازات الاحتباس الحراري على المدى القريب، كما أن المناخ المرصود على المدى القريب سيتأثر أيضاً بشدة التقلبية المتولدة داخلياً لنظام المناخ. وتصف التقييمات السابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) فقط الإسقاطات المتعلقة بتغير المناخ حيث تم تضمين عنصر المناخ المستقبلي المكون بفعل عوامل التأثير الخارجية، من دون محاولة تحديد القيم الأولية لتقلبية المناخ المتولدة داخلياً. ومن جهة أخرى، تهدف الإسقاطات المناخية العقدية إلى التنبؤ بكل من عنصر تغير المناخ في المستقبل المتكون بفعل عوامل خارجية والعنصر المتولد داخلياً. ولا توفر التوقعات على المدى القريب معلومات مفصلة عن تطور حالة الطقس. وبدلاً من ذلك، فإنها يمكن أن توفر تغييرات تقديرية في التطور الزمني لإحصاءات المناخ على المدى القريب. {11.1، 11.2.2؛ الإطار 11.1؛ السؤال 11.1}

وتم استخدام تجارب تنبؤ قهقري لتقييم جودة التوقعات. وثمة مستوى عالٍ من الثقة بأن تجارب التنبؤ القهقري لفتترات التوقع التي تصل إلى 10 سنوات تظهر مهارة إيجابية عند التحقق منها بمقارنتها برصدات لمناطق واسعة في أنحاء الكوكب وبالمتوسط العالمي. ويسهم تحديد القيم الأولية للتوقعات بالاستناد إلى الرصد في مهارة توقع المتوسط

ويتسق أيضاً مع نطاق 5 إلى 95% للمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة لجميع سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP) الأربعة من 0.36 درجة مئوية إلى 0.79 درجة مئوية، باستخدام الفترة المرجعية 2006-2012 بعد خفض الحدود العلوية والسفلية بنسبة 10 في المئة لمرعاة أن بعض النماذج قد تكون مفرطة الحساسية للتأثيرات البشرية المنشأ (انظر الجدول TS. 1 والشكل TS. 14). (11.3.6)

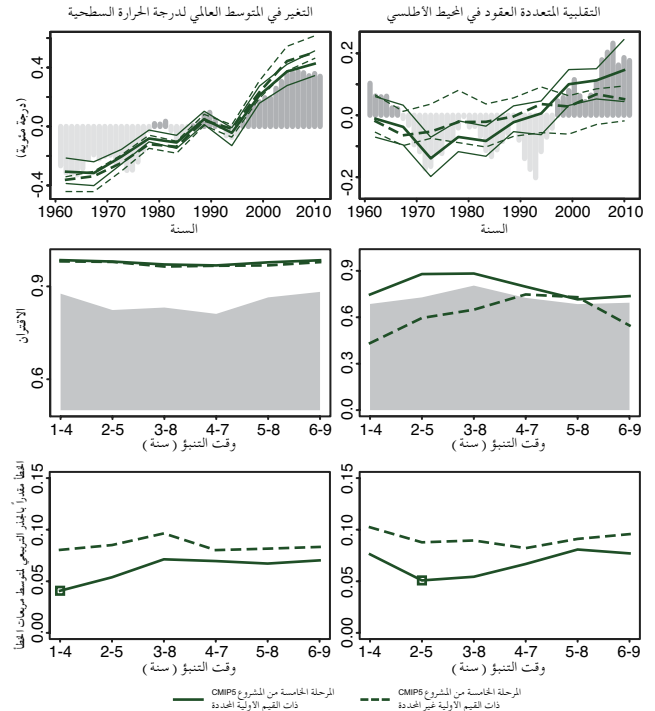
وتؤدي التركيزات الأعلى لغازات الاحتباس الحراري والكميات الأقل لأهباء الكبريتات إلى زيادة الاحترار. وعلى المدى القريب، تكون الاختلافات في المتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحي في سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP) لنموذج المناخ الأحادي عادة أقل مما تكون عليه في نماذج المناخ في سيناريو مسار التركيز النموذجي (RCP) الأحادي. وفي العام 2030، ستختلف القيم الوسطى لمجموعة المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) على صعيد متوسط درجة الحرارة العالمية بمقدار 0.2 درجة مئوية على الأكثر بين سيناريوهات مسار التركيز النموذجي، فيما بلغ امتداد النموذج (المعروف بأنه النطاق 17 إلى 83%) لكل مسار تركيز نموذجي نحو 0.4 درجة مئوية. ويتسع الامتداد بين السيناريوهات مع مرور الزمن، فيحلول العام 2050، سيكون قابلاً للمقارنة بامتداد النموذج. أما على الصعيد الإقليمي، فتسجل المنطقة القطبية الشمالية أكبر اختلافات في درجة حرارة الهواء السطحي بين سيناريوهات مسار التركيز النموذجي. (11.3.2، 11.3.6)

ويشير الارتفاع المسقط في متوسط درجة الحرارة العالمية بمستوى مرتفع من الثقة إلى أننا سنشهد مستويات جديدة من الاحترار فيما يتعلق بمتوسط حرارة المناخ في الفترة 1850-1900، لاسيما في سيناريوهات الانبعاثات الأعلى لغازات الاحتباس الحراري. ونسبة للفترة المرجعية 1850-1900، وضمن السيناريو RCP4.5 أو السيناريو RCP6.0، من المرجح بدرجة أكبر أن يكون المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST) للفترة 2016-2035 فوق متوسط الفترة 1850-1900 بأكثر من درجة مئوية واحدة، ومن غير المرجح بدرجة كبيرة أن يكون فوق متوسط الفترة 1850-1900 بأكثر من 1.5 درجة مئوية (مستوى ثقة متوسط). (11.3.6)

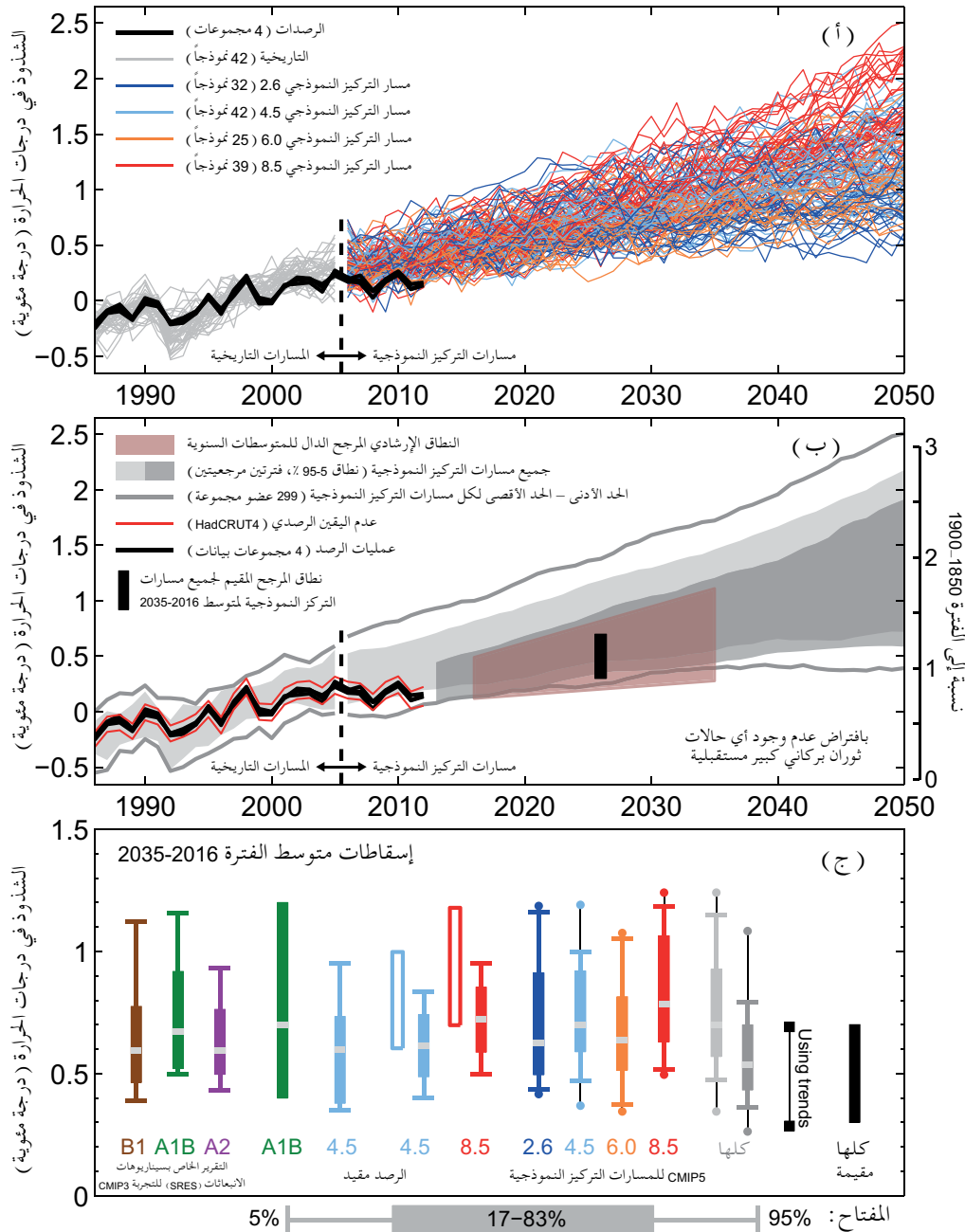
ويتوقع أن يؤدي أي انفجار بركاني مستقبلي مماثل من حيث الحجم لانفجار جبل بيناتوبو في العام 1991 في انخفاض سريع في المتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحي بمقدار 0.5 درجة مئوية تقريباً في السنة التالية، وأن يزول على مدى السنوات القليلة التالية. وقد يؤدي أي انفجار أكبر حجماً أو انفجار عدة براكين في أوقات متقاربة إلى إحداث تأثيرات أكبر وأكثر استدامة. (11.3.6)

قد تؤثر التغيرات المستقبلية المحتملة في الإشعاعية الشمسية على معدل ارتفاع المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST)، غير أن هناك مستوى مرتفعاً من الثقة في أن هذا التأثير سيكون صغيراً بالمقارنة بتأثير التركيزات المتزايدة لغازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي. (11.3.6)

وثمة توافق كبير بين الأنماط المكانية المسقط للاحتثار على المدى القريب بواسطة نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) بحسب سيناريوهات مسار التركيز النموذجي (الشكل TS. 15). وعموماً وبين تقرير التقييم الرابع (AR4). ومن المرجح بدرجة كبيرة أن يستمر الاحتثار البشري المنشأ لدرجة حرارة الهواء السطحي في العقود القليلة المقبلة بوتيرة أسرع على مناطق اليابسة منه على المحيطات، كما أن من المرجح بدرجة كبيرة أن يكون الاحتثار البشري المنشأ في المنطقة القطبية الشمالية في الشتاء أكبر من متوسط الاحتثار العالمي، بحسب تقرير التقييم الرابع. أما بالنسبة للمستويات الطبيعية لتقلبية المتولدة داخلياً، فإن هناك مستوى مرتفعاً من الثقة في أن يكون الاحتثار البشري المنشأ المرتبط بالفترة المرجعية أكبر في المناطق المدارية ودون المدارية منه في مناطق خطوط العرض المتوسطة. (11.3.2)



الإسقاطات على المدى القريب لمتوسط درجة الحرارة العالمية نسبة للفترة 1986-2005



الشكل 14. TS | توليفة الإسقاطات على المدى القريب للمتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحي (GMST). (أ) إسقاطات المتوسط السنوي للمتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحي (GMST) في الفترة 1986-2005 (حالات الشذوذ بالنسبة للفترة 1986-2005) ضمن جميع مسارات التركيز النموذجية (RCP) لنماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) (الخطوط الرمادية الملونة، مجموعة فردية واحدة لكل نموذج)، مع أربع تقديرات رصدية (مجموعة البيانات 4 المعروضة في شكل نقاط شبكية لدرجة الحرارة السطحية والخاصة بمركز هادلي/وحدة البحوث المناخية (HadCRUT4))، إعادة التحليل المؤقت للظروف السطحية والغلاف الجوي على المستوى العالمي (ERA-Interim) من المركز الأوروبي للتنبؤات الجوية المتوسطة المدى (ECMWF)، وتحليل GISTEMP الذي يعده معهد غودارد للدراسات الفضائية، الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA)) للفترة 1986-2012 (الخطوط السوداء). (ب) مثل (أ) ولكن مع إظهار النطاق 5 إلى 95% للمتوسط السنوي لإسقاطات المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة (باستخدام عضو مجموعة فردية واحدة لكل نموذج) لجميع مسارات التركيز النموذجية باستخدام الفترة المرجعية 1986-2005 (التظليل الرمادي الفاتح) وكل مسارات التركيز النموذجية باستخدام الفترة المرجعية 2006-2012، إضافة إلى الشذوذ المرصود للفترة 2006-2012 البالغ 0.16 درجة مئوية (المظلل باللون الرمادي الداكن) للفترة 1986-2005. جرت تسوية الميانات للعام 2006 وما بعده بمتوسط متكرر باستمرار على مدى 5 سنوات لغرض التوضيح. تظهر الخطوط الرمادية (مسواة أيضا) الحد الأعلى والحد الأدنى لقيم المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة باستخدام جميع أفراد المجموعة والفترة المرجعية 1986-2005. وتظهر الخطوط السوداء المتوسط السنوي للتقديرات الرصدية. كما تظهر المنطقة الحمراء المظلمة النطاق الإرشادي المرجح للمتوسط السنوي للمتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحي خلال الفترة 2016-2035 استنادا إلى النطاق المرجح "تقييم جميع مسارات التركيز النموذجية" لشذوذ متوسط درجة الحرارة السطحية العالمية على مدى 20 سنة في الفترة 2016-2035، وهو مبن كعمود أسود في كل من (ب) و(ج) (للاطلاع على التفاصيل انظر المتن). ويفترض مقياس درجة الحرارة المرتبط بمتوسط المناخ على الجهة اليمنى ارتفاعا في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية GMST قبل الفترة 1986-2005 بمقدار 0.61 درجة مئوية بحسب التقديرات الواردة في HadCRUT4. (ج) توليفة إسقاطات متوسط شذوذ المتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحية (GMST) للفترة 2016-2035 بالنسبة للفترة 1986-2005. ويمثل الإطار والسنابل النطاقين 66% و90%. وبين الشكل: إسقاطات غير مقيّدة للمرحلة الثالثة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة للتقرير الخاص بسيياريوهاات الانبعاثات والمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة لمسار التركيز النموذجي؛ وإسقاطات مقيّدة على صعيد الرصد للسنياريو A1B الوارد في التقرير الخاص بسيياريوهاات الانبعاثات والسنياريو RCP4.5 والسنياريو RCP8.5؛ وإسقاطات غير مقيّدة لجميع السنياريوهاات الأربعة لمسار التركيز النموذجي باستخدام فترتين مرجعيتين كما في (ب) (الظل ذات اللون الرمادي الفاتح والرمادي الداكن)، المتسق مع (ب)؛ النطاق 90% المقدر باستخدام اتجاهات التغيير للمرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة للفترة 2012-2035 والشذوذ المرصود في متوسط درجة الحرارة السطحية العالمية للعام 2012؛ ونطاق إجمالي مرجح (66%) مقيّم لجميع سنياريوهاات مسار التركيز النموذجي. وتظهر النطاق المتعلق بتقديرات المرحلة الخامسة من مشروع المقارنة بين النماذج المناخية المتقارنة الحدين الأقصى والأدنى باستخدام قيم جميع أفراد المجموعة. ويشار إلى القيم الوسطى (أو الحد الأقصى لتقدير الأرجحية لمسار التركيز النموذجي؛ عمود أخضر مصمت) بشريط رمادي. (منقول بتصريف عن الشكل 11.25) (للاطلاع على التفاصيل، انظر القسم 11.3.6، الشكل 11.25)

على المدى القريب. وفي غياب العديد من حالات الثوران البركاني العنيف، من المرجح بدرجة كبيرة أن يكون متوسط درجات الحرارة في العالم ومتوسط درجات الحرارة في الأعماق للفترة 2016-2035 أكثر دفئاً من متوسطات الفترة 1986-2005. {11.3.3}

ومن المرجح أن ترتفع الملوحة في مناطق المحيط الأطلسي المدارية (خاصة) شبه المدارية، وأن تنخفض في المناطق المدارية في غرب المحيط الهادئ المداري خلال العقود القليلة المقبلة. وعموماً، من المرجح أن يحدث بعض الانخفاض في الدوران الانقلابي الزوالي في جنوب المحيط الأطلسي مع حلول العام 2050 (مستوى ثقة متوسط). على أن معدل الانخفاض وحجمه سيكون غير مؤكدين بدرجة كبيرة، ويصدق ذلك أيضاً على توقيت حدوث الزيادة في هذا الدوران على مدى عقود. {11.3.3}

TS.5.4.6 التغيرات في الغلاف الجليدي المسقط على المدى القريب

من المرجح أن يكون شهر أيلول/سبتمبر في محيط المنطقة القطبية الشمالية خالياً تقريباً من الجليد البحري، وذلك قبل منتصف القرن (تقل رقعة الجليد البحري عن 106 كم² على مدى خمس سنوات متتالية على الأقل) بحسب السيناريو RCP8.5 (مستوى متوسط من الثقة). ويستند هذا التقييم إلى مجموعة فرعية من النماذج التي تعيد إنتاج متوسط الحالة المناخية ومنحى التغير في رقعة الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية خلال الفترة 1979 إلى 2012 على نحو أقرب ما يكون للحالة الفعلية. ومن المرجح بدرجة كبيرة أيضاً أن يزداد انحسار رقعة الغطاء الجليدي البحري في المنطقة القطبية الشمالية وأن يقل سمكه، وأن تقل مساحة كل من الغطاء الثلجي خلال فترة الربيع في مناطق خطوط العرض العليا الشمالية والتربة الصقيعية قرب السطح مع ارتفاع المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST) (الشكلان TS.17 و TS.18). وهناك مستوى متدن من الثقة في التناقضات المسقط على المدى القريب في رقعة وحجم الجليد البحري في المنطقة القطبية الجنوبية. {11.3.4}

TS.5.4.7 إمكانية حدوث تغيرات مفاجئة في المناخ على المدى القريب

ثمة آليات مختلفة يمكن أن تؤدي إلى حدوث تغيرات في المناخ العالمي أو الإقليمي تتسم بأنها مفاجئة إذا ما قورنت بالمعدلات التي شهدتها العقود الأخيرة. وستكون أرجحية حدوث تغيرات من هذا النوع بصورة عامة أقل على المدى القريب منها على المدى البعيد. ولهذا السبب، يجري تقييم الآليات ذات الصلة بصورة رئيسية في أقسام TS.5 بشأن التغيرات على المدى البعيد وكذلك في TFE.5. {11.3.4}

TS.5.4.8 التغيرات في جودة الهواء المسقط على المدى القريب

يوجه نطاق إسقاطات جودة الهواء (الأوزون و PM2.5 في الهواء عند سطح الأرض) بشكل رئيسي على أساس الانبعاثات (بما في ذلك انبعاثات الميثان) وليس على أساس التغير الفيزيائي في المناخ (مستوى ثقة متوسط). واستجابة جودة الهواء للتغيرات الموجهة على أساس المناخ غير أكيدة بدرجة أكبر من الاستجابة للتغيرات الموجهة على أساس الانبعاثات (مستوى ثقة مرتفع). وعلى المستوى العالمي، يقلل الاحتراز من التركيز السطحي الطبيعي للأوزون (مستوى ثقة مرتفع). والمستويات العالية من الميثان (كتلك المشار إليها في السيناريو RCP8.5 والسيناريو A2 الوارد في التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات) قد تعادل هذا الانخفاض، فترفع من متوسط تركيز الأوزون السطحي بنسبة تبلغ 8 أجزاء في البليون تقريباً (25% من المستويات الحالية) مقارنة بالسيناريوهات التي تكون فيها التغيرات في الميثان ضئيلة (مثل السيناريو RCP4.5 والسيناريو RCP6.0) (مستوى ثقة مرتفع). أما على النطاق القاري، فإن مستويات تلوث الهواء المسقط تكون أقل في السيناريوهات الجديدة لمسار التركيز النموذجي (RCP) مما هي عليه في سيناريوهات التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات (SRES) وذلك لأن التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات لم يتضمن تشريعات بشأن جودة الهواء (مستوى عالٍ من الثقة). {11.3.5، 11.3.5.2، 11.3.5.2؛ الشكلان 11.22 و 11.23؛ AII.4.2، AII.7.1، AII.7.4}

ومن المرجح أن تزداد وتيرة الأيام الدافئة والليالي الدافئة في معظم مناطق اليابسة خلال العقود القادمة، وأن تتناقص وتيرة الأيام الباردة والليالي الباردة. وتتوقع النماذج أيضاً حدوث ارتفاعات في مدة موجات الحر والفترات الحارة وكثافتها ونطاقها المكاني على المدى القريب. وقد تحدث هذه التغيرات بمعدلات مختلفة عن معدل متوسط الاحتراز. فعلى سبيل المثال، تتوقع عدة دراسات أن ترتفع درجات الحرارة الصيفية ذات المئينات العالية في أوروبا بشكل أسرع من متوسط درجات الحرارة (انظر أيضاً TFE.9). {11.3.2}

TS.5.4.3 التغيرات في الدورة المائية المسقط على المدى القريب

من المرجح بدرجة كبيرة أن يرتفع متوسط كمية الأمطار النطاقية في مناطق خطوط العرض المرتفعة وبعض مناطق خطوط العرض المتوسطة وسيكون احتمال انخفاضها أكبر من احتمال عدم انخفاضها في المناطق شبه المدارية. وعلى النطاقات الإقليمية، قد يطغى على التغيرات في كمية الأمطار مزيج من التقلبية الداخلية الطبيعية، والتأثير البركاني، وتأثيرات الأهباء البشرية المنشأ. {11.3.2}

في العقود القليلة المقبلة، من المرجح بدرجة كبيرة حدوث ارتفاعات في الرطوبة النوعية بالقرب من سطح الأرض. ومن المرجح أن تشهد العديد من المناطق ارتفاعات في معدل التبخر. وثمة مستوى منخفض من الثقة في التغيرات المسقط في رطوبة التربة والجريان السطحي. {11.3.2}

وعلى المدى القريب، من المرجح أن يرتفع تواتر وشدة ظواهر سقوط أمطار غزيرة على اليابسة. وتعرض هذه التغيرات بصورة رئيسية إلى الارتفاعات في نسبة بخار الماء في الغلاف الجوي، إلا أنها تتأثر أيضاً بالتغيرات في حركة دوران الغلاف الجوي. أما تأثير الأنشطة البشرية المنشأ على النطاقات الإقليمية فسيكون أقل وضوحاً، بينما ستأثر التغيرات على الصعيد الإقليمي بشدة بالتقلبية الطبيعية، وستعتمد أيضاً على مسار التغيرات في انبعاثات الأهباء والتأثير البركاني والتغيرات في استخدام الأراضي في المستقبل (انظر أيضاً TFE.9). {11.3.2}

TS.5.4.4 التغيرات في الحركة الدورانية للغلاف الجوي المسقط على المدى القريب

سوف تسهم التقلبية المناخية المتكونة داخلياً وعوامل عديدة للتأثير الإشعاعي (مثل البراكين، وغازات الاحتباس الحراري، والأوزون، والأهباء الجوية البشرية المنشأ) في التغيرات في دوران الغلاف الجوي على المدى القريب. فعلى سبيل المثال، من المرجح أن يتحرك المتوسط السنوي لحركة دوران هادلي والرياح الغربية في مناطق خطوط العرض المتوسطة في نصف الكرة الجنوبي صوب القطب، بينما سيكون من المرجح أن تكون الاستعادة المسقط للأوزون الستراتوسفير والارتفاعات في تركيزات غازات الاحتباس الحراري آثار معاكسة على عرض حركة دوران هادلي والموقع الزوالي لمسار العواصف في نصف الكرة الجنوبي. وعلى ذلك، فإن من غير المرجح أن تستمر في الاتساع نحو القطب بالسرعة التي كانت تتوسع بها في العقود الأخيرة. {11.3.2}

ثمة مستوى متدن من الثقة في الإسقاطات قريبة الأمد لموقع مسارات عواصف نصف الكرة الجنوبي وشدتها. وستكون التغيرات الطبيعية أكبر من التأثير المسقط لغازات الاحتباس الحراري على المدى القريب. {11.3.2}

ثمة مستوى متدن من الثقة في الإسقاطات، على نطاق الأحواض، في التغيرات في شدة الأعاصير المدارية وتواترها في جميع الأحواض لغاية منتصف القرن الحادي والعشرين. ويعكس هذا المستوى المتدن من الثقة العدد القليل من الدراسات التي تتناول بالتفصيل نشاط الأعاصير المدارية على المدى القريب، إضافة إلى الاختلافات بين الإسقاطات المنشورة عن نشاط الأعاصير المدارية والدور الكبير الذي تؤديه التقلبية الطبيعية. وهناك مستوى متدن من الثقة في الإسقاطات القريبة الأمد في ما يتعلق بشدة الأعاصير المدارية المتزايدة في الأطلسي؛ ويعزى هذا الإسقاط، في جزء منه، إلى الانخفاضات المسقط في كمية الأهباء الجوية. {11.3.2}

TS.5.4.5 التغيرات في المحيط المسقط على المدى القريب

من المرجح بدرجة كبيرة أن يرتفع متوسط درجات الحرارة السطحية على المستوى العالمي ومتوسط درجات حرارة المحيط على المستوى العمودي

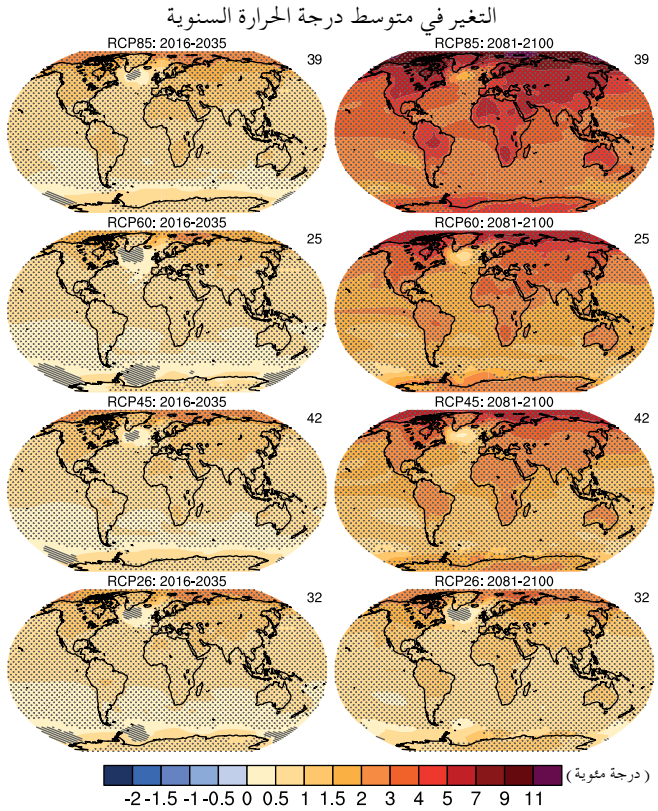
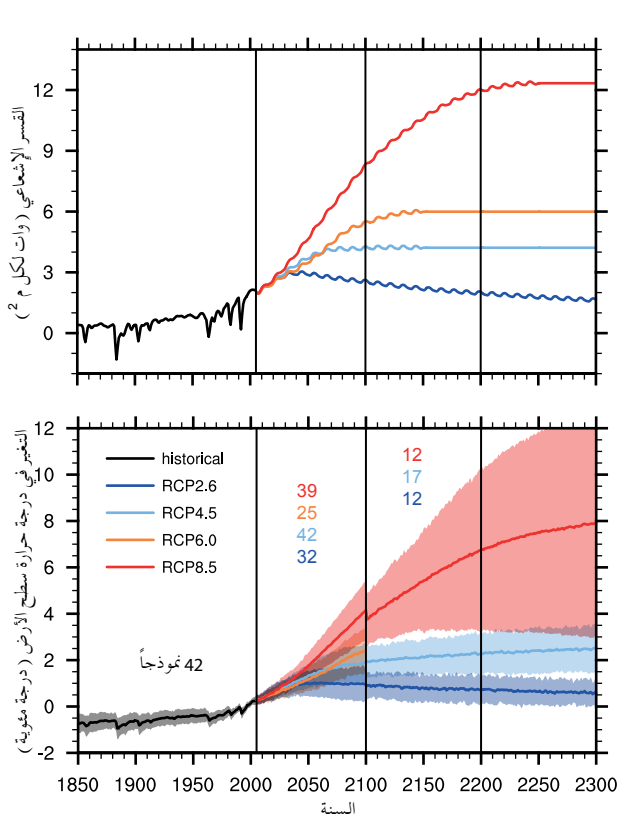
ضمن افتراضات مسارات التركيز النمذجية (RCPs) الموجهة بالتركيز، من المرجح أن يكون المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST) للفترة الزمنية 2081-2100 بالنسبة للفترة الزمنية 1986-2005 في نطاق 5% إلى 95% من نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)؛ من 0.3 درجة مئوية إلى 1.7 درجة مئوية (السيناريو RCP2.6) ومن 1.1 إلى 2.6 درجة مئوية (السيناريو RCP4.5)، ومن 1.4 درجة مئوية إلى 3.1 درجات مئوية (السيناريو RCP6.0)، ومن 2.6 درجة مئوية إلى 4.8 درجات مئوية (السيناريو RCP8.5) (انظر الجدول TS.1). ويتم على مستوى ثقة مرتفع بدرجة كبيرة تقييم النطاق 5% إلى 95% من المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) بحسابه مرجحاً بدلاً من كونه مرجحاً بدرجة كبيرة على أساس تقييم الاستجابة المناخية العابرة (TCR) (انظر TFE.6). كما يجري تقييم النطاق 5% إلى 95% من المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) للتغير في متوسط درجات الحرارة العالمية بحسابه نطاقاً مرجحاً لمنتصف القرن الحادي والعشرين، ولكن فقط مع مستوى ثقة متوسط. وفي ما يتعلق بمتوسط الأحوال في الفترة الزمنية 1900-1850، من المرجح أن تتجاوز درجات الحرارة العالمية المسقطه التي تم احتساب معدلها للفترة الزمنية 2081-2100، 1.5 درجة مئوية فوق قيم الفترة الزمنية 1900-1850 للسيناريوهات RCP4.5 و RCP6.0 و RCP8.5 (مستوى ثقة مرتفع)، ومن المرجح أن تتجاوز 2 درجة مئوية فوق قيم الفترة الزمنية 1900-1850 للسيناريو RCP6.0 والسيناريو RCP8.5

تشير الأدلة من النماذج والرصد إلى أن درجات الحرارة السطحية الأعلى محلياً في المناطق الملوثة ستؤدي إلى تأثيرات تفاعلية إقليمية في الانبعاثات الكيميائية والمحلية التي سترفع ذروة مستويات الأوزون وPM2.5 وذلك عند تساوي جميع العوامل الأخرى (مستوى متوسط من الثقة). ومن المعروف أن الانبعاثات المحلية المقترنة بمستويات التركيز الطبيعية والظروف الجوية التي تؤدي إلى تكوين التلوث وتراكمه تنتج فترات تلوث متطرفة على الضعيفين المحلي والإقليمي. وهناك مستوى منخفض من الثقة في إسقاط التغيرات في وجود مرتفع جوي مستقر مرتبط بهذه الظواهر المتطرفة. أما بالنسبة لـ PM2.5، فقد يؤدي تغير المناخ إلى تغيير مصادر الأهباء الجوية الطبيعية (حرائق البراري، الغبار المحمول بالرياح، السلائف المتولدة بيولوجياً) وكذلك الكشط بالأمطار، لكن ليس هناك أي مستوى ثقة مرتبط بالتأثير الإجمالي لتغير المناخ على عمليات التوزيع في PM2.5 (11.3.5.2، 11.3.5.5؛ الإطار 14.2)

TS.5.5 تغير المناخ الطويل الأمد

TS.5.5.1 التغيرات طويلة الأمد المسقطه في درجة الحرارة العالمية

سوف يستمر متوسط درجات الحرارة العالمية في الارتفاع خلال القرن الحادي والعشرين ضمن مسارات التركيز النمذجية (RCPs) كافة. ومنذ منتصف القرن الحادي والعشرين تقريباً، بدأ معدل الاحترار العالمي في الاعتماد بشدة على السيناريو (الشكل TS.15). {12.4.1}



الشكل TS.15 | (أعلى اليسار) إجمالي المتوسط العالمي للتأثير الإشعاعي لسيناريوهات مسارات التركيز النمذجية الأربعة استناداً إلى نموذج توازن الطاقة لنموذج تقييم تغير المناخ المستحث بغازات الاحتباس الحراري (MAGICC). ويجدر بالإشارة أن التأثير الفعلي المحاكى بنماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) يختلف قليلاً من نموذج إلى آخر. (أسفل اليسار) السلاسل الزمنية لحالات شذوذ المتوسط العالمي السنوي لدرجة حرارة الهواء السطحي (نسبة للفترة 1986-2005) المستمد من التجارب المستندة إلى التركيز الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5). وتظهر الإسقاطات لكل مسار تركيز نموذجي لمتوسط متعدد النماذج (الخطوط المتصلة) وانحراف معياري يبلغ $1.64 \pm$ (من 5% إلى 95%) عبر توزيع النماذج الفردية (المظللة)، استناداً إلى المتوسطات السنوية. ويفسر نطاق الانحراف المعياري البالغ 1.64. والمستند إلى متوسط 20 عاماً للفترة 2081-2100، نسبة إلى الفترة 1986-2005، كتغيرات مرجحة لنهاية القرن الحادي والعشرين. وترجع الانقطاعات عند العام 2100 إلى أعداد مختلفة من النماذج التي تطبق الإمدادات بعد القرن الحادي والعشرين وليس لها أي معنى فيزيائي. وتشير الأرقام ذات اللون المائل للخطوط إلى عدد النماذج المختلفة التي تسهم في الفترات الزمنية المختلفة. الخرائط: متوسط المجموعة متعددة النماذج لتغير المتوسط السنوي لدرجة حرارة الهواء السطحي (مقارنة بالفترة المرجعية 1986-2005) للفترة 2016-2035 و 2081-2100، للسيناريوهات RCP 2.6 و 4.5 و 6.0 و 8.5. ويشير التظليل إلى المناطق التي تكون فيها إشارة المتوسط متعدد النماذج أقل من انحراف معياري واحد للتقلبية الداخلية. ويشير التظليل إلى المناطق التي تزيد فيها إشارة المتوسط متعدد النماذج عن انحرافين معياريين للتقلبية المناخية، ويحدث فيها اتفاق بين 90% من النماذج على إشارة التغير. ويرد عدد نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) في الزاوية العلوية اليمنى لكل لوحة. ويمكن الحصول على مزيد من التفاصيل عن الشكلين SPM.7 و SPM.8. أ في المواد التكميلية الخاصة بالملخص الفني (TS). (الإطار 12.1؛ الأشكال 12.4، 12.5، 12.11؛ المرفق 1)

الجدول 1. TS | التغيير المُسقط في المتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحي والمتوسط العالمي لارتفاع مستوى البحر لمنتصف القرن الحادي والعشرين ونهاياته نسبة للفترة المرجعية 1986–2005. (12.4.1، 12.4.2، 12.4.3، 12.4.4، 12.4.5)

2100–2081		2065–2046			
النطاق المرجح ^٢	المتوسط	النطاق المرجح ^٢	المتوسط	السيناريو	
من 0.3 إلى 1.7	1.0	من 0.4 إلى 1.6	1.0	RCP2.6	المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (درجة مئوية) ^١
من 1.1 إلى 2.6	1.8	من 0.9 إلى 2.0	1.4	RCP4.5	
من 1.4 إلى 3.1	2.2	من 0.8 إلى 1.8	1.3	RCP6.0	
من 2.6 إلى 4.8	3.7	من 1.4 إلى 2.6	2.0	RCP8.5	
النطاق المرجح ^٣	المتوسط	النطاق المرجح ^٣	المتوسط	السيناريو	
من 0.26 إلى 0.55	0.40	من 0.17 إلى 0.32	0.24	RCP2.6	المتوسط العالمي لارتفاع مستوى البحر (بالمتر) ^٣
من 0.32 إلى 0.63	0.47	من 0.19 إلى 0.33	0.26	RCP4.5	
من 0.33 إلى 0.63	0.48	من 0.18 إلى 0.32	0.25	RCP6.0	
من 0.45 إلى 0.82	0.63	من 0.22 إلى 0.38	0.30	RCP8.5	

ملاحظات:

أ استناداً إلى مجموعة المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)؛ تم احتساب حالات الشذوذ بالنسبة للفترة 1986–2005. باستخدام HadCRUT4 وتقدير عدم اليقين الخاص به (مستوى الثقة 95–5%)، وتبلغ قيمة الاحترار المرصود للفترة المرجعية 1986–2005، 0.61 [من 0.55 إلى 0.67] درجة مئوية للفترة 1850–1900، و0.11 [من 0.09 إلى 0.13] درجة مئوية للفترة 1980–1999، الفترة المرجعية المستخدمة للإسقاطات المستخدمة في التقييم الرابع (AR4). ولم تقيم النطاقات المرجحة هنا وفقاً لفتريات مرجعية سابقة لعدم توافر طرائق لذلك بشكل عام في دراسات جمع حالات عدم اليقين في النماذج والرصدات. ولا تراعي عملية إضافة التغيرات المسقطة والمرصودة التأثيرات المحتملة لانحرافات النماذج مقارنة بالرصدات، كما أنها لا تراعي التقبلية الداخلية الطبيعية خلال فترة الرصد المرجعية. (4.2، 4.11؛ الجدولان 12.2 و 12.3)

ب استناداً إلى 21 نموذجاً للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)؛ حسب حالات الشذوذ بالنسبة للفترة 1986–2005. وعند عدم توفر نتائج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) لنموذج الدوران العام للغلاف الجوي – المحيطات (AOGCM) وسيناريو معينين، كان يتم تقديرها كما هو مشروع في الجدول 13.5 في الفصل 13. تتم معالجة مساهمات تغير الصفائح الجليدية الدينامي والسرير وتخزين المياه الداخلية البشري المنشأ على أن لها توزيعاً منتظماً للاحتتمالات، وأنها مستقلة بشكل كبير عن السيناريو. ولا تعني هذه المعالجة أن المساهمات المعنية لن تعتمد على السيناريو المستخدم، بل تعني فقط أن حالة المعرفة الحالية لا تسمح بتقييم كمي للاعتمادية. واستناداً إلى الفهم الحالي، فإن انهيار القطاعات البحرية من الصفحة الجليدية للمنطقة القطبية الجنوبية، عندما يبدأ، سيتسبب في ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى البحر بشكل كبير فوق النطاق المرجح للقرن الحادي والعشرين. وهناك مستوى متوسط من الثقة بأن هذه المساهمة الإضافية لن تتجاوز بضعة أعشار من المتر من ارتفاع مستوى البحر خلال القرن الحادي والعشرين.

ج محسوبة من الإسقاطات باعتبارها النطاق 5–95% للنموذج. بعد ذلك، تقيم هذه النطاقات بحسبانها نطاقات مرجحة بعد حساب حالات عدم اليقين الإضافية أو مستويات الثقة المختلفة في النماذج. ويكون مستوى الثقة متوسط إسقاطات التغير في المتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحي في الفترة 2046–2065، وذلك نظراً للأهمية النسبية للتقلبية الداخلية الطبيعية وعدم اليقين في تأثير واستجابة الغازات غير غازات الاحتباس الحراري، أكبر من الفترة 2081–2100. ولا تراعي النطاقات المرجحة للفترة 2046–2065 التأثير المحتمل للعوامل التي تؤدي إلى النطاق الذي تم تقييمه للتغير في المتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحي على المدى القريب (2016–2035)، والذي هو أقل من نطاق النموذج 5–95%، لأنه لم يتم تحديد تأثير هذه العوامل كمي على إسقاطات ذات أمد أطول بسبب عدم كفاية الفهم العلمي. (3.11)

د تم احتسابه من الإسقاطات بحسبانها النطاق 5–95% للنموذج. بعد ذلك، تقيم هذه النطاقات كنطاقات مرجحة بعد مراعاة حالات عدم اليقين الإضافية أو مستويات الثقة المختلفة في النماذج. بالنسبة إلى إسقاطات ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر، يكون مستوى الثقة متوسطاً للأفقين الزمنيين كليهما.

المتوسط العالمي لدرجات الحرارة. ويُتوقع حدوث هذه التغيرات للظواهر المعروفة بأنها متطرفة على كل من النطاقين الزمني اليومي والموسمي. كما يُتوقع حدوث زيادات في تواتر الظواهر المتطرفة الحارة ومددها وحجمها، إلى جانب حدوث إجهاد حراري. ولكن سيستمر حدوث ظواهر شتوية باردة عرضية. ومن المسقط أن تزيد حالات الارتداد لـ 20 عاماً الخاصة بظواهر درجات الحرارة المنخفضة بمعدل يزيد عن متوسط درجات حرارة الشتاء في معظم المناطق، مع حدوث أكبر التغيرات في قيم الارتداد لدرجات الحرارة المنخفضة في مناطق خطوط العرض المرتفعة. ومن المسقط أن تزيد قيم الارتداد لـ 20 عاماً الخاصة بظواهر درجات الحرارة المرتفعة بمعدل مماثل لمعدل زيادة متوسط درجات حرارة الصيف، أو يفوقه، في معظم المناطق. وضمن السيناريو RCP8.5، من المرجح أن يزيد، في معظم مناطق اليابسة تواتر حدوث ظاهرة درجات الحرارة المرتفعة الحالية لمدة 20 عاماً مع حلول نهاية القرن الحادي والعشرين (سيضعاف تواتر حدوثها على الأقل، لكنها ستصبح ظاهرة سنوية أو ظاهرة تقع كل عامين في مناطق عديدة)، كما ستصبح ظاهرة درجات الحرارة المنخفضة الحالية لمدة عشرين عاماً شديدة الندرة (انظر أيضاً 4.3.12). (9.9 TFE)

وتحاكي النماذج انخفاضاً في كمية السحب في المستقبل فوق معظم المناطق المدارية ومناطق خطوط العرض المتوسطة، ويعود ذلك غالباً إلى انخفاض كميات السحب المنخفضة. أما التغيرات في طبقة السحب الحدودية البحرية فهي غير مؤكدة إلى أقصى درجة. وتمت محاكاة الزيادات في الجزء المغطى بالسحب والعمق البصري للسحب، ومن ثم انعكاسية السحب في مناطق خطوط العرض المرتفعة، من ناحية القطب 50° شمالاً. (3.12.4)

(مستوى ثقة مرتفع). ومن غير المرجح أن يتجاوز التغير في درجة الحرارة 2 درجة مئوية للفترة 1850–1900 للسيناريو RCP2.6 (مستوى ثقة متوسط). أما الاحترار فوق 4 درجات مئوية بحلول فترة 2081–2100، فهو غير مرجح في جميع مسارات التركيز النموذجية (مستوى ثقة مرتفع) باستثناء السيناريو RCP8.5، إذ إن أرحبته ستكون مساوية لعدم أرحبته تقريباً (مستوى ثقة متوسط). (1.12.4؛ الجدولان 12.2، 12.3)

TS.5.5.2 التغيرات طويلة الأمد المسقطة في درجات الحرارة الإقليمية

ثمة مستوى ثقة مرتفع بدرجة كبيرة في أن متوسط التغيرات العالمية التي تم احتسابها فوق اليابسة ستتجاوز التغيرات فوق المحيط في نهاية القرن الحادي والعشرين بعامل يرجح أن يكون في نطاق 1.4 إلى 1.7. وفي غياب أي انخفاض قوي في الدوران الانقلابي في المحيط الأطلسي، تشير الإسقاطات إلى أن المنطقة القطبية الشمالية ستكون أكثر المناطق احتراراً (مستوى ثقة مرتفع بدرجة كبيرة) (الشكل TS.15). ومع ارتفاع المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST)، يُظهر نمط متوسط درجات الحرارة النطاقي في الغلاف الجوي احتراراً في كامل التروبوسفير وتبريداً في الستراتوسفير متسقين مع التقييمات السابقة. ويزداد الاتساق بوضوح بصفة خاصة في طبقة التروبوسفير العليا في المنطقة المدارية ومناطق خطوط العرض المرتفعة الشمالية. (3.12.4؛ الإطارة 5.1)

ويكاد يكون من المؤكد، في معظم الأماكن، أنه سيكون هناك درجات حرارة متطرفة حارة أكثر من درجات الحرارة المتطرفة الباردة مع الزيادة في

ويكاد يكون من المؤكد أن كمية الأمطار على الصعيد العالمي سترتفع على المدى الطويل مع ارتفاع المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST). وسيرتفع أيضا المتوسط العالمي لكمية الأمطار بمعدل لكل درجة مئوية يقل عن معدل ارتفاع تركيز بخار الماء في الغلاف الجوي. ومن المرجح أن يرتفع بنسبة 1 إلى 3% لكل درجة مئوية في السيناريوهات الأخرى غير سيناريو RCP2.6. أما بالنسبة للسيناريو RCP2.6، فيبلغ نطاق الحساسيات في نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) من 0.5 في المئة إلى 4 في المئة لكل درجة مئوية في نهاية القرن الحادي والعشرين. {7.6.2، 7.6.3، 12.4.1}

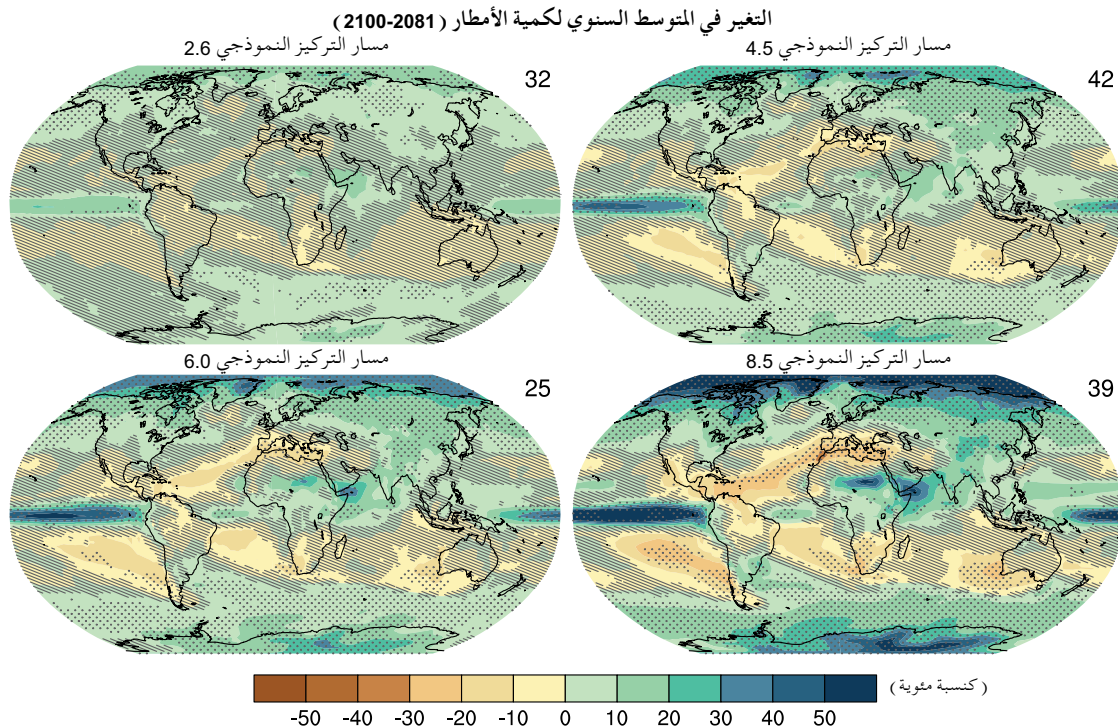
ستظهر التغيرات في متوسط كمية الأمطار، في عالم أكثر احتراراً، تقلباً مكانياً ملحوظاً ضمن RCP8.5. وستشهد بعض المناطق ارتفاعات، في حين ستشهد مناطق أخرى انخفاضات، وثمة مناطق أخرى لن تشهد أي تغيرات ملحوظة (انظر الشكل TS.16). وهناك مستوى عالٍ من الثقة بأن التباين في متوسط كمية الأمطار السنوية بين المناطق الجافة والرطبة، وأن التباين بين المواسم الرطبة والجافة، سيزداد في معظم أنحاء الكرة الأرضية مع ارتفاع درجات الحرارة. ويشير النمط العام للتغير إلى أن من المرجح بدرجة كبيرة أن تشهد مناطق خطوط العرض المرتفعة الشمالية كميات أكبر من الأمطار بسبب ارتفاع الرطوبة النوعية للتروبوسفير الأكثر احتراراً، فضلاً عن زيادة انتقال بخار الماء من المناطق المدارية بحلول نهاية هذا القرن ضمن سيناريو RCP8.5. ومن جهة أخرى، ومن المرجح أن تشهد الكثير من مناطق خطوط العرض الوسطى وعدة مناطق شبه مدارية قاحلة وشبه قاحلة كميات أمطار أقل، كما أن من المرجح أن تشهد مناطق كثيرة عند خطوط العرض الوسطى الرطوبة معدل كميات أكبر من الأمطار بحلول نهاية هذا القرن ضمن سيناريو RCP8.5. وترد خرائط التغير في كمية الأمطار لسيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP) الأربعة في الشكل TS.16. {12.4.2، 12.4.5}

TS.5.5.3 التغيرات طويلة الأمد المسقطة في دوران الغلاف الجوي

من المتوقع أن ينخفض متوسط الضغط الجوي عند سطح البحر في مناطق خطوط العرض المرتفعة، وأن يرتفع في مناطق خطوط العرض المتوسطة مع ارتفاع درجات الحرارة العالمية. وفي المناطق المدارية، من المرجح أن يتباطأ دوران هادلي ووكر. ومن المرجح حدوث تحول صوب القطبين في التيارات النفتية عند خطوط العرض الوسطى بمقدار 1 أو 2 درجة تقريبا من خطوط العرض في نهاية القرن الحادي والعشرين ضمن السيناريو RCP8.5 في نصفي الكرة الأرضية (مستوى ثقة متوسط)، مع تحولات أضعف في نصف الكرة الشمالي. وفي الصيف الجنوبي، يعارض التأثير الإضافي لاستعادة الأوزون الستراتوسفيري لوضعه الطبيعي في نصف الكرة الجنوبي التغيرات الناشئة عن غازات الاحتباس الحراري هناك، على الرغم من أن الاستجابة الصافية تختلف بشدة بين النماذج والسيناريوهات. ويبقى عدم اليقين كبيراً، ومن ثم يبقى مستوى الثقة متدنياً في إسقاط التغيرات في مسارات العواصف في نصف الكرة الشمالي، لا سيما في حوض شمال الأطلسي. ومن المرجح أن يتسع نطاق خلية هادلي، مما يعني زيادة اتساع المناطق المدارية وطغيان صوب القطبين للمناطق شبه المدارية الجافة. أما في الستراتوسفير، فمن المرجح أن يتعزز دوران برووار – دويسون. {12.4.4}

TS.5.5.4 التغيرات طويلة الأمد المسقطة في الدورة المائية

على نطاق كوكب الأرض، تشير الإسقاطات إلى أن الرطوبة النسبية ستبقى ثابتة تقريبا، ولكن الرطوبة النوعية سترتفع في مناخ يزداد احتراراً. ويعزز الفرق المسقط بين احترار اليابسة والمحيطات التغيرات في رطوبة الغلاف الجوي، التي تؤدي إلى انخفاضات صغيرة في الرطوبة النسبية قرب السطح فوق معظم مناطق اليابسة مع استثناء ملحوظ في الأجزاء المدارية من أفريقيا (مستوى ثقة متوسط) (انظر TFE.1، الشكل 1). {12.4.5}



الشكل TS.16 | خرائط النتائج متعددة النماذج للسيناريوهات RCP2.6 و RCP4.5 و RCP6.0 و RCP8.5 في الفترة 2100-2081 لمتوسط النسبة المئوية للتغير في متوسط كمية الأمطار. وترد التغيرات منسوبة إلى الفترة 1986-2005. ويظهر في الزاوية العلوية اليمنى لكل لوحة عدد نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) المستخدم لحساب المتوسط المتعدد النماذج. وتشير الخطوط المتوازية إلى المناطق التي تكون فيها إشارة المتوسط متعدد النماذج أقل من انحراف معياري قيمته واحد للتقلبية الداخلية. ويشير التقيط إلى المناطق التي تزيد فيها إشارة المتوسط متعدد النماذج عن انحرافين معياريين للتقلبية المناخية، كما تتوافق فيها إشارة التغير في 90% من النماذج (انظر الإطار 12.1). يمكن الحصول على مزيد من التفاصيل عن الشكل SPM.8 ب في المواد التكميلية الخاصة بالملخص الفني (TS). {الشكل 12.22؛ المرفق 1}

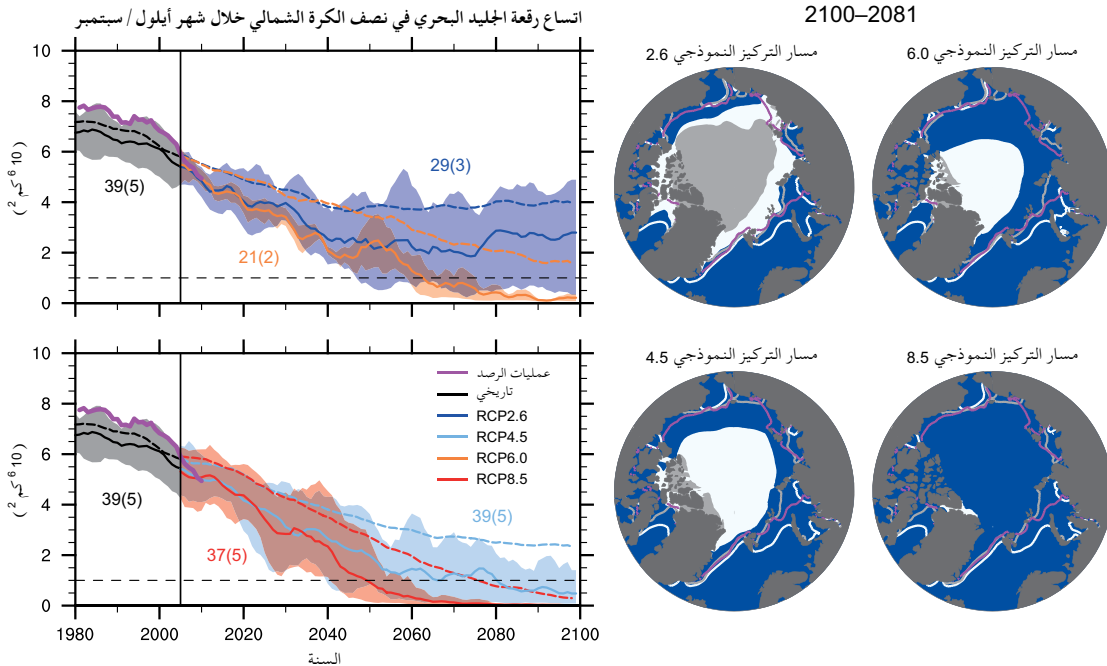
فإن من المرجح بمستوى مرتفع من الثقة، أن يزيد الجفاف السطحي في هذه المناطق مع ارتفاع درجات الحرارة العالمية، بحلول نهاية هذا القرن في إطار السيناريو RCP8.5. وفي المناطق التي أُجريت لها إسقاطات للربطية السطحية، كانت التغيرات أقل بشكل عام من التقلبية الطبيعية على النطاق الزمني الذي يمتد لعشرين عاماً. ويرد في الشكل 1 ملخص للتغيرات المسقطة في الدورة المائية من نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5). (12.4.5؛ الإطار 12.1)

TS.5.5.5 التغيرات الطويلة الأمد المسقطة للغلاف الجليدي

من المرجح بدرجة كبيرة أن يستمر غطاء الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية في التقلص وأن يستمر سمكه في الانخفاض على مدار السنة خلال القرن الحادي والعشرين مع ارتفاع المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST). وفي الوقت نفسه، يتوقع حدوث انحسار في رقعة الجليد البحري وحجمها في المنطقة القطبية الجنوبية، لكن على مستوى متدن من الثقة. وتوفر الإسقاطات المتعددة النماذج للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) معدل الانخفاضات في اتساع رقعة الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية للفترة 2100-2081 مقارنة بالفترة 1986-2005، الذي يتراوح بين 8% للسيناريو RCP2.6 و 34% للسيناريو RCP8.5 في شباط/فبراير، ومن 43% للسيناريو RCP2.6 إلى 94% للسيناريو RCP8.5 في أيلول/سبتمبر (مستوى ثقة متوسط) (الشكل 17 TS). ومن المرجح أن تكون المنطقة القطبية الشمالية خالية تقريباً من الجليد (رقعة الجليد البحري أقل من 106 كم² لمدة 5 سنوات متتالية على الأقل) في أيلول/سبتمبر قبل منتصف القرن في إطار السيناريو RCP8.5 (مستوى ثقة متوسط)، استناداً إلى تقييم لمجموعة نماذج فرعية تعيد بصورة وثيقة إنتاج متوسط الحالة المناخية واتجاه التغير للغطاء الجليدي البحري في المنطقة القطبية الشمالية للفترة 1979-2012. وتعرض بعض الإسقاطات المناخية فترات تتراوح بين 5 و 10 سنوات، يحدث فيها انخفاض حاد في الجليد البحري للمنطقة القطبية

وبالنسبة لظواهر كمية الأمطار القصيرة الأمد، على الصعيد العالمي، من المرجح حدوث تحول نحو تكوّن أعداد أكبر من فرادى العواصف الأكثر شدة وأعداد أقل من العواصف الضعيفة مع ارتفاع درجات الحرارة. أما فوق الكتل الأرضية في مناطق خطوط العرض الوسطى وفوق المناطق المدارية الرطبة، فمن المرجح بدرجة كبيرة أن تكون الظواهر المتطرفة لسقوط الأمطار أكثر شدة وتواتراً في عالم يزداد احتراراً. ويتراوح متوسط الحساسية العالمية لقيم فترات الارتداد على مدى 20 عاماً لكمية الأمطار اليومية القصوى السنوية بين 4% لكل درجة حرارة واحدة من ارتفاع درجة الحرارة المحلية (متوسط نماذج المرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3)) و 5.3% لكل درجة حرارة واحدة من ارتفاع درجة الحرارة المحلية (متوسط نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5))، غير أنه ستكون هناك تقلبات كبيرة على الصعيد الإقليمي. (12.4.2، 12.4.5)

وتشير الإسقاطات إلى أن المعدل السنوي للتبخّر السطحي سيزيد مع ارتفاع درجات الحرارة العالمية فوق معظم المحيط، كما تشير إلى أنه سيتغير فوق اليابسة تبعاً لنمط مماثل على هيئة أمطار. ومن المرجح حدوث انخفاضات في الجريان السنوي للماء في أجزاء من أوروبا الجنوبية، والشرق الأوسط، والجنوب الأفريقي مع حلول نهاية هذا القرن ضمن السيناريو RCP8.5. ومن المرجح حدوث زيادات في الجريان السنوي في مناطق خطوط العرض المرتفعة الشمالية، تتوافق مع زيادات كبيرة في كميات الأمطار في الشتاء والربيع مع حلول نهاية القرن الحادي والعشرين في إطار السيناريو RCP8.5. كما تشير الإسقاطات إلى حدوث انخفاضات، على النطاق الإقليمي إلى العالمي، في رطوبة التربة وارتفاع خطر حدوث جفاف زراعي في المناطق الجافة حالياً، وهما متوقعان بمستوى ثقة متوسط مع حلول نهاية هذا القرن في إطار السيناريو RCP8.5. وتشمل المناطق البارزة للانخفاضات المسقطة في التبخر كلا من الجنوب الأفريقي، وشمال غرب أفريقيا، إلى جانب منطقة البحر الأبيض المتوسط. ويتسق جفاف رطوبة التربة في منطقتي البحر الأبيض المتوسط والجنوب الأفريقي مع التغيرات المسقطة في حركة دوران هادلي وارتفاع درجات الحرارة السطحية، ولذا،



الشكل 17 | اتساع رقعة الجليد البحري في نصف الكرة الشمالي في أيلول/سبتمبر خلال أواخر القرن العشرين وكل القرن الحادي والعشرين للسيناريوهات RCP2.6 و RCP4.5 و RCP6.0 و RCP8.5 في نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، والخرائط المناظرة لنتائج متعددة النماذج في الفترة 2100-2081 لاتساع الرقعة الجليدية في أيلول/سبتمبر، في نصف الكرة الشمالي. وتشير السلاسل الزمنية إلى عدد نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) لحساب المتوسط المتعدد النماذج (المجموعة الفرعية الواردة بين قوسين). ويتم توفير السلاسل الزمنية كمتوسطات تطبق على 5 سنوات. ويتم توفير اتساع الرقعة الجليدية البحرية المسقطة لمجموعة نماذج فرعية تنتج بشكل وثيق متوسط الحالة المناخية واتجاه التغير للفترة 1979-2012 للغطاء الجليدي البحري في المنطقة القطبية الشمالية (الخطوط المتصلة)، مع نطاق الحد الأدنى إلى الحد الأقصى للمجموعة الفرعية المظللة. يشكل الأسود (ظلال رمادية) التطور التاريخي الذي تم وضع نموذج له باستخدام التأثيرات المستنبطة من المناخ القديم. وتتم الإشارة إلى المتوسط متعدد النماذج للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) بخطوط متقطعة. وفي الخرائط، يعرض المتوسط المتعدد النماذج للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) باللون الأبيض وتعرض نتائج المجموعة الفرعية بالرمادي. وتشير المناطق المعبأة إلى المعدلات خلال فترة 2100-2081، أما الخطوط فتشير إلى اتساع الرقعة الجليدية البحرية، الذي تم احتساب متوسطه خلال فترة 1986-2005. ويتم عرض اتساع الرقعة الجليدية البحرية المرصود بالوردي كسلاسل زمنية، ويتم احتساب متوسطه للفترة 1986-2005 كخط وردي في الخريطة. يمكن الحصول على مزيد من التفاصيل عن الشكلين SPM.7 ب و SPM.8 ج من المواد التكميلية الخاصة بالملخص الفني (TS). (الأشكال 12.18، 12.29، 12.31)

القريبة من السطح ستنقص بنسبة تتراوح بين 37% (السيناريو RCP2.6) و81% (السيناريو RCP8.5) (مستوى ثقة متوسط). {12.4.6}

TS.5.5.6 التغيرات طويلة الأمد المسقط في المحيط

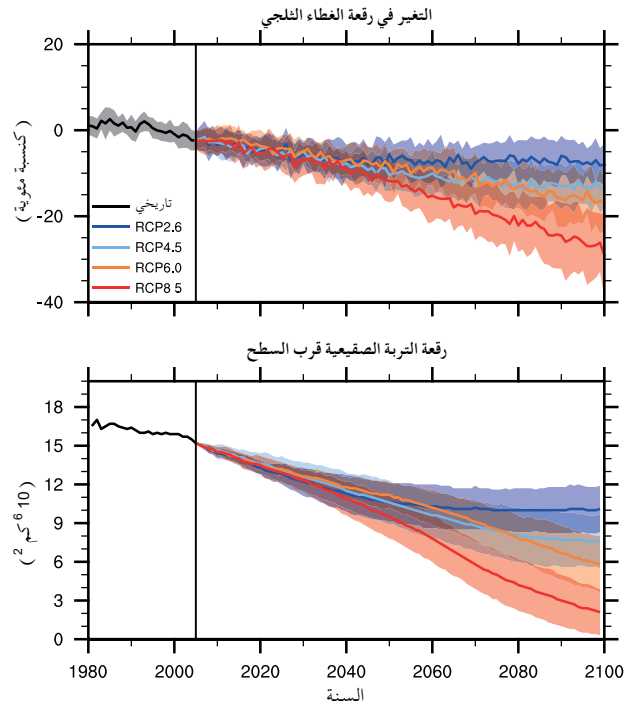
على مدى القرن الحادي والعشرين، سيزداد احترار المحيط العالمي في جميع سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP). وتشير الإسقاطات إلى أن أشد احترار سيحدث عند سطح المحيط في المناطق شبه المدارية والمدارية. وعند الأعماق الأكبر، تشير الإسقاطات إلى أن الاحترار سيكون أوضح ما يمكن في المحيط الجنوبي. وفي أفضل التقديرات لاحتراق المحيط في المئة متر الأولى سيتراوح قيمته من 0.6 درجة مئوية (في السيناريو RCP2.6) إلى 2.0 درجة مئوية تقريبا للسيناريو (RCP8.5)، ومن 0.3 درجة مئوية للسيناريو (RCP2.6) إلى 0.6 درجة مئوية للسيناريو (RCP8.5) على عمق 1 كم تقريبا مع حلول نهاية القرن الحادي والعشرين، أما بالنسبة للسيناريو RCP4.5، فمع حلول نهاية القرن الحادي والعشرين، ستمتص نصف الطاقة التي ستنتقل إلى المحيط في أعلى 700 متر، وستمتص نسبة 85% منها في أعلى 2000 متر. ونظراً للنطاقات الزمنية الطويلة اللازمة لانتقال الحرارة من السطح إلى العمق، سيستمر احترار المحيط لقرون، حتى لو خفضت انبعاثات غازات الاحتباس الحراري أو بقيت تركيزاتها ثابتة، ومن ثم سيسهم بشكل مستمر في ارتفاع مستوى سطح البحر (انظر القسم TS5.7). {12.4.3، 12.4.7}

TS.5.6 الإسقاطات طويلة الأمد لدورة الكربون وغيرها من الدورات الجيو كيميائية الحيوية

تمثل الإسقاطات المتعلقة بدورة الكربون العالمية حتى عام 2100، باستخدام نماذج نظام الأرض (ESMs) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، نطاقاً أوسع للتفاعلات المعقدة بين دورة الكربون والنظام الفيزيائي للمناخ. {6} وبمستوى ثقة مرتفع بدرجة كبيرة، سيستمر امتصاص المحيط للكربون ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ ضمن جميع مسارات التركيز النموذجية (RCPs) الأربعة حتى عام 2100، مع امتصاص مقادير أكبر في مسارات التركيز الأعلى. أما التطور المستقبلي لامتصاص كربون اليابسة فهو غير مؤكد بدرجة كبيرة. فمعظم نماذج نظام الأرض (ESM) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) تسقط امتصاصاً مستمراً صافياً للكربون بواسطة النظم الإيكولوجية الأرضية حتى عام 2100. غير أن أقلية من النماذج تحاكي مصدراً صافياً من ثاني أكسيد الكربون للغلاف الجوي بحلول العام 2100، بسبب التأثير المزدوج لتغير المناخ والتغير في استخدام الأراضي. ونظراً للانتشار الواسع لنتائج النماذج والتمثيل غير المكتمل للعملية، هناك مستوى منخفض من الثقة في حجم تغيرات كربون اليابسة المنمذجة في المستقبل. {6.4.3}

وهناك مستوى عالٍ من الثقة بأن تغير المناخ سيعادل جزئياً الزيادات في مغاوض الكربون على اليابسة وفي البحر، الناجمة عن ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. على أنه تبرز فوارق إقليمية بين نماذج نظام الأرض (ESMs) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) في استجابة المناخ لتدفقات ثاني أكسيد الكربون على اليابسة وفي البحر. وتظهر النماذج توافقاً كبيراً على أن النظم الإيكولوجية المدارية ستخزن كميات أقل من الكربون في المناخ الأكثر احتراراً. كما تظهر نماذج نظام الأرض (ESMs) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، توافقاً متوسطاً على أن احترار المناطق الموجودة عند خطوط العرض المرتفعة سيزيد من تخزين الكربون على اليابسة، على الرغم من أن أيًا من هذه النماذج لا يأخذ تحلل الكربون في التربة الصقيعية بعين الاعتبار، الأمر الذي قد يعادل زيادة تخزين الكربون على اليابسة. وهناك مستوى عالٍ من الثقة بأن الانخفاضات في اتساع رقعة التربة الصقيعية بسبب الاحترار ستؤدي إلى انصهار بعض الكربون المتجمد حالياً. غير أن هناك مستوى منخفض من الثقة في حجم كميات الكربون التي تفقد نتيجة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون والميثان في الغلاف الجوي، مع نطاق يتراوح بين 50 و250 بيتاغرام كربون، بين العامين 2000 و2100 للسيناريو RCP8.5. {6.4.2، 6.4.3}

ويشكل فقدان الكربون من التربة المتجمدة تأثيراً تفاعلياً إشعاعياً إيجابياً لا وجود له في إسقاطات نموذج نظام الأرض (ESM) المتقارنة الحالية. وتبدي



الشكل 18. TS.18 | (اللوحة العليا) المنطقة المغطاة بالثلج الربيعي (RSCA) (متوسط آذار/مارس ونيسان/أبريل) بحسب نسبتها في نصف الكرة الشمالي في المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، وقد تم احتسابها بقسمة الرقعة المنقحة للمنطقة المغطاة بالثلج الربيعي (SCA)، والتي تمت محاكاتها على مدى 5 أعوام، على متوسط المنطقة المغطاة بالثلج التي تمت محاكاتها للفترة المرجعية 1986-2005. (اللوحة السفلى) منطقة التربة الصقيعية المشخصة قرب السطح في نصف الكرة الشمالي، في المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، باستخدام متوسط درجات حرارة الهواء السطحي الشهرية وعمق الثلوج على مدى 20 عاماً. وتشير الخطوط إلى المتوسط متعدد النماذج، وتشير الظلال إلى الانتشار بين النماذج (انحراف معياري واحد). (الشكلان 12.32، 12.33)

الشمالية بل يحدث بحددة أشد مما رصد خلال العقد الأخير - ومن المرجح أن تحدث حالات مماثلة لفقدان الجليد بسرعة في المستقبل. ولتوافر سوى أدلة قليلة في نماذج المناخ العالمي تشير إلى وجود نقطة انقلاب (أو عتبة حاسمة) في التحول من منطقة قطبية شمالية مغطاه بالجليد على مدار السنة إلى منطقة قطبية شمالية خالية من الجليد موسمياً، يصبح بعدها فقدان الجليد البحري غير قابل للتوقف وغير عكوس. وفي المنطقة القطبية الجنوبية، تشير إسقاطات المتوسط متعدد النماذج للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) إلى حدوث انحسار في الرقعة الجليدية البحرية يتراوح بين 16% في السيناريو RCP2.6 و67% في السيناريو RCP8.5 في شباط/فبراير وبين 8% للسيناريو RCP2.6 و30% للسيناريو RCP8.5 في أيلول/سبتمبر للفترة 2081-2100 مقارنة بالفترة 1986-2005. غير أن هناك مستوى منخفض من الثقة في هذه الإسقاطات نظراً للثباتين الواسع النطاق بين النماذج وعدم قدرة جميع النماذج المتوفرة تقريباً على إعادة إنتاج الزيادة الإجمالية للتغطية المساحية للجليد البحري في المنطقة القطبية الجنوبية، المرصودة خلال حقبة السواتل. {12.4.6، 12.5.5}

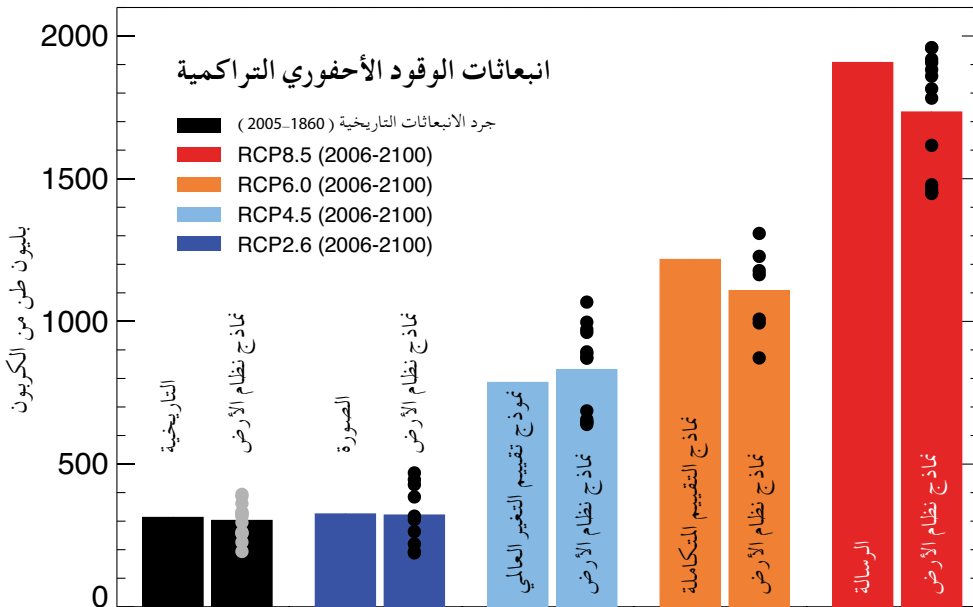
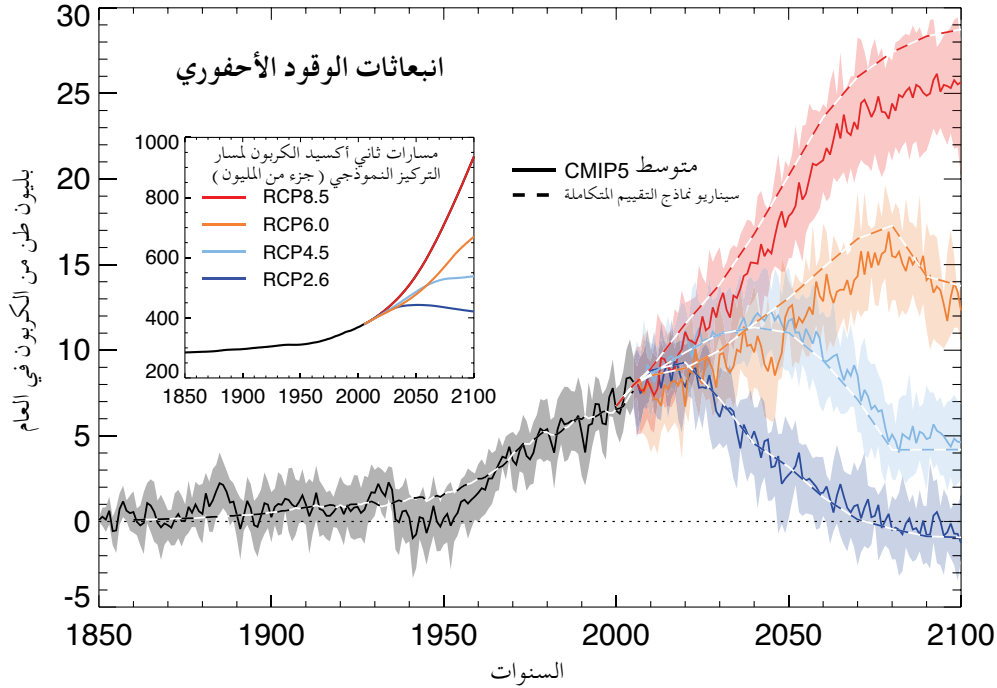
ومن المرجح بدرجة كبيرة أن ينخفض الغطاء الثلجي في نصف الكرة الشمالي مع ارتفاع درجات الحرارة العالمية خلال القرن القادم. ويُعد تراجع اتساع التربة الصقيعية مع ارتفاع درجات الحرارة العالمية أمراً شبيه مؤكداً. وتنبأ التغيرات في الغطاء الثلجي عن التغيرات في كمية الأمطار والاضمحلال، التي يكون اتجاهها معاكساً أحياناً. وتختلف إسقاطات المنطقة المغطاة بالثلج الربيعي في نصف الكرة الشمالي بنهاية القرن الحادي والعشرين بين انخفاض يبلغ 7 [من 3 إلى 10] % (RCP2.6) و25 [من 18 إلى 32] % (السيناريو RCP8.5) (الشكل 18. TS)، لكن مستوى الثقة بهذه الأرقام هو مستوى متوسط فقط لأن عمليات الثلج في نماذج المناخ العالمي مسطحة بدرجة كبيرة. وتشكل التغيرات المسقط في التربة الصقيعية استجابة ليس فقط للاحتراق، بل أيضاً للتغيرات في الغطاء الثلجي، الذي يتحكم بالتربة التحتية. ومع حلول نهاية القرن الحادي والعشرين، تشير الإسقاطات إلى أن مناطق التربة الصقيعية المشخصة

مسارات التركيز النمذجية (RCP) الأربعة. وهناك مستوى ثقة مرتفع بأن نقص توفر النيتروجين سيحد من تخزين الكربون على اليابسة، حتى مع احتساب ترسب النيتروجين البشري المنشأ. أما الدور المتعلق بالحد من الفوسفات فهو غير مؤكد بدرجة أكبر. {6.4.6}

وبالنسبة لعمليات محاكاة نماذج نظام الأرض (ESMs) المدفوعة بتركيزات ثاني أكسيد الكربون، يسمح تمثيل دورة الكربون على اليابسة وفي المحيط بتحديد انبعاثات الوقود الأحفوري كميًا، بما يتوافق مع سيناريوهات

نماذج نظام الأرض (ESMs) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) توافقًا عاليًا على أن احترار المحيط وتغيرات حركته الدورانية سيؤديان إلى خفض معدل امتصاص المحيط للكربون في المحيط الجنوبي وشمال الأطلسي، لكن امتصاص الكربون سيستمر في تلك المناطق. {6.4.2}

استناداً إلى نتائج تجربة ونمذجة جديدة، من المرجح بدرجة كبيرة أن يحد نقص العناصر الغذائية من تأثير ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي على مغايض كربون اليابسة في المستقبل في سيناريوهات

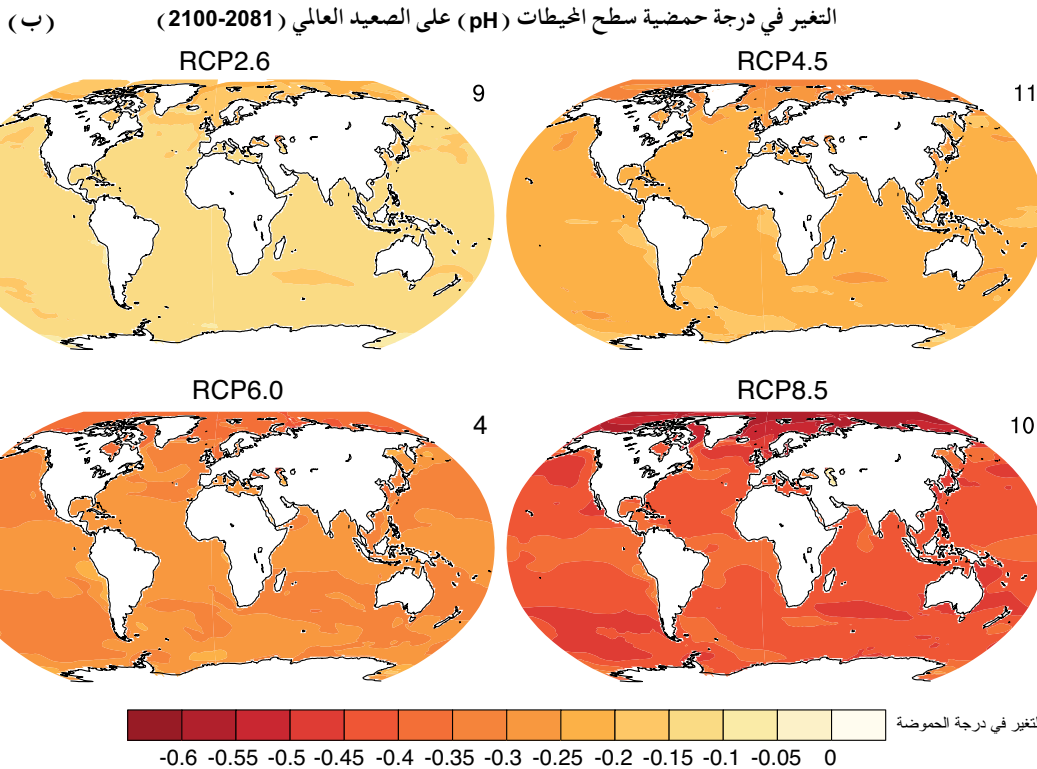
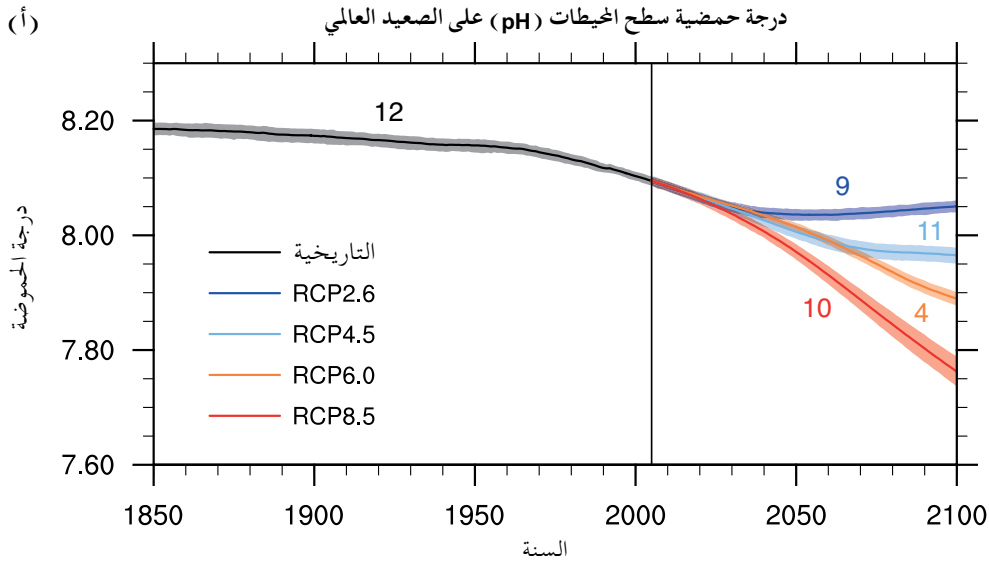


الشكل 19- TS انبعاثات الوقود الأحفوري المتوافقة المحاكاة بواسطة نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) لسيناريوهات مسارات التركيز النمذجية (RCP) الأربعة. (اللوحة العليا) السلاسل الزمنية لانبعاثات السنوية (بيتاغرام كربون في السنة). تمثل الخطوط المتقطعة التقديرات التاريخية وانبعاثات مسار التركيز النمذجي (RCP) المحسوبة بواسطة نماذج التقييم المتكاملة (IAMs) المستخدمة لتحديد سيناريوهات مسارات التركيز النمذجية (RCP)، وتبين الخطوط المتصلة والريش النتائج التي أسفرت عنها نماذج نظام الأرض (ESMs) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) (نماذج نظام الأرض، متوسط النماذج، مع تظليل مساحة لوحد انحراف معياري واحدة). (اللوحة السفلى) الانبعاثات التراكمية للفترة التاريخية (1860-2005) والقرن الحادي والعشرين (المعرفة في المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) بأنها 2006-2100) للتقديرات التاريخية وسيناريوهات مسار التركيز النمذجي (RCP). تمثل الأعمدة الموجودة إلى اليسار الانبعاثات التراكمية من نماذج التقييم المتكاملة (IAMs)، في حين تمثل الأعمدة الموجودة إلى اليمين تقدير المتوسط المتعدد النماذج لنظام الأرض (ESMs) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، أما النقاط فتشير إلى نتائج نماذج نظام الأرض (ESM) الفردية. ومن نتائج نماذج نظام الأرض (ESMs) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، يمكن تعقب مجموع الكربون في نظام اليابسة - الغلاف الجوي - المحيط، ويجب أن تساوي التغيرات في هذا المجموع انبعاثات الوقود الأحفوري في النظام. وبذلك، يتم توفير الانبعاثات المتوافقة بواسطة الانبعاثات التراكمية التي تساوي $\Delta C_a + \Delta C_l + \Delta C_o$ ، في حين يساوي معدل الانبعاثات مثل تلك الناجمة عن النشاط البركاني والترسب والتجوية الصخرية، والتي تكون قيمتها صغيرة بدرجة كبيرة على النطاقات الزمنية البالغة مئات السنين. [الإطار 6.4؛ الشكل 6.25]

يخلص نصف النماذج إلى أن تكون الانبعاثات فوق الصفر بقليل، في حين يخلص النصف الآخر إلى أنه ستحدث إزالة صافية لثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي (انظر أيضا الإطار TS.7). {6.4.3؛ الجدول 6.12}

وعندما تتأثر نماذج نظام الأرض (ESMs) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، التي تعمل بنظام دورات الكربون التفاعلية، بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون الخاصة بالسيناريو RCP8.5، مقابل تركيزات ثاني أكسيد الكربون الخاصة بالسيناريو RCP8.5، فإن هذه النماذج تحاكي، بشكل إجمالي، تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تزيد بمقدار 50 (من -140 إلى +210) جزءا في المليون

مسارات التركيز النموذجية (RCP). وبين العامين 2012 و2100، تشير نتائج نماذج نظام الأرض (ESM) إلى انبعاثات تراكمية ومتوافقة للوقود الأحفوري تبلغ 270 [من 140 إلى 410] بيتا غرام كربون للسيناريو RCP2.6، و780 [من 595 إلى 1005] بيتا غرام كربون للسيناريو RCP4.5، و1060 [من 840 إلى 1250] بيتا غرام كربون للسيناريو RCP6.0 و1685 [من 1415 إلى 1910] بيتا غرام كربون للسيناريو RCP8.5 (القيم مقدرة لأقرب 5 بيتا غرام كربون في نطاق الانحراف المعياري ± 1 مستمد من نتائج نموذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)) (الشكل TS.19). وبالنسبة للسيناريو RCP2.6، تشير إسقاطات النماذج بنسبة 50 في المائة (النطاق من 14% إلى 96%) إلى انخفاض الانبعاثات بحلول العام 2050 نسبة لمستويات عام 1990. ومع حلول نهاية القرن الحادي والعشرين،



الشكل TS.20 | (أ) السلاسل الزمنية (متوسطات النماذج والنطاقات الدنيا إلى القصوى) و(ب) خرائط درجة حمضية سطح المحيطات متعددة النماذج للسيناريوهات RCP2.6 وRCP4.5 وRCP6.0 وRCP8.5 في الفترة 2081-2100. تظهر الخرائط في (ب) التغير في درجة حمضية سطح المحيطات العالمية في الفترة 2081-2100 نسبة للفترة 1986-2005. ويرد في الزاوية العلوية اليمنى لكل لوحة عدد نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) اللازمة لحساب المتوسط المتعدد النماذج. ويمكن الحصول على مزيد من التفاصيل عن الشكلين SPM.7 ج و SPM.8 د في المواد التكميلية الخاصة بالملخص الفني (TS). (الشكل 6.28)

إلى ثلاثة عقود في معظم السيناريوهات. ويصبح الأراغونيت، وهو عبارة عن نوع أقل استقراراً من كاربونات الكلسيوم ضمن درجة التشبع منتشرة بشكل واسع في هذه المناطق عند مستويات من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تبلغ 500 إلى 600 جزءاً في المليون. (6.4.4)

ومن المرجح بدرجة كبيرة أن ينخفض تركيز الأكسجين الذائب في المحيط ببطء نقاط مئوية خلال القرن الحادي والعشرين استجابة للاحتراق السطحي. وتشير نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) إلى أن هذا الانخفاض في الأكسجين الذائب سيحدث أساساً تحت سطح المحيطات في مناطق خطوط العرض المتوسطة، بسبب تعزيز الترسيب وانخفاض التهوية والاحتراق. غير أنه لا يوجد توافق في الآراء بشأن التطور المستقبلي لحجم المياه التي ينقص فيها الأكسجين وتلك التي تحتوي على تركيز منخفض بدرجة كبيرة من الأكسجين في المحيط المفتوح بسبب حالات عدم اليقين الكبيرة في التأثيرات الجيوكيميائية الحيوية المحتملة وفي تطور ديناميات المحيط في المناطق المدارية. (6.4.5)

وسوف تستمر دورة الكربون في المحيط وعلى اليابسة، على مستوى ثقة مرتفع بدرجة كبيرة، في الاستجابة لتغير المناخ وللزيادات في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، التي برزت خلال القرن الحادي والعشرين (انظر TFE.7 و TFE.8) (6.4)

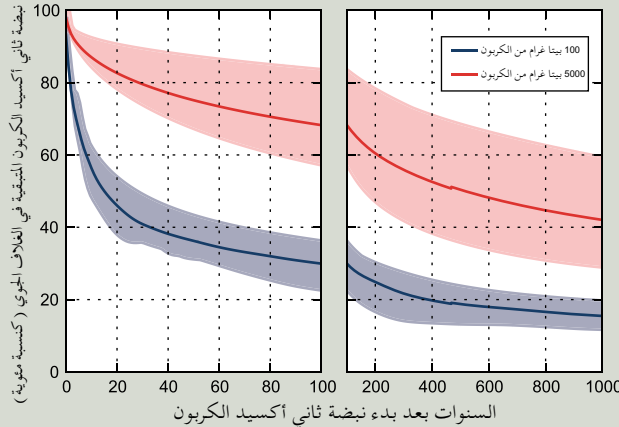
وارتفاعاً في درجة حرارة الهواء السطحي العالمية يزيد عن 0.2 (من -0.4 إلى +0.9) درجة مئوية بحلول العام 2100 (انتشار نموذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)). (8.4.12)

ويكاد يكون من المؤكد أن زيادة تخزين الكربون في المحيط ستزيد من نسبة تحمضه في المستقبل، مواصلة بذلك اتجاهات التغير المرصودة في العقود الماضية. وسيتبع التحمض السطحي للمحيط منحنى ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وسيزداد أيضاً في عمق المحيط مع استمرار تغلغل ثاني أكسيد الكربون إلى العمق. وتشير إسقاطات نماذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) بشكل متسق زيادة تحمض المحيط عالمياً حتى عام 2100 في جميع مسارات التركيز النموذجية (RCPs). ويبلغ الانخفاض المتطابق في درجة حموضة سطح المحيط مع حلول نهاية القرن الحادي والعشرين إلى 0.065 (من 0.06 إلى 0.07) للسيناريو RCP2.6، و0.145 (من 0.14 إلى 0.15) للسيناريو RCP4.5 و0.203 (من 0.20 إلى 0.21) للسيناريو RCP6.0 و0.31 (من 0.30 إلى 0.32) للسيناريو RCP8.5 (انتشار نموذج المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)) (الشكل TS.20). ومن المتوقع أن تصبح مياه السطح، موسمياً، قادرة على إحداث تآكل لمعدن الأراغونيت في أجزاء من المنطقة القطبية الشمالية وفي بعض نظم الموجات المتقلبة الساحلية خلال عقد، وفي أجزاء من المحيط الجنوبي خلال عقد

عناصر التركيز المواضيعية

TFE.7 | اضطراب دورة الكربون وأوجه عدم اليقين المتعلقة بها

تعرض دورة الكربون الطبيعية للاضطراب منذ بداية الثورة الصناعية (العام 1750 تقريباً) بسبب إطلاق ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ في الغلاف الجوي، الناجم بشكل تام تقريباً عن حرق الوقود الأحفوري والتغير في استخدام الأراضي، مع مساهمة صغيرة من إنتاج الإسمت. وبشكل حرق الوقود الأحفوري عملية متصلة بإنتاج الطاقة. فكربون الوقود الأحفوري يأتي من الرواسب الجيولوجية المدفونة في قشرة الأرض منذ ملايين السنين، مثل الفحم والزيوت والغاز. وتتصل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناجمة عن التغير في استخدام الأراضي بتحول النظم الإيكولوجية الطبيعية إلى نظم إيكولوجية مُدارة للحصول على الأغذية وإطعام الحيوانات وإنتاج الأخشاب، مع إطلاق ثاني أكسيد الكربون جزئياً عن طريق حرق المواد النباتية أو تحلل النباتات الميتة والكربون العضوي الموجود في التربة. فعندما تزال غابة، مثلاً، قد تنطلق المواد النباتية في الغلاف الجوي بسرعة عند حرقها، أو على مدى أعوام كثيرة عند تحلل الكتلة الإحيائية الميتة وكربون التربة تلقائياً. (6.1، 6.3، 6.1)

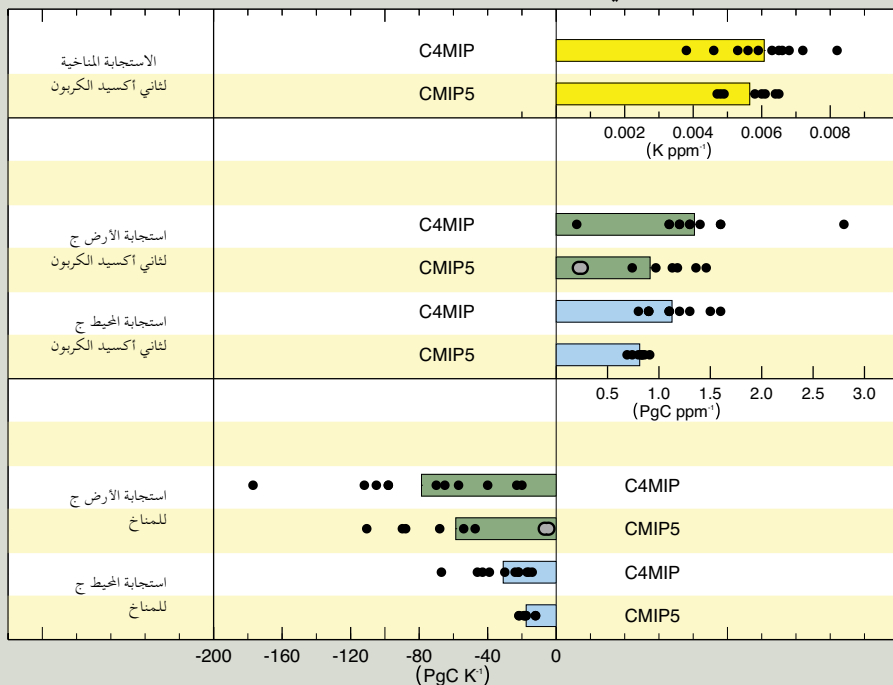


TFE.7، الشكل 1 | النسبة المئوية المعوية لاضطراب ثاني أكسيد الكربون الأساسي المتبقي في الغلاف الجوي كاستجابة لانبعاثات نبضة ثاني أكسيد الكربون المثالية والفورية في العام 0 محسوبة بواسطة نطاق من نماذج دورات المناخ - الكربون المقارنة. المتوسط متعدد النماذج (الخط) وفترة عدم اليقين (النطاق الأقصى للنماذج، التظليل)، اللذين تمت محاكتهما خلال 100 سنة (اللوحة اليسرى) وألف سنة (اللوحة اليمنى) عقب نبضة انبعاثات لحظية مقدارها 100 ببتاغرام من الكربون (اللون الأزرق) و 5000 ببتاغرام من الكربون (اللون الأحمر). (الإطار 6.1، الشكل 1)

ويأتي امتصاص المحيط لثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ في المقام الأول استجابة لارتفاع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ويدفن فائض ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، الذي يمتصه سطح المحيط عبر النظم المائية (مثل الأنهر والمياه الجوفية) في الرواسب الساحلية أو ينقل إلى المياه العميقة حيث يُخزن لفترات تتراوح بين عقود وقرون. ويمكن لكربون المحيطات العميقة إذابة رواسب المحيط الكربونية لتخزين فائض ثاني أكسيد الكربون على نطاقات زمنية تتراوح بين مئات وآلاف السنين. وفي غضون ألف سنة، سيتراوح الجزء المتبقي في الغلاف الجوي من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بين 15 و 40%، بحسب كمية الكربون التي تم إطلاقها (TFE.7)، الشكل 1). وعلى النطاقات الزمنية الجيولوجية التي تبلغ 10000 سنة أو أطول، يزال ثاني أكسيد الكربون الإضافي ببطء شديد من الغلاف الجوي بواسطة التجوية الصخرية، فينخفض الجزء المتبقي من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى نحو 10 إلى 25% بعد 10000 سنة. (الإطار 6.1)

ويمكن تصور استجابة دورة الكربون لتغيرات المناخ وثاني أكسيد الكربون المستقبلية كتأثيرين تفاعليين قويين ومتضادين. ويحدد التأثير التفاعلي للكربون - لتكرز - الكربون التغيرات في التخزين بسبب ارتفاع ثاني أكسيد الكربون، ويحدد التأثير التفاعلي للكربون - المناخ التغيرات في تخزين الكربون

جزء التغييرات في المناخ. ويمكن القول بمستوى عالٍ من الثقة أن ارتفاع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي سيؤدي إلى زيادة امتصاص اليابسة والمحيط للكربون، ولكن بمقادير غير مؤكدة. وتتوافق النماذج على العلامة الإيجابية لاستجابة اليابسة والمحيط لارتفاع ثاني أكسيد الكربون، ولكنها تبدي توافقاً متوسطاً وقليلًا بشأن حجم امتصاص المحيط واليابسة للكربون على التوالي (TFE.7، الشكل 2). وسيؤدي تغير المناخ في المستقبل إلى خفض امتصاص اليابسة والمحيط للكربون مقارنة بالحالة التي يكون فيها المناخ ثابتاً (مستوى ثقة متوسط). ويزداد هذا الاستنتاج قوة بواسطة رصدات المناخ القديم ونماذجها التي تشير إلى وجود تأثير تفاعلي إيجابي بين المناخ ودورة الكربون على نطاقات زمنية تتراوح بين مئات والآلاف السنين. وتتوافق النماذج على العلامة، السلبية عالمياً، لاستجابة اليابسة والمحيط لتغير المناخ، ولكنها تظهر توافقاً ضعيفاً بشأن حجم هذه الاستجابة، لا سيما على اليابسة (TFE.7، الشكل 2). وقد أجري تحديث رئيسي منذ صدور تقرير التقييم الرابع (AR4) للهيئة (IPCC)، ألا وهو إدخال ديناميات العناصر الغذائية في بعض نماذج الكربون على اليابسة، لا سيما القيود التي يفرضها مدى توفر النيتروجين على نمو النباتات. وهناك مستوى ثقة مرتفع بأن نماذج نظام



TFE.7، الشكل 2 مقارنة مقاييس التأثير التفاعلي لدورة الكربون بين مجموعة من سبعة نماذج دوران عام (GCMS) وأربعة نماذج متوسطة التعقيد لنظام الأرض (EMICs) في وقت إجراء التقييم الرابع (AR4) (المشروع (C4MIP)) ضمن سيناريو التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات A2 وثمانية نماذج للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) ضمن سيناريو زيادة معدل ثاني أكسيد الكربون بنسبة 1% سنوياً على مدى 140 عاماً. وتمثل النقاط السوداء محاكاة نموذج فردي وتمثل الأعمدة الملونة متوسط النتائج متعددة النماذج، وتستخدم النقاط الرمادية مع دورة النيتروجين متقارنة لليابسة. والمقارنة مع نماذج المشروع (C4MIP) هي للسياق، لكن من المعروف أن هذه المقاييس تتغير عبر السيناريوهات ومعدلات التغير المختلفة (انظر القسم 6.4.2). ويُعتبر سيناريو التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات A2 أقرب، من حيث معدل التغير، من سيناريو زيادة معدل ثاني أكسيد الكربون بنسبة 0.5% سنوياً، ومن ثم من المتوقع أن تكون ظروف حساسية المناخ – الكربون الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) متماثلة في القيمة، غير أن من المرجح أن تكون قيم حساسية المناخ – الكربون أصغر بنحو 20% للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) منها في مشروع مقارنة النموذج الإقتراني لدورة الكربون والمناخ (C4MIP) بسبب التأخر في قدرة اليابسة والمحيط على الاستجابة لمعدلات أعلى من زيادة ثاني أكسيد الكربون. ويخفض هذا الاعتماد على السيناريو مستوى الثقة في أي بيانات كمية تتعلق بكيفية اختلاف التأثيرات التفاعلية لدورة كربون المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) عن المشروع (C4MIP). (الشكل 6.21)

الأرض (ESMs) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، بما في ذلك دورة النيتروجين على اليابسة، ستخفف قوة كل من التأثير التفاعلي لتكريز الكربون والتأثير التفاعلي للمناخ – الكربون على النظم البيولوجية لليابسة (TFE.7، الشكل 2). ويؤدي إدراج عمليات دورة النيتروجين إلى زيادة الانتشار عبر مجموعة المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5). ويبدو انتشار المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) منخفضاً في ما يتعلق بحساسية المحيط لثاني أكسيد الكربون والمناخ مقارنة بتقرير التقييم الرابع (TFE.7، الشكل 2). (6.2.3، 6.4.2)

وثمة مستوى ثقة مرتفع بدرجة كبيرة في أن امتصاص المحيط للكربون انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية المنشأ سيستمر في إطار مسارات التركيز النموجية (RCPs) الأربعة لغاية العام 2100، مع امتصاص أكبر يتوافق مع مسارات التركيز الأعلى. أما التطور المستقبلي لامتنصاص اليابسة للكربون فهو غير مؤكد بدرجة أكبر بكثير، إذ أن إسقاطات معظم النماذج تظهر امتصاصاً صافياً مستمراً للكربون ضمن جميع مسارات التركيز النموجية (RCPs)، لكن بعض النماذج تحاكي فقداناً صافياً لكمية من الكربون من اليابسة بسبب التأثير المشترك لتغير المناخ والتغير في استخدام الأراضي. ونظراً للانتشار الواسع لنتائج النماذج والتمثيل غير المكتمل للعملية، هناك مستوى منخفض من الثقة فيما يتعلق بحجم التغييرات النموجية للكربون على اليابسة في المستقبل. (6.4.3، الشكل 6.24)

وتؤدي الدورات الجيو كيميائية الحيوية والتأثيرات التفاعلية، غير دورة الكربون، دوراً مهماً في مستقبل النظام المناخي، على الرغم من أن دورة الكربون تمثل أقوى هذه الدورات. وتؤثر التغييرات في دورة النيتروجين، فضلاً عن التفاعلات مع مصادر ثاني أكسيد الكربون ومغائضه على انبعاثات أكسيد النيتروز على اليابسة وفي المحيط. ولقد زاد بصورة مطردة تكوين النيتروجين النشط الناتج عن الأنشطة البشرية خلال العقد الأخيرين، ويسيطر عليه إنتاج الأمونيا لأغراض صناعة الأسمدة والأغراض الصناعية الأخرى، مع مساهمات مهمة من زراعة البقوليات وحرق الوقود الأحفوري. (6.3)

غير أنه لم يتم بعد تمثيل الكثير من العمليات في نماذج دورات المناخ – الجيو كيميائية البيولوجية المتقارنة (مثل، العمليات الأخرى التي تشمل عناصر أخرى بيولوجية الأصل مثل الفسفور والسيليكون والحديد)، لذا يتعين تقدير أحجامها في نماذج غير مباشرة أو أكثر ببساطة، مما يجعل تقديرها الكمي أصعب. ومن المرجح أن يكون هناك تفاعلات لاخطية بين العديد من هذه العمليات، لكن لم يتم تحديدها كميًا بشكل جيد بعد. وعلى ذلك، ما زال هناك قدر كبير من عدم يقين بشأن أي تقييم للتأثيرات التفاعلية المستقبلية بين دورات المناخ ودورات الجيو كيميائية البيولوجية. (6.4)

الإطار 7.3 | طرائق الهندسة الأرضية المناخية

تعرف الهندسة الأرضية بأنها التدخل المتعمد على نطاق واسع في نظام الأرض لمواجهة التأثيرات غير المرغوب فيها لتغير المناخ على الكوكب. ويرمي خفض ثاني أكسيد الكربون (CDR) إلى إبطاء الزيادات المسقطية في تراكيزات ثاني أكسيد الكربون المستقبلية في الغلاف الجوي أو ربما عكس اتجاهها، والتعجيل بإزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي بشكل طبيعي، وزيادة تخزين الكربون في اليابسة والمحيط والمستودعات الجيولوجية. أما إدارة الأشعة الشمسية (SRM) فترمي إلى التصدي للاحتراق المقترن بزيادة تراكيزات الغازات الحابسة للحرارة عن طريق الحد من كمية ضوء الشمس التي يمتصها النظام المناخي. وتسعى تقنية ذات صلة لإجراء خفض متعمد لتأثير غازات الاحتباس الحراري في نظام المناخ عبر تغيير الغطاء السحابي عالي المستوى. {FAQ 7.3؛ 7.7، 6.5}

ويمكن أن توفر طرائق خفض ثاني أكسيد الكربون (CDR) تخفيفاً لتغير المناخ إذا أمكن خفض تراكيز ثاني أكسيد الكربون، لكن هناك أوجه عدم يقين وتأثيرات جانبية ومخاطر، وسيعتمد التنفيذ على النضج التكنولوجي إلى جانب الاعتبارات الاقتصادية والسياسية والأخلاقية. ومن المرجح أن تبرز الحاجة لنشر خفض ثاني أكسيد الكربون (CDR) على نطاق العالم مائة سنة على الأقل لتحقيق خفض ملحوظ في تراكيزات ثاني أكسيد الكربون. وتصعب الجيوكيميا البيولوجية والتقييدات التقنية الحالية عملية توفير تقديرات كمية لانخفاض ثاني أكسيد الكربون (CDR) المحتمل. ويكاد يكون من المؤكد أن إطلاق ثاني أكسيد الكربون، الذي تم تخزينه سابقاً في المحيط وفي مستودعات الكربون الأرضية، سيعادل جزئياً إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي عن طريق خفض ثاني أكسيد الكربون (CDR). كما تقترن بعض التأثيرات الجانبية المناخية والبيئية لطرائق خفض ثاني أكسيد الكربون (CDR) بالألبيدو السطحي المعدل عن طريق زراعة الغابات وإزالة الأكسجين الناتج من تخصيب المحيطات، وتعزيز انبعاثات أكسيد النيتروز. ومن المرجح أن تواجه طرائق خفض تراكيز ثاني أكسيد الكربون (CDR) القائمة على اليابسة طلبات تنافسية على اليابسة. لذلك، هناك مستوى ثقة منخفض في فعالية طرائق خفض تراكيز ثاني أكسيد الكربون (CDR) وتأثيراتها الجانبية على الكربون والدورات الجيو كيميائية البيولوجية الأخرى. {الإطار 6.2؛ 6.5؛ FAQ 7.3}

ولم يتم بعد تطبيق إدارة الأشعة الشمسية (SRM) واختبارها، غير أنه إذا أمكن جعلها حقيقة واقعة، فإنها يمكن أن تعادل الارتفاع في درجة الحرارة العالمية وبعض تأثيراته. وهناك مستوى متوسط من الثقة بأنه يمكن تطوير إدارة الأشعة الشمسية (SRM)، عن طريق عملية حقن الأهباء الجوية في الستراتوسفير لمكافحة التأثير الإشعاعي وبعض تأثيرات المناخ المتوقعة جزئاً زيادة تراكيز ثاني أكسيد الكربون إلى ضعف قيمته. وليس هناك إجماع على إمكانية تحقيق تأثير إشعاعي بهذا القدر من الضخامة من إدارة الأشعة الشمسية (SRM) لعملية زيادة وضاءة السحب بسبب القصور في فهم التفاعلات بين السحب والأهباء الجوية. ولا يبدو أن إدارة الأشعة الشمسية (SRM) القائمة على تغيير ألبيدو اليابسة يمكن أن تنتج تأثيراً إشعاعياً ضخماً. ولا تتضمن المؤلفات القليلة السابقة التي تتناول طرائق إدارة الأشعة الشمسية (SRM) الأخرى تقييماً لهذه المسألة. {7.7.3، 7.7.2}

وتم تحديد عدة تأثيرات جانبية ومخاطر وأوجه قصور ناتجة من إدارة الأشعة الشمسية (SRM). فقد تنتج إدارة الأشعة الشمسية (SRM) تعويضاً غير دقيق للتأثير الإشعاعي الناجم عن غازات الاحتباس الحراري. وفي الواقع، تشير عدة خطوط أدلة إلى أن إدارة الأشعة الشمسية (SRM) ستنتج انخفاضاً ضئيلاً ولكنه ملحوظ في متوسط كمية الأمطار العالمية (مع فروقات كبيرة على المقاييس الإقليمية)، إذا أمكن الحفاظ على درجات الحرارة العالمية. أما التأثير الجانبي الآخر، المميز بشكل جيد نسبياً، فهو احتمال استنفاد الأوزون الستراتوسفيري القطبي المقترن بإدارة الأشعة الشمسية (SRM) للأهباء الجوية الستراتوسفيرية. وقد يكون هناك أيضاً عواقب أخرى ولكن غير متوقعة بعد. {7.7.3، 7.7.4، 7.6.3}

ومادامت تراكيزات غازات الاحتباس الحراري مستمرة في الارتفاع، سوف تتطلب إدارة الأشعة الشمسية (SRM) ارتفاعاً بنفس المقدار، مما سيؤدي إلى تفاقم التأثيرات الجانبية. وإضافة إلى ذلك، في حال تمت زيادة نطاق إدارة الأشعة الشمسية (SRM) إلى مستويات كبيرة، ثم تم إنهاؤها لسبب من الأسباب، هناك مستوى عالٍ من الثقة بأنه سيبز خطر ارتفاع درجات حرارة سطح الأرض بسرعة (خلال عقد أو عقدين) إلى قيم متسقة مع تأثير غازات الاحتباس الحراري، مما سيجهد النظم الحساسة لمعدل تغير المناخ. في النهاية، لن تعوّض إدارة الأشعة الشمسية (SRM) عن متوسط تخمض المحيط نتيجة زيادة ثاني أكسيد الكربون. {7.7.3، 7.7.4}

ضمن نطاق 0.05 م لغاية منتصف القرن، حيث تبدأ بالاختلاف؛ ومع نهاية القرن الحادي والعشرين، سيصل الفرق إلى 0.25 م. وعلى الرغم من أن السيناريو RCP4.5 والسيناريو RCP6.0 متشابهان إلى حد كبير في نهاية القرن، فإن معدل الارتفاع في RCP4.5 سيكون أكبر منه في RCP6.0 في وقت مبكر من القرن. ويعتمد الارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) على مسار انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وليس فقط على الإجمالي التراكمي؛ ويؤدي خفض الانبعاثات للإجمالي التراكمي نفسه في وقت أبكر، إلى تخفيف أكبر لارتفاع مستوى سطح البحر. {12.4.1، 13.4.1، 13.5.1؛ الجدول 13.5}

يعود السبب وراء مستوى الثقة في النطاقات المرجحة المسقطية إلى اتساق النماذج القائمة على العمليات مع الرصدات والفهم الفيزيائي. وقد درست أسس الإسقاطات الأعلى، واستنتج أن الأدلة الحالية غير كافية حالياً لتقييم احتمال المستويات المحددة فوق النطاق المرجح. واستناداً إلى الفهم الحالي، فإن انهيار القطاعات البحرية في الصفحة الجليدية للمنطقة القطبية الجنوبية وحده إذا سبب في ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) بشكل كبير فوق النطاق المرجح خلال القرن الحادي والعشرين. وليس هناك إجماع على احتمال حدوث مثل هذا الانهيار، ولا يمكن تحديد المساهمة الإضافية المحتملة للارتفاع في المتوسط

TS.5.7 الإسقاطات طويلة الأمد للتغير في مستوى سطح البحر

TS.5.7.1 إسقاطات تغير المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر خلال القرن الحادي والعشرين

من المرجح أن يتراوح الارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) للفترة 2081-2100 (نسبة للفترة 1986-2005) لمسارات التركيز النموذجية (RCPs) بين النطاقات 5 إلى 95% المستمدة من إسقاطات المناخ الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5)، وإضافة إلى النماذج القائمة على العمليات والخاصة بتوازن الكتل السطحية للأشهر الجليدية والصفائح الجليدية، مع تقييم التغيرات الدينامية الممكنة في الصفائح الجليدية من المؤلفات المنشورة. وتتراوح هذه النطاقات المرجحة بين 0.26 و 0.55 م (السيناريو RCP2.6) وبين 0.32 و 0.63 م (السيناريو RCP4.5) وبين 0.33 و 0.63 م (السيناريو RCP6.0) وبين 0.45 و 0.82 م (السيناريو RCP8.5) (مستوى ثقة متوسط) (الجدول TS.1، الشكل TS.21). أما للسيناريو RCP8.5، فسوف يتراوح النطاق في العام 2100 بين 0.52 و 0.98 م. وتقع الإسقاطات المركزية للارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) في جميع السيناريوهات

متوسط من الثقة بأن سقوط الثلج سيزيد (الشكل TS.21). (13.3.3)،
13.4.3، 13.4.4، 13.5.1؛ الجدول 13.5

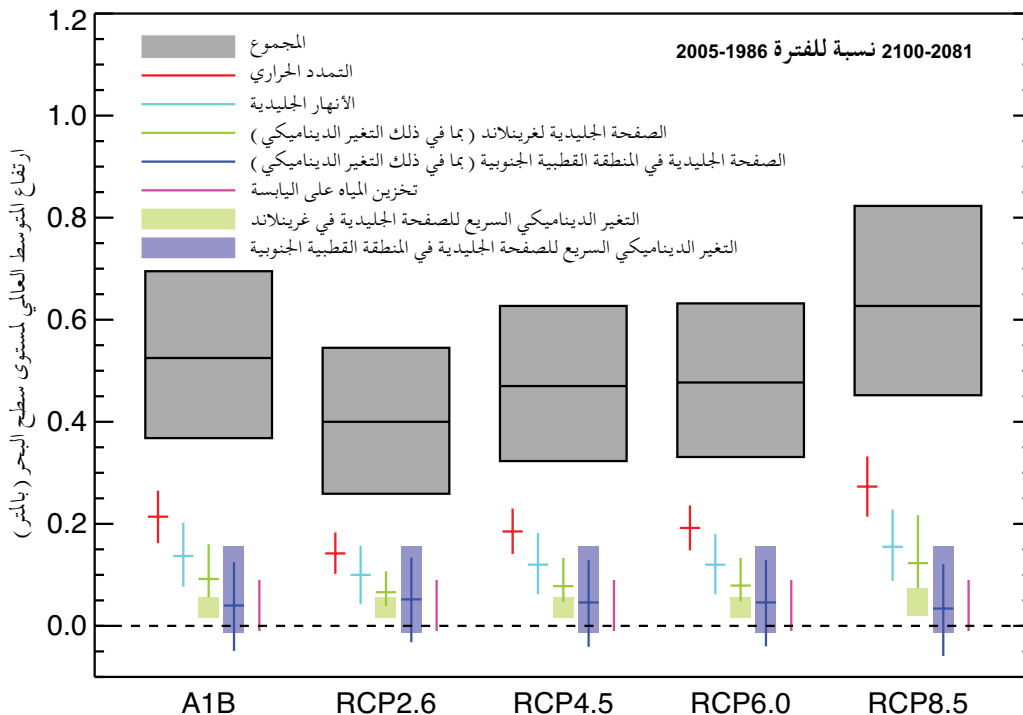
وهناك مستوى متوسط من الثقة في القدرة على نمذجة التغيرات المستقبلية السريعة في ديناميات الصفائح الجليدية على نطاقات زمنية عقدية. وفي وقت صدور تقرير التقييم الرابع (AR4)، لم يكن الفهم العلمي كافياً لإجراء تقييم لإمكانية حدوث مثل تلك التغيرات. ومنذ صدور تقرير التقييم الرابع (AR4)، أحرز تقدم كبير في فهم العمليات ذات الصلة، وفي تطوير نماذج جديدة قادرة على محاكاة الصفائح الجليدية. غير أن المؤلفات المنشورة، حتى الآن، لا توفر سوى أساس كاف جزئياً لإعداد الإسقاطات المتصلة بسيناريوهات معينة. وفي إسقاطاتنا لارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) خلال الفترة 2081-2100، يتراوح النطاق المرجح للتغيرات السريعة في تدفق الجليد من الصفحتين الجليديتين معا بين 0.03 و 0.20 م، ويعد إدراجه أهم سبب لبيان زيادة الإسقاطات عن الإسقاطات الواردة في تقرير التقييم الرابع (AR4). (13.1.5، 13.5.1، 13.5.3)

وقد صممت النماذج شبه التجريبية لإعادة إنتاج سجل مستوى البحر المرصود خلال فترة معايرتها، ولكنها لا تعزو الارتفاع في مستوى البحر لمكوناته الفيزيائية الفردية. وبالنسبة لمسارات التركيز النمذجية (RCPs)، تُسقط بعض النماذج شبه التجريبية نطاقاً يتداخل مع النطاق المرجح القائم على العمليات، في حين تُسقط نماذج أخرى المئين الخامس والتسعين والأوسط، وهما أكبر بمرتين من تلك المتعلقة بالنماذج القائمة على العمليات. وفي كل حالة تقريباً، كان المئين الخامس والتسعون للنماذج شبه التجريبية أكبر من النطاق المرجح القائم على العمليات. وفي ما يتعلق بالفترة 2081-2100 (نسبة للفترة 1986-2005) في إطار السيناريو RCP4.5، توفر النماذج شبه التجريبية إسقاطات للقيم الوسطية

العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) كمياً بدقة، لكن هناك مستوى متوسط من الثقة بأنها لن تتجاوز عدة أعشار من المتر من ارتفاع مستوى سطح البحر خلال القرن الحادي والعشرين. (13.5.1، 13.5.3)

ومن المرجح بدرجة كبيرة في جميع سيناريوهات مسارات التركيز النمذجية (RCP)، أن يتجاوز معدل متوسط الوقت لارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) المعدل المرصود خلال الفترة 1971-2010. وفي الإسقاطات، يزداد معدل الارتفاع في البداية في السيناريو RCP2.6، ثم يصبح ثابتاً تقريباً (إسقاط مركزي يبلغ 4.5 م في السنة) قبل منتصف القرن، ثم ينخفض قليلاً. ويصبح معدل الارتفاع ثابتاً تقريباً في السيناريو RCP4.5 والسيناريو RCP6.0 مع حلول نهاية القرن الحادي والعشرين، في حين يستمر التسارع خلال القرن في RCP8.5 (فيصل إلى 11 [من 8 إلى 16] م في السنة خلال الفترة 2081-2100). (13.5.1؛ الجدول 13.5)

وفي جميع سيناريوهات مسارات التركيز النمذجية (RCP)، يشكل التمدد الحراري أكبر مساهمة، إذا يمثل نحو 30 إلى 55% من المجموع. وتمثل الأنهار الجليدية ثاني أكبر مساهمة، إذ تمثل نحو 15 إلى 35%. وبحلول العام 2100، من المتوقع أن يزول نحو 15 إلى 55% من حجم الأنهار الجليدية الحالي ضمن السيناريو RCP2.6 و 35 إلى 85% ضمن السيناريو RCP8.5 (مستوى ثقة متوسط). ومن المتوقع أن يتجاوز ازدياد الانصهار السطحي في غرينلاند ازدياد التراكم، وهناك مستوى عالٍ من الثقة بأن التغيرات في توازن الكتل السطحية في الصفحة الجليدية في غرينلاند ستساهم إيجابياً في ارتفاع مستوى سطح البحر خلال القرن الحادي والعشرين. وفي الصفحة الجليدية للمنطقة القطبية الجنوبية، من المسقط أن يظل الانصهار السطحي ضعيفاً، في حين أن هناك مستوى



الشكل TS.21 | إسقاطات من النماذج القائمة على العمليات مع النطاقات المرجحة والقيم الوسطية للارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) ومساهماته في الفترة 2081-2100 نسبة للفترة 2005-1986 لسيناريوهات مسارات التركيز النمذجية (RCP) الأربعة وسيناريو التقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات A1B المستخدمة في تقرير التقييم الرابع (AR4). وتشمل المساهمات من الصفائح الجليدية المساهمات من التغير الديناميكي السريع في الصفحة الجليدية، وهي مبيّنة أيضاً بشكل منفصل. وقد عولجت المساهمات الدينامية السريعة للصفائح الجليدية وكذلك تخزين المياه الداخلية البشرية المنشأ على أنها توزيعات منتظمة للأرجحية، وعلى أنها مستقلة بشكل كبير عن السيناريو (باستثناء أنه يتم استخدام معدل تغير أعلى لتدفق الصفحة الجليدية في غرينلاند ضمن السيناريو RCP8.5). ولا تعني هذه المعالجة أن المساهمات المعنية لن تعتمد على السيناريو المتبع، بل تعني فقط أن حالة المعارف الحالية لا تسمح بإجراء تقييم كمي للاعتماد. انظر المناقشة الواردة في القسمين 13.5.1 و 13.5.3 والمواد التكميلية المتعلقة بالطرائق. واستناداً إلى الفهم الحالي وحده، فإن انهيار القطاعات البحرية في الصفحة الجليدية للمنطقة القطبية الجنوبية، إذا بدأ فإنه يمكن أن يتسبب في ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى البحر (GMSL) بشكل كبير فوق النطاق المرجح خلال القرن الحادي والعشرين. ولا يمكن إجراء تحديد كمي دقيق لهذه المساهمة الإضافية المحتملة، لكن هناك مستوى متوسطاً من الثقة في أنها لن تتجاوز بضعة أعشار من المتر خلال القرن الحادي والعشرين. (الشكل 13.10)

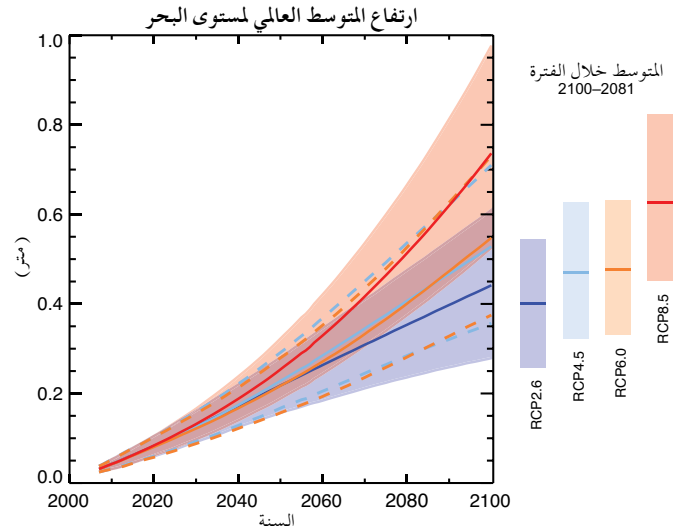
وسيستمر ارتفاع مستوى سطح البحر نتيجة للتمدد الحراري للمحيطات الذي سيستمر من مئات إلى آلاف السنين. فمقدار التمدد الحراري للمحيطات يزداد مع تزايد الاحترار العالمي (توفر النماذج نطاقاً يتراوح بين 0.2 و 0.6 م لكل درجة مئوية). وتنخفض مساهمة الأنهار الجليدية مع مرور الزمن مع انخفاض حجمها (حالياً نحو 0.43 م من مكافئ مستوى سطح البحر). وفي القارة القطبية الجنوبية، بعد العام 2100 ومع سيناريوهات الارتفاعات العالية في تركيز غازات الاحتباس الحراري، فإن الانصهار السطحي يمكن أن يزيد عن التراكم. {13.5.4، 13.5.2}

وتشير الأدلة المتوفرة إلى أن تجاوز الاحترار العالمي لعتبة معينة سيؤدي إلى فقدان شبه كامل للصفحة الجليدية في غرينلاند خلال ألف سنة أو أكثر، مما سيتسبب في ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) بنحو 7 أمتار. وتشير الدراسات المستندة إلى طوبوغرافيا ثابتة للصفحة الجليدية الحالية إلى أن العتبة أكبر من درجتين مؤويتين ولكنها أقل من 4 درجات مئوية للارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) بالنسبة لمستوى عصر ما قبل الصناعة (مستوى ثقة متوسط). أما الدراسة الوحيدة المستندة إلى صفحة جليدية ديناميكية فتشير إلى أن العتبة أكبر من درجة مئوية واحدة تقريباً (مستوى ثقة منخفض) من متوسط الاحترار العالمي في ما يتعلق بمستوى عصر ما قبل الصناعة. ونظراً لحالة عدم اليقين العلمي الحالية، يتعذر تحديد نطاق مرجح كمي. ومن الممكن تجنب فقدان الكامل للصفحة الجليدية لأن حدوث ذلك سيستغرق ألف سنة أو أكثر؛ وإذا ما انخفضت درجات الحرارة قبل زوال الصفحة الجليدية، فقد تنمو من جديد. لكن قد يكون جزء من فقدان الكتلة فقداناً غير عكوس بحسب مدة تجاوز العتبة ودرجتها، لأن الصفحة الجليدية قد تكون لها عدة حالات مستقرة نتيجة تفاعلها مع المناخ الإقليمي. {13.4.3، 13.5.4}

كما تشير المعلومات المتوفرة حالياً إلى أن المساهمة الدينامية للصفائح الجليدية ستستمر بعد العام 2100، لكن مستوى الثقة بالإسقاطات منخفض. وفي غرينلاند، يحد تدفق الجليد نتيجة التفاعل الذاتي للمحيط من تراجع حافة الصفحة الجليدية من الساحل إلى الداخل. وخلافاً لذلك، فإن تضاريس القاعدة الصخرية للقارة القطبية الجنوبية مكونة بطريقة قد تؤدي إلى تعزيز معدلات فقدان الكتلة مع تراجع الجليد. ويستند نحو 3.3 أمتار من مستوى البحر العالمي المكافئ للصفحة الجليدية في غرب القارة القطبية الجنوبية إلى مناطق ذات قاعدة صخرية منحدر، وقد تكون عرضة لفقدان محتمل للجليد من خلال عدم استقرار الصفحة الجليدية البحرية. ومن الممكن حدوث فقدان مفاجئ وسريع للجليد نتيجة عدم استقرار محتمل في القطاعات البحرية للصفحة الجليدية في القارة القطبية الجنوبية كاستجابة لتأثير المناخ، لكن الأدلة والفهم الحاليين غير كافيين لإجراء تقييم كمي. وبسبب سقوط الثلوج الضعيف نسبياً في المنطقة القطبية الجنوبية وحركة الجليد البطيئة داخلها، يتوقع أن تستغرق الصفحة الجليدية في غرب القارة القطبية الجنوبية بضعة آلاف من السنين على الأقل لتنمو من جديد، وإذا تمت إزالتها بواسطة التصريف الدينامي للجليد. وبالتالي، إذا حدث أي فقدان ملحوظ للجليد من غرب القارة القطبية الجنوبية خلال القرن التالي، فإنه لن يكون عكوساً على نطاق زمني بين مئات عديدة من السنين إلى آلاف السنوات. {13.4.3، 13.4.4، 13.5.4}

TS.5.7.3 إسقاطات تغير مستوى سطح البحر على الأصعدة الإقليمية

سيغير مستوى سطح البحر على الصعيد الإقليمي نتيجة للتغيرات الدينامية في الحركة الدورانية للمحيطات، وللتغيرات في المحتوى الحراري للمحيطات، وإعادة توزيع الكتلة في نظام الأرض بكامله والتغيرات في ضغط الغلاف الجوي. وينتج التغير الدينامي للمحيط من التغيرات في تأثير الرياح والطفو (الحرارة والمياه العذبة)، المقترنة بالتغيرات في الحركة الدورانية وإعادة توزيع الحرارة والمياه العذبة. ويتكيف مستوى سطح البحر على الصعيد الإقليمي، عبر النطاقات الزمنية التي تزيد عن بضعة أيام، مع التغيرات شبه التضاغية إلى الإقليمية في ضغط الغلاف الجوي عند



الشكل 5.7.2 | إسقاطات من النماذج القائمة على العمليات عن الارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) نسبة للفترة 1986-2005 لسيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP) الأربعة. تمثل الخطوط المتصلة الإسقاطات الوسطى، وتمثل الخطوط المتقطعة النطاقات المرجحة للسيناريو RCP4.5 والسيناريو RCP6.0، أما المناطق المظلمة فتمثل النطاقات المرجحة للسيناريو RCP2.6 والسيناريو RCP8.5. وتظهر متوسطات الوقت للفترة 2010-2100 كأعمدة قائمة ملونة. انظر القسمين 13.5.1 و 13.5.3 والمواد التكميلية المتعلقة بالطرائق. واستناداً إلى الفهم الحالي وحده، فإن انهيار القطاعات البحرية في الصفحة الجليدية للمنطقة القطبية الجنوبية، في حال بدأ، سيتسبب في حدوث ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى البحر (GMSL) بشكل كبير فوق النطاق المرجح خلال القرن الحادي والعشرين. ولا يمكن إجراء تحديد كمي دقيق لهذه المساهمة الإضافية المحتملة، لكن هناك مستوى متوسط من الثقة في أنها لن تتجاوز بضعة أعشار من المتر خلال القرن الحادي والعشرين. ويمكن الحصول على مزيد من التفاصيل بشأن الشكل SPM.9 في المواد التكميلية الخاصة بالملخص الفني (TS). {الجدول 13.5؛ الشكلان 13.10، 13.11}

في نطاق يتراوح بين 0.56 و 0.97 م، وتتسع معنياتها الخمسة والتسعون لغاية 1.2 م تقريباً. ويعني هذا الفرق ضمناً، إما أن هناك مساهمة ما، لم تقم النماذج القائمة على العمليات بتحديد ما حتى الآن أو أنها تقوم بالاستهانة بها، أو أن هناك مبالغة في تقدير إسقاطات النماذج شبه التجريبية. وإنشاء إسقاطات بواسطة نماذج شبه تجريبية يفترض أن تغير مستوى سطح البحر في المستقبل سيسير وفق العلاقة نفسها، التي كانت قائمة في الماضي بشأن التأثير الإشعاعي أو متوسط التغير العالمي في درجة الحرارة. وقد لا يظل ذلك صحيحاً إذا لم يحدث توسع مناسب في نطاق العمليات الفيزيائية اللاخطية المحتملة في المستقبل، بطرائق يمكن معايرتها من المناخ القديم. وليس هناك إجماع في الدوائر العلمية على موثوقية إسقاطات النماذج شبه التجريبية، كما يعد مستوى الثقة بها منخفضاً. {13.5.2، 13.5.3}

TS.5.7.2 إسقاطات التغير في المتوسط العالمي مستوى سطح البحر بعد العام 2100

يكاد يكون من المؤكد أن الارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL) سيستمر بعد العام 2100. فنتائج النماذج القليلة المتوفرة التي تتجاوز العام 2100 تشير إلى أن الارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر فوق مستوى فترة ما قبل الصناعة (المعروف هنا بأنه تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عند الاتزان البالغ 280 جزءاً في المليون) سيبلغ، بحلول العام 2300، أقل من متر واحد لتأثير إشعاعي مناظر لتركيزات ثاني أكسيد الكربون التي تبلغ ذروتها، ثم تنخفض وتبقى دون 500 جزء في المليون، كما في السيناريو RCP2.6. ولتأثير إشعاعي مناظر لتركيز ثاني أكسيد كربون الذي يزيد عن 700 جزء في المليون، ولكن دون 1500 جزء في المليون، كما في السيناريو RCP8.5، يبلغ الارتفاع المسقط متراً واحداً إلى أكثر من 3 أمتار (مستوى ثقة متوسط). {13.5.4}

وخلال الفترات العقدية، يمكن أن تختلف معدلات تغير مستوى سطح البحر النسبي الإقليمي، نتيجة لتقلبية المناخ، عن إجمالي المعدل العالمي بنسبة تفوق 100 % . {13.6.5}

TS.5.7.4 إسقاطات الظواهر المتطرفة في مستوى سطح البحر والأمواج خلال القرن الحادي والعشرين

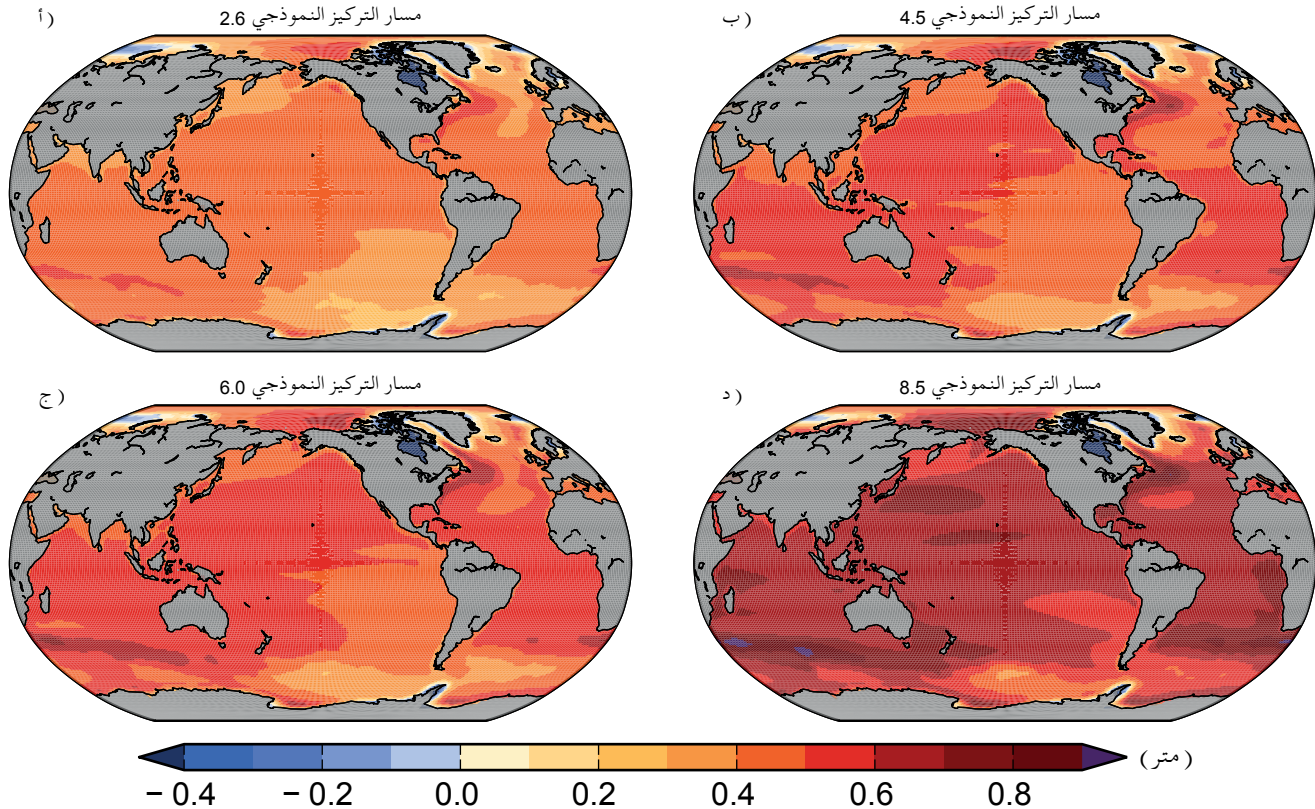
من المرجح بدرجة كبيرة حدوث ارتفاع ملحوظ في حدوث ظواهر متطرفة في المستقبل في مستوى البحر مع حلول نهاية القرن الحادي والعشرين، ومن المرجح كذلك حدوث زيادة بها في أوائل القرن الحادي والعشرين (انظر TFE.9، الجدول 1). وستنتج هذه الزيادة بشكل أساسي عن ارتفاع متوسط مستوى سطح البحر (مستوى ثقة مرتفع)، مع انخفاض فترات الارتداد المتطرفة بمقدار عشرة أمثال قيمتها على الأقل في بعض المناطق بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين. وهناك مستوى منخفض من الثقة في الإسقاطات بمنطقة للعواصف وعرام العواصف المقترنة بها. {13.7.2}

ومن المرجح (مستوى ثقة متوسط) أن يزيد المتوسط السنوي للارتفاع الكبير للأمواج في المحيط الجنوبي نتيجة لتزايد سرعات الرياح. ومن المرجح بدرجة كبيرة أن يؤثر الموج البعيد المنشأ في المحيط الجنوبي على ارتفاعات الأمواج وفتراتها واتجاهاتها في الأحواض المجاورة. ومن المرجح بدرجة كبيرة أيضا أن تزداد ارتفاعات الأمواج ومدة موسم الأمواج في أحواض المنطقة القطبية الشمالية نتيجة لانحسار رقعة الجليد البحري. وبشكل عام، هناك مستوى منخفض من الثقة في الإسقاطات الخاصة بمناطق معينة نظرا لتدني مستوى الثقة في إسقاطات العواصف المدارية والعواصف دون المدارية، وللتحدي المتعلق بخفض مقاييس حالات الرياح المستقبلية من نماذج المناخ ذات الاستبانة غير الدقيقة. {13.7.3}

مستوى سطح البحر نسبة لمتوسطه فوق المحيط. ويسبب كل من فقدان كتلة الصفائح الجليدية (المعاصر والماضي) والفقدان في كتلة الأنهار الجليدية والتغيرات في الهيدرولوجيا الأرضية إعادة توزيع كتلة الماء بين الغلاف الجليدي واليابسة والمحيطات، مما يؤدي إلى حدوث تغيرات إقليمية ملحوظة في الأرض الصلبة ودوران الأرض وحقل الجاذبية. وفي بعض المواقع الساحلية، يمكن أن تسيطر التغيرات في الدورة الهيدرولوجية وانخساف الأرض المقترن بالنشاط البشري، فضلا عن العمليات التكتونية والساحلية على تغير المستوى النسبي لسطح البحر، أي التغير في ارتفاع سطح البحر نسبة للأرض. {13.6.2، 13.6.3، 13.6.4}

وبحلول نهاية القرن الحادي والعشرين، سيكون لتغير مستوى سطح البحر نمطا إقليميا قويا يسيطر على التقلبية، ومن المرجح أن تشهد مناطق كثيرة انحرافات ملحوظة عن متوسط التغير العالمي (الشكل TS.23)؛ ومن المرجح بدرجة كبيرة أن يشهد نحو 95 % من المحيط ارتفاعا إقليميا في مستوى البحر النسبي، في الوقت الذي تشهد فيه معظم المناطق الجليدية الحالية والسابقة. وتنحرف التغيرات في مستوى سطح البحر على الأضعدة الإقليمية أكثر من 10 % و 25 % عن متوسط الإسقاط العالمي لما يصل إلى 30 % و 9 % من منطقة المحيط، على التوالي، مما يشير إلى أن التقلبات المكانية يمكن أن تكون كبيرة. وتبلغ التغيرات الإقليمية في مستوى سطح البحر قيما تصل لغاية 30 % فوق متوسط القيمة العالمي في المحيط الجنوبي وحول أمريكا الشمالية، وبين 10 % و 20 % في المناطق الاستوائية، ولغاية 50 % تحت المتوسط العالمي في المنطقة القطبية الشمالية وفي بعض المناطق القريبة من القارة القطبية الجنوبية. ومن المتوقع أن يشهد نحو 70 % من السواحل عالميا تغيرا في مستوى سطح البحر النسبي في حدود 20 % من تغير المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر (GMSL).

التغير النسبي في مستوى البحر للفترة 2081-2100 نسبة للفترة 1986-2005



الشكل TS.23 | متوسط الارتفاع النسبي الإقليمي الصافي لمستوى سطح البحر للمجموعة (بالمتر) محسوبا من نماذج المرحلة الخامسة من التجربة CMIP5 لمسارات التركيز النموذجية (أ) 2.6 (ب) 4.5 (ج) 6.0 (د) 8.5 بين الفترة 2005-1986 والفترة 2081-2100. وتتضمن كل خريطة تأثيرات أحمال الغلاف الجوي مضافا إليها جليد اليابسة وتكيف التضاعط الجليدي ومصادر المياه على اليابسة. {الشكل 13.20}

8. TFE | الأهداف المناخية والاستقرار المناخي

يرتبط مفهوم الاستقرار ارتباطاً وثيقاً بالهدف النهائي لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيير المناخ (UNFCCC)، وهو "تحقيق [...] استقرار تركيزات غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي عند مستوى يمنع التداخلات البشرية المنشأ الخطرة في نظام المناخ". وركزت المناقشات الأخيرة بشأن السياسات على وضع حدود لارتفاع درجات الحرارة العالمية، بدلاً من وضع حد لتركيزات غازات الاحتباس الحراري، كهدف مناخي في إطار أهداف اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيير المناخ (UNFCCC). وأكثر ما تمت مناقشته من أجل وضع حد لارتفاع درجات الحرارة نسبة لعصر ما قبل الثورة الصناعية هو أن تكون أقل من 2 درجة مئوية، كما اقترحت أيضاً أهداف تختلف قيمتها عن 2 درجة مئوية (مثلاً، إعادة الاحترار إلى أقل بكثير من 1.5 درجة مئوية من الاحترار العالمي نسبة لعصر ما قبل الثورة الصناعية، أو إعادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى أقل من 350 جزءاً في المليون). وتعني الأهداف المناخية بشكل عام تجنب حدوث احترار يتجاوز عتبة محددة مسبقاً. غير أن تأثيرات المناخ متنوعة جغرافياً وتختلف من قطاع إلى آخر، ولا يمكن لأي عتبة خاصة بالأهداف تحديد وقت الوصول إلى حد الخطر. فقد تتأخر بعض التغييرات أو تصبح غير عكوسة، وقد تكون بعض التأثيرات مفيدة. لذلك، من المتعذر إذاً تحديد عتبة واحدة دقيقة للأهداف من دون إصدار حكم شخصي على القيمة أو وضع افتراضات بشأن كيفية جمع التكاليف والفوائد الحالية والمستقبلية. كما أن عنصر التركيز المواضيعي (TFE) لا يؤيد أو يدافع عن أي عتبة أو هدف، كما أنه لا يحكم على الإمكانية الاقتصادية أو السياسية لمثل هذه الأهداف، بل يقيّمها على أساس الفهم السائد لتأثيرات المناخ ودورة الكربون التفاعلية، وإسقاطات المناخ باتباع مسارات التركيز النموذجية (RCP) في سياق الأهداف المناخية، وتأثيرات الأهداف المختلفة لتحقيق استقرار طويل الأمد لدرجات الحرارة المتعلقة بانبعاثات الكربون المسموح بها. ويتم تسليط الضوء لاحقاً على أن تحقيق استقرار درجات الحرارة لا يعني بالضرورة تحقيق استقرار نظام الأرض بكامله. {12.5.4}

تعني الأهداف المتعلقة بدرجات الحرارة حداً أقصى للتأثير الإشعاعي (RF) الإجمالي. والفروقات في التأثير الإشعاعي بين سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP) الأربعة صغيرة نسبياً لغاية العام 2030، ولكنها تزيد بدرجة كبيرة مع حلول نهاية القرن الحادي والعشرين، وسيطر عليها تأثير ثاني أكسيد الكربون. ومن ثم من المتوقع أن يستمر المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST) في الارتفاع، على المدى القريب، بمعدل مماثل لسيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP) الأربعة. وبحلول منتصف القرن الحادي والعشرين، سيزداد اعتماد معدل الاحترار العالمي على السيناريو. وبحلول نهاية القرن الحادي والعشرين، سيكون متوسط درجات الحرارة العالمية أعلى من الوقت الحالي في إطار جميع مسارات التركيز النموذجية (RCP)، علماً أن أعلى تغيير عالمي في درجات الحرارة (0.3 درجة مئوية لكل عقد) يبرز في أعلى سيناريو RCP8.5، أما أقل تغيير فيبرز في السيناريو RCP2.6، لا سيما بعد العام 2050 تقريباً عندما تستقر استجابة درجة الحرارة السطحية العالمية (ثم تنخفض بعد ذلك) (انظر الشكل TS.15). {12.4.1، 12.3.3، 11.3.1}

ثمة ترجيح يفوق عدم الترجيح في أن يتجاوز متوسط الاحترار السطحي العالمي، على المدى القريب (2016–2035)، درجة مئوية واحدة ومن غير المرجح بدرجة كبيرة أن يتجاوز 1.5 درجة مئوية من متوسط الفترة من 1850 إلى 1900 (بافتراض احترار يبلغ 0.61 درجة مئوية من الفترة 1850–1900 إلى الفترة 1986–2005) (مستوى ثقة متوسط). وبحلول نهاية القرن الحادي والعشرين (2081–2100)، من المرجح أن يتجاوز متوسط الاحترار السطحي العالمي، نسبة للفترة 1850–1900، 1.5 درجة مئوية للسيناريوهات RCP4.5 و RCP6.0 و RCP8.5 (مستوى ثقة مرتفع)، ومن المرجح أن يتجاوز 2 درجة مئوية للسيناريو RCP6.0 والسيناريو RCP8.5 (مستوى ثقة مرتفع). وثمة ترجيح يفوق عدم الترجيح في أن يتجاوز 2 درجة مئوية للسيناريو RCP4.5 (مستوى ثقة متوسط). وفي إطار السيناريو RCP2.6، من غير المرجح (مستوى ثقة متوسط) أن يتجاوز متوسط الاحترار السطحي العالمي 2 درجة مئوية. كما أن من غير المرجح أن يتجاوز متوسط الاحترار السطحي العالمي 4 درجات مئوية بحلول الفترة 2081–2100 في جميع مسارات التركيز النموذجية (مستوى ثقة مرتفع)، باستثناء السيناريو RCP8.5، حيث تتساوى فيه الأرجحية مع عدم الأرجحية تقريباً (مستوى ثقة متوسط). {12.4.1، 11.3.6، 12.3}

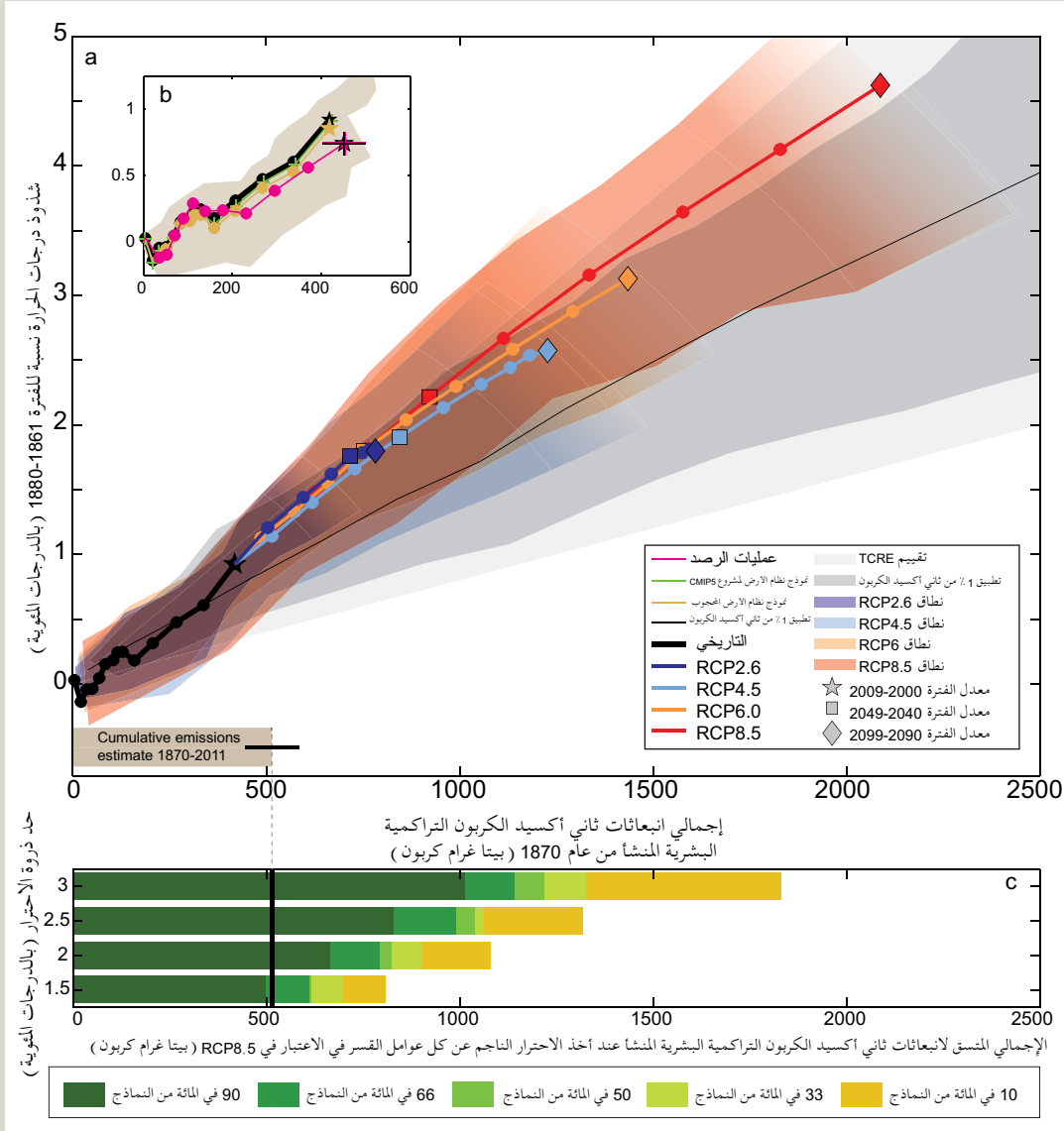
يؤدي استمرار انبعاثات غازات الاحتباس الحراري بعد العام 2100، كما في امتداد السيناريو RCP8.5، إلى تأثير إشعاعي إجمالي يتجاوز 12 واط/م² بحلول العام 2300، مع وصول معدل الاحترار العالمي إلى 7.8 [من 3.0 إلى 12.6] درجات مئوية للفترة 2281–2300 نسبة للفترة 1986–2005. وضمن امتداد السيناريو RCP4.5، حيث يتم الإبقاء على التأثير الإشعاعي ثابتاً (عند نحو 4.5 واط/م²) بعد العام 2100، يبلغ معدل الاحترار العالمي 2.5 [من 1.5 إلى 3.5] درجة مئوية. كما يبلغ الاحترار العالمي 0.6 [من 0.0 إلى 1.2] درجة مئوية ضمن امتداد السيناريو RCP2.6، حيث تؤدي الانبعاثات السلبية المستمرة إلى مزيد من الانخفاض في التأثير الإشعاعي، لتصل قيمته إلى أقل من التأثير الإشعاعي الحالي بحلول العام 2300. انظر أيضاً الإطار TS.7. {12.4.1، 12.3.1، 12.5.1}

يشكل إجمالي كمية ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ، والذي تم إطلاقه في الغلاف الجوي منذ عصر ما قبل الثورة الصناعية (غالباً ما يُسمى انبعاث الكربون التراكمي، على الرغم من أنه يُنطبق على ثاني أكسيد الكربون فقط) مؤشراً جيداً لتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وبالتالي للاستجابة للاحتترار العالمي. وتعتبر نسبة المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST) إلى إجمالي الانبعاثات التراكمية لثاني أكسيد الكربون البشرية المنشأ ثابتة نسبياً مع مرور الزمن، ومستقلة عن السيناريو. وتتيح هذه العلاقة شبه الخطية بين إجمالي الانبعاثات التراكمية لثاني أكسيد الكربون والتغير في درجات الحرارة العالمية إمكانية تعريف كمية جديدة، ألا وهي الاستجابة المناخية العابرة لانبعاث الكربون التراكمي (TCRE)، من قبيل المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية (GMST) العابر لكمية معينة من الانبعاثات التراكمية

لثاني أكسيد الكربون البشرية المنشأ، عادة 1000 بيتاغرام كربون (8. TFE، الشكل 1). وتعتمد الاستجابة المناخية العابرة لانبعاث الكربون التراكمي (TCRE) على النموذج، لكونها دالة للكسر المحمول جواً من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية وللإستجابة المناخية العابرة، وكلا الكميتين تختلفان بشكل كبير باختلاف النموذج. ومع مراعاة المعلومات المتوفرة من خطوط الأدلة المتعددة (الرصدات والنماذج وفهم العمليات)، يمكن القول أن العلاقة شبه الخطية بين الانبعاثات التراكمية لثاني أكسيد الكربون وذروة متوسط درجات الحرارة العالمية واضحة تماماً في الأعمال السابقة ورأسخة لإجمالي الانبعاثات التراكمية لثاني أكسيد الكربون حتى 2000 بيتاغرام كربون. وهي متسقة مع العلاقة التي يستدل عليها من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية السابقة والاحترار المرصود، ويدعمها فهم عملية دورة الكربون وتوازن الطاقة العالمية، وتبرز كنتيجة قوية من الهيكل الهرمي الكامل للنماذج. ويشير تقدير الخبراء المستند إلى الأدلة المتوفرة إلى أن من المرجح أن تكون الاستجابة المناخية العابرة لانبعاث الكربون التراكمي (TCRE) بين 0.8 درجة مئوية و2.5 درجة مئوية لكل 1000 بيتاغرام كربون، للانبعاثات التراكمية التي تقل عن نحو 2000 بيتاغرام كربون لغاية الوقت الذي تصل فيه درجة الحرارة إلى الذروة (8. TFE، الشكل 1). {6.4.3، 12.5.4؛ الإطار 12.2}

وتشير الإسقاطات إلى أن الاحترار الناجم عن ثاني أكسيد الكربون يظل ثابتاً تقريباً لعدة قرون بعد توقف الانبعاثات تماماً. ومن ثم، فإن جزءاً كبيراً من تغير المناخ يكون غير عكوس على النطاق الزمني البشري، وذلك ما لم تكن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية المنشأ سلبية بشدة لفترة زمنية طويلة. واستناداً إلى تقييم الاستجابة المناخية العابرة لانبعاث الكربون التراكمي (TCRE) (بافتراض توزيع عادي مع نطاق انحراف معياري $1 \pm$ يتراوح بين 0.8 و2.5 درجة مئوية لكل 1000 بيتاغرام كربون)، مع الحد من الاحترار الناجم عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية المنشأ وحده (أي بتجاهل التأثيرات الإشعاعية الأخرى) إلى ما دون 2 درجة مئوية منذ الفترة 1861-1880 مع أرجحية تبلغ 33% و50% و66%، يجب أن يكون إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من كل المصادر البشرية المنشأ أقل من ميزانية تراكمية تبلغ حوالي 1570 بيتاغرام كربون و1210 بيتاغرام كربون و1000 بيتاغرام كربون منذ العام 1870، على التوالي. لقد تم إطلاق كمية تبلغ 515 [من 445 إلى 585] بيتاغرام كربون بين العامين 1870 و2011 (8. TFE، الشكل 1أ، ب). ومن ثم، تعني انبعاثات أعلى في العقود السابقة انبعاثات أقل أو حتى سلبية بعد ذلك. كما أن مراعاة تأثيرات المكونات الأخرى غير ثاني أكسيد الكربون، التي تساهم في رفع الاحترار إلى ذروته، تعني انبعاثات تراكمية أقل لثاني أكسيد الكربون. ومكونات تأثير العناصر غير ثاني أكسيد الكربون مهمة، وتتطلب إما افتراضات بشأن كيفية ارتباط خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بالتغيرات في التأثيرات الأخرى، أو ميزانيات انبعاثات منفصلة ونمذجة المناخ للغازات قصيرة الأمد وطويلة الأمد. ولغاية الآن، لم تراعى دراسات عديدة تأثيرات العناصر غير ثاني أكسيد الكربون. أما الدراسات التي أخذتها بعين الاعتبار، فقد وجدت تأثيرات مهمة، لاسيما وجود احترار يبلغ بضعة أعشار درجة لانخفاضات مفاجئة في انبعاثات الأنواع القصيرة الأمد مثل الأهباء الجوية. وسيؤدي احتساب الإطلاق غير المتوقع لغازات الاحتباس الحراري من التربة الصقيعية أو هيدرات الميثان، والذي لم يتم تضمينه في الدراسات المقيّمة هنا، إلى خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية المنشأ المتوافقة مع هدف درجة حرارة معين. وستؤدي المطالبة بأرجحية أكبر لبقاء درجات الحرارة دون هدف دراجة حرارة معين إلى خفض الانبعاثات المتوافقة بشكل أكبر (8. TFE، الشكل 1ج). وعند احتساب تأثيرات المكونات غير ثاني أكسيد الكربون كما في سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP)، تنخفض انبعاثات الكربون المتوافقة منذ العام 1870 إلى نحو 900 بيتاغرام كربون و820 بيتاغرام كربون و790 بيتاغرام كربون للحد من الاحترار إلى أقل من 2 درجة مئوية منذ الفترة 1861-1880 مع أرجحية 33% و50% و66%، على التوالي. واستمدت هذه التقديرات عن طريق حساب الكسر الخاص بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) لنماذج نظام الأرض والنماذج ذات التعقيد المتوسط لنظام الأرض (EMIC)، التي تبقى عند أقل من 2 درجة مئوية لانبعاثات تراكمية معينة بحسب مسار التركيز النموذجي 8.5، على النحو المبين في الشكل 1ج. وتأثير المكونات غير ثاني أكسيد الكربون في مسار التركيز النموذجي 8.5 أعلى من تأثيرها في مسار التركيز النموذجي 2.6. ولأن جميع بيانات الأرجحية بلغة الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) التي تمت معايرتها تمثل فترة مفتوحة، فإن التقديرات المقدمة هي بالتالي اختيارات متحفظة ومتسقة وصالحة للتعبير عن تأثيرات المكونات غير ثاني أكسيد الكربون عبر جميع سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP). ولا يوجد سيناريو مسار تركيز نموذجي (RCP) يحد الاحترار عند 2 درجة مئوية مع نسب أرجحية 33% أو 50%، يمكن استخدامه للاستدلال على الانبعاثات التراكمية المتوافقة بصورة مباشرة. وللحصول على نسبة أرجحية 66%، يمكن استخدام السيناريو مسار التركيز النموذجي 2.6 لغرض المقارنة. جمع متوسط انبعاثات الكربون الناجم عن الوقود الأحفوري المحسوب قهقريا لسيناريو مسار التركيز النموذجي RCP2.6 بين العامين 2012 و2100 (270 بيتاغرام كربون) ومعدل التقدير التاريخي، البالغ 515 بيتاغرام كربون اللذين يبلغ مجموعهما 785 بيتاغرام كربون، أي 790 بيتاغرام كربون عند تقريبهما إلى أقرب 10 بيتاغرام كربون. ولأن التقدير البالغ 785 بيتاغرام كربون يستثني تقييماً صريحاً للانبعاثات الناجمة عن التغير في استخدام الأراضي في المستقبل، تبقى القيمة 790 بيتاغرام كربون تقديراً محافظاً يتسق مع تقييم الأرجحية الكلي. ونطاقات الانبعاثات لنسب الأرجحية الثلاث هذه، استناداً إلى سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP)، ضيقة نوعاً ما، لكونها تركز على سيناريو واحد وعلى عينة محدودة من النماذج المتاحة (8. TFE، الشكل 1ج). وخلافاً للاستجابة المناخية العابرة لانبعاث الكربون التراكمي (TCRE)، فإنها لا توفر معوقات الرصد ولا تأخذ بعين الاعتبار مصادر عدم اليقين التي لم تقم النماذج بأخذ عينة منها. ولا ينطبق مفهوم ميزانية محددة لثاني أكسيد الكربون التراكمي على 2 درجة مئوية فقط، ولكنه ينطبق على أي مستوى درجات حرارة تم دراسته بواسطة النماذج حتى الآن (لغاية 5 درجات مئوية تقريباً، انظر الشكلين 12.44 إلى 12.46). وستسمح أهداف درجات الحرارة الأعلى بميزانيات تراكمية أكبر، في حين سيتطلب هدف درجة الحرارة الأدنى ميزانيات تراكمية أقل (8. TFE، الشكل 1). {6.3.1، 12.5.2، 12.5.4}

لنظام المناخ نطاقات زمنية متعددة، تتراوح بين سنة والآف عديدة من السنين، وتقترب بمستودعات حرارية ومستودعات للكربون. وتؤدي النطاقات الزمنية الطويلة إلى احترار حتمي جارحاً. ولا يؤدي استقرار التأثير إلى استقرار فوري للاحترار. فبالنسبة لسيناريوهات مسارات



TFE، الشكل 8 | يرتفع متوسط درجات الحرارة العالمية منذ الفترة 1880-1861 كدالة لإجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية من خطوط أدلة مختلفة (أ). نتائج المتوسط العقدي عبر جميع النماذج المتوسطة التعقيد لنظام الأرض (EMIC) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) ونماذج نظام الأرض (ESMs) لكل مسار تركيز نمذجي (RCP) على التوالي، مبينة بخطوط ملونة (متوسط متعدد النماذج)، وعلامات عقدية (نقاط)، ولثلاثة عقود (2009-2020 و2049-2040 و2099-2090) مميزة بنجمة ومربع ومعين، على التوالي. وأخذت الفترة التاريخية لعاية العقد 2009-2020 من الاختبارات التاريخية للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) التي تم تمديدها بواسطة RCP8.5 للفترة 2010-2060، والمشار إليها بخط أسود عريض ورموز سوداء. وتعكس نطاقات الألوان اتساع النموذج (النطاق 90%) عبر جميع نماذج نظام الأرض (ESMs) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) والنماذج المتوسطة التعقيد لنظام الأرض (EMIC)، ولا تمثل تقييماً رسمياً لعدم اليقين. وتتم تعبئة المناطق مادامت هناك بيانات متوفرة لجميع النماذج، ولغاية بلوغ درجة الحرارة الذروة. وهي خافتة لأغراض توضيحية لاحقة. وتمثل محاكاة المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) لزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون بنسبة 1% في السنة بالمنطقة ذات اللون الرمادي الداكن (تعريف النطاق هنا مماثل لتعريفه المتعلق بمسارات التركيز النموذجية (RCP) أعلاه) والخط الأسود الرفيع (المعدل متعدد النماذج). ويمثل المخروط ذو اللون الرمادي الفاتح تقييم هذا التقرير للاستجابة المناخية العابرة للانبعاثات التراكمية (TCRE) لثاني أكسيد الكربون فقط. وتمثل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التاريخية والتراكمية المقدرة من العام 1870 إلى العام 2011 مع حالات عدم اليقين المقترنة بها بالعمود الرمادي أسفل الشكل (أ). (ب) مقارنة نتائج النماذج التاريخية بالرصداً. ويستند الخط الأرجواني ونطاقات عدم اليقين على الانبعاثات المرصودة التابعة لمركز تحليل معلومات غاز ثاني أكسيد الكربون (CDIAC)، وقد تم تمديدها بواسطة قيم مشروع الكربون العالمي لعاية العام 2010 وتقديرات درجات الحرارة الشبكية المرصودة لمجموعة البيانات 4 لدرجات الحرارة السطحية المعروضة لمركز هادلي / وحدة البحوث المناخية (HadCRUT4). وتستند حالات عدم اليقين في رصداً العقد الأخير على التقييم الوارد في هذا التقرير. الخط الأسود العريض مماثل للخط الوارد في (أ). ويشبه الخط الأخضر الرفيع المسقط عليه علامات تصالب الخط الأسود ولكن لنماذج نظام الأرض (ESMs) فقط. أما الخط والنطاق الأصفر - البني فيظهران نتائج نماذج نظام الأرض (ESMs) لعاية العام 2010، بعدما تم تصحيحها مع الزمن للتغطية الجغرافية غير الكاملة لدرجات حرارة المجموعة الشبكية 4 لمركز هادلي HadCRUT4. وقد تم توفير كل القيم نسبة للفترة المرجعية 1880-1861. واستنبطت جميع السلاسل الزمنية من معدلات عقدية لتوضيح اتجاهات التغيير الطويلة الأمد. وتجدر الإشارة إلى أن الرصداً معرضة أيضاً لتقلبية المناخ الداخلية، مما يضيف عدم يقين يبلغ نحو 0.1 درجة مئوية. (ج) انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية خلال كامل عصر الحقبة الصناعية، وهي متسقة مع أربع حدود توضيحية لدرجات الحرارة العالمية (1.5 و 2 و 2.5 درجة مئوية و 3 درجات مئوية، على التوالي) عند مراعاة الاحترار الناجم عن جميع عوامل التفسير. وتشير القضبان الأفقية إلى ميزانيات الانبعاثات التراكمية المستقرة كدالة لجزء من النماذج (نماذج نظام الأرض (ESMs) الخاصة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) والنماذج المتوسطة التعقيد لنظام الأرض (EMIC)) التي تتضمن الإبقاء على معدل الاحترار تحت حد معين لدرجة حرارة واحدة على الأقل. وتجدر الإشارة إلى أنه لا يمكن تفسير هذا الجزء من النماذج كأرجحية. ويتم استنباط الميزانيات من تجارب RCP8.5، مع تأثير نسبي مرتفع للمكونات غير ثاني أكسيد الكربون خلال القرن الحادي والعشرين. وفي حالة خفض العناصر غير ثاني أكسيد الكربون بشكل كبير، قد تكون انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتوافقة مع حد معين لدرجة الحرارة أعلى بقليل، ولكن فقط لدرجة محدودة جداً، كما هو مبين في الخطوط الملونة الأخرى في (أ)، والتي تفترض تأثيراً أقل بكثير للمكونات الأخرى غير ثاني أكسيد الكربون. ويمكن الحصول على مزيد من التفاصيل عن الشكل SPM.10 ذي الصلة في المواد التكميلية الخاصة بالملخص الفني (TS). {الشكل 12.45}

التركيز النموذجية (RCP) وامتداداتها لغاية العام 2300، ستكون نسبة الاحترار المحقق في وقت استقرار التأثير الإشعاعي 75% إلى 85% تقريباً من احترار التوازن. وبالنسبة لزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون من 1% إلى 2 أو 4 في المائة في السنة، والتأثير الثابت بعد ذلك، سيكون فيه جزء الاحترار المحقق في الوقت الذي يستقر فيه التأثير الإشعاعي أقل بكثير، نحو 40 إلى 70%، في الوقت الذي يتم فيه المحافظة على التأثير عند قيمة ثابتة. ونتيجة للنطاقات الزمنية الطويلة في المحيطات العميقة، لا يتحقق الاتزان الكامل إلا بعد مئات الآلاف من السنين. {12.5.4}

يشكل الالتزام بالانبعاثات السابقة احتراراً ثابتاً لمئات السنين، يستمر عند مستوى الاحترار الذي تم بلوغه عند توقف الانبعاثات تقريباً. ويعود السبب في استمرار الاحترار الناجم عن ثاني أكسيد الكربون، بعد توقف الانبعاثات إلى تعويض بين الاحترار الحتمي المتأخر الذي تم وصفه أعلاه والخفض البطيء لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، الناجم عن امتصاص المحيط واليابسة للكربون. وينتج استمرار الاحترار هذا أيضاً عن اعتماد التأثير الإشعاعي اللاخطي على ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، ولكون الانخفاض النسبي للتأثير أقل من الانخفاض النسبي لتركيز ثاني أكسيد الكربون. وبالنسبة إلى حساسيات المناخ العالية، ولإسيما إذا تمت إزالة أهباء الكبريتات في نفس وقت إزالة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، يمكن أن يكون الالتزام من الانبعاثات السابقة إيجابياً بشدة، ويأتي كإضافة لاستجابة سريعة لانبعاثات الأهباء الجوية المخفضة واستجابة بطيئة لثاني أكسيد الكربون المخفض. {12.5.4}

وتحقيق استقرار درجة الحرارة العالمية لا يعني استقراراً لكل جوانب نظام المناخ. فالعمليات المتصلة بتغير الغطاء النباتي، والتغيرات في الصفائح الجليدية واحترار المحيطات العميقة، وما يصاحب ذلك من ارتفاع مستوى البحر، فضلاً عن ربط التأثيرات التفاعلية المحتملة للمحيط والصفائح الجليدية، مثلاً، وهما عنصران لهما نطاقاتهما الزمنية الطويلة والمتصلة الخاصة بهما. ومن المرجح بدرجة كبيرة أن يستمر تحمض المحيط في المستقبل مادامت المحيطات ستستمر في امتصاص ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. وستبرز التغيرات الحتمية في دورة كربون النظام الإيكولوجية لليابسة بدرجة أكبر بعد نهاية القرن الحادي والعشرين. ويكاد يكون من المؤكد أن الارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر سيستمر بعد العام 2100، مع استمرار ارتفاع مستوى سطح البحر لمئات وآلاف السنين نتيجة للتمدد الحراري. ويعتمد الارتفاع في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر على مسار انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، وليس فقط على الإجمالي التراكمي؛ ويؤدي التعجيل بخفض الانبعاثات لنفس القيمة الإجمالية المتراكمة إلى تخفيف أكبر لارتفاع مستوى سطح البحر. {6.4.4، 12.5.4، 13.5.4}

هناك مستوى متوسط من الثقة بأن إجمالي كمية الأمطار المقترن بالرياح الموسمية الآسيوية – الأسترالية سيزداد ولكن بلا تماثل شمالي – جنوبي: فمن المتوقع أن يزيد سقوط أمطار الرياح الموسمية الهندية، في حين أن التغيرات المسقط في سقوط أمطار الرياح الموسمية الأسترالية في الصيف صغيرة. وهناك مستوى متوسط من الثقة أيضاً بأن حركة دوران الرياح الموسمية الهندية في الصيف ستضعف، ولكن سيُعوّض عن ذلك ارتفاع في نسبة الرطوبة في الغلاف الجوي، مما سيؤدي إلى تزايد سقوط الأمطار. أما بالنسبة للرياح الموسمية لشرق آسيا في الصيف، فمن المتوقع أن تؤدي إلى زيادة كل من حركة دوران الرياح الموسمية وسقوط الأمطار. {14.8.13، 14.8.11، 14.8.9، 14.2.2}

وهناك مستوى منخفض من الثقة بإسقاطات التغيرات في الأمطار الموسمية في أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية، غير أن هناك مستوى متوسط من الثقة بأن الرياح الموسمية في أمريكا الشمالية ستصل متأخرة وتستمر لوقت متأخر في الدورة السنوية، ومستوى مرتفعاً من الثقة بتوسع منطقة الرياح الموسمية في أمريكا الجنوبية. {14.8.5-14.8.3، 14.2.3}

هناك مستوى منخفض من الثقة بإسقاطات تأخر ضعيف في موعد وصول موسم الأمطار في غرب أفريقيا، مع تزايد شدة الأمطار في أواخر الموسم. وتشير المهارات المحدودة لمحاكاة النماذج الخاصة بالمنطقة إلى انخفاض مستوى الثقة بالإسقاطات. {14.8.7، 14.2.4}

TS.5.8.2 الظواهر المدارية

يختلف تغير كمية الأمطار باختلاف المكان، فيزيد في بعض المناطق وينخفض في بعضها الآخر. ومن المرجح أن التوزيع المكاني للتغيرات في سقوط الأمطار المدارية يتشكل بواسطة المناخ وتمط احترار المحيط الحاليين. يعمل التأثير الأول على زيادة سقوط الأمطار بالقرب من المناطق الممطرة حالياً، ويعمل التأثير الثاني على زيادة سقوط الأمطار في الأماكن التي يتجاوز فيها احترار المحيط المتوسط المداري. وهناك مستوى متوسط من

TS.5.8 ظواهر المناخ وتغير المناخ على الصعيد الإقليمي

يقم هذا القسم التغيرات المسقط على مدى القرن الحادي والعشرين لطائفة عريضة من ظواهر المناخ الواسعة النطاق التي تؤثر على المناخ على الصعيد الإقليمي (الجدول TS.2). وبعض هذه الظواهر معرفة في علم المناخ (مثل، الرياح الموسمية)، وبعضها معرف في إطار التقليدية فيما بين السنوات (مثل، ظاهرة النينو)، وتؤثر هذه الأخيرة على ظواهر المناخ المتطرفة مثل الفيضانات وحالات الجفاف وموجات الحر. ويرد هنا أيضاً تلخيص للتغيرات في إحصاءات ظواهر الطقس مثل الأعاصير المدارية والعواصف دون المدارية. {14.8}

TS.5.8.1 نظم الرياح الموسمية

من المرجح أن تزداد المقاييس العالمية للرياح الموسمية بحسب المنطقة وكمية الأمطار الصيفية خلال القرن الحادي والعشرين، وأن تضعف في الوقت نفسه حركة دوران الرياح الموسمية. ومن المرجح أن تبدأ تواريخ الرياح الموسمية في وقت أبكر أو لا تتغير كثيراً، ومن المرجح أيضاً أن تتأخر تواريخ نهاية الرياح الموسمية، وسيؤدي ذلك إلى إطالة فترة موسم الرياح الموسمية في مناطق عديدة (الشكل TS.24). ويكون ارتفاع متوسط كمية الأمطار الموسمية أكثر وضوحاً في الرياح الموسمية الصيفية الآسيوية الشرقية والجنوبية، في حين أن التغير في مناطق الرياح الموسمية الأخرى يكتنفه قدر أكبر من أوجه عدم اليقين. {14.2.1}

وهناك مستوى متوسط من الثقة بأن تقليص سقوط الأمطار فيما بين السنوات، المتصلة بالرياح الموسمية، ستزداد في المستقبل. كما أن الزيادات المستقبلية في ظواهر كميات الأمطار المتطرفة، المتصلة بالرياح الموسمية مرجحة بدرجة كبيرة في أمريكا الجنوبية وأفريقيا وشرق آسيا وجنوب آسيا وجنوب شرق آسيا وأستراليا. {14.2.1، 14.8.5، 14.8.7، 14.8.9، 14.8.11-14.8.13}

الجدول TS.2 | نظرة عامة على التغيرات الإقليمية المسقطه وعلاقتها بظواهر المناخ الرئيسية. وتعد أي ظاهرة مهمة عندما يكون هناك ثقة كافية بأنها تؤثر على المنطقة المعنية، وعندما يكون هناك ثقة كافية بأن الظاهرة ستتغير، لاسيما ضمن السيناريو RCP4.5 أو سيناريوهات أكثر تقدماً. للحصول على تقييم كامل لمستوى الثقة بهذه التغيرات، وصلتها بالمناخ الإقليمي، انظر القسم 14.8 والجدولين 14.2 و 14.3. {14.8}، {14.3}، {14.2}، {14.3}

التغيرات الرئيسية المسقطه وعلاقتها بالظواهر	المناطق
تغيرات شتوية في درجة الحرارة وكمية الأمطار ناتجة عن الزيادة الضعيفة المسقطه في تذبذب شمال المحيط الأطلسي (NAO)؛ زيادة الاحترار وانصهار الجليد البحري؛ ارتفاع ملحوظ في كمية الأمطار بحلول منتصف القرن ويعود ذلك أساساً إلى ارتفاع كمية الأمطار المصاحبة للأعاصير دون المدارية.	المنطقة القطبية الشمالية {14.8.2}
تأخر سقوط الأمطار الموسمية في الدورة السنوية؛ سيؤدي ازدياد كمية الأمطار في الأعاصير دون المدارية إلى حدوث زيادات كبيرة في كمية الأمطار الشتوية فوق ثلث القارة الشمالي؛ ستزداد كمية الأمطار المتطرفة في الأعاصير المدارية، مما سيتسبب في وصول الأعاصير إلى البر على طول الساحل الغربي للولايات المتحدة والمكسيك وخليج المكسيك والساحل الشرقي للولايات المتحدة وكندا.	أمريكا الشمالية {14.8.3}
انخفاض مسقط في متوسط كمية الأمطار وزيادة في الأمطار المتطرفة؛ أمطار أكثر تطرفاً في الأعاصير المدارية، مما سيتسبب في وصول الأعاصير إلى البر على طول السواحل الشرقية والغربية.	أمريكا الوسطى ومنطقة الكاريبي {14.8.4}
يتسبب تحرك منطقة الالتقاء في جنوب المحيط الأطلسي جنوباً في حدوث زيادات في كمية الأمطار في المنطقة الجنوبية الشرقية؛ يؤدي اتجاه إيجابي في النمط الحلقي الجنوبي إلى إزاحة مسار العواصف خارج المدارين جنوباً، فتتخفف كمية الأمطار في وسط شيلي وتزداد في الطرف الجنوبي لأمريكا الجنوبية.	أمريكا الجنوبية {14.8.5}
زيادة الأمطار المتطرفة المصاحبة للعواصف وانخفاض تواتر الأمطار المصاحبة للعواصف في شرق منطقة البحر الأبيض المتوسط.	أوروبا ومنطقة البحر الأبيض المتوسط {14.8.6}
ارتفاع كميات الأمطار المصاحبة للرياح الموسمية الصيفية في غرب أفريقيا؛ ازدياد الأمطار القصيرة في شرق أفريقيا بسبب نمط احترار المحيط الهندي؛ ازدياد الأمطار المتطرفة المصاحبة لوصول الأعاصير إلى البر على الساحل الشرقي (بما في ذلك مدغشقر).	أفريقيا {14.8.7}
ازدياد كمية الأمطار الصيفية؛ وارتفاع الاحترار الشتوي فوق شمال آسيا.	آسيا الوسطى والشمالية {14.8.8}
زيادة الرياح الموسمية الصيفية الممطرة؛ ازدياد الأمطار المتطرفة المصاحبة لوصول الأعاصير إلى البر على الساحل؛ انخفاض خمود الأعاصير دون المدارية في منتصف الشتاء.	شرق آسيا {14.8.9}
ازدياد الأمطار المتطرفة المصاحبة لوصول الأعاصير إلى البر في شبه الجزيرة العربية؛ وانخفاض كمية الأمطار في شمال غرب آسيا بسبب تحرك مسارات العواصف دون المدارية صوب الشمال.	غرب آسيا {14.8.10}
ارتفاع الرياح الموسمية الصيفية الممطرة؛ وازدياد الأمطار المتطرفة المصاحبة لوصول الأعاصير إلى البر على سواحل خليج البنغال وبحر العرب.	جنوب آسيا {14.8.11}
انخفاض كمية الأمطار في إندونيسيا بين شهري تموز / يوليو وتشيرين الأول / أكتوبر بسبب نمط احترار المحيط الهندي؛ وازدياد الأمطار المتطرفة المصاحبة لوصول الأعاصير إلى البر على سواحل بحر الصين الجنوبي وخليج تايلند وبحر أندمان.	جنوب شرق آسيا {14.8.12}
قد تزداد الرياح الموسمية الصيفية الممطرة فوق شمال أستراليا؛ وقد تؤدي الأحداث الأكثر تواتراً في منطقة الالتقاء في جنوب المحيط الهادئ النطاقية إلى خفض كمية الأمطار في شمال شرق أستراليا؛ وارتفاع الاحترار وانخفاض كمية الأمطار في نيوزيلندا وجنوب أستراليا بسبب الاتجاه الإيجابي المسقط في النمط الحلقي الجنوبي؛ وازدياد ظواهر الأمطار المتطرفة المصاحبة للعواصف المدارية والأعاصير دون المدارية	أستراليا ونيوزيلندا {14.8.13}
تؤثر التغيرات في منطقة الالتقاء المدارية على سقوط الأمطار وظواهره المتطرفة؛ أمطار أكثر تطرفاً مقترنة بأعاصير مدارية	جزر المحيط الهادئ {14.8.14}
ارتفاع الاحترار فوق شبه الجزيرة القطبية الجنوبية وغرب المنطقة القطبية الجنوبية المتعلق بالاتجاه الإيجابي في النمط الحلقي الجنوبي؛ وازدياد كمية الأمطار في المناطق الساحلية بسبب تحرك مسار العواصف صوب القطب.	المنطقة القطبية الجنوبية {14.8.15}

الثقة بأن الإسقاطات المتعلقة بكمية الأمطار المدارية تكون أكثر موثوقة لتغيرات المتوسط الموسمي منها للمتوسط السنوي. {7.6.2}، {12.4.5}، {14.3.1}

وهناك مستوى متوس من الثقة بالزيادة المستقبلية لمتوسط كمية الأمطار الموسمية في الجانب الاستوائي لمنطقة الالتقاء المدارية وبتخفيض في كمية الأمطار في المناطق شبه المدارية، بما في ذلك أجزاء من أمريكا الشمالية والوسطى ومنطقة الكاريبي وأمريكا الجنوبية وأفريقيا وغرب آسيا.

وهناك مستوى متوس من الثقة بالزيادة المستقبلية لمتوسط كمية الأمطار الموسمية في الجانب الاستوائي لمنطقة الالتقاء المدارية وبتخفيض في كمية الأمطار في المناطق شبه المدارية، بما في ذلك أجزاء من أمريكا الشمالية والوسطى ومنطقة الكاريبي وأمريكا الجنوبية وأفريقيا وغرب آسيا.

وهناك مستوى منخفض من الثقة بالإسقاطات المتعلقة بالمنطقة المدارية للمحيط الأطلسي لكل من المتوسط والأنماط فيما بين السنوات، بسبب أخطاء كبيرة في المحاكاة بالنماذج في المنطقة. ولذا، فإن مستوى الثقة منخفض في الإسقاطات المستقبلية للأعاصير الأطلسية والمناطق المدارية في جنوب أمريكا وغرب أفريقيا. {14.3.4}، {14.6.1}، {14.8.5}، {14.8.7}

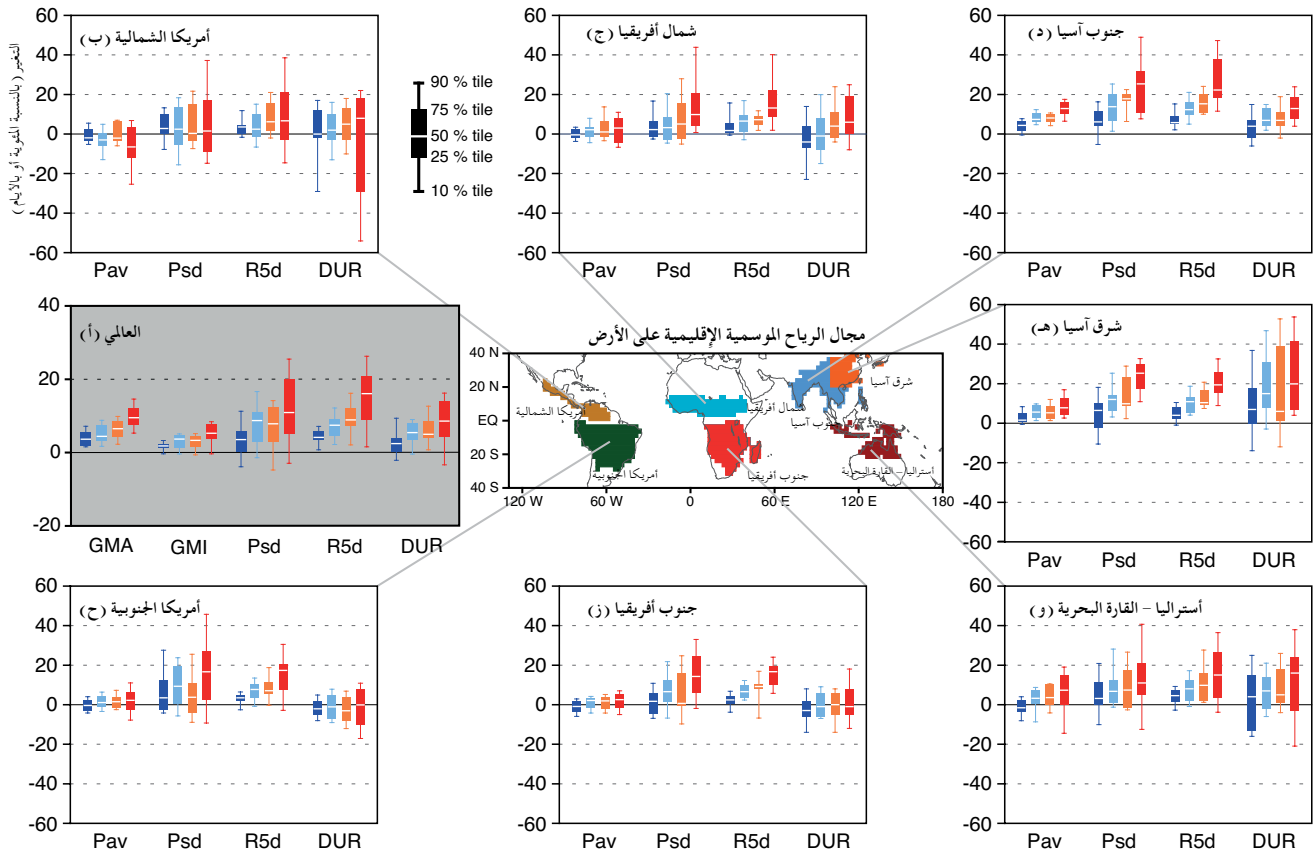
وهناك مستوى متوس من الثقة بحدوث زيادة في ظواهر منطقة الالتقاء في جنوب المحيط الهادئ الموجهة نطاقياً فيما بين السنوات، الأمر الذي يحتمل أن يؤدي إلى حالات جفاف أكثر تواتراً في جنوب غرب المحيط الهادئ. وهناك مستوى متوس من الثقة كذلك بأن منطقة الالتقاء في جنوب المحيط الأطلسي ستتحرك صوب الجنوب، مما سيؤدي إلى زيادة كمية الأمطار فوق جنوب شرق أمريكا الجنوبية، وإلى انخفاضها في شمال منطقة الالتقاء مباشرة. {14.3.1}، {14.8.3}–{14.8.5}، {14.8.7}، {14.8.11}

وهناك مستوى متوس من الثقة بحدوث زيادة في ظواهر منطقة الالتقاء في جنوب المحيط الهادئ الموجهة نطاقياً فيما بين السنوات، الأمر الذي يحتمل أن يؤدي إلى حالات جفاف أكثر تواتراً في جنوب غرب المحيط الهادئ. وهناك مستوى متوس من الثقة كذلك بأن منطقة الالتقاء في جنوب المحيط الأطلسي ستتحرك صوب الجنوب، مما سيؤدي إلى زيادة كمية الأمطار فوق جنوب شرق أمريكا الجنوبية، وإلى انخفاضها في شمال منطقة الالتقاء مباشرة. {14.3.1}، {14.8.3}–{14.8.5}، {14.8.7}، {14.8.11}

TS.5.8.3 ظاهرة النينو / التذبذب الجنوبي

هناك مستوى عال من الثقة بأن ظاهرة النينو / التذبذب الجنوبي (ENSO) ستبقى النمط المسيطر لتقلبية المناخ الطبيعية في القرن الحادي والعشرين، مع حدوث تأثيرات عملية في القرن الحادي والعشرين، وبأنه من المرجح

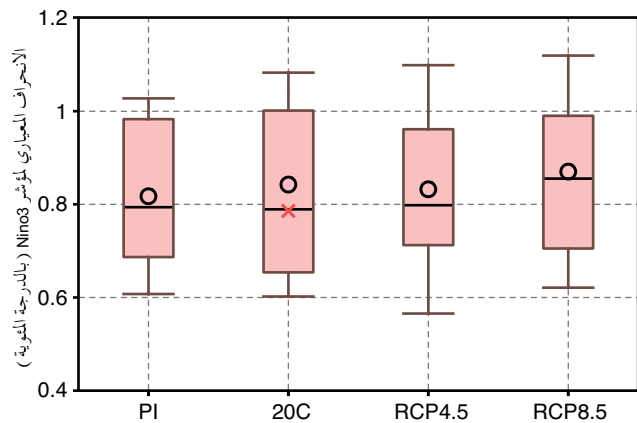
ومن المرجح أن يظهر المحيط الهندي في المنطقة المدارية نمطاً نطاقياً مع احترار منخفض وانخفاض في سقوط الأمطار في الشرق (بما في ذلك إندونيسيا)، وارتفاع الاحترار وازدياد سقوط الأمطار في الغرب (بما في ذلك شرق أفريقيا). ومن المرجح بدرجة كبيرة أن يبقى نمط المنطقة



الشكل 24. TS | التغير المستقبلي في إحصاءات الرياح الموسمية بين الفترة الحالية (1986-2005) والفترة المستقبلية (2080-2099)، استناداً إلى مجموعة المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) من المحاكاة بالسيناريو RCP2.6 (اللون الأزرق الداكن؛ 18 نموذجاً) والسيناريو RCP4.5 (اللون الأزرق؛ 24 نموذجاً) و RCP6.0 (اللون الأصفر؛ 14 نموذجاً) والسيناريو RCP8.5 (اللون الأحمر؛ 26 نموذجاً). (أ) على الصعيد العالمي: منطقة الرياح الموسمية العالمية (GMA)، شدة الرياح الموسمية العالمية (GMI)، الانحراف المعياري للتقلبية بين السنوات في كمية الأمطار الموسمية (Psd)، إجمالي كمية الأمطار الموسمية القصوى لمدة 5 أيام (R5d) ومدة موسم الرياح الموسمية (DUR). مجالات الرياح الموسمية الإقليمية على اليابسة المحددة بمتوسط كمية الأمطار للمناخ المتعددة البالغ عددها 24 نموذجاً في الفترة الحالية. (ب) - (ح) التغير المستقبلي في إحصاءات الرياح الموسمية الإقليمية على اليابسة: متوسط كمية الأمطار الموسمية (Pav) و Psd و R5d و DUR في (ب) أمريكا الشمالية (NAMS) و (ج) شمال أفريقيا (NAF) و (د) جنوب آسيا (SAS) و (هـ) شرق آسيا (EAS) و (و) أستراليا - القارية البحرية (AUSMC) و (ز) جنوب أفريقيا (SAF) و (ح) أمريكا الجنوبية (SAMS). الوحدات المستخدمة هي النسب المئوية باستثناء قيم DUR (بالأيام). وتبين النقاط المثلثة بالمربعات والسنابل المثلثة العشار والخامس والعشرين والخمسين والستين والتسعين. وقد حسبت جميع المعاملات لموسم الصيف (من أيار/مايو إلى أيلول/سبتمبر لنصف الكرة الشمالي، ومن تشرين الثاني/نوفمبر إلى آذار/مارس لنصف الكرة الجنوبي) عبر مجالات الرياح الموسمية الخاصة بكل نموذج. {الأشكال 14.3، 14.4، 14.6، 14.7}

أن تقوى تقلبية سقوط الأمطار الإقليمية الناتجة عنها. فالتقلبات الطبيعية لمدى اتساع ظاهرة النينو/التذبذب الجنوبي (ENSO) وتمطها المكاني كبيرة لدرجة أن مستوى الثقة بأي تغير مُسقط للقرن الحادي والعشرين يبقى متدنياً. والتغير المسقط في مدى سعة ظاهرة النينو صغير لكل من السيناريو RCP4.5 والسيناريو RCP8.5 مقارنةً باتساع التغير بين النماذج (الشكل TS.25). ومن المرجح، فوق شمال المحيط الأطلسي وأمريكا الشمالية، أن تنتقل أنماط حالات شذوذ درجات الحرارة وكمية الأمطار المتصلة بظاهرتي النينو ولاينيا (الاتصالات عن بُعد) صوب الشرق في المستقبل (مستوى ثقة متوسط)، في حين أن مستوى الثقة متدن بتغيرات تأثيرات المناخ على مناطق أخرى، بما في ذلك أمريكا الوسطى وأمريكا الجنوبية ومنطقة الكاريبي ومعظم أجزاء آسيا وأستراليا ومعظم أجزاء جزر المحيط الهادئ. وفي مناخ أكثر احتراراً، يؤدي ارتفاع الرطوبة في الغلاف الجوي إلى زيادة قوة تقلبية كمية الأمطار المؤقتة، حتى لو بقيت تقلبية حركة الدوران في الغلاف الجوي على ما هي عليه.

ينطبق ذلك على تقلبية كمية الأمطار الناجمة عن ظاهرة النينو/التذبذب الجنوبي (ENSO)، لكن إمكانية التغيرات في الاتصالات عن بعد الخاصة بظاهرة النينو/التذبذب الجنوبي (ENSO) تعقد هذا الاستنتاج العام، وتجعله معتمداً إلى حد ما على الظروف الإقليمية. {14.8.3-14.8.5، 14.8.7، 14.8.9، 14.8.11، 14.8.14}



الشكل 25. TS | الانحراف المعياري في المجموعات المتعددة النماذج للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) لتقلبية درجات حرارة سطح البحر فوق المنطقة المدارية في غرب المحيط الأطلسي (منطقة النينو 3.5: درجات جنوباً إلى 5 درجات شمالاً، و 150 درجة غرباً إلى 90 درجة غرباً)، كمقياس لسعة ظاهرة النينو، لمراقبة فترة ما قبل الثورة الصناعية (PI) ومحاكاة القرن العشرين (C20)، وإسقاطات القرن الحادي والعشرين باستخدام السيناريو RCP4.5 والسيناريو RCP8.5. وتمثل الدوائر الخالية متوسطات المجموعة متعددة النماذج، وتمثل علامة التصالب الحمراء الانحراف المعياري المرصود للقرن العشرين. وتبين النقاط المثلثة بالمربعات والسنابل المثلثة السادسة عشر والخامس والعشرين والخمسين والستين والتسعين والرابع والثمانين. (الشكل 14.14)

TS.5.8.4 الأعاصير

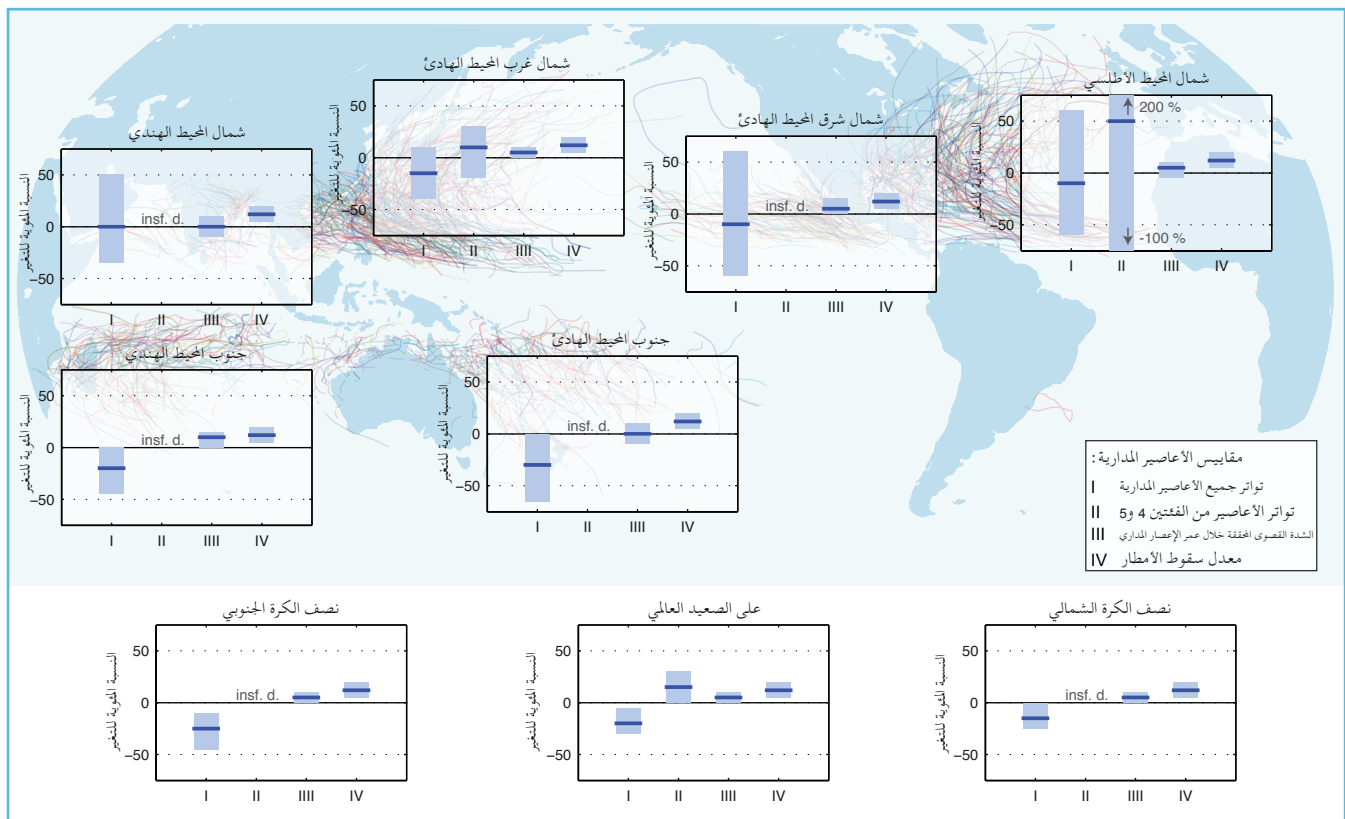
بين السنوات والتقلبات الملحوظة بين النماذج. ومن المرجح حدوث تحول صغير صوب القطبين في مسار العواصف في نصف الكرة الجنوبي، ولكن مقدار هذا التغيير يعتمد على النموذج. ومن غير المرجح أن تكون استجابة مسار عواصف شمال الأطلسي في إسقاطات المناخ تحركاً بسيطاً صوب القطبين. وهناك مستوى متوسط من الثقة في حدوث تحول مُسقط صوب القطبين في مسار عواصف شمال المحيط الهادئ. وهناك أيضاً مستوى منخفض من الثقة بتأثير تغيرات مسارات العواصف على المناخ الإقليمي على سطح الأرض. يؤدي تزايد كمية الأمطار في الأعاصير دون المدارية إلى ارتفاع كمية الأمطار الشتوية في المنطقة القطبية الشمالية، وشمال أوروبا، وأمريكا الشمالية، ومنطقة نصف الكرة الجنوبي ذات خطوط العرض المتوسطة إلى المرتفعة. {11.3.2، 12.4.4، 14.6.2، 14.8.2، 14.8.3، 14.8.5، 14.8.6، 14.8.13، 14.8.15}

TS.5.8.5 الأنماط السنوية وثنائية القطبية للتقلبية

من المرجح بدرجة كبيرة أن يظهر تذبذب شمال المحيط الأطلسي (NAO) في وقت الشتاء الشمالي في المستقبل تقلبات طبيعية كبيرة، كما أظهر الرصد في الماضي. ومن المرجح أن يصبح تذبذب شمال المحيط الأطلسي (NAO) أكثر إيجابية بقليل (بشكل عام)، مع بعض التأثيرات، غير

تشير الإسقاطات المتعلقة بالقرن الحادي والعشرين إلى أن من المرجح أن تقل وتيرة الأعاصير المدارية على الصعيد العالمي أو إلى بقائها أساساً دون تغيير، وإلى أن ذلك سيتزامن مع ارتفاع مرجح في كل من المتوسط العالمي للسرعة القصوى لرياح الأعاصير المدارية ومعدلات سقوط الأمطار (الشكل TS.26). ومن المرجح أن يختلف تأثير تغير المناخ في المستقبل على الأعاصير المدارية بحسب المنطقة، ولكن هناك مستوى متدن من الثقة بالإسقاطات الخاصة بمناطق معينة. ومن المرجح بدرجة أكبر أن تزداد وتيرة أكثر العواصف شدة في بعض الأحواض. ومن المتوقع حدوث المزيد من ظواهر الأمطار المتطرفة بالقرب من مراكز الأعاصير المدارية التي تصل إلى البر في أمريكا الشمالية وأمريكا الوسطى وشرق أفريقيا وغرب آسيا وشرقها وجنوبها وجنوب شرقها، كما يصدق هذا على أستراليا وجزر عديدة في المحيط الهادئ (مستوى الثقة متوسط). {14.6.1، 14.8.3، 14.8.7، 14.8.9، 14.8.14}

ومن غير المرجح أن ينخفض عدد الأعاصير دون المدارية على الصعيد العالمي بمعدل أكبر من نسبة مئوية صغيرة، ومن المرجح أن تكون التغيرات المستقبلية في العواصف صغيرة مقارنة بالتقلبية الطبيعية فيما



الشكل TS.26 | التغيرات المُسقطّة في إحصاءات الأعاصير المدارية. تمثل جميع القيم التغير المتوقع في النسبة المئوية للمتوسط خلال الفترة 2081–2100 نسبة للفترة 2000–2019، ضمن سيناريو شبيه بالسيناريو A1B، استناداً إلى تقدير الخبراء بعد التوحيد الموضوعي لإسقاطات النماذج. وقد تم النظر في أربعة مقاييس: النسبة المئوية للتغير في أولاً) إجمالي التواتر السنوي للأعاصير المدارية، ثانياً) التواتر السنوي للأعاصير من الفئتين 4 و 5، ثالثاً) متوسط عمر الشدة القصوى (LMI)؛ الشدة القصوى المحققة خلال عمر عاصفة) رابعاً) معدل كمية الأمطار ضمن 200 كم من مركز العاصفة في وقت عمر الشدة القصوى (LMI). ولكل مقياس مُدرج، يشكل الخط الأزرق المتصل أفضل تقدير للنسبة المئوية للتغير المتوقع، ويوفر العمود الملون معدل الثقة (المرجح)، والذي يبلغ 67%، من هذه القيمة (تجدد الإشارة إلى أن هذا المعدل يتراوح بين 100% و 200% للتواتر السنوي للعواصف من الفئتين 4 و 5 في شمال المحيط الأطلسي). عندما يكون المقياس غير مدرج، لا تكون البيانات المتوفرة (المثلة بالرمز X) كافية لإكمال التقييم. وتعرض المجموعة المرسومة (والملوّنة) بشكل عشوائي من مسارات العواصف التاريخية للتعرف على مناطق نشاط الأعاصير المدارية. لمزيد من التفاصيل، انظر القسم 14.6.1. {14.6.1}

التذبذبات الطبيعية في التذبذب المتعدد العقود في المحيط الأطلسي (AMO)، على مدى العقود القليلة القادمة، على المناخات الإقليمية بقوة مماثلة على الأقل للتغيرات الناجمة عن الأنشطة البشرية، مع تأثيرات على تواتر حدوث الأعاصير الرئيسية في المحيط الأطلسي والرياح الموسمية في غرب أفريقيا وظروف الصيف في أمريكا الشمالية وأوروبا. {14.5.1، 14.6.1، 14.7.6، 14.8.2، 14.8.3، 14.8.6، 14.8.8}

وهناك مستوى متوسط من الثقة بأن تواتر وجود مرتفع جوي مستقر في نصف الكرة الشمالي والجنوبي لن يزداد، في حين تبقى اتجاهات التغيير في شدة المرتفع الجوي المستقر ومدة بقائه غير مؤكدة. {الإطار 2.4}

الموثقة جيداً، على ظروف الشتاء في المنطقة القطبية الشمالية وأمريكا الشمالية وأوراسيا. ومن المرجح أن يضعف اتجاه التغيير الإيجابي للصيف / الخريف الجنوبي في النمط الحلقي الجنوبي (SAM) بدرجة كبيرة عقب استعادة الأوزون الستراتوسفيري خلال منتصف القرن الحادي والعشرين، مع بعض التأثيرات، غير الموثقة جيداً، على أمريكا الجنوبية وأفريقيا وأستراليا ونيوزيلندا والمنطقة القطبية الجنوبية. {11.3.2، 14.5.2، 14.8.5، 14.8.7، 14.8.13، 14.8.15}

TS.5.8.6 الظواهر الإضافية

من غير المرجح أن يغير التذبذب المتعدد العقود في المحيط الأطلسي (AMO) سلوكه مع تغيير متوسط المناخ. غير أن من المرجح أن تؤثر

عناصر التركيز المواضيعية

TFE.9 | ظواهر المناخ المتطرفة

يشكل تقييم التغيرات في ظواهر المناخ المتطرفة تحديات فريدة، ليس فقط بسبب الطابع النادر لهذه الظواهر في حد ذاتها، بل لأنها تحدث دائماً بالاقتران مع ظروف مضطربة. وهي تتأثر بشدة بأنماط الطقس ذات النطاق الصغير والكبير على السواء، وأنماط التقلبية والعمليات الديناميكية الحرارية والتأثيرات التفاعلية لليابسة – الغلاف الجوي والظروف السابقة. وقد أحرز تقدم كبير منذ صدور تقرير التقييم الرابع للهيئة (IPCC)، بما في ذلك إنجاز التقييم الشامل للظواهر المتطرفة، الذي أجري بواسطة التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية (IPCC) بشأن إدارة مخاطر الظواهر المتطرفة والكوارث من أجل تعزيز التكيف مع تغيير المناخ (SREX)، وكمية الأدلة الرصدية المتوفرة والتحسينات التي طرأت على فهمنا وعلى قدرة النماذج على محاكاة الظواهر المتطرفة. {1.3.3، 2.6، 7.6، 9.5.4}

وبالنسبة لبعض ظواهر المناخ المتطرفة، مثل حالات الجفاف والفيضانات وموجات الحر، يجب أن تجتمع عوامل عديدة لإنتاج ظاهرة متطرفة. وقد بدأت تحليلات الظواهر المتطرفة النادرة، مثل الظواهر التي تحدث مرة كل 20 سنة إلى تلك التي تحدث مرة كل 100 سنة، تشق طريقها إلى مجموعة المؤلفات المتزايدة باستخدام "نظرية القيمة المتطرفة". وأوجه التقدم الأخرى نظرية جزء من الخطر المنسوب، التي تهدف إلى ربط ظاهرة متطرفة معينة بعلاقات سببية محددة. {1.3.3، 2.6.1، 2.6.2، 10.6.2، 12.4.3؛ الإطار 2.4}

TFE.9، يشير الجدول 1 إلى التغيرات التي تم رصدها في نطاق ظواهر الطقس والمناخ المتطرفة على مدى السنوات الخمسين الماضية، وتقييم المساهمة البشرية في تلك التغيرات، فضلاً عن الكيفية التي يُتوقع أن تتغير بها هذه الظواهر المتطرفة في المستقبل. ويقارن الجدول أيضاً التقييم الحالي بتقييم تقرير التقييم الرابع (AR4) والتقرير الخاص عن إدارة مخاطر الظواهر المتطرفة والكوارث لتعزيز التكيف مع تغيير المناخ (SREX)، حيث ينطبق ذلك. {2.6، 3.7، 10.6، 11.3، 12.4، 14.6}

ظواهر درجات الحرارة المتطرفة، وموجات الحر، والفترات الحارة

من المرجح بدرجة كبيرة أن تكون ظواهر درجة الحرارة القصوى ودرجة الحرارة الدنيا قد سجلت اشتداداً في الحرارة في معظم مناطق اليابسة منذ منتصف القرن العشرين. وتجري محاكاة هذه التغيرات بواسطة نماذج المناخ الحالية، ومن المرجح بدرجة كبيرة أن النشاط البشري قد أثر على تواتر هذه الظواهر المتطرفة ويكاد يكون من المؤكد أن العالم سيشهد تغيرات إضافية. ويدعم ذلك استنتاجات تقرير التقييم الرابع (AR4) والتقرير الخاص عن إدارة مخاطر ظواهر الطقس المتطرفة والكوارث لتعزيز التكيف مع تغيير المناخ (SREX)، حتى لو مع ثقة أكبر في مكوّن التأثير الناجم عن الأنشطة البشرية المنشأ. {2.6.1، 9.5.4، 10.6.1، 12.4.3}

شهدت المناطق اليابسة التي تتوافر عنها بيانات كافية ارتفاعاً إجمالياً في عدد الأيام والليالي الحارة. وسجلت انخفاضات مماثلة في عدد الأيام والليالي الباردة. ومن المرجح بدرجة كبيرة أنه حدثت زيادة في تسجيل الارتفاعات في عدد الأيام والليالي الحارة بصورة غير عادية، و/أو الانخفاضات في عدد الأيام والليالي الباردة، بما في ذلك تكون الصقيع، خلال هذه الفترة في معظم القارات. وغالبا ما ترتبط الفترات الحارة أو موجات الحر التي تتضمن أياماً أو ليالي متتالية حارة بدرجة كبيرة بحالات شذوذ حركة الأعاصير المضادة شبه الثابتة. كما تتأثر بظروف التربة الموجودة مسبقاً، واستمرار حالات شذوذ رطوبة التربة التي يمكن أن تؤدي إلى زيادة موجات الحر أو تخفيفها خاصة في المناطق ذات الرطوبة المحدودة. وشهدت معظم مناطق اليابسة في العالم، مع استثناءات قليلة، موجات حرارة أكثر منذ منتصف القرن العشرين. ويشير عدد كبير من الدراسات إلى أن الارتفاع في متوسط درجات الحرارة يفسّر معظم التغيرات على صعيد تواتر موجات الحر؛ إلا أن شدة موجة الحر/سعتها شديدة الحساسية للتغيرات في تقلبية درجات الحرارة وشكل توزيع درجات الحرارة، كما يؤدي تعريف موجة الحر دوراً في ذلك. وعلى الرغم من أنه في بعض الفترات الفعالة التي شهدتها عدة مناطق قبل خمسينيات القرن، تم تسجيل عدد أكبر من موجات الحر (في الولايات المتحدة الأمريكية، مثلاً)، برزت الزيادة في تواتر موجات الحر بالنسبة لمناطق أخرى مثل أوروبا، في الفترة الممتدة منذ خمسينيات القرن الماضي ضمن سلاسل طويلة من درجات الحرارة التاريخية. {2.6، 2.6.1، 5.1.5؛ الإطار 4، الجدولان 2.12، 2.13؛ السؤال 2.2}

TFE-9، الجدول 11 | ظواهر الطقس والمناخ المتطرف: تقييم علي النطاق العالمي للتغيرات الموسومة مؤخرًا، والإسهام البشري في التغيرات، والتغيرات الأخرى المسبقة لأوائل القرن الحادي والعشرين، (الفترة 2016-2035) وأخيره (الفترة 2081-2100). وتتمثل الكتابة بخط أسود عرض تقييم متفصلاً على النطاق العالمي في تقرير التقييم الخامس (AR6) (باللون الأسود) لإدارة مخاطر ظواهر الطقس المتطرفة والكوارث لتعزيز التكيف مع تغير المناخ (SREX)، باللون الأزرق) أو في تقرير التقييم الرابع (AR4)، باللون الأحمر). ولم تدرج الإسقاطات المتعلقة بأوائل القرن العشرين في تقارير التقييم السابقة، وتستند الإسقاطات الواردة في تقرير التقييم الخامس (AR6) إلى الفترة المرجعية 1986-2005، وتستخدم سيناريوهات مسارات التركيز النموذجية (RCP) الجديدة، ما لم يذكر خلاف ذلك. للاطلاع على التعاريف الخاصة بظواهر الطقس والمناخ المتطرفة، راجع المسرد.

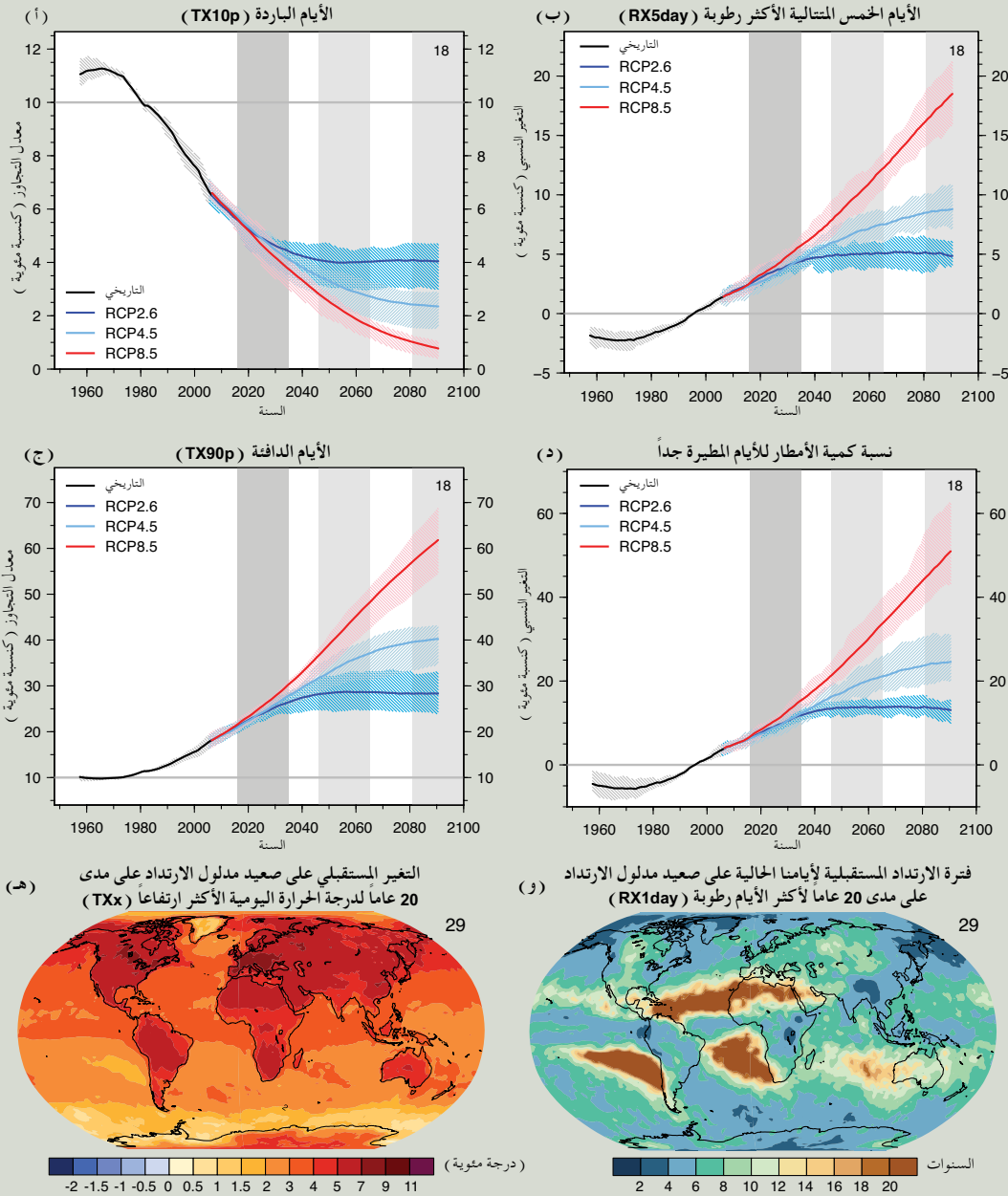
الظاهرة واتجاه التغير	تقييم التغيرات التي حدثت (خاصة منذ 1950، ما لم يذكر خلاف ذلك)	تقييم الإسهام البشري في التغيرات المرصودة	أوائل القرن العشرين	أرجحية حدوث تغيرات أخرى	أواخر القرن العشرين
أيام وليال أكثر دفئًا و/أو باردة أقل عددًا فوق معظم مناطق اليابسة	مراجعة بدرجة كبيرة (2.6) مراجعة بدرجة كبيرة مراجعة بدرجة كبيرة	مراجعة بدرجة كبيرة (10.6) مراجعة مراجعة	مراجعة (11.3)	شبه مؤكدة شبه مؤكدة شبه مؤكدة	شبه مؤكدة شبه مؤكدة شبه مؤكدة
أيام وليال أكثر دفئًا و/أو حارة ذات توأثر أكثر فوق معظم مناطق اليابسة	مراجعة بدرجة كبيرة (2.6) مراجعة بدرجة كبيرة مراجعة بدرجة كبيرة	مراجعة بدرجة كبيرة (10.6) مراجعة مراجعة (لليالي فقط)	مراجعة (11.3)	شبه مؤكدة شبه مؤكدة شبه مؤكدة	شبه مؤكدة شبه مؤكدة شبه مؤكدة
الفتحات الحارة/ موجات الحر. زيادات التواتر و/أو المدة في معظم مناطق اليابسة	مستوى ثقة متوسط على مقياس عالمي (2.6) مراجعة في أنحاء واسعة من أوروبا وآسيا وأستراليا مستوى ثقة متوسط في العديد من المناطق (ولكن ليس فيها كلها) (مراجعة)	مراجعة (10.6) غير مقبولة بشكل رسمي مراجعة أكثر من كونها غير مراجعة	مراجعة بدرجة كبيرة (11.3)	مراجعة بدرجة كبيرة مراجعة بدرجة كبيرة مراجعة بدرجة كبيرة	مراجعة بدرجة كبيرة مراجعة بدرجة كبيرة مراجعة بدرجة كبيرة
ظواهر الأمطار الغزيرة. زيادة في وتيرة سقوط الأمطار الغزيرة و/أو شدتها و/أو كميتها	من المرجح وجود مناطق من اليابسة تستقبل زيادات أكثر من انخفاضات (2.6) من المرجح وجود مناطق برية تستقبل زيادات أكثر من انخفاضات (مراجعة في معظم المناطق البرية)	مستوى ثقة متوسط (10.6 / 7.6) مستوى ثقة متوسط مراجعة أكثر من كونها غير مراجعة	مراجعة فوق العديد من مناطق اليابسة (11.3)	مراجعة بدرجة كبيرة فوق معظم الكتل الأرضية في مناطق خطوط العرض الوسطى وفوق المناطق المدارية الرطبة (12.4) مراجعة فوق عدد كبير من المناطق (مراجعة بدرجة كبيرة فوق معظم مناطق اليابسة)	مراجعة بدرجة كبيرة فوق معظم الكتل الأرضية في مناطق خطوط العرض الوسطى وفوق المناطق المدارية الرطبة (12.4) مراجعة فوق عدد كبير من المناطق (مراجعة بدرجة كبيرة فوق معظم مناطق اليابسة)
زيادات في شدة و/أو مدة حالات الجفاف	مستوى ثقة منخفض على مقياس عالمي (2.6) مرجح تسجيل تغيرات في بعض المناطق مستوى ثقة متوسط في بعض المناطق مراجعة في العديد من المناطق. منذ عام 1970 (مراجعة في العديد من المناطق البرية)	مستوى ثقة منخفض (10.6) مستوى ثقة متوسط مراجعة أكثر من كونها غير مراجعة	مستوى ثقة منخفض (11.3)	مستوى ثقة متوسط في بعض المناطق مستوى ثقة متوسط مراجعة أكثر من كونها غير مراجعة	مستوى ثقة متوسط في بعض المناطق مستوى ثقة متوسط مراجعة أكثر من كونها غير مراجعة
زيادات في نشاط الأعاصير المدارية الشديدة	مستوى ثقة منخفض (2.6) شبه مؤكدة في منطقة شمال الأطلسي منذ العام 1970 (مستوى ثقة منخفض)	مستوى ثقة منخفض (10.6) مراجعة أكثر من كونها غير مراجعة	مستوى ثقة منخفضة (11.3)	مستوى ثقة منخفضة مستوى ثقة منخفضة مراجعة أكثر من كونها غير مراجعة في بعض الأحوال (مراجعة)	مستوى ثقة منخفضة مستوى ثقة منخفضة مراجعة أكثر من كونها غير مراجعة في بعض الأحوال (مراجعة)
ارتفاع نسب حدوث و/أو شدة ارتفاع مستوى البحر المنظر	مرجح (منذ عام 1970) (3.7) مرجح (أواخر القرن العشرين) (مراجعة)	مراجعة (3.7) مراجعة أكثر من كونها غير مراجعة (مراجعة)	مراجعة (13.7)	مراجعة بدرجة كبيرة (13.7) مراجعة بدرجة كبيرة (مراجعة)	مراجعة بدرجة كبيرة (13.7) مراجعة بدرجة كبيرة (مراجعة)

من الصعب القدرة المباشرة لاستنتاجات التقييم فيما بين التقارير. بالنسبة لبعض التغيرات المناخية، وقد تم تقييم جوانب مختلفة، المستخدمة الذمجة التوجيهية للتحقق بشأن حالات عدم اليقين في التقارير الخاص بإدارة مخاطر الظواهر المتطرفة والكوارث من أجل تعزيز التكيف مع تغير المناخ (SREX). وتقرير التقييم الخامس (AR6)، يساهم توفر معلومات جديدة، وإسهام العلمي الحسن، واستمرار تحليل البيانات والنماذج، والفرق المحددة في الطرائق المنهجية على الدراسات التي تم تقييمها جميعًا، في نتائج التقييم المتفصّل.

ملاحظات:

1. يستند تحديد العلاقة السببية إلى دراسات الحالة المتوفرة. ومن المرجح أن التأثير البشري قد ساعد من إمكانية حدوث بعض موجات الحر المرصودة إلى أكثر من ضعفين في بعض المناطق.
2. تشييا المناخ زيادات على المدى القريب في مدة موجات الحر والفتحات الحارة، وشدتها، واتساع وقعها في بعض الأماكن.
3. من المرجح أن تواتر حدوث الجفاف وشدته قد زادا في منطقة البحر الأبيض المتوسط وغرب أفريقيا، وانخفاضها في شرق أمريكا الشمالية وشمال غرب أستراليا.
4. تم تقييم التغيرات الرابع (AR4) المنطقة المتضررة من الجفاف.
5. قيم تقرير الخواص عن إدارة مخاطر الظواهر المتطرفة والكوارث من أجل تعزيز التكيف مع تغير المناخ (SREX) مستوى الثقة المتوسط في أن التأثير البشري قد ساهم في بعض التغيرات في حالات الجفاف في مناطق الجفاف الزايفي في المناطق الجافة حاليًا مع حلول نهاية هذا القرن ضمن السيناريو 8-BRCP. وحدوث جفاف في رطوبة التربة في منطقة البحر الأبيض المتوسط، وحبوب غراب الولايات المتحدة الأمريكية، ومناطق الجنوب الأوقيانوسية في التغيرات المسبقة في حركة دوران هادي، وزيادة درجات حرارة الهوامه السطحي، لذا لمدة مستوى مرتفع من الثقة بأن من المرجح حدوث جفاف خلف سطحي في هذه المناطق، مع حلول نهاية هذا القرن ضمن السيناريو 8-BRCP.
6. استنادًا إلى تقديرات الخبراء وتقييمهم للإسقاطات التي تستخدم سيناريو التقرير الخاص SRES A1B (أو تقرير مشابه).
7. يستند العزل إلى العلاقة الوثيقة بين التغيرات المرصودة في الظواهر المتطرفة ومستوى سطح البحر وارتفاع مستوى سطح البحر. وهناك مستوى منخفض من الثقة بالإسقاطات الخاصة بمناخ معينة فيما يتعلق بتغير مستوى سطح البحر. وهناك مستوى منخفض من الثقة بالإسقاطات الخاصة بمناخ معين فيما يتعلق بتغير مستوى سطح البحر في الاتجاهات التصاعدية لارتفاع المنظر في السيناريوهات المتطرفة.
8. تم تقييم العزل على من الثقة بأن هذا الارتفاع في مستوى سطح البحر العالمي المنظر سيكون في المقام الأول نتيجة زيادة في متوسط مستوى سطح البحر. وهناك مستوى منخفض من الثقة بالإسقاطات الخاصة بمناخ معين فيما يتعلق بتغير مستوى سطح البحر في الاتجاهات التصاعدية لارتفاع المنظر في السيناريوهات المتطرفة.
9. تم تقييم التقرير الخاص بإدارة مخاطر الظواهر المتطرفة للطقس والكوارث من أجل تعزيز التكيف مع تغير المناخ (SREX) على أن من المرجح بدرجة كبيرة أن يساهم ارتفاع متوسط مستوى سطح البحر في الاتجاهات التصاعدية لارتفاع المنظر في السيناريوهات المتطرفة.

وتجرى عملية محاكاة جيدة للخصائص المرصودة لظواهر الحرارة المتطرفة وموجات الحر بواسطة نماذج المناخ، وهي مماثلة للامتداد بين التقديرات المعتمدة على الرصد في معظم المناطق. ويوفر تقليص النطاقات المناخية الإقليمية الآن معلومات موثوق بها عن النطاقات المكانية اللازمة لتقييم الظواهر المتطرفة وتحسين في محاكاة ظاهرة النينو/التذبذب الجنوبي من المرحلة الثالثة من المشروع (CMIP3) وصولاً إلى المرحلة الخامسة (CMIP5)، وغيرها من الظواهر الأساسية الواسعة النطاق. غير أن التغيرات في وتيرة وشدة الظواهر المتطرفة التي جرت محاكاتها محدودة بتوافر بيانات الرصد



TFE-9، الشكل 9 | الإسقاطات العالمية لحدوث (أ) الأيام الباردة (TX10p) – النسبة المئوية لأيام في السنة التي تكون درجة حرارة الهواء السطحي القصوى اليومية لها (Tmax) أقل من المئين العاشر لدرجة الحرارة القصوى للفترة 1961–1990؛ (ب) الأيام الخمسة المتتالية الأكثر رطوبة (RX5day) – النسبة المئوية للتغير بالنسبة للفترة 1986–2005 لكمية الأمطار القصوى خلال خمسة أيام متتالية في السنة؛ (ج) الأيام الدافئة (TX90p) – النسبة المئوية لأيام التي تصل فيها درجة حرارة الهواء السطحي إلى قيمتها القصوى اليومية في السنة (Tmax) والتي تتجاوز المئين التسعين لدرجة الحرارة القصوى للفترة 1961–1990؛ (د) كمية الأمطار للأيام الغزيرة الأمطار – النسبة المئوية للتغير بالنسبة للفترة 1986–2005 لنسبة كمية الأمطار السنوية لأيام التي تتجاوز المئين الخامس والتسعين. وترد في الشكل النتائج المتعلقة بالمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) للسيناريوهات RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5. وتشير الخطوط المتصلة إلى القيمة الوسطى للمجموعة، بينما يبين التظليل باللون الرمادي الامتداد الربيعي بين الإسقاطات الفردية (المئين الخامس والعشرين والمئين الخامس والسبعين). وتبين الخرائط (هـ) التغير للفترة 1986–2005 نسبة إلى الفترة 2081–2100، في قيم الارتداد (RV) على مدى 20 عاما الخاص في درجات الحرارة اليومية القصوى، (TXx)، و (و) فترة الارتداد (RP) خلال الفترة 2081–2100 لقيم كمية الأمطار اليومية النادرة (RX1day)، التي لديها فترة ارتداد تمتد على 20 سنة خلال الفترة 1986–2005. تستند الخريطتان إلى السيناريو RCP8.5 للمرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5). عدد النماذج المستخدم لحساب المتوسط متعدد النماذج مبين في كل لوحة. لمعامل التعريف، انظر الإطار 2.4، الجدول 1. الأشكال {12.27، 12.26، 12.14، 7.1.1.1}

ومسائل الجودة، وبقدرة النماذج على تقديم محاكاة موثوق بها لبعض التأثيرات التفاعلية ومتوسط التغيرات في السمات الرئيسية لحركة الدوران مثل وجود مرتفع جوي مستقر. {2.6، 2.7، 9.4، 9.5.3، 9.5.4، 9.6، 9.6.1، 10.3، 10.6، 14.4، الإطار 14.2}

ومنذ صدور تقرير التقييم الرابع (AR4)، تحسّن فهم الآليات والتأثيرات التفاعلية التي تؤدي إلى تغيرات في الظواهر المتطرفة. ويستمر وجود أدلة قوية على التأثيرات البشرية على التواتر المرصود لظواهر درجات الحرارة المتطرفة وموجات الحر في بعض المناطق. وتشير الإسقاطات على المدى القريب (العقدي) إلى أن من المرجح حدوث زيادة في درجات الحرارة المتطرفة ولكن مع وجود مسافة فاصلة يمكن تمييزها بين سيناريوهات الانبعاثات (TFE.9، الشكل 1). ويمكن أن تستمر التغيرات ولكن بمعدل مختلف عن متوسط الاحترار، مع عدد من الدراسات التي تظهر أن درجات حرارة فصل الصيف المسقط ذات المئين العالي في أوروبا سترتفع بسرعة أكبر من متوسط درجات الحرارة.

ويكاد يكون من المؤكد إن التغيرات المستقبلية المرتبطة بارتفاع درجات الحرارة المتطرفة على المدى البعيد، يمكن مناظرتها بقوة سيناريو الانبعاثات، أو بعبارة أخرى، تناظر الزيادة في الانبعاثات البشرية المنشأ الارتفاع في درجات الحرارة المتطرفة (TFE.9، الشكل 1). وفيما يتعلق بسيناريوهات الانبعاثات العالية، من المرجح أن ظاهرة درجات الحرارة القصوى التي تحدث مرة كل 20 سنة، في معظم مناطق اليابسة ستتضاعف مرتين على الأقل على صعيد التواتر، وستتحول إلى ظاهرة سنوية أو ظاهرة تحدث مرة في كل سنتين بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين في معظم المناطق.

ومن المتوقع أن يزيد حجم درجات الحرارة المتطرفة المرتفعة والمنخفضة بمعدل مماثل لمعدل متوسط درجات الحرارة على الأقل، ولكن مع قيم ارتداد على مدى 20 عاما لظواهر درجات الحرارة المنخفضة التي تشير الإسقاطات إلى أنها ستزيد بمعدل أكبر من متوسط درجات حرارة الشتاء في معظم المناطق. {10.6.1، 11.3.2، 12.4.3}

ظواهر كمية الأمطار المتطرفة

من المرجح أن يكون عدد ظواهر سقوط أمطار غزيرة فوق بعض مناطق اليابسة قد ارتفع أكثر مما انخفض في عدد أكبر من المناطق منذ منتصف القرن العشرين. وثمة مستوى متوسط من الثقة بأن التأثير البشري المنشأ قد ساهم في هذه الزيادة. {2.6.2، 10.6.1}

وأحرز تقدم كبير بين المرحلة الثالثة والخامسة من المشروعين (CMIP3) و (CMIP5) في قدرة النماذج على إجراء عمليات محاكاة أكثر واقعية لظواهر كميات الأمطار المتطرفة. غير أن الأدلة تشير إلى أن معظم النماذج تقلل من أهمية حساسية ظواهر كمية الأمطار المتطرفة إزاء تقلبية درجات الحرارة أو اتجاهات تغيرها، وخصوصا في المناطق الاستوائية، مما يعني أن النماذج يمكن أن تقلل من أهمية الزيادة المسقط في كمية الأمطار المتطرفة في المستقبل. وفي حين أحرز تقدم في فهم العمليات التي تحرك ظواهر كمية الأمطار المتطرفة، مازالت هناك تحديات على صعيد التحديد الكمي لتأثيرات السحب والحمل الحراري، في النماذج، مثلاً. يحدّ تعقّد سطح اليابسة وعمليات الغلاف الجوي من الثقة بالإسقاطات الإقليمية لتغير كمية الأمطار، خاصة فوق اليابسة، على الرغم من وجود مكوّن استجابة "الرطوبة أكثر رطوبة" و"الجافة أكثر جفافاً" فوق المحيطات على نطاق واسع. ومع ذلك، ثمة مستوى عالٍ من الثقة بأنه مع احترار المناخ، سترتفع معدلات كمية الأمطار المتطرفة (مثلاً، على النطاقات الزمنية اليومية) بشكل أسرع من متوسط الوقت. ويُتوقع أن تشهد التغيرات في الظواهر المحلية المتطرفة، على النطاقات الزمنية اليومية وشبه اليومية، زيادة بنسبة تتراوح بين 5% و10% تقريباً لكل درجة مئوية للاحتار (مستوى ثقة متوسط). {7.6، 9.5.4}

وتؤكد إسقاطات المرحلة الخامسة من المشروع (CMIP5) على المديين القريب والبعيد، وجود اتجاه واضح لحدوث زيادات في ظواهر سقوط الأمطار الغزيرة في المتوسط العالمي، المشار إليه في تقرير التقييم الرابع (AR4). لكن هناك تقلبات كبيرة عبر الأقاليم (TFE.9، الشكل 1). أما فوق كتل اليابسة في مناطق خطوط العرض المتوسطة فوق المناطق المدارية الرطبة، فإن من المرجح بدرجة كبيرة أن تكون كمية الأمطار المتطرفة أكثر شدة وتواتراً في عالم يزداد احتراراً. {11.3.2، 12.4.5}

الفيضانات وحالات الجفاف

ما زال هناك نقص في الأدلة، ومن ثم هناك مستوى منخفض من الثقة بشأن إشارة اتجاه التغير في شدة و/أو تواتر الفيضانات على النطاق العالمي في سجل الأدوات. وثمة مستوى مرتفع من الثقة بأن الفيضانات السابقة الأكبر من تلك المسجّلة منذ عام 1900، قد حدثت خلال الخمسة قرون الماضية في شمال ووسط أوروبا، والجزء الغربي من البحر الأبيض المتوسط، وشرق آسيا. وثمة مستوى متوسط من الثقة بأن الفيضانات الكبيرة الحديثة مماثلة للفيضانات التاريخية من حيث الشدة و/أو التواتر أو تتجاوزها في الشرق الأدنى، والهند، ووسط أمريكا الشمالية. {2.6.2، 5.5.5}

أسفرت المناقشات المقنعة حول تأييد ورفض حدوث زيادات ملحوظة في رقعة اليابسة التي تضررت من الجفاف منذ منتصف القرن العشرين عن مستوى متدنٍ من الثقة بشأن اتجاهات التغير الواسعة النطاق المرصودة والتي يمكن تحديد علاقاتها السببية. ويرجع هذا بالأساس إلى نقص الرصدات المباشرة ونوعيتها، واعتماد اتجاهات التغير المستنبطة على اختيار المعامل، وعدم الاتساق الجغرافي في اتجاهات التغير، والصعوبات في التمييز بين التقلبية على نطاق عقدي واتجاهات التغير على المدى الطويل. وعلى نطاقات زمنية على مستوى آلاف السنين، هناك مستوى عالٍ من الثقة بأن المعلومات غير المباشرة تقدم أدلة على حدوث حالات جفاف أشد قوة وتستمر لمدد أطول من تلك التي رُصدت في القرن العشرين في العديد من المناطق. وهناك مستوى متوسط من الثقة بأن المزيد من حالات الجفاف الضخمة حدثت في منطقة الرياح الموسمية في آسيا، كما سادت ظروف أكثر أمطاراً في مناطق آسيا الوسطى القاحلة، ومناطق الأمطار الموسمية في جنوب أمريكا خلال العصر الجليدي القصير (من العام 1450 إلى 1850) مقارنة بفترة شذوذ المناخ في القرون الوسطى (من العام 950 إلى 1250). {2.6.2، 5.5.4، 5.5.5، 10.6.1}

وتشير الإسقاطات في إطار مسار التركيز النموذجي 8.5، إلى أن من المرجح بحلول نهاية القرن (مستوى ثقة متوسط) أن يزداد خطر حدوث جفاف في المناطق الجافة أو القليلة الأمطار حالياً يرجع إلى الانخفاضات المسقط، على النطاق الإقليمي إلى العالمي، في رطوبة التربة. ويتجلى جفاف رطوبة التربة في أبرز صورته في مناطق البحر الأبيض المتوسط، وجنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية، ومناطق الجنوب الأفريقي، متسقاً مع التغيرات المسقط في حركة دوران هادلي، وزيادة درجات حرارة الهواء السطحي. لذا، فإن من المرجح (مستوى ثقة عالٍ) زيادة الجفاف السطحي في هذه المناطق، في نهاية هذا القرن ضمن السيناريو RCP8.5. {12.4.5}

مستوى سطح البحر المتطرف

من المرجح أن شدة ظواهر ارتفاع مستوى سطح البحر المتطرفة قد زادت منذ العام 1970، وأنه يمكن إرجاع معظم هذا الارتفاع من خلال الزيادات في متوسط مستوى البحر. فعندما تراعى التغيرات في متوسط مستوى البحر، تنخفض التغيرات في ارتفاع مستويات سطح البحر المتطرفة إلى أقل من 5 م في السنة في 94% من مقاييس المد والجزر. وفي المستقبل، من المرجح بدرجة كبيرة أنه ستحدث زيادة كبيرة في ظواهر مستويات البحر المتطرفة، الناتجة أساساً عن الزيادة في متوسط مستوى البحر، شأنها شأن الرصدات السابقة. {3.7.5، 13.7.2}

الأعاصير المدارية والأعاصير دون المدارية

ثمة مستوى متدن من الثقة بالتغيرات الطويلة المدى (على نطاق مائة سنة) في نشاط الأعاصير المدارية، بعد مراعاة التغيرات السابقة في قدرات الرصد. على أن الزيادات في وتيرة العواصف القوية في شمال المحيط الأطلسي خلال حقبة السواتل وشدتها اتسمت بإمكانية التعويل عليها (مستوى ثقة مرتفع بدرجة كبيرة). ومع ذلك، لا يزال هناك جدل بشأن أسباب هذه الزيادة، وثمة مستوى متدن من الثقة بعزو التغيرات في نشاط الأعاصير المدارية إلى التأثير البشري، نظراً لعدم وجود أدلة رصدية كافية، وانعدام الإلمام الفعلي بالروابط بين التأثيرات البشرية المنشأ على المناخ وأنشطة الأعاصير المدارية، وانخفاض مستوى الاتفاق بين الدراسات بشأن الأهمية النسبية للتقلبية الداخلية، والتأثيرات البشرية والطبيعية. {2.6.3، 10.6.1، 14.6.1}

وأجرت بعض نماذج الغلاف الجوي ذات الاستبانة العالية عمليات محاكاة واقعية لمسارات الأعاصير المدارية وتحديد أعدادها. وتستطيع هذه النماذج عادة رصد الخصائص العامة لمسارات العواصف والأعاصير دون المدارية مع أدلة تشير إلى حدوث تحسن منذ صدور تقرير التقييم الرابع. وقد طرأ تحسن طفيف على انحرافات مسار العواصف في منطقة شمال الأطلسي قليلاً، إلا أن النماذج ما زالت تنتج مسارات عواصف نطاقية إلى حد كبير وتقل من شدة الأعاصير المدارية إلى أقل من شدتها في الواقع. {9.4.1، 9.5.4}

وفي حين تشير الإسقاطات إلى أن من المرجح إما أن يقل التواتر العالمي للأعاصير المدارية أو أن يبقى إلى حد كبير دون تغيير، بالتزامن مع زيادة مرجحة في كل من المتوسط العالمي للسرعة القصوى للرياح المصاحبة للأعاصير المدارية ومعدلات سقوط الأمطار، وثمة مستوى ثقة متدن بالإسقاطات الخاصة بالمنطقة والمتعلقة بالتواتر والشدة. ولكن، نظراً للتحسينات التي طرأت على استبانة النماذج وتقنيات تصغير النطاقات، فإن احتمال حدوث زيادة كبيرة في تواتر العواصف الأكثر شدة يفوق احتمال عدم زيادتها في بعض الأحواض ضمن الاحترار المسقط في القرن الحادي والعشرين (انظر الشكل TS.26). {11.3.2، 14.6.1}

وتستمر البحوث اللاحقة لصدور تقرير التقييم الرابع (AR4) والتقارير الخاص عن إدارة مخاطر الظواهر المتطرفة والكوارث من أجل تعزيز التكيف مع تغير المناخ (SREX) في دعم التحول المرجح صوب القطبين في مسارات العواصف منذ خمسينيات القرن الماضي. على أن هناك مستوى منخفضاً من الثقة بوجود اتجاه واضح للعواصف بسبب عدم الاتساق بين الدراسات، أو عدم وجود بيانات طويلة الأمد في بعض الأجزاء من العالم (لاسيماً في نصف الكرة الجنوبي). {2.6.4، 2.7.6}

وعلى الرغم من وجود تحيزات منهجية في محاكاة مسارات العواصف، تتفق معظم النماذج والدراسات على أن من غير المرجح أن ينخفض العدد العالمي للأعاصير دون المدارية بنسبة تزيد عن بضع نقاط مئوية. ومن المرجح حدوث تحول ضعيف صوب القطب في مسارات العواصف التي تهب في نصف الكرة الجنوبي. كما أن احتمال التحول المسقط صوب القطب في مسار العواصف التي تهب في شمال المحيط الأطلسي يفوق احتمال عدم تحولها (مستوى ثقة متوسط)، ولكن من غير المرجح أن تكون استجابة مسار العواصف التي تهب في شمال المحيط الأطلسي مجرد تحول بسيط صوب القطب. وثمة مستوى منخفض من الثقة بحجم تغيرات مسار العواصف الإقليمية، ويتأثر مثل هذه التغيرات على المناخ الإقليمي عند سطح الأرض. {14.6.2}

TS.6 أوجه عدم اليقين الرئيسية

ويحدّد ذلك أيضاً من التحديد الكمي لمساهمة احترار أعماق المحيطات في ارتفاع مستوى سطح البحر. {3.2، 3.7، 3.8؛ الإطار 3.1}

لا يزال عدد السلاسل الزمنية المستمرة للرصدات التي تقيس قوة خصائص دوران المحيط المتصلة بالمناخ (دوران الانقلاب الزوالي الجنوبي، مثلاً) محدوداً، ولا تزال السلاسل الزمنية المتوفرة أقصر من أن تكفي لتقييم اتجاهات التغير التي تمتد لعشر سنوات أو أكثر. {3.6}.

في المنطقة القطبية الجنوبية، لا تكفي البيانات المتوفرة لتقييم حالة تغير عدد كبير من خصائص رقعة الجليد البحري (مثل سمك الجليد وحجمه). {4.2.3}

لم يجر حتى الآن تقييم شامل لفقدان الكتلة بفعل الانصهار، على نطاق عالمي، في جهات انقسام الجليد وانفصال الجبال الجليدية. ويأتي أكبر مصدر لعدم اليقين في تقدير فقدان الكتلة من الأنهار الجليدية من منطقة القطب الجنوبي، ويبقى سجل الرصد لتفاعلات رقعة الجليد والمحيطات حول الصفحتين الجليديتين ضعيفاً. {4.3.3، 4.4}

TS.6.2 أوجه عدم اليقين الرئيسية في محركات تغيّر المناخ

أوجه عدم اليقين بشأن التفاعلات بشأن السحب والأهباء الجوية وما يرتبط بها من تأثير إشعاعي لا تزال كبيرة. ونتيجة لذلك، تظل أوجه عدم اليقين في تأثير الأهباء الجوية العامل الرئيسي الذي يساهم في مصدر عدم اليقين الكلي لصافي التأثير البشري المنشأ، على الرغم من تحسن فهم بعض عمليات الغلاف الجوي ذات الصلة، وتوفر المراقبة عن طريق السواتل العالمية. {2.2، 7.3-7.5، 8.5}

من المرجح أن تكون التأثيرات التفاعلية للسحب إيجابية، غير أن تحديدها كميًا لا يزال صعباً. {7.2}

تشير عمليات استنباط المناخ القديم ونماذج نظام الأرض إلى وجود تأثيرات تفاعلية إيجابية بين المناخ ودورة الكربون، إلا أن مستوى الثقة لا يزال منخفضاً فيما يتعلق بقوة هذه التأثيرات التفاعلية، وبالأخص بالنسبة لليابسة. {6.4}

TS.6.3 أوجه عدم اليقين الرئيسية في فهم نظام المناخ وتغييراته الأخيرة

أظهرت محاكاة السحب في نماذج الدوران العام المتقارنة للغلاف الجوي والمحيطات (AOGCM) تحسناً متواضعاً منذ صدور تقرير التقييم الرابع (AR4)؛ ولكن الأمر ما زال يشكل تحدياً. {7.2، 9.2.1، 9.4.1، 9.7.2}

تستمر أوجه عدم اليقين المتعلقة برصد المتغيرات المناخية، غير درجة الحرارة، وأوجه عدم اليقين في عوامل التأثير مثل الأهباء الجوية، وأوجه القصور في فهم العمليات، في إعاقه تحديد أسباب التغيرات في الكثير من جوانب النظام المناخي. {10.1، 10.3، 10.7}

لا تزال التغيرات في الدورة المائية منمذجة بشكل لا يمكن التعويل عليه بدرجة كبيرة، على صعيد التغيرات والتقلبية الداخلية، مما يحدّ من الثقة في تقييمات العزو. وتحول أوجه عدم اليقين المتعلقة بالرصد والتأثير الكبير للتقلبية الداخلية على كميات الأمطار المرصود

يوفر هذا القسم الأخير من الملخص الفني للقرء نظرة عامة موجزة على أوجه عدم اليقين الرئيسية في فهم النظام المناخي والقدرة على إسقاط التغيرات في الاستجابة للتأثيرات البشرية. وهذه النظرة العامة ليست شاملة ولا تقدم وصفاً تفصيلياً لأسس الاستنتاجات. وهي موجودة في المتن الرئيسي لهذا الملخص الفني، وفي الفصول الأساسية التي تشير إليها كل نقطة بين قوسين مزدوجي الانعطف.

TS.6.1 أوجه عدم اليقين الرئيسية في رصد التغيرات في النظام المناخي

ثمة مستوى متوسط إلى منخفض من الثقة فقط في معدل تغير الاحترار التروبوسفيري وهيكله الرأسي. وتشمل تقديرات معدلات الاحترار التروبوسفيري تقديرات معدل ارتفاع درجات حرارة الهواء السطحي. وثمة مستوى منخفض من الثقة في معدل تبريد الستراتوسفير وهيكله الرأسي. {2.4.4}

ومستوى الثقة في تغير كمية الأمطار العالمية فوق اليابسة منخفض قبل العام 1951 ومتوسط بعد ذلك بسبب عدم اكتمال البيانات. {2.5.1}

لا يزال هناك غموض كبير ومن ثم مستوى منخفض من الثقة في رصدات تقلبية السحب واتجاهات تغييرها على الصعيد العالمي. {2.5.6}

ثمة مستوى منخفض من الثقة في اتجاه التغير المرصود على النطاق العالمي للجفاف (أو عدم سقوط الأمطار) بسبب عدم وجود رصدات مباشرة، وأوجه عدم اليقين المنهجية والخيارات، وعدم الاتساق الجغرافي في اتجاهات التغير. {2.6.2}

ثمة مستوى منخفض من الثقة في موثوقية أي تغير من التغيرات الطويلة المدى (مئات السنين) المعلن عنها بشأن نشاط الأعاصير المدارية، وذلك بعد مراعاة التغيرات السابقة في قدرات الرصد. {2.6.3}

توفير استنتاجات قوية بشأن التغيرات الطويلة المدى في حركة دوران الغلاف الجوي الواسعة النطاق غير ممكن حالياً، بسبب التقلبية الكبيرة الممتدة على نطاق العقود والفوارق المتبقية بين مجموعات البيانات. {2.7}

تظهر التقديرات العالمية المختلفة لدرجات الحرارة تحت سطح المحيطات تقلبات في أوقات مختلفة ولفترات مختلفة، مما يشير إلى أن التقلبية دون العقدية في درجات الحرارة والمحتوى الحراري للجزء العلوي من المحيط (من 0 إلى 700 متر) لا تزال توصف بشكل سيء في السجل التاريخي. {3.2}

تكون عملية أخذ العينات تحت عمق 700 متر في المحيطات محدودة بدرجة كبيرة في المكان والزمان لإنتاج تقديرات سنوية لدرجات حرارة المحيطات العالمية والمحتوى الحراري لها قبل العام 2005. {3.2.4}

لا تزال تغطية رصد المحيطات التي يزيد عمقها عن 2000 متر محدودة، كما أنها تعرقل الحصول على مزيد من التقديرات القوية للتغيرات في المحتوى الحراري ومحتوى الكربون للمحيطات على الصعيد العالمي.

• ثمة مستوى متوسط من الثقة بالمساهمات المسقطة في ارتفاع مستوى سطح البحر عبر نماذج ديناميات الصفائح الجليدية للقرن الحادي والعشرين، ومستوى منخفض من الثقة بالإسقاطات بعد العام 2100. {13.3.3}

• ثمة مستوى منخفض من الثقة بإسقاطات النماذج شبه التجريبية لارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر، وعدم إجماع الدوائر العلمية على إمكانية التعويل عليها. {13.5.2، 13.5.3}

• ثمة مستوى منخفض من الثقة بإسقاطات الكثير من جوانب الظواهر المناخية التي تؤثر على التغيرات المناخية الإقليمية، بما في ذلك التغيرات في السعة والنمط المكاني لأنماط تقلبية المناخ. {9.5.3، 14.2-14.7}

• دون إجراء تقييم أكثر موثوقية لأسباب التغيرات في كمية الأمطار. {2.5.4، 2.5.1، 10.3.2}

• تصبح نمذجة أوجه عدم اليقين المرتبطة باستبانة النموذج ودمج العمليات المتصلة أكثر أهمية على المستويات العالمية، كما تصبح تأثيرات التقلبية الداخلية أكثر أهمية. وبالتالي، تستمر التحديات في عزو التغيير المرصود إلى تأثير خارجي على المستويات الإقليمية. {2.4.1، 10.3.1}

• تتوقف القدرة على محاكاة التغيرات في وتيرة الظواهر المتطرفة وشدتها على قدرة النماذج على محاكاة متوسط التغيرات في الخصائص الرئيسية بشكل موثوق به. {10.6.1}

• في بعض جوانب نظام المناخ، بما في ذلك التغيرات في الجفاف، وفي نشاط الأعاصير المدارية، والاحترار في المنطقة القطبية الجنوبية، ورقعة الجليد البحري في المنطقة القطبية الجنوبية، والتوازن الكتلي في القارة القطبية الجنوبية، يبقى مستوى الثقة بالعزو إلى التأثير البشري منخفضاً بسبب أوجه عدم اليقين المتعلقة بالنمذجة وقلة التوافق بين الدراسات العلمية. {10.3.1، 10.5.2، 10.6.1}

TS.6.4 أوجه عدم اليقين الرئيسية في الإسقاطات المتعلقة بالتغيرات المناخية على الصعيدين العالمي والإقليمي

• استناداً إلى نتائج النماذج، هناك ثقة محدودة بإمكانية التنبؤ بمتوسطات درجات الحرارة السنوية والعقدية لكل من المتوسط العالمي وبعض المناطق الجغرافية. وتشير النتائج متعددة النماذج لكميات الأمطار إلى انخفاض إمكانية التنبؤ. كما تتوقف إسقاطات المناخ على الأجل القصير على أوجه عدم اليقين في إسقاطات التأثيرات الطبيعية. {11.1، 11.2، 11.3.1، 11.3.6، 11.3.6؛ الإطار 11.1}

• ثمة مستوى متوسط من الثقة في الإسقاطات على المدى القريب للتحول صوب الشمال في مسار العواصف والرياح الغربية في نصف الكرة الشمالي. {11.3.2}

• هناك مستوى منخفض من الثقة عموماً في الإسقاطات على نطاق الأحواض لاتجاهات التغير الكبيرة في وتيرة حدوث الأعاصير المدارية وشدتها في القرن الحادي والعشرين. {11.3.2، 14.6.1}

• التغيرات المرصودة في رطوبة التربة والجريان السطحي لا تتسم بالقوة في عدد كبير من المناطق. {11.3.2، 12.4.5}

• هناك العديد من المكونات أو الظواهر في النظام المناخي التي يمكن أن تظهر تغيرات مفاجئة أو غير خطية، ولكن هناك مستوى منخفضاً من الثقة وقدراً ضئيلاً من توافق الآراء بشأن أرجحية حدوث مثل هذه الظواهر في القرن الحادي والعشرين. {12.5.5}

• ثمة مستوى منخفض من الثقة في حجم الكربون المفقود من خلال انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أو الميثان إلى الغلاف الجوي بسبب انصهار التربة الصقيعية. وثمة مستوى منخفض من الثقة في الانبعاثات المستقبلية المسقطة للميثان من مصادر طبيعية بسبب التغيرات في الأراضي الغدقة وإطلاق الهيدرات الغازية من قاع البحر. {6.4.3، 6.4.7}

أسئلة متواترة

أسئلة متواترة

هذه الأسئلة التي يتكرر طرحها استخلصت من الفصول الواردة بالتقرير ذي الصلة، وجرى تجميعها هنا. ولدى الإشارة إلى أسئلة معينة من هذا النوع، يرجى الإشارة إلى الفصل المقابل في التقرير الذي نشأت فيه هذه الأسئلة (مثل السؤال 3.1 جزء من الفصل 3).

أسئلة متواترة

- السؤال 1.1 إذا كان فهم النظام المناخي قد تزايد، فلماذا لم ينخفض نطاق إسقاطات درجات الحرارة؟ 121
- السؤال 2.1 كيف نعرف أن العالم قد تعرض للاحتراق؟ . 123
- السؤال 2.2 هل حدثت أية تغييرات في الظواهر المناخية المتطرفة؟ 125
- السؤال 3.1 هل يحدث احتراق للمحيطات؟ 127
- السؤال 3.2 هل تتوفر أدلة على حدوث تغييرات في دورة مياه الأرض؟ 129
- السؤال 3.3 ما هي صلة تمض المحيطات البشرية المنشأ بتغير المناخ؟ 131
- السؤال 4.1 كيف يتغير الجليد البحري في منطقتي القطب الشمالي والقطب الجنوبي؟ 133
- السؤال 4.2 هل الأنهار الجليدية آخذة في الاختفاء في المناطق الجبلية؟ 135
- السؤال 5.1 هل تمثل الشمس قوة محرك رئيسية للتغيرات الحديثة في المناخ؟ 137
- السؤال 5.2 لماذا معدل التغير الحالي في مستوى سطح البحر غير معتاد؟ 139
- السؤال 6.1 هل يمكن أن يؤدي إطلاق الميثان أو ثاني أكسيد الكربون بسرعة من انصهار التربة الصقيعية أو احتراق المحيطات إلى إحداث زيادة كبيرة في الاحتراق؟ 141
- السؤال 6.2 ماذا يحدث لثاني أكسيد الكربون عقب انبعاثه في الغلاف الجوي؟ 143
- السؤال 7.1 كيف تؤثر السحب في المناخ وتغير المناخ؟ . 145
- السؤال 7.2 كيف يؤثر الهباء الجوي في المناخ وتغير المناخ؟ 147
- السؤال 7.3 هل يمكن للهندسة الجيولوجية إبطال تغير المناخ، وما هي الآثار الجانبية التي قد تحدث؟ 149
- السؤال 8.1 ما مدى أهمية بخار الماء لتغير المناخ؟ 153
- السؤال 8.2 هل للتحسينات في جودة الهواء تأثير على تغير المناخ؟ 155
- السؤال 9.1 هل تتحسن النماذج المناخية، وكيف سنعرف ذلك؟ 157
- السؤال 10.1 المناخ يتغير دائماً. كيف نحدد أسباب التغيرات المرصودة؟ 159
- السؤال 10.2 متى تصبح التأثيرات البشرية على المناخ واضحة على النطاقات المحلية؟ 161
- السؤال 11.1 إذا لم تكن قادراً على التنبؤ بالطقس في الشهر القادم، فكيف تستطيع أن تتنبأ بالمناخ في العقد القادم؟ 163
- السؤال 11.2 كيف تؤثر الانفجارات البركانية في المناخ وفي قدرتنا على التنبؤ بالمناخ؟ 165
- السؤال 12.1 لماذا يستخدم هذا العدد الكبير من النماذج والسيناريوهات لوضع إسقاطات تغير المناخ؟ 167
- السؤال 12.2 كيف ستتغير الدورة المائية للأرض؟ 169
- السؤال 12.3 ماذا سيحدث لمناخ المستقبل إذا أوقفنا الانبعاثات اليوم؟ 171
- السؤال 13.1 لماذا يختلف التغير في مستوى سطح البحار الإقليمية عن المتوسط العالمي؟ 173
- السؤال 13.2 هل ستساهم الصفائح الجليدية لغرينلاند والقطب الجنوبي في تغيير مستوى سطح البحر خلال الفترة المتبقية من القرن؟ 175
- السؤال 14.1 كيف يؤثر تغير المناخ في الرياح الموسمية؟ 179
- السؤال 14.2 كيف ترتبط إسقاطات المستقبل للمناخ لإقليمي بإسقاطات المتوسطات العالمية؟ .. 181

السؤال 1.1 | إذا كان فهم النظام المناخي قد تزايد، فلماذا لم ينخفض نطاق إسقاطات درجات الحرارة؟

تتفق النماذج المستخدمة في كيفية حساب الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ لإسقاطات درجات الحرارة مع اتجاه التغير العالمي في المستقبل إلا أنه لا يمكن التنبؤ على وجه الدقة بالحجم المتوقع لتلك التغيرات. فيمكن لمعدلات انبعاث غازات الاحتباس الحراري أن تتخذ أي مسار من المسارات الكثيرة المحتملة، كما أن بعض العمليات الفيزيائية الأساسية لم تفهم بعد بصورة كاملة، مما يجعل من العسير نمذجتها. وتؤدي أوجه عدم اليقين هذه مقترنة بالتقلبية المناخية الطبيعية من عام لآخر إلى «نطاق من عدم اليقين» في إسقاطات درجات الحرارة.

ولا يمكن إحداث خفض مادي في نطاق عدم اليقين الذي يحيط بانبعاثات غازات الاحتباس الحراري المتوقعة، وانبعاثات سلائف الهباء الجوي (التي تعتمد على إسقاطات الأحوال الاجتماعية والاقتصادية في المستقبل). ومع ذلك، فإن تحسن الفهم والنماذج المناخية بالإضافة إلى قصور الرصدات - قد تخفض من نطاق عدم اليقين المحيط ببعض العوامل التي تؤثر في استجابة المناخ لتلك التغيرات في الانبعاثات. غير أن تعقيدات النظام المناخي تسببت في تباطؤ هذه العملية (السؤال 1.1، الشكل 1)

وقد أحرز علم المناخ الكثير من أوجه التقدم المهمة منذ تقرير التقييم الأخير الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ وذلك بفضل التحسينات في القياسات وتحليل البيانات في نظم الغلاف الجليدي، والغلاف الجوي، واليابسة، والغلاف الحيوي، والمحيطات. كما أصبح لدى العلماء فهم أفضل وأدوات لنمذجة دور السحب والجليد البحري والهباء الجوي، وامتزاج المحيطات الصغير النطاق، ودورة الكربون، وغير ذلك من العمليات. وتعني زيادة عمليات الرصد أنه يمكن الآن تقييم النماذج بقدر أكبر من الدقة، وأنه يمكن تقييم الإسقاطات بصورة أفضل. وعلى سبيل المثال، تزايدت دقة إسقاطات مستوى سطح البحر مع تحسن النماذج وتحليل الرصدات مما أدى إلى تحقيق التوازن في الموازنة الحالية لارتفاع مستوى سطح البحر.

وعلى الرغم من أوجه التقدم هذه، مازال هناك نطاق في الإسقاطات المعقولة للمناخ العالمي والإقليمي في المستقبل - وهو ما يطلق عليه العلماء تعبير «نطاق عدم اليقين». وتتوقف نطاقات عدم اليقين هذه على المتغير قيد النظر (كمية الأمطار مقابل درجة الحرارة، مثلاً) والمدى المكاني والزمني (مثل المتوسطات الإقليمية مقابل المتوسطات العالمية). وتنشأ أوجه عدم اليقين في الإسقاطات المناخية عن التقلبية الطبيعية وعدم اليقين المحيط بمعدل الانبعاثات في المستقبل واستجابة المناخ لها. ويمكن أن تحدث أيضاً لأن طرائق تمثيل بعض العمليات المعروفة لم تصقل بعد، ولعدم إدراج بعض العمليات في النماذج.

وتوجد حدود أساسية لمدى الدقة التي يمكن بها إسقاط درجات الحرارة السنوية بسبب الطبيعة غير المنتظمة للنظام المناخي. وعلاوة على ذلك، فإن الإسقاطات على نطاق العقود معرضة للظروف السائدة - مثل درجة حرارة أعماق المحيطات - غير المعروفة بدرجة جيدة. فيعض التقلبية الطبيعية على مدى العقود تنشأ عن تفاعلات بين المحيط، والغلاف الجوي واليابسة والمجال الحيوي والغلاف الجليدي، كما ترتبط ببعض الظواهر مثل ظاهرة النينو / التذبذب الجنوبي وتذبذب شمال الأطلسي (للإطلاع على تفاصيل أتماط ومعاملات تقلبية المناخ، انظر الإطار 2.5).

كما تسهم الثورات البركانية والتباينات في النواتج الشمسية في التقلبية الطبيعية وإن كانت هذه مدفوعة خارجياً ويمكن تفسيرها. ويمكن أيضاً النظر إلى هذه التقلبية الطبيعية كجزء من «الضوضاء» في سجل المناخ مما يوفر الخلفية التي يمكن في ضوءها رصد «علامات» تغير المناخ البشرية المنشأ.

وللتقلبية الطبيعية تأثير على عدم اليقين على النطاقين الإقليمي والمحلي أكبر من تأثيرها على النطاقات القارية أو العالمية. فهي كامنة في نظام الأرض، ولن تبدد زيادة المعارف أوجه عدم اليقين التي تسببها. غير أن من المحتمل إحراز بعض التقدم - وخاصة في الإسقاطات حتى عدد قليل من السنوات القادمة - التي تستفيد من التقدم الذي يتحقق في المعارف عن الغلاف الجليدي أو حالة المحيطات وعملياتها، مثلاً. وهذا مجال نشط لإجراء البحوث. وعندما يجري توزيع المتغيرات المناخية على نطاق العقود الزمنية أو أطول من ذلك، تتناقص الأهمية النسبية للتقلبية الداخلية مما يؤدي إلى إبراز الإرشادات الطويلة الأجل (السؤال 1.1، الشكل 1). ويتسق هذا البعد الطويل الأجل مع التعريف الشائع عن المناخ بأنه متوسط على امتداد 30 عاماً.

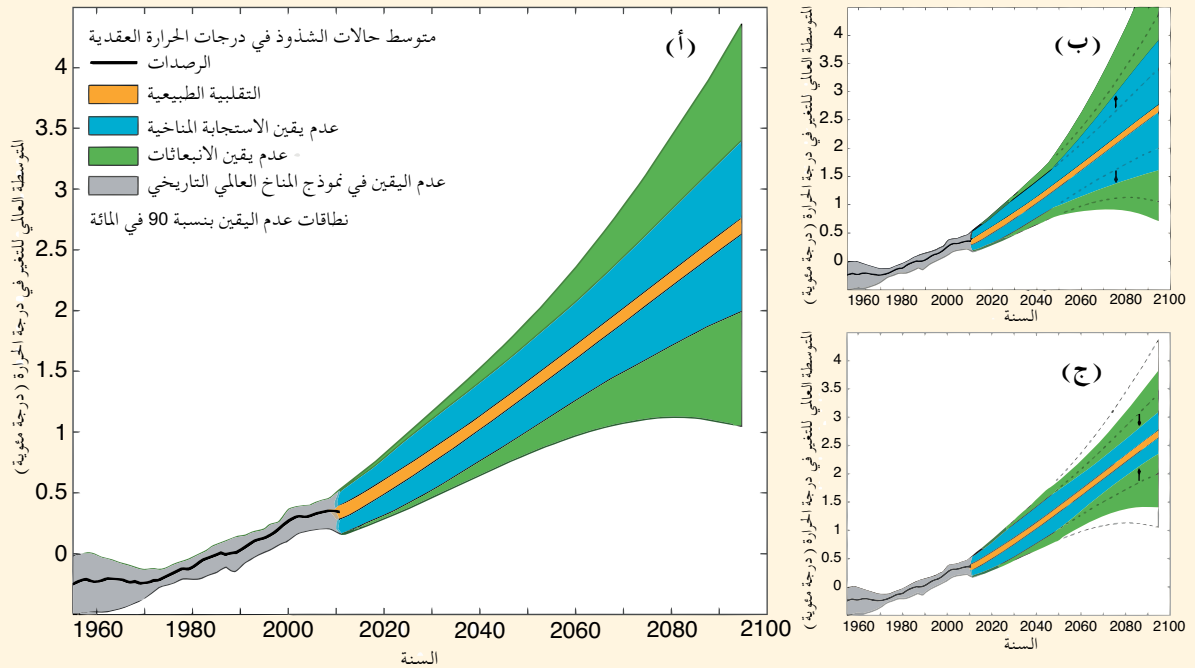
وينشأ مصدر ثان لعدم اليقين من المسارات المحتملة الكثيرة التي قد تتخذها معدلات انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وسلائف الهباء الجوي، ومن اتجاهات التغير المستقبلية في استخدام الأراضي. ومع ذلك، فإن الإسقاطات المناخية تعتمد على مدخلات من هذه المتغيرات. وللحصول على هذه التقديرات، ينظر العلماء في عدد من السيناريوهات البديلة للمجتمع البشري في المستقبل، من حيث السكان، والتغيرات الاقتصادية والتكنولوجية، والخيارات السياسية. ثم تقدر الانبعاثات المحتملة في إطار كل سيناريو. وتوفر الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ الإسترارة لصنع السياسات، ومن ثم فإن الإسقاطات المناخية لمختلف السيناريوهات المتعلقة بالانبعاثات يمكن أن تفيده في إظهار الانعكاسات المحتملة لمختلف خيارات السياسات. ويقصد من هذه السيناريوهات أن تكون متوافقة مع النطاق الكامل لسيناريوهات الانبعاثات التي يرد وصف لها في هذه الدراسة العلمية الراهنة التي تتضمن أو لا تتضمن سياسة مناخية. وعلى ذلك فقد صممت لتقديم عينات لعدم اليقين في السيناريوهات في المستقبل.

والإسقاطات للسنوات القليلة القادمة والعقود حساسة لانبعاثات المركبات قصيرة العمر مثل الهباء الجوي والميثان. غير أن الإسقاطات الأكثر بعداً تكون أكثر حساسية لسيناريوهات البديلة المحيطة بانبعثات غازات الاحتباس الحراري التي تبقى في الغلاف الجوي لفترة طويلة. ولن تنخفض أوجه عدم اليقين المعتمدة على السيناريوهات بفعل التحسينات في علم المناخ، وستصبح أوجه عدم اليقين هذه السمة الغالبة في الإسقاطات على مدى الفترات الزمنية الأطول (مثل 2100) (السؤال 1.1، الشكل 1).

وتأتي المساهمة النهائية في نطاق عدم اليقين من معرفتنا غير المكتملة عن الكيفية التي سيستجيب بها المناخ للانبعثات البشرية المنشأ في المستقبل، والتغير في استخدام الأراضي. ويستخدم العلماء بالدرجة الأولى النماذج المناخية العالمية المعتمدة على الحاسوب في تقدير هذه الاستجابة. وقد وضعت مجموعات مختلفة من العلماء في أنحاء العالم بضع عشرات من النماذج المناخية العالمية. واعتمد في بناء جميع النماذج على نفس المبادئ الفيزيائية إلا أن الأمر يحتاج إلى بعض عمليات التقريب بالنظر إلى أن النظام المناخي يتسم بالتعقيد البالغ. إذ تختار المجموعات المختلفة عمليات تقريب مختلفة بصورة طفيفة لعرض عمليات معينة في الغلاف الجوي مثل السحب. وتنتج هذه الاختيارات الفروق في الإسقاطات المناخية من النماذج المختلفة. ويوصف هذا الإسهام في نطاق عدم اليقين بأنه «عدم يقين الاستجابة» أو «عدم يقين النموذج».

ويعني التعقيد الذي يتسم به نظام الأرض أن مناخ المستقبل قد يتبع الكثير من السيناريوهات المختلفة، إلا أنه يظل متسقاً مع الفهم الحالي والنماذج الحالية. ومع استطلاعة سجلات الرصد، وتحسن النماذج، سيتمكن الباحثون، في حدود قيود نطاق التقلبية الطبيعية، من تضيق ذلك النطاق القائم في درجة الحرارة المحتملة في العقود القليلة القادمة (السؤال 1.1، الشكل 1). كما يمكن استخدام المعلومات عن الحالة الراهنة للمحيطات والغلاف الجليدي في إنتاج إسقاطات أفضل حتى سنوات قليلة قادمة.

ومع تحسن العلم، يمكن إضافة عمليات جيوفيزيائية جديدة إلى النماذج المناخية، ويمكن تحسين العروض التي أدرجت بالفعل. وقد يبدو أن هذه التطورات قد زادت من تقديرات عدم اليقين المستمدة من النماذج بشأن الاستجابة المناخية، إلا أن هذه الزيادة لا تجسد سوى التقييم الكمي لمصادر عدم اليقين التي لم يسبق قياسها (السؤال 1.1، الشكل 1). ومع إضافة المزيد من العمليات المهمة، تنخفض تأثيرات العمليات غير المقيمة كميًا، ويمكن أن تتزايد الثقة في الإسقاطات.



السؤال 1.1، الشكل 1 | يبين الشكل التخطيطي الأهمية النسبية لمختلف أوجه عدم اليقين، وتطورها مع الزمن. (أ) متوسط التغير العشري في درجة الحرارة السطحية (الدرجات المئوية) من السجل التاريخي (الخط الأسود)، ومع تقديرات النموذج المناخي لعدم اليقين في الفترة التاريخية (الخط الرمادي)، مع الإسقاطات المناخية للمستقبل وعدم اليقين. ويجري تسوية القيم بحسب المتوسطات من 1961 إلى 1980. وتستمد التقلبية الطبيعية (اللون البرتقالي) من التقلبية فيما بين السنوات المستمدة من النموذج، ويفترض أنها ثابتة مع الوقت. ويقدر عدم اليقين بشأن الانبعثات (اللون الأخضر) باعتباره المتوسط المستمد من النموذج للفرق في الإسقاطات المتعلقة بمختلف السيناريوهات. ويستند عدم اليقين بشأن الاستجابة المناخية (الخط الأزرق المستمر) إلى امتداد النموذج المناخي بالإضافة إلى أوجه عدم اليقين المضافة من دورة الكربون فضلاً عن التقديرات الأولية لعدم اليقين المضاف لعمليات النمذجة السريعة. واستناداً إلى ما ذكره Hawkins و (2011) Sutton و Huntingford وآخرون (2009). (ب) وقد يبدو عدم يقين استجابة المناخ في ازدياد عند اكتشاف عملية جديدة ذات صلة بالموضوع، إلا أن هذا الزيادات تجسد تقديراً لعدم اليقين الذي لم يسبق قياسه أو (ج) يمكن أن تتناقص مع التحسينات الإضافية في النموذج وفي قيود الرصد. ويعني نطاق عدم اليقين المقدم البالغ 90 في المائة أن درجة الحرارة تقدر بأنها في نفس النطاق مع احتمالية 90 في المائة.

السؤال 2.1 | كيف نعرف أن العالم قد تعرض للاحتراق؟

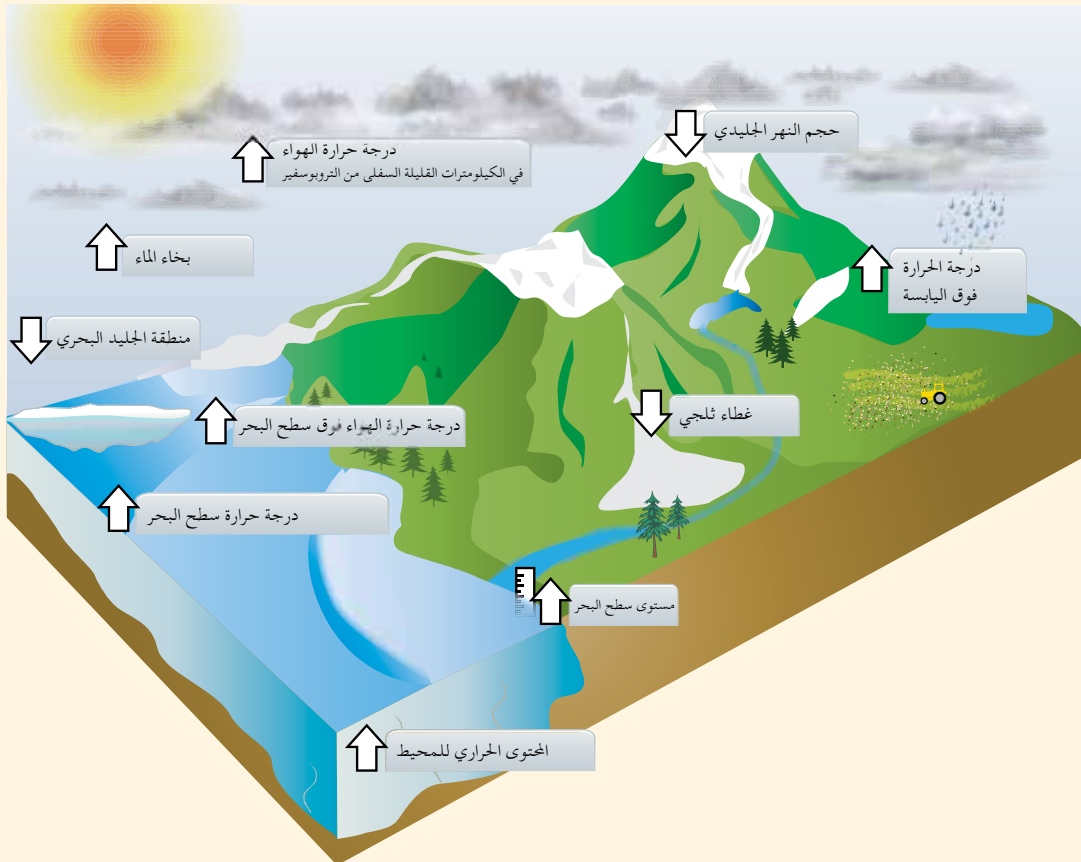
تأتي الأدلة على احترار العالم من مؤشرات مناخية مستقلة متعددة تتراوح بين مستوى عال في الغلاف الجوي إلى أعماق المحيطات. وتتضمن هذه الأدلة التغيرات في درجات حرارة سطح الأرض والغلاف الجوي والمحيطات، والانهار الجليدية، والغطاء الثلجي، والجليد البحري، ومستوى سطح البحر، وبخار الماء في الغلاف الجوي. وقد تحقق العلماء من جميع أنحاء العالم بصورة مستقلة من هذه الأدلة مرات كثيرة. لاجدال إذا في أن العالم يتعرض للاحتراق منذ القرن التاسع عشر.

وكثيراً ما تتركز المناقشات بشأن احترار المناخ على التحيزات المتبقية المحتملة في سجلات درجات الحرارة المستمدة من محطات الطقس القائمة على اليابسة. وهذه السجلات بالغة الأهمية، إلا أنها لا تمثل سوى مؤشر واحد على حدوث تغيرات في النظام المناخي. وتأتي الأدلة الأشمل على احترار العالم من طائفة عريضة من القياسات المستقلة المتساوقة فيزيائياً للكثير من العناصر الأخرى المترابطة بقوة في النظام المناخي (السؤال 2.1، الشكل 1).

ويعد ارتفاع المتوسط العالمي في درجات الحرارة السطحية أفضل مؤشر معروف عن تغير المناخ. وعلى الرغم من أن كل عام وحتى كل عقد ليس أكثر حرارة مما قبله، فإن درجات الحرارة السطحية العالمية إزادت احتراراً بدرجة ملموسة منذ عام 1900.

ويتوافق احترار درجات حرارة اليابسة بصورة وثيقة مع اتجاه الاحترار المرصود فوق المحيطات. كذلك فإن احترار درجات حرارة هواء المحيطات الذي يقاس من على متن السفن، ودرجات حرارة سطح البحر ذاته تتوافق على النحو الذي بينته الكثير من التحليلات المستقلة.

ونظراً لأن الغلاف الجوي والمحيطات من الأجسام المائعة، ينبغي النظر إلى الاحترار عند السطح أيضاً في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي، وبصورة عميقة في الأجزاء العليا من المحيطات، وتؤكد الرصدات أن هذا هو الحال في الحقيقة. وبين تحليل القياسات التي تجرى بالمسابير الرادوية من بالونات الطقس والسواتل حدوث احترار دائماً في التروبوسفير، أو طبقة الطقس النشطة في الغلاف الجوي. وخصن أكثر من 90 في المائة من الطاقة الزائدة التي امتصها النظام المناخي منذ سبعينيات القرن الماضي على الأقل في المحيطات كما يتضح من السجلات العالمية للمحتوى الحراري للمحيطات والتي تعود إلى خمسينيات القرن الماضي.



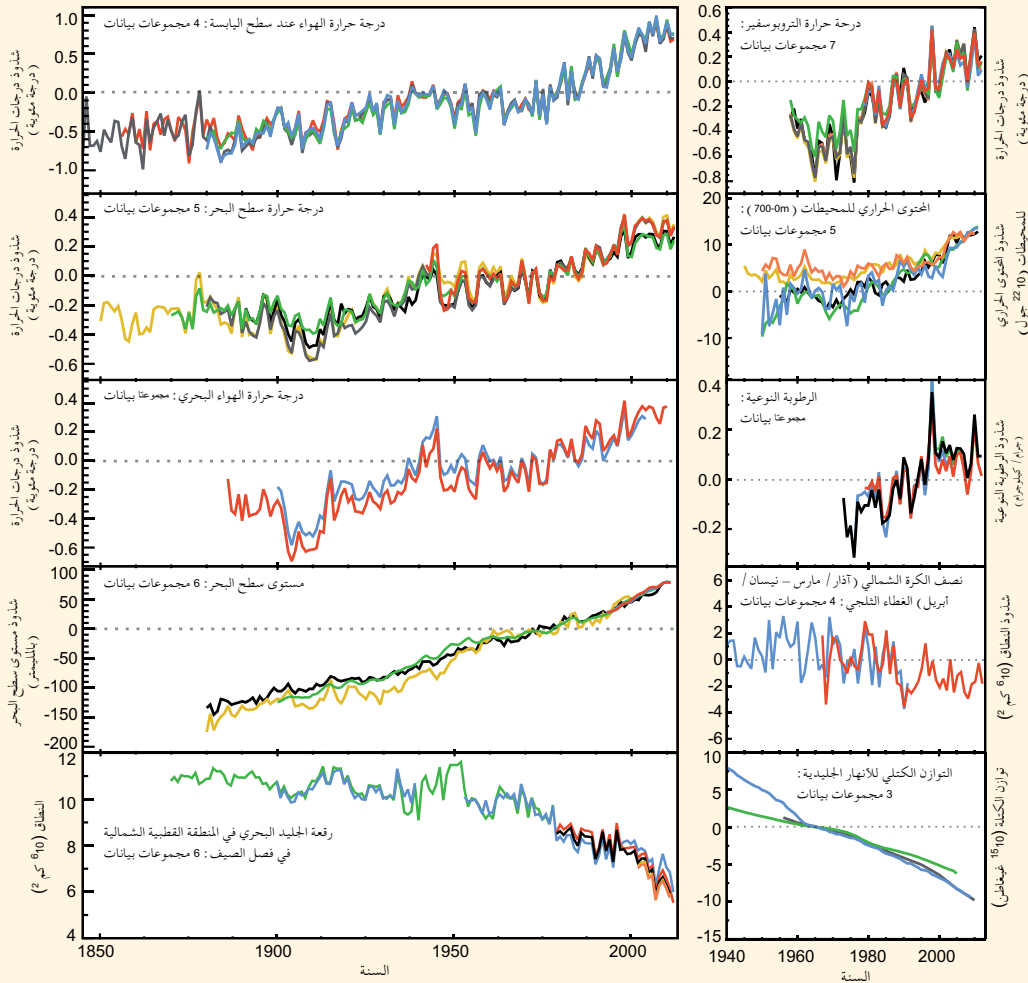
السؤال 2.1، الشكل 1 | تظهر التحليلات المستقلة الكثير من مكونات النظام المناخي التي يتوقع أن تتغير في عالم يتعرض للاحتراق الاتجاهات المتساوقة مع الاحترار (يبين اتجاه السهم علامة التغيير) على النحو المبين في السؤال 2.1، الشكل 2.

ومع احترار المحيطات، تتمدد المياه ذاتها. وهذا التمدد هو أحد القوى المحركة الرئيسية للارتفاع الذي رصد بصورة مستقلة في مستويات سطح البحر خلال القرن الماضي. كما يسهم انصهار الأنهار الجليدية، والصفائح الجليدية، مثلما تسهم التغيرات في تخزين واستخدام المياه على اليابسة.

والعالم الأكثر حرارة عالم رطب أيضاً لأن الهواء الحار يحتفظ بقدر أكبر من بخار الماء. وتبين التحليلات العالمية أن الرطوبة النوعية، التي تقيس كمية بخار الماء في الغلاف الجوي، زادت أيضاً في كل من اليابسة والمحيطات.

والأجزاء المتجمدة من كوكب الأرض - والمعروفة معاً بالغلاف الجليدي - تتأثر بالتغيرات المحلية لدرجات الحرارة وتؤثر فيها. وقد تقلصت كمية الجليد الموجودة في الأنهار الجليدية عالمياً سنوياً لأكثر من 20 سنة، وتسهم الكتلة المفقودة، جزئياً، في الارتفاع المرصود في مستوى سطح البحر. والغطاء الثلجي حساس للتغيرات في درجات الحرارة وخاصة خلال الربيع، عندما يبدأ الثلج في الانصهار. وقد تقلص الغطاء الثلجي الربيعي عبر نصف الكرة الأرضية الشمالي منذ خمسينيات القرن الماضي. وقد رصدت خسائر ضخمة في الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية منذ بدء عمليات التسجيل بالسواتل، وخاصة عند وصول رقعة الأنهار الجليدية إلى الحد الأدنى خلال شهر أيلول / سبتمبر في نهاية فصل الانصهار السنوي. وعلى العكس من ذلك، كانت الزيادة في الجليد البحري في منطقة القطب الجنوبي ضئيلة.

وقد يكون أي تحليل بمفرده غير مقنع، إلا أن تحليل هذه المؤشرات المختلفة ومجموعات البيانات المستقلة أدى إلى وصول الكثير من مجموعات البحوث المستقلة إلى نفس النتيجة. فمن مياه المحيطات العميقة إلى قمة التروبوسفير، تشير جميع الأدلة المستقاة من احترار الهواء والمحيطات، وانصهار الجليد، وارتفاع مستوى سطح البحر بصورة قاطعة إلى نتيجة واحدة هي أن العالم قد تعرض للاحتار منذ أواخر القرن التاسع عشر (السؤال 2.1، الشكل 2).



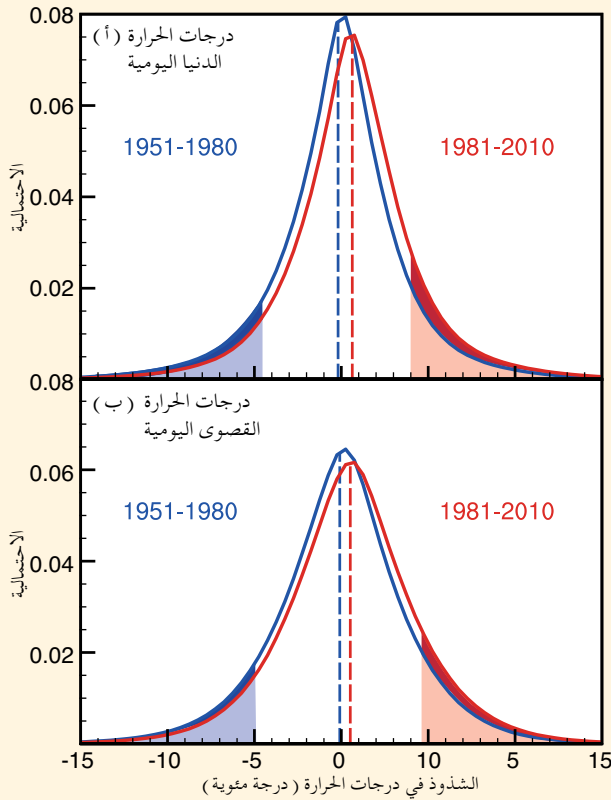
السؤال 2.1، الشكل 2 | المؤشرات المستقلة المتعددة على تغير المناخ العالمي. يمثل كل خط تقديراً مستنبطاً بصورة مستقلة للتغير في عنصر مناخي. وفي كل لوحة جرى تسوية جميع مجموعات البيانات لتكون فترة مشتركة للسجل. وتتضمن المواد التكميلية 2 من موجز 5 التفاصيل الكاملة عن مصدر مجموعات البيانات الذي يذهب إلى لوحة بعينها.

السؤال 2.2 | هل حدثت أية تغييرات في الظواهر المناخية المتطرفة؟

تتوافر أدلة قوية على أن الاحترار قد أسفر عن تغييرات في درجات الحرارة المتطرفة - بما في ذلك موجات الحرارة - منذ منتصف القرن العشرين. والأرجح أن الزيادات في الأمطار الغزيرة قد حدث أيضاً خلال هذه الفترة إلا أنه يتباين فيما بين الأقاليم. غير أننا أقل تأكيداً، بشأن الظواهر المتطرفة الأخرى مثل تواتر العواصف المدارية باستثناء بعض المناطق المحدودة، بأنه حدثت تغييرات ملموسة في السجل المرصود.

ومن موجات الحرارة إلى نوبات البرد ومن حالات الجفاف إلى الأمطار المسببة للفيضانات، يفرض تسجيل وتحليل الظواهر المناخية المتطرفة تحديات فريدة ليس فقط لأن هذه الظواهر نادرة الحدوث بل لأنها تحدث أيضاً بالاقتران مع ظروف مدمرة. وعلاوة على ذلك، لا يتوافر تعريف موحد في الدراسات العلمية عما يشكل ظاهرة مناخية متطرفة، ويؤدي ذلك إلى تعقيد عمليات التقييم العالمية المقارنة.

وعلى الرغم من أن الظاهرة المناخية المتطرفة، بالمعنى المطلق، سوف تختلف من مكان لآخر - فيوم حار في المناطق المدارية، مثلاً، قد ينطوي على درجة حرارة مختلفة عن يوم حار في مناطق خطوط العرض المتوسطة - أبرزت الجهود الدولية لمراقبة الظواهر المتطرفة بعض التغييرات العالمية الكبيرة.



إذ تستخدم التعاريف المتساوقة، مثلاً، عن الأيام والليالي الباردة (أقل من عشر المئتين)، والحارة (أكثر من تسعين المئتين)، لبيينا أن الأيام والليالي الحارة قد زادت وأن الأيام والليالي الباردة قد انخفضت في معظم أقاليم العالم وإن كانت هناك بعض الاستثناءات القليلة في وسط وشرق أمريكا الشمالية وجنوبي أمريكا الجنوبية إلا أنها لا تتعلق في معظمها إلا بدرجات الحرارة في وقت النهار. وهذه التغييرات أكثر وضوحاً بصفة عامة في درجات الحرارة الدنيا المتطرفة مثل الليالي الحارة. ونتيجة لقصور البيانات يتعذر وضع صلة سببية للزيادات في متوسط درجات الحرارة إلا أن السؤال 2.2، الشكل 1 يبين أن متوسط درجات الحرارة المتطرفة قد تغير بالفعل. وما زالت المناقشات جارية عما إذا كانت هذه التغييرات ترتبط ببساطة بمتوسط الزيادة في درجات الحرارة (الخطوط المقطعة في السؤال 2.2، الشكل 1) أو أن هذه التغييرات في توزيع درجات حرارة النهار والليل قد حدثت.

وجرى أيضاً تقييم نوبات الحرارة وموجات الحرارة بين الفترات التي تتضمن أياماً أو ليالي متتابعة شديدة الحرارة، إلا أنه لا يتوافر سوى عدد قليل من الدراسات عن خصائص موجات الحرارة غير تلك التي تعقد المقارنات بين الأيام أو الليالي الحارة فقط. وقد تعرضت معظم المناطق الأرضية العالمية التي يتوافر لديها بيانات لمزيد من موجات حرارة منذ منتصف القرن العشرين. وأحد الاستثناءات لذلك جنوب شرق الولايات المتحدة الأمريكية، حيث أظهر تواتر موجات الحرارة ومددها انخفاضاً بصفة عامة. ويرتبط ذلك بما يسمى «ثقب الاحترار» في هذه المنطقة التي تزيد فيها أيضاً كميات الأمطار، وقد يتعلق هذا بالتفاعلات بين اليابسة والغلاف الجوي، والتغيرات الطويلة الأجل في المحيطين الأطلسي والهادئ. وعلاوة على ذلك، فإن المعلومات محدودة عن موجات الحرارة في المناطق الشاسعة وخاصة في أفريقيا وأمريكا الجنوبية.

وبالنسبة لبعض الأقاليم مثل أوروبا حيث تتوافر تشكيلات تاريخية لدرجات الحرارة المتصورة تعود إلى عدة مئات من السنين، تبين المؤشرات أن بعض المناطق قد تعرضت لعدد غير متناسب من موجات الحرارة المتطرفة في العقود الأخيرة.

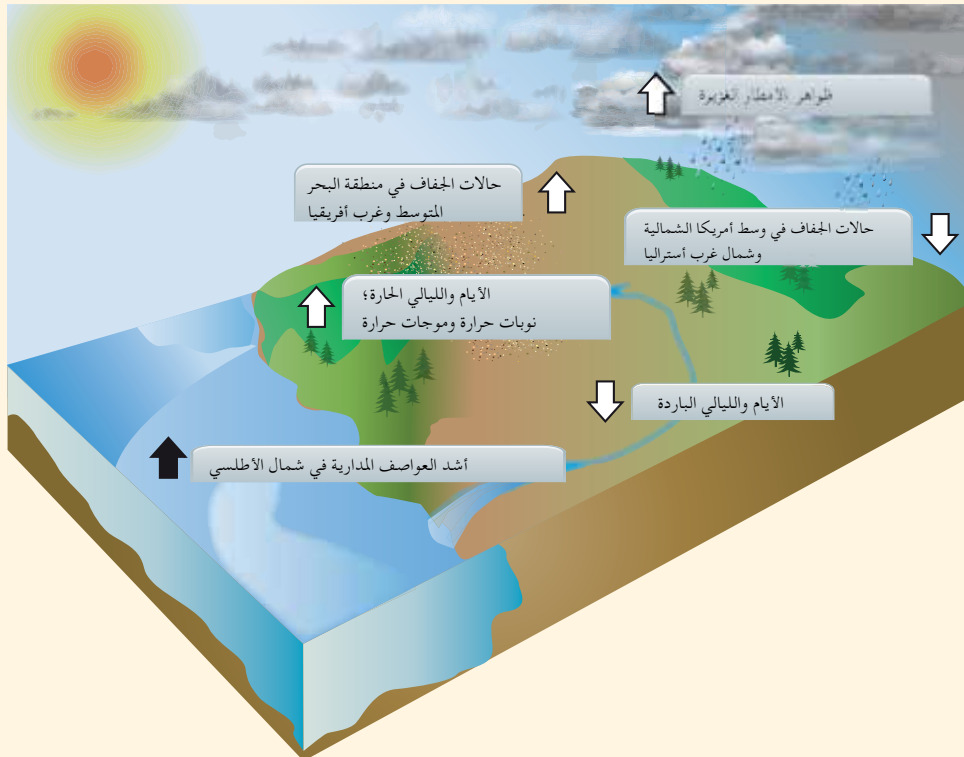
السؤال 2.2، الشكل 1 | توزيع كل من (أ) الشذوذ في درجات الحرارة الدنيا اليومية و(ب) درجات الحرارة القصوى اليومية بالمقارنة بدراسات علم المناخ للفترة 1981-1990 للفترتين: من 1951 إلى 1980 (باللون الأزرق) ومن 1981 إلى 2010 (باللون الأحمر) باستخدام مجموعة بيانات HadGHCND. وتمثل المنطقة الزرقاء المظللة والمنطقة الحمراء المظللة أبرد عشرة في المائة وأحر عشرة في المائة على التوالي في (أ) الليالي و(ب) النهار خلال الفترة 1951-1980 وتشير المناطق المظللة الداكنة إلى عدد أبرد الأيام (اللون الأزرق الداكن)، والكمية التي زاد بها عدد الأيام وأحر الليالي (اللون الأحمر الداكن) خلال الفترة 1981-2010 بالمقارنة بالفترة 1951-1980.

ويقل إتساق التغيرات في الظواهر المتطرفة في المتغيرات المناخية الأخرى بصفة عامة عن تلك التي رصدت بالنسبة لدرجات الحرارة وذلك نتيجة لقصور البيانات وحالات عدم الاتساق بين الدراسات، والأقاليم و/أو الفصول. غير أن الزيادات في الظواهر المتطرفة المتعلقة بكميات الأمطار، مثلاً، تتسق مع مناخ أكثر احترازا. وتشير التحليلات التي أجريت في المناطق الأرضية التي تتوفر عنها بيانات كافية إلى زيادة تواتر وكثافة كميات الأمطار المتطرفة في العقود الأخيرة، إلا أن النتائج تتباين بشدة فيما بين الأقاليم والفصول. وعلى سبيل المثال، فإن الأدلة أشد وضوحاً في الزيادات في الأمطار الغزيرة في أمريكا الشمالية، وأمريكا الوسطى وأوروبا إلا أنه تتوفر أدلة في بعض الأقاليم الأخرى مثل جنوبي أستراليا وغربي آسيا على حدوث انخفاضات. وبالمثل، فإن الدراسات المتعلقة بالجفاف لا تتفق على دلالة اتجاه التغير العالمي، مع اعتماد حالات عدم الاتساق في اتجاهات التغير على المستوى الإقليمي أيضاً تعتمد على كيفية تعريف الجفاف. غير أنه تتوفر مؤشرات على أن حالات الجفاف قد تزايدت في بعض الأقاليم (مثل البحر المتوسط) وانخفضت في أقاليم أخرى (مثل وسط أمريكا الشمالية) منذ منتصف القرن العشرين.

ولدى النظر إلى الظواهر المتطرفة الأخرى، مثل العواصف المدارية، تبين عمليات التقييم الأخيرة أن من المتعذر، بالنظر إلى المشكلات المتعلقة بقدرات الرصد السابقة، إصدار بيانات قاطعة عن اتجاهات التغير الطويلة الأجل. غير أنه تتوفر أدلة قوية على ازدياد نشاط العواصف في شمال المحيط الأطلسي منذ سبعينات القرن الماضي.

وتشير الأدلة، على امتداد فترات زمنية تصل إلى قرن أو أكثر، إلى حدوث انخفاضات طفيفة في تواتر العواصف المدارية التي تلحق أضراراً باليابسة في شمال الأطلسي وجنوب المحيط الهادئ بمجرد مراعاة أوجه عدم اليقين في طرائق الرصد. ولا تتوفر إلا أدلة طفيفة على أي اتجاهات طويلة الأجل في الأحواض المحيطية الأخرى. وبالنسبة للعواصف خارج المناطق المدارية، يتضح حدوث تحول صوب القطبين في نصفي الكرة الأرضية كليهما خلال الخمسين سنة الماضية، مع وجود أدلة أخرى، وإن كانت محدودة، على حدوث انخفاض في تواتر الرياح العاتية في مناطق خطوط العرض الوسطى. ويشير العديد من الدراسات إلى حدوث زيادة في الحدة إلا أن المسائل المتعلقة بأخذ عينات البيانات تعرقل عمليات التقييم هذه.

السؤال 2.2، الشكل 2 | يوجز الشكل بعض التغيرات التي رصدت في ما يتعلق بالظواهر المناخية المتطرفة. وبصفة عامة فإن أكثر التغيرات العالمية قوة في الظواهر المناخية المتطرفة تتجلى في قياسات درجات الحرارة اليومية، بما في ذلك الموجات الحارة إلى حد ما. ويبدو أيضاً أن الظواهر المتطرفة المتعلقة بكميات الأمطار آخذة في الزيادة إلا أن هناك تبايناً شاسعاً بين الأماكن، ومازالت اتجاهات التغير المرصودة لحالات الجفاف غير مؤكدة باستثناء عدد قليل من الأقاليم. وفي حين شوهدت زيادات قوية في تواتر العواصف المدارية وأنشطتها في شمال الأطلسي منذ سبعينات القرن الماضي، مازالت أسباب ذلك قيد البحث. وتتوافر أدلة محدودة على التغيرات في الظواهر المتطرفة المرتبطة بالمتغيرات المناخية الأخرى منذ منتصف القرن العشرين.



السؤال 2.2، الشكل 2 | اتجاهات التغير في تواتر (أو شدة) مختلف الظواهر المناخية المتطرفة (يشير اتجاه السهم إلى علامة التغيير) منذ منتصف القرن العشرين (باستثناء عواصف شمال الأطلسي حيث تبدأ الفترة المشمولة من سبعينات القرن الماضي).

السؤال 3.1 | هل يحدث احترار للمحيطات؟

نعم. المحيطات تتعرض للاحترار في كثير من المناطق ونطاقات العمق والفترات الزمنية على الرغم من أن ذلك لا يحدث في كل مكان ولا بصورة مستمرة. وتظهر علامات الاحترار بأكبر قدر من الوضوح لدى النظر إلى المتوسطات العالمية بل وحتى أحواض المحيطات على مدى فترات زمنية تصل لعقد أو أكثر.

وقد تتباين درجة حرارة المحيطات في موقع معين تبايناً شاسعاً مع فصول السنة. وقد تتباين بدرجة كبيرة أيضاً من عام لآخر - أو حتى من عقد لآخر - نتيجة للتغيرات في التيارات المحيطية، وتبادل الحرارة فيما بين المحيطات والغلاف الجوي.

تسجل درجات حرارة المحيطات منذ قرون، إلا أنه لم يحدث حتى نحو عام 1971 أن أصبحت القياسات شاملة بما يكفي لتقدير متوسط درجة حرارة العالم لعدة مئات من الأمتار من الطبقات العليا للمحيطات بصورة تتسم بالثقة في أي سنة بعينها. والواقع أنه قبل المحطات الطافية لرسم المقاطع الجانبية لدرجات الحرارة والملوحة لصفيفة الأوقيانوغرافيا الجيوسروفية الطافية في الوقت الحقيقي Argo التي تحققت أول مرة في التغطية العالمية في عام 2005، كان المتوسط العالمي لدرجات حرارة الطبقات العليا للمحيطات، في أي سنة معينة، يخضع للمنهجية المستخدمة في تقديرها.

وقد زاد المتوسط العالمي لدرجات حرارة الطبقات العليا من المحيطات خلال مستويات زمنية عقدية من 1071 إلى 2010. وعلى الرغم من عدم اليقين البالغ في معظم الوسائل السنوية، كان هذا الاحترار نتيجة مؤكدة. ففي الخمسة والسبعين متراً العليا من المحيطات، كان المتوسط العالمي لتغير الاحترار يبلغ 0.11 [من 0.09 إلى 0.13] درجة مئوية للعقد خلال هذه الفترة الزمنية. ويقال هذا التغير عموماً من السطح إلى متوسط العمق حيث ينخفض إلى نحو 0.04 درجة مئوية للعقد عند 200 متر، وإلى أقل من 0.02 درجة مئوية للعقد عند 500 متر.

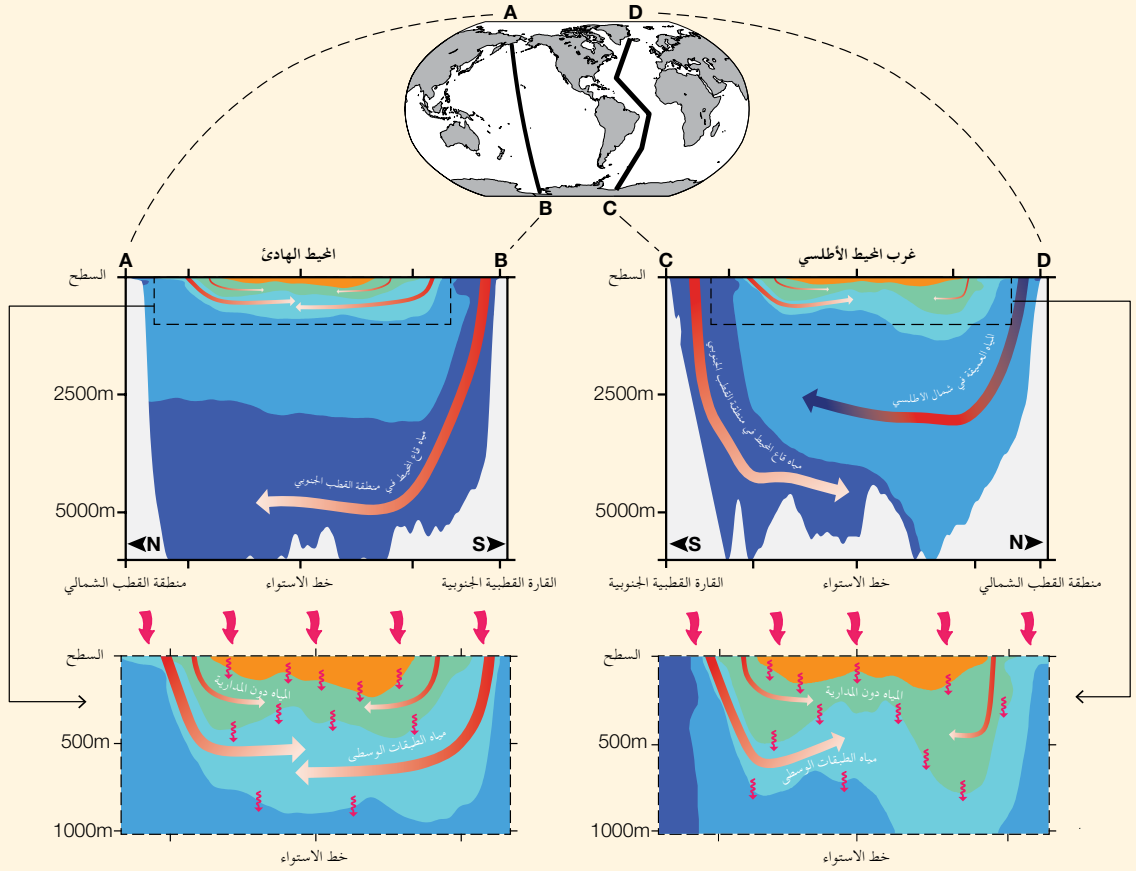
وتدخل حالات الشذوذ في درجات الحرارة إلى تحت سطح المحيطات من خلال ممرات بالإضافة إلى المزج من أعلى (السؤال 3.1، الشكل 1). إذ يمكن أن تهبط المياه الباردة - ومن ثم الأكثر كثافة - من خطوط العرض المرتفعة من السطح ثم تنتشر صوب مياه خط الاستواء الأكثر حرارة والأخف عند خطوط العرض المنخفضة. وفي بعض المواقع - في الجزء الشمالي من شمال المحيط الأطلسي والمحيط الجنوبي حول القطب الجنوبي - تبرد مياه المحيط بدرجة كبيرة لدرجة أنها تهبط إلى أعماق بعيدة حتى تصل إلى القاع. وتنتشر هذه المياه بعد ذلك لتشغل جزءاً كبيراً من بقية الطبقات العميقة من المحيط. وعندما تحترق المياه السطحية للمحيط، تزداد درجة حرارة المياه الهابطة أيضاً مع مرور الوقت مما يزيد من درجات الحرارة الداخلية للمحيط بسرعة أكبر مما يحدث عندما تختلط حرارة السطح الهابطة بمفردها.

وفي شمال الأطلسي، تتباين درجات حرارة هذه المياه العميقة من عقد لآخر - فترتفع درجة حرارتها في بعض الأحيان. وتنخفض في البعض الآخر - بحسب الأنماط السائدة في الغلاف الجوي في الشتاء. وفي المناطق المحيطة بالقارة القطبية الجنوبية، ارتفعت درجة حرارة مياه القاع بصورة ملموسة ابتداء من الفترة 1992-2005 تقريباً، ربما بسبب زيادة قوة الرياح الغربية وتحولها صوب الجنوب في المناطق المحيطة بالمحيط الجنوبي خلال العقود العديدة الماضية. وعلامات الاحترار هذه في مياه القاع الأكثر عمقاً والأشد برودة في المحيطات العالمية ملموسة، وإن كانت تضعف صوب الشمال في المحيطات الهندي والأطلسي والهادئ. وتقل معدلات الاحترار في المياه العميقة، بصفة عامة، عن معدلات المياه السطحية للمحيطات (نحو 0.03 درجة مئوية لكل عقد منذ تسعينيات القرن الماضي في المياه العميقة والقاعية في المناطق المحيطة بالمنطقة القطبية الجنوبية، وتكون أقل وضوحاً في الكثير من المواقع الأخرى). غير أنها تحدث على امتداد مساحة كبيرة ومن ثم فإن احترار الطبقات العميقة للمحيطات يسهم بدرجة كبيرة في الزيادة الفعلية في حرارة المحيط.

وقد أصبحت تقديرات التغيرات التاريخية في المتوسط العالمي لدرجات حرارة المحيطات أكثر دقة خلال السنوات العديدة الماضية، ويعود الفضل في ذلك إلى حد كبير إلى الوعي بالأخطاء في القياسات المنهجية وخفضها. وقد خفض العلماء من خلال إجراء مقارنة دقيقة للقياسات الأقل دقة بالقياسات المتفرقة الأقل عدداً والأكثر دقة في المناطق المجاورة وفي أوقات مماثلة، من بعض أخطاء الأدوات غير الحقيقية. وكشفت هذه التحسينات عن أن المتوسط العالمي لدرجات حرارة المحيطات قد زاد باطراد بالغ من عام لآخر عما كان قد أُبلغ قبل عام 2008. على إن المتوسط العالمي لمعدل الاحترار قد لا يكون موحداً من حيث الوقت. ففي بعض السنوات، يبدو أن المحيطات تحترق بمعدل أسرع من المتوسط وفي سنوات أخرى يبدو المعدل الاحترار بطيئاً.

وتؤدي كتلة المحيطات الكبيرة وسعتها الحرارية المرتفعة إلى تمكينها من تخزين كميات هائلة من الطاقة - تزيد بأكثر من ألف مرة عن تلك المتوافرة في الغلاف الجوي لتحقيق زيادة مساوية في درجات الحرارة. وتمتص الأرض كميات حرارة تزيد عن تلك التي تعيد إطلاقها في الفضاء، وتدخل جميع هذه الحرارة الزائدة إلى المحيطات حيث تخزن هناك. وقد امتصت المحيطات نحو 93 في المائة من الحرارة المجمعة المخزنة بواسطة الهواء والبحار والأراضي الأكثر دفئاً، وقد صهرت الجليد فيما بين 1971 و2010.

وتتسبب السعة الحرارية الضخمة للمحيطات وبطء دورانها في حدوث قصور حراري كبير. فهي تحتاج إلى نحو عقد من الزمن لتكييف درجات الحرارة قرب سطحها استجابة لضغط المناخ (القسم 12.5)، مثل التغيرات في تركيزات غازات الاحتباس الحراري. وعلى ذلك فإنه إذا أمكن الإبقاء على المستويات الراهنة لتركيزات الغازات الحابسة للحرارة في المستقبل، فسوف تبدأ درجات حرارة سطح الأرض في التباطؤ في غضون نحو عقد من الزمن. غير أن درجات حرارة الطبقات العميقة للمحيطات سوف تستمر في الاحترار لمئات إلى آلاف السنين (القسم 12.5)، ومن ثم سوف تستمر مستويات سطح البحر كذلك في الارتفاع لمئات إلى آلاف السنين (القسم 13.5).



السؤال 3.1، الشكل 1 | مسارات امتصاص المحيطات للحرارة — فالمحيطات مكونة من طبقات توجد أبرد وأعلىها كثافة في أعماق المحيطات (اللوحات العلويتان: تستخدم الخارطة العلوية للتوجيه). وتهبط مياه قاع المنطقة القطبية الجنوبية الباردة (اللون الأزرق الداكن) حول المنطقة القطبية الجنوبية ثم تنتشر في اتجاه الشمال عبر قاع المحيط إلى وسط المحيط الهادئ (اللوحات العليا إلى اليسار: تشير الأسهم الحمراء التي تتحول إلى اللون الأبيض إلى الاحترار الأشد الذي حدث مؤخراً في مياه القاع بالاتصال مع سطح المحيطات) ومحيطات غرب الأطلسي (اللوحات العليا إلى اليمين) فضلاً عن المحيط الهندي (لا يظهر في الشكل). وتهبط المياه العميقة لشمال الأطلسي الأقل برودة ومن ثم الأخف (الممثلة باللون الأزرق الفاتح) في المنطقة الشمالية من شمال الأطلسي (اللوحات العليا إلى اليمين: يشير السهم الأحمر والأزرق في المياه العميقة إلى الاحترار والبرودة في العقد) ثم تنتشر جنوباً فوق مياه قاع المنطقة القطبية الجنوبية. وبالمثل، تهبط المياه الوسطية الباردة في الطبقات الأعلى من المحيط (تبين اللوحات السفلى إلى اليسار تفاصيل المحيط الهادئ). وتبين اللوحات السفلى إلى اليمين المحيط الأطلسي) في المناطق دون القطبية (الأسهم الحمراء التي تتحول إلى اللون الأبيض تشير إلى احترار مع مرور الوقت) قبل أن تنتشر صوب خط الاستواء تحت المياه دون المدارية الحارة (اللون الأخضر) التي تهبط بدورها (الأسهم الحمراء التي تتحول إلى الأبيض تشير إلى الاحترار الأشد للمياه الوسطية ودون المدارية في الفترة الأخيرة بالاتصال مع السطح) وتنتشر صوب خط الاستواء تحت المياه المدارية، وهي المياه الأكثر احتراراً والأخف (اللون البرتقالي) من بين جميع المحيطات الثلاثة. لذلك تقيم الحرارة أو البرودة الزائدة التي تدخل سطح المحيطات (الأسهم الحمراء المنحنية) خلافاً تهبط ببطء إلى أسفل (الأسهم الحمراء المتموجة تحت السطح).

السؤال 3.2 | هل تتوافر أدلة على حدوث تغييرات في دورة مياه الأرض؟

تشمل الدورة المائية للأرض البحر وسقوط الرطوبة عند سطح الأرض. وتوفر التغييرات في كمية بخار الماء في الغلاف الجوي أدلة قوية على أن الدورة المائية تستجيب بالفعل للمناخ الذي تعرض للاحتراق. وتأتي أدلة أخرى من التغييرات في توزيع ملوحة المحيطات التي أصبحت، نتيجة لنقص الرصدات الطويلة الأجل للأمطار والبحر فوق المحيطات العالمية، مقياساً مهماً غير مباشر للأمطار.

ويتوقع أن تشتد الدورة المائية في المناخ الأكثر احتراراً بالنظر إلى أن الهواء الحار يمكن أن يصبح أكثر رطوبة: فبوسع الغلاف الجوي أن يحتفظ بما يزيد بنحو 7 في المائة من بخار الماء بالنسبة لكل درجة مئوية من الاحترار. وتبين الرصدات منذ سبعينيات القرن الماضي حدوث زيادات في بخار الماء عند السطح وفي الطبقات السفلى للغلاف الجوي (السؤال 3.2، الشكل 1 أ) بمعدل يتسق والاحترار المرصود. وعلاوة على ذلك، يتوقع أن يشتد البحر وتساقط الأمطار في المناخ الأكثر احتراراً.

وتؤيد التغييرات المسجلة في ملوحة المحيطات خلال الخمسين عاماً الماضية هذه الإسقاطات. فمياه البحار تحتوي على كل من المياه المالحة والعذبة وتعد ملوحتها دالة لوزن ما تحتويه من أملاح ذائبة. ونظراً لأن الكمية الإجمالية للأملاح، التي تأتي من تجوية الصخور، لا تتغير على امتداد المستويات الزمنية البشرية؛ فإن ملوحة مياه البحار لا يمكن أن تتغير، خلال أيام أو قرون إلا بإضافة أو إزالة المياه العذبة.

ويربط الغلاف الجوي مناطق الفقدان الصافي للمياه العذبة في المحيطات بتلك التي تزداد فيها المياه العذبة من خلال نقل بخار الماء المتبخر من مكان لآخر. ويجسد توزيع الملوحة على سطح المحيطات بدرجة كبيرة النمط المكاني للبحر ناقصاً كميات الأمطار، وجريان وعمليات المياه من الأراضي والجليد البحري. وثمة بعض التحول في الأنماط ذات الصلة ببعضها الآخر نتيجة للتغيرات المحيطية.

والمياه دون المدارية شديدة الملوحة، لأن البحر يتجاوز كميات الأمطار في حين أن مياه البحر في مناطق خطوط العرض العالية وفي المناطق المدارية - حيث تسقط الأمطار بكميات تزيد عن عن البحر - تكون أقل ملوحة (السؤال 3.2، الشكل 1 ب و د). ويفقد المحيط الأطلسي، الذي يمثل أكثر أحواض المحيطات ملوحة، قدرًا من المياه العذبة من خلال البحر يزيد عما يحصل عليه من تساقط الأمطار، في حين يتعادل المحيط الهادئ تقريباً. (أي أن المكاسب من تساقط الأمطار تتوازن تقريباً مع الفقد من البحر)، ويغلب تساقط الأمطار على المحيط الجنوبي (المنطقة المحيطة بالقطب الجنوبي).

وتعزز التغييرات في الملوحة السطحية، وفي الطبقة الأعلى من المحيط نمط الملوحة المتوسط. وقد أصبحت المناطق دون المدارية التي يسودها البحر أكثر ملوحة في حين أصبحت المناطق دون القطبية والمدارية التي يسودها سقوط الأمطار أكثر عذوبة. ولدى دراسة التغييرات في الخمسمئة متر العليا، يتبين أن المحيط الأطلسي الذي يغلب عليه البحر أصبح أكثر ملوحة في حين أصبح المحيط الهادئ المتعادل تقريباً، والمحيط الجنوبي الذي يغلب عليه سقوط الأمطار أكثر عذوبة (السؤال 3.2، الشكل 1 ج).

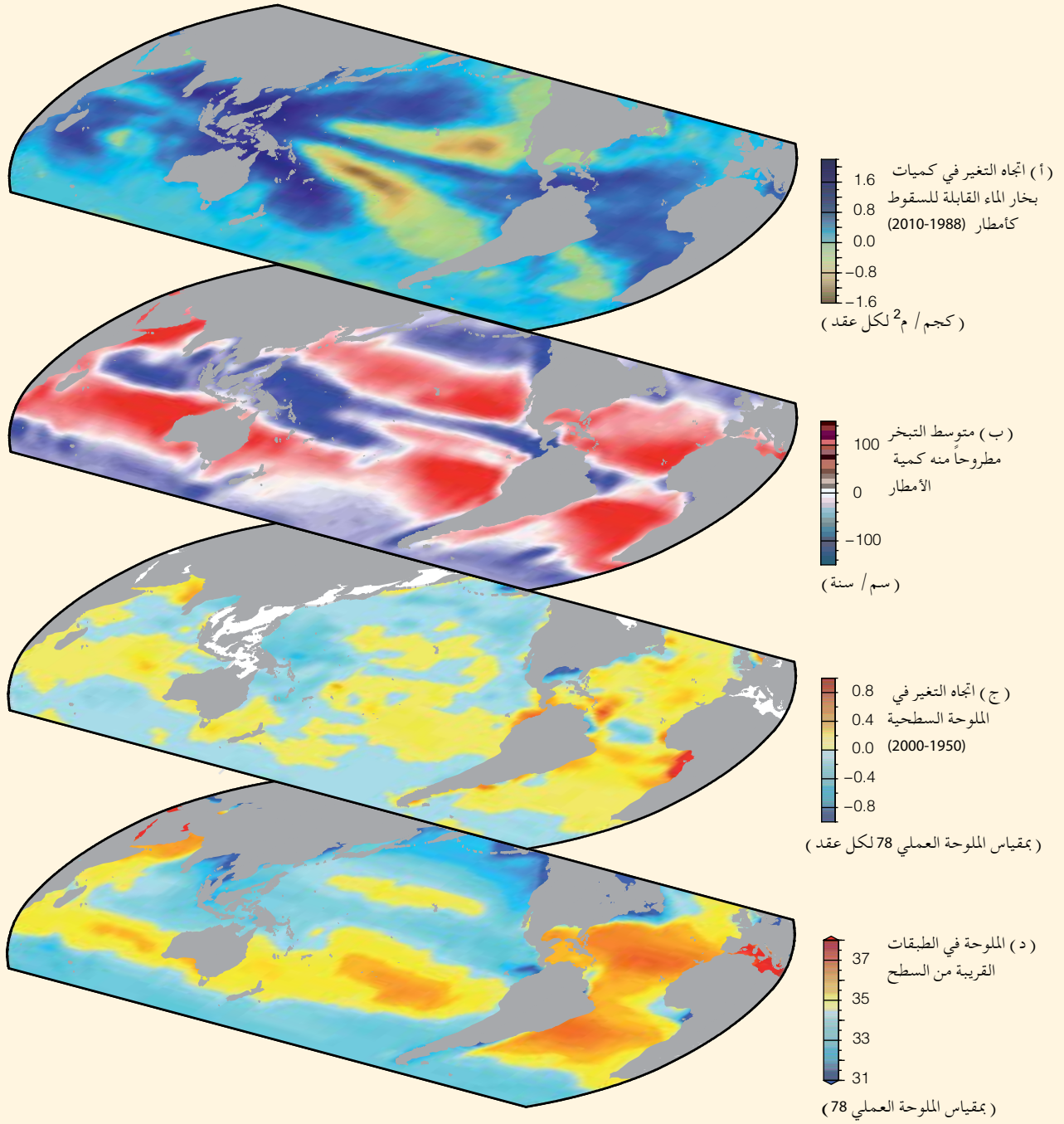
ومن الصعب رصد التغييرات في كميات الأمطار والبحر بصورة مباشرة وعلى النطاق العالمي بالنظر إلى أن معظم مبادلات المياه العذبة فيما بين الغلاف الجوي والسطح تحدث في نسبة السبعين في المائة من سطح الأرض الذي تغطيه المحيطات. ولا تتوافر سجلات طويلة الأجل عن سقوط الأمطار إلا من اليابسة فقط، ولا توجد قياسات طويلة الأجل للبحر.

وتبين الرصدات من اليابسة زيادة في كميات الأمطار في بعض المناطق وانخفاضات في مناطق أخرى مما يزيد من صعوبة استنباط صورة متكاملة عالمياً. وقد أظهرت الرصدات المأخوذة من اليابسة حدوث مزيد من ظواهر سقوط الأمطار الأكثر تطرفاً، ومزيد من الفيضانات المرتفعة بانصهار الثلوج السابق في مناطق خطوط العرض الشمالية العالية إلا أن هناك أوضاعاً إقليمية في هذه التغييرات. غير أن الرصدات المأخوذة من اليابسة لا تكفي حتى الآن لتوفير أدلة على حدوث تغييرات في حالات الجفاف.

ومن ناحية أخرى، تعمل ملوحة المحيطات كمقياس حساس وفعال لسقوط الأمطار فوق المحيطات. وتجمد بصورة طبيعية وتبرز الفرق بين المياه التي تحصل عليها المحيطات من الأمطار والمياه التي تفقدتها عن طريق البحر حيث يتسم كلاهما بشدة بالتجزئة والفرق. وتتأثر ملوحة المحيطات أيضاً بجريان المياه من القارات ومن انصهار وتجمد الجليد البحري أو الكتل الجليدية الطافية. وسوف تغير المياه المضافة من انصهار الجليد على الأرض من الملوحة التي يتحدد متوسطها عالمياً إلا أن التغييرات حتى الآن طفيفة بصورة يتعذر رصدها.

وتظهر البيانات المتعلقة بالخمسين عاماً الماضية حدوث تغييرات واسعة النطاق في الملوحة في الطبقات العليا للمحيطات، مما يشير إلى حدوث تغييرات منتظمة في سقوط الأمطار وجريان المياه ناقصاً البحر على النحو المبين في السؤال 3.2، الشكل 1.

ويستند السؤال 3.2 إلى الرصدات الواردة في الفصلين 2 و3 وإلى تحليل النماذج في الفصلين 9 و12.



السؤال 3.2، الشكل 1 | تتعلق التغييرات في ملوحة سطح البحر بأنماط البحر ناقصاً كمية الأمطار في الغلاف الجوي (البخر - كمية الأمطار) والتغيرات في مجموع كمية المياه الناشئة عن الأمطار (أ) التغيير الخطي (2010-1988) في مجموع كمية المياه القابلة للسقوط (بمقياس الملوحة العملي 78) (بخار الماء المنبعث من سطح الأرض من خلال كامل الغلاف الجوي) (كيلوغرام لكل متر مربع للعقد) من رصدات السواتل (المسبار الخاص بجهاز التصوير بالموجات القصيرة) (نقلاً عن Wentz وآخرون، 2007) (الألوان الزرقاء: تشير إلى الرطوبة؛ الألوان الصفراء: تشير إلى الجفاف). (ب) شبكة المتوسط الصافي من علم المناخ للفترة 2005-1979 البحر - كمية الأمطار (سم في السنة) من تحليلات الأرصاد الجوية (المراكز الوطنية للإسقاطات البيئية / مركز بحوث الغلاف الجوي، وفقاً لـ Kalnay وآخرون، 1996) (الألوان الحمراء، البحر الصافي، الألوان الزرقاء: كمية الأمطار الصافية). (ج) التغيير (2000-1950) في ملوحة السطح (لكل 50 عاماً) (وفقاً لـ Wjiffels و Durack، 2010) (تجديد الألوان الزرقاء، الألوان الصفراء - الحمراء الأكثر ملوحة). (د) متوسط ملوحة السطح من علم المناخ (بمقياس الملوحة العملي) (الألوان الزرقاء أقل من 35، الألوان الصفراء والحمراء أكثر من 35).

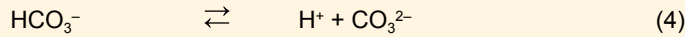
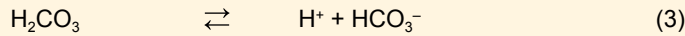
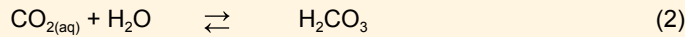
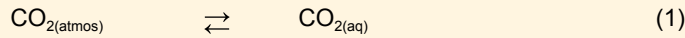
السؤال 3.3 | ما هي صلة تحمض المحيطات البشرية المنشأ بتغير المناخ؟

ينشأ كل من تغير المناخ البشري المنشأ وتحمض المحيطات البشري المنشأ عن زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. فارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) بالإضافة إلى غازات الاحتباس الحراري الأخرى يغير بصورة غير مباشرة من النظام المناخي لكونها تمتص الحرارة عندما تنعكس عائدة من سطح الأرض. وتحمض المحيطات البشري المنشأ يمثل نتيجة مباشرة لزيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون حيث إن المياه البحرية تمتص حالياً نحو 30 في المائة من ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ من الغلاف الجوي.

ويشير تحمض المحيطات إلى حدوث انخفاض في درجة الحموضة pH خلال فترة ممتدة تكون عادة عقوداً أو أطول من ذلك، ويرجع ذلك بالدرجة الأولى إلى امتصاص ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. ودرجة الحموضة مقياس لا تمييز له للحموضة. ويصف تحمض المحيطات اتجاه التغيير في درجة الحموضة وليس نقطة التعادل لذلك بمعنى أن قيمة درجة حموضة المحيطات آخذة في الانخفاض إلا أن من غير المتوقع أن تصبح المحيطات حمضية (قيمة درجة حموضة أقل من 7). وقد تحدث حموضة المحيطات نتيجة لإضافات كيميائية أخرى أو مستخلصات من المحيطات تكون عديمة التأثير (مثل إطلاق مركبات النيتروجين والكبريت في الغلاف الجوي). ويشير تحمض المحيطات البشري المنشأ إلى عنصر انخفاض درجة الحموضة نتيجة لنشاط بشري.

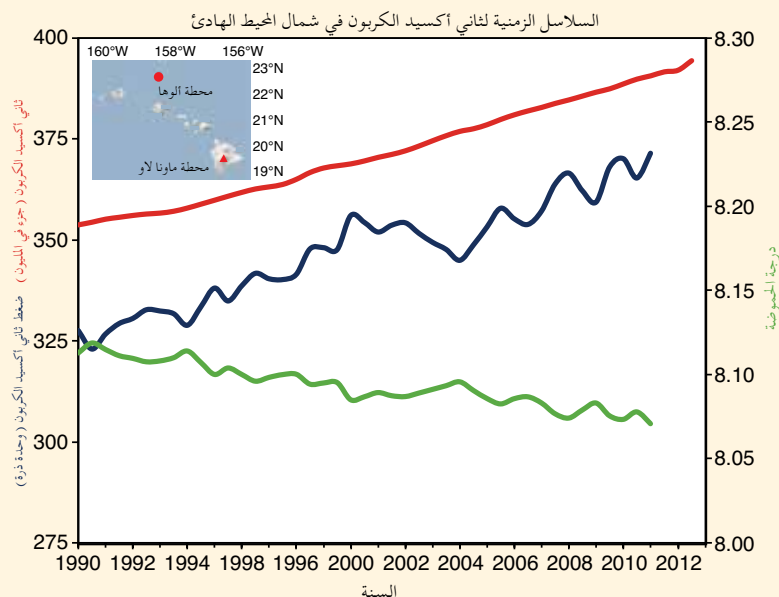
ومنذ نحو عام 1750، أسفر إطلاق ثاني أكسيد الكربون من الأنشطة الصناعية والزراعية عن زيادة في المتوسط العالمي لتركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من 278 إلى 390.5 جزء في المليون في 2011. وقد زاد الآن تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عما تعرضت له الأرض على مدى فترة الـ 800000 سنة الأخيرة، ويتوقع أن يستمر في الارتفاع بسبب اعتمادنا على الوقود الأحفوري للحصول على الطاقة. وحتى الآن، امتصت المحيطات ما يقرب من 155 ± 30 ببتاغرام كربون من الغلاف الجوي، وهو ما يعادل تقريباً ربع مجموع كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة (555 ± 85 ببتاغرام كربون) من الأنشطة البشرية منذ عصر ما قبل الصناعة. وقد أدت عملية الامتصاص الطبيعية هذه إلى إحداث خفض كبير في مستويات غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي، وقللت من بعض تأثيرات الاحترار العالمي. غير أن لامتصاص المحيطات لثاني أكسيد الكربون تأثيراً كبيراً على كيمياء مياه البحر. فقد انخفض متوسط درجة الحموضة في المياه السطحية للمحيطات بالفعل بنحو 0.1 وحدة من نحو 8.2 إلى 8.1 منذ بداية الثورة الصناعية. وتشير تقديرات تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي والمحيطات المتوقعة في المستقبل إلى أن متوسط درجة حموضة المحيطات، بحلول نهاية هذا القرن، قد يقل بمقدار 0.2 إلى 0.4 في المائة عما هو عليه الآن. ومستوى درجة الحموضة لوغاريتمي ومن ثم فإن تغيير وحدة واحدة يقابله تغيير في تركيزات أيون الهيدروجين بعشرة أمثالها.

وعندما تحدث مبادلات لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عبر السطح المشترك بين الهواء والبحار، فإنه يتفاعل مع المياه البحرية من خلال سلسلة من أربعة تفاعلات كيميائية تزيد من تركيزات أنواع الكربون: ثاني أكسيد الكربون المذاب ($CO_{2(aq)}$) وحمض الكربونيك (H_2CO_3) والبيكربونات (HCO_3^-):



وتنتج أيونات الهيدروجين (H^+) من خلال هذه التفاعلات. ويقابل هذه الزيادة في تركيزات أيونات الهيدروجين المحيطية انخفاض في درجة الحموضة أو زيادة في الحموضة ذاتها. وفي الظروف العادية للمياه البحرية، سوف يلتحم أكثر من 99.99 في المائة من أيونات الهيدروجين الناتج من تحليل أيون الكربونات (CO_3^{2-}) لإنتاج بيكربونات إضافية (HCO_3^-). وعلى ذلك فإن إضافة ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ في المحيطات يخفض من درجة الحموضة ويستهلك أيونات الكربونات. ويمكن استرجاع التفاعلات بالكامل، وأصبحت الدينامية الحرارية الأساسية لهذه التفاعلات في المياه البحرية معروفة تماماً لدرجة أنه عند وصول قيمة درجة الحموضة إلى نحو ما يقرب من 8.1 يكون ما يقرب من 90 في المائة من الكربون في شكل أيونات بيكربونات، و9 في المائة في شكل أيونات كربونات، وما لا يتجاوز نحو 1 في المائة من الكربون في شكل ثاني أكسيد كربون ذائب. والنتائج من المختبرات والميدان، ودراسات النماذج فضلاً عن الأدلة المتوافرة من السجلات الجيولوجية، تبين بوضوح، أن النظم الإيكولوجية البحرية معرضة بدرجة كبيرة لزيادات في ثاني أكسيد كربون المحيطات وانخفاضات مقابلة في قيمة درجة الحموضة وأيونات الكربونات.

ولا يتفاعل تغير المناخ وتحمض المحيطات البشري المنشأ بصورة منفصلة. ففي حين أن ثاني أكسيد الكربون الذي تمتصه المحيطات لا يسهم في الاحترار بفعل الاحتباس الحراري، فإن احترار المحيطات يقلل من ذوبان ثاني أكسيد الكربون في المياه البحرية ومن ثم يخفض من كمية ثاني أكسيد الكربون التي يمكن أن تمتصها المحيطات من الغلاف الجوي. وعلى سبيل المثال فإنه في ظل تركيزات ثاني أكسيد الكربون المضاعفة من عصر ما قبل الصناعة، وزيادة درجتين مئويتين في درجات الحرارة، تمتص المياه البحرية نسبة تقل بنحو 10 في المائة من مجموع كمية الكربون (CT) عما كان يحدث دون زيادة في درجات الحرارة (قارن العمودين 4 و6 في الجدول 1)، إلا أن درجة الحموضة pH تظل دون تغيير. وعلى ذلك تقل قدرة المحيطات الأكثر احتراراً على إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي ومع ذلك تظل تتعرض لتحمض المحيطات. ويتمثل السبب في ذلك في أن البيكربونات تتحول إلى كربونات في المحيطات الأكثر احتراراً مما يؤدي إلى إطلاق أيونات الهيدروجين ومن ثم ثبات درجة الحموضة.



السؤال 3.3، الشكل 1 | سلاسل زمنية مبسطة للكسرات الجزئية (جزء في المليون) لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في مرصد مونا لوا للغلاف الجوي (الخط الأحمر العلوي)، والضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون لسطح المحيط (pCO_2 ، الخط الأزرق الأوسط) ودرجة حموضة سطح المحيط (الخط الأخضر السفلي) في محطة ألوهيا في شمال هاواي في شمال المحيط الهادئ شبه المداري للفترة من 1990 إلى 2011 (نقلا عن Doney وآخرين، 2009، وبيانات من Dore وآخرين، 2009). وتشير النتائج إلى أن تغير الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون pCO_2 في سطح المحيط يتفق بصورة عامة مع الزيادة في الغلاف الجوي إلا أنه أكثر تغيراً بالنظر إلى المستوى الواسع النطاق للتقلبية فيما بين السنوات للعمليات المحيطية.

السؤال 3.3، الجدول 1 | درجة حموضة المحيطات والتغيرات في بارامترات نظام الكربون في مياه السطح لتضاعف ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي قبل عصر الصناعة مع درجتين مئويتين من الاحترار.

البارامترات	عصر ما قبل الصناعة (280 جزءاً في المليون من الحجم) 20 درجة مئوية	عصر ما قبل الصناعة (560 جزءاً في المليون من الحجم) 20 درجة مئوية	نسبة التغير مقابل عصر ما قبل الصناعة	عصر ما قبل الصناعة (560 جزءاً في المليون من الحجم) 22 درجة مئوية	نسبة التغير مقابل عصر ما قبل الصناعة
درجة الحموضة (pH)	8.1714	7.9202	-	7.9207	-
أيونات الهيدروجين (واحد من مليون جزئ جرامي لكل كجم)	6.739×10^{-9}	1.202×10^{-8}	(78.4)	1.200×10^{-8}	(78.1)
ثاني أكسيد الكربون (الذائب) (واحد من مليون الجزئ الجرامي لكل كجم)	9.10	18.10	(98.9)	17.2	(89.0)
أيون البيكربونات (واحد من مليون جزئ جرامي لكل كجم)	1723.4	1932.8	(12.15)	1910.4	(10.9)
أيون الكربونات (واحد من مليون من الجزئ الجرامي لكل كجم)	228.3	143.6	(37.1-)	152.9	(33.0-)
مجموع الكربون (واحد من مليون من الجزئ الجرامي لكل كجم)	1960.8	2094.5	(6.82)	2080.5	(6.10)

ملاحظات:

أ $CO_{2(aq)}$ = ثاني أكسيد الكربون الذائب، H_2CO_3 = حمض الكربونيك، HCO_3^- = أيون بيكربونات، CO_3^{2-} = أيون كربونات، C_T = مجموع كمية الكربون، $CO_{3(aq)}^{2-} + HCO_3^- + CO_{2(aq)}$

السؤال 4.1 | كيف يتغير الجليد البحري في منطقتي القطب الشمالي والقطب الجنوبي؟

للغطاء الجليدي البحري على محيط القطب الشمالي والمحيط الجنوبي حول القارة القطبية الجنوبية خواص مختلفة، ويظهران تغيرات مختلفة بمرور الوقت. وكان هناك خلال السنوات الأربع والثلاثين الماضية (1979-2012) اتجاه تغير هبوطي يبلغ 3.8 في المائة في العقد في المتوسط السنوي لحجم الجليد البحري في القطب الشمالي. وقد انخفض متوسط السمك الشتوي للجليد البحري للمحيط المتجمد الشمالي بما يقرب من 1.8 متر فيما بين 1978 و2008، وتقلص الحجم الكلي (الكتلة) للجليد البحري في القطب الشمالي في جميع أوقات السنة. ويعزى الانخفاض الأكثر سرعة في رقعة الجليد البحري في الحد الأدنى الصيفي إلى هذه التغيرات. وعلى العكس من ذلك، أظهرت الرقعة الإجمالية للجليد البحري للقطب الجنوبي، خلال فترة الأربعة والثلاثين عاما نفسها، زيادة طفيفة بلغت 1.5 في المائة في العقد، إلا أن هناك اختلافات إقليمية شديدة في التغيرات حول القطب الجنوبي. ونظرا إلى أن قياسات سمك الجليد البحري في منطقة القطب الجنوبي قليلة لدرجة يتعذر معها تقدير ما إذا كان حجمها الكامل (كتلتها الكاملة) ينخفض باطراد أم أنه يتزايد.

ويقع جزء كبير من مجموع غطاء الجليد البحري في القطب الشمالي فوق خط عرض 60 درجة شمالاً (السؤال 4.1، الشكل 1)، وتحيط به الأرض من الجنوب مع فتحات إلى أرخبيل القطب الشمالي الكندي وبحار بيرنغ وبارينتس وغرينلاند. ويظل بعض الجليد في حوض القطب الشمالي قائماً لعدة فصول، ويتزايد سمكه نتيجة لتجمد المياه البحرية عند القاعدة والتشوهات (الارتفاعات المتطولة والطوافات). ولا يزداد سمك الجليد البحري الموسمي إلا بمقدار مترين، إلا أن الجليد البحري الذي يزيد عمره عن عام واحد (الجليد الدائم) يمكن أن يزداد سمكه إلى عدة أمتار. وينجرف الجليد البحري في القطب الشمالي داخل الحوض مدفوعاً بالرياح والتيارات المحيطية. يغلب على متوسط نمط الانجراف نمط الدوران في اتجاه حسب حركة عقارب الساعة في غربي منطقة القطب الشمالي والتيارات الانجراف القطبي الذي ينقل الجليد البحري السيبيري عبر القطب الشمالي ويصدره من الحوض عن طريق مضيق فرام.

وقدمت السواتل ذات القدرة على التمييز بين الجليد والمياه المفتوحة صورة عن التغيرات في غطاء الجليد البحري. ومنذ عام 1979، انخفض المتوسط السنوي لرقعة الجليد في القطب الشمالي بنسبة 3.8 في المائة للعقد. وكان الانخفاض في الرقعة في نهاية الصيف (أواخر أيلول / سبتمبر) أكبر من ذلك بنسبة 11 في المائة للعقد، ووصل إلى انخفاض قياسي في 2012. وقد انخفض متوسط العقد لرقعة الحد الأدنى للغطاء الجليدي في القطب الشمالي في أيلول / سبتمبر في كل عقد منذ أن بدأت سجلات السواتل. وتشير سجلات الغوصات والسواتل إلى أن سمك جليد القطب الشمالي ومن ثم الحجم الكلي أخذ في التناقص أيضاً. وتسهم التغيرات في الكميات النسبية للجليد الدائم والموسمي في إحداث خفض في حجم الجليد. وعبر سجل الأربعة والثلاثين عاما، فقد ما يقرب من 17 في المائة من هذا النوع من الجليد البحري بفعل الأنصهار والانتقال إلى خارج الحوض منذ 1979، و40 في المائة منذ 1999. وفي حين أن رقعة غطاء الجليد البحري للقطب الشمالي قد تتباين من عام لآخر نتيجة لتغير الإنتاج الموسمي، فإن نسبة الجليد الدائم الكثيف ومجموع حجم الجليد البحري لا يمكن أن تنتعش إلا ببطء.

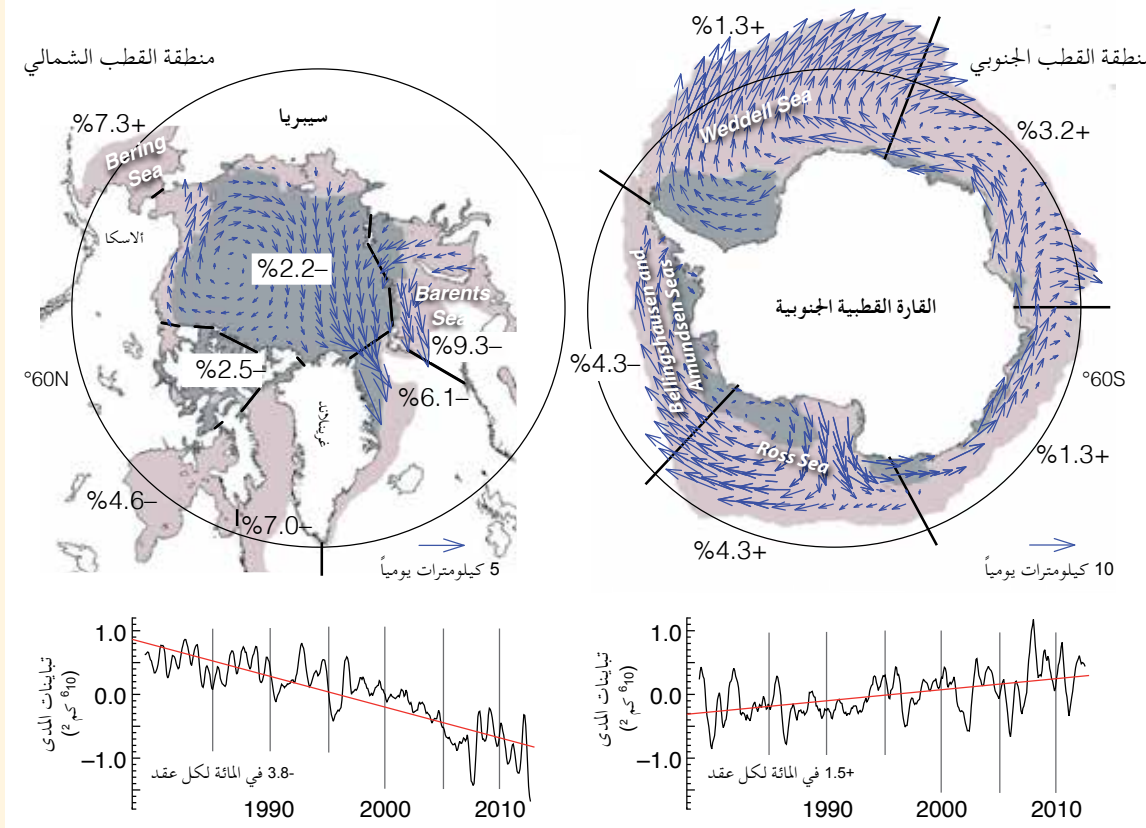
وخلافاً للقطب الشمالي، فإن غطاء الجليد البحري حول القطب الجنوبي مقيد بخطوط العرض شمال خط عرض 78 درجة جنوباً بسبب وجود الكتلة الأرضية القارية. ورقعة الجليد البحري بمنطقة القطب الجنوبي موسمية إلى حد كبير حيث لا يزيد متوسط السمك عن متر واحد واحد في وقت وصول الجليد إلى أقصى رقعة في أيلول / سبتمبر. ولا يتبقى سوى جزء صغير من الغطاء الجليدي في الحد الأدنى الصيفي في شباط / فبراير، ولا يتجاوز عمر الجليد البحري للقطب الجنوبي أكثر من عامين إلا بالنسبة لكميات ضئيلة للغاية. وتعرض حافة الجليد للمحيطات المفتوحة، ويزيد معدل سقوط الثلوج على الجليد البحري للقطب الشمالي عن ذلك الذي يهبط في القطب الجنوبي. وعندما تكفي حمولة الثلج الناتجة عن سقوط الثلوج لضغط سطح الجليد إلى ما دون مستوى سطح البحر، تتغلغل المياه البحرية في قاعدة تراكم الثلوج، ويتشكل الثلج - الجليد عندما تتجمد الثلوج الذائبة. وعلى ذلك يسهم تحول الثلوج إلى جليد (فضلاً عن التجميد القاعدي من قبيل ذلك الذي يحدث في القطب الشمالي) في الزيادة الموسمية في سمك الجليد والحجم الكلي للجليد في القطب الجنوبي. وتكون الثلوج - الجليد عرضة للتغيرات في التساقط ومن ثم التغيرات في المناخ الإقليمي. وتظل نتائج التغيرات في معدل التساقط على سمك الجليد البحري للقطب الجنوبي مجالاً تتركز عليه البحوث.

ومساحة الغطاء الجليدي البحري للقطب الجنوبي عبر خطوط العرض شديدة التغير، لكونها غير مقيدة بحدود برية. ففي غرب ساحل القطب الجنوبي، يسود انجراف الجليد البحري من الشرق إلى الغرب، أما في الشمال، فيتم الانجراف من الغرب إلى الشرق، وهو شديد التباين، إذ يمكن مشاهدة أنماط دوران مختلفة باتجاه حركة عقارب الساعة في بحري ويديل وروس في حين أن الدوران يكون أكثر تغيراً حول شرق القارة القطبية الجنوبية. ويتحكم الانجراف المتباين جزئياً في الامتداد الشمالي للغطاء الجليدي البحري الذي يؤدي في أشهر الشتاء إلى تكوين جليد جديد في مناطق المياه المفتوحة بصفة دائمة (الفجوات الساحلية) على طول الخطوط الساحلية، وتسفر هذه المناطق الخاصة بتكوين الجليد عن مياه محيطية أكثر ملوحة وكثافة، وتصبح أحد المصادر الرئيسية لأكثر المياه عمقاً في محيطات العالم.

وخلال نفس فترة الأربعة والثلاثين عاماً من سجل السواتل، زادت المساحة السنوية للجليد البحري في منطقة القطب الجنوبي بنحو 1.5 في المائة في كل عقد. غير أن هناك اختلافات في اتجاهات التغير فيما بين الأقاليم، إذ تنحسر الرقعة في بحري بلينجشاوسن وأمندسن وتزيد بدرجة كبيرة في بحر روس الذي يسيطر على الاتجاهات الشامل. على أن من غير المؤكد ما إذا كانت الزيادة الشاملة الطفيفة في رقعة الجليد

البحري في القطب الجنوبي يمكن أن تستخدم كمؤشر معقول على المناخ لأنها تختلف من عام لآخر ومن مكان لآخر حول القارة. وتشير نتائج من إحدى الدراسات التي أجريت مؤخراً إلى أن هذه الاتجاهات المتعارضة في رقعة الغطاء الجليدي قد تكون ناتجة عن التغير في سرعات الرياح الإقليمية وأتماطها. ومن المتعذر، دون توافر تقديرات أفضل عن سمك الجليد وحجمه، تحديد كيفية استجابة الغطاء الجليدي البحري في القطب الجنوبي للمناخ المتغير أو تحديد البارامترات المناخية الأكثر تأثيراً.

وهناك اختلافات كبيرة في البيئة والعمليات الفيزيائية التي تؤثر في حالة الغطاء الجليدي البحري في كل من القطب الشمالي والمنطقة القطبية الجنوبية، وتسهم في استجاباتها غير المتماثلة لتغير المناخ. وقد قدم السجل الطويل والمستمر دون انقطاع للرصداات المأخوذة من السواتل صورة واضحة للانحسار في الغطاء الجليدي البحري في القطب الشمالي إلا أن الأدلة المتوافرة تمنعنا من إصدار بيانات مؤكدة عن التغيرات الشاملة في الجليد البحري في منطقة القطب الجنوبي وأسبابها.



السؤال 4.1، الشكل 1 | متوسط نمط الدوران في الجليد البحري والتغيرات العقدية (كنسبة مئوية) لتباينات السنوية في مساحة الجليد (أي بعد إزالة الدورة الفصلية) في مختلف قطاعات منطقة القطب الشمالي والقارة القطبية الجنوبية. وتبين الأسهم الاتجاه المتوسط لانجراف الجليد وحجمه. ويظهر متوسط الغطاء الجليدي البحري للفترة من 1979 حتى 2012، من رصداات السواتل بركعته القصوى (والدنيا) في التظليل البرتقالي (الرمادي).

السؤال 4.2 | هل الأنهار الجليدية آخذة في الاختفاء في المناطق الجبلية؟

تختفي الأنهار الجليدية، في الكثير من السلاسل الجبلية حول العالم، استجابة للزيادات في درجات حرارة الغلاف الجوي خلال العقود السابقة. وقد أبلغ عن اختفاء الأنهار الجليدية في الجبال الكندية وجبال الروكي في المنطقة القطبية الشمالية، وفي جبال الأنديز، وباتاجونيا، وجبال الألب الأوروبية، وتين شان، والجبال المدارية في أمريكا الجنوبية، وأفريقيا وآسيا وفي مناطق أخرى. فقد اختفى من هذه المناطق أكثر من 600 نهر جليدي خلال العقود الماضية. وسوف يختفي الكثير من الأنهار الجليدية الأخرى حتى وإن لم يحدث المزيد من الاحترار. كما أن من المحتمل أن تفقد بعض السلاسل الجبلية معظم، إن لم يكن جميع، أنهارها الجليدية.

وفي جميع المناطق الجبلية التي يوجد بها أنهار جليدية حالياً، تقلص حجم الأنهار الجليدية بدرجة كبيرة خلال المائة والخمسين عاماً الماضية. وخلال تلك الفترة، اختفى الكثير من الأنهار الجليدية الصغيرة. ومع بعض الاستثناءات المحلية القليلة، انتشر بالفعل تقلص الأنهار الجليدية (انخفضت في المساحة والحجم) على الصعيد العالمي، وكان الانخفاض شديداً على وجه الخصوص خلال أربعينيات القرن الماضي، ومنذ ثمانينياته. غير أن هناك أيضاً بعض المراحل التي اتسمت بالاستقرار النسبي خلال تسعينات القرن قبل الماضي، وعشرينيات القرن الماضي، وسبعينيات القرن الماضي على النحو الذي تبينه القياسات الطويلة الأجل للتغيرات في الطول، ونمذجة التوازن الكتلي. وتوفر القياسات التقليدية في المواقع الطبيعية، وبصورة مطردة القياسات المحمولة جواً والسواتل - أدلة مؤكدة في معظم المناطق الحافلة بالأنهار الجليدية على أن معدل الانخفاض في مساحة الأنهار الجليدية كان أعلى في العقدين الماضيين مما كان عليه في السابق، وأن الأنهار الجليدية مستمرة في التقلص. غير أن الأنهار الجليدية، في بعض المناطق، تتصرف بطريقة مختلفة، فإزدادت رغم أن معظم الأنهار الجليدية الأخرى كانت تنحسر (مثل تلك الواقعة على سواحل نيوزيلندا، والنرويج وجنوبي باتاجونيا (شيلي) أو سلسلة جبال كاراكورام في آسيا). وبصفة عامة فإن حالات الزيادة هذه كانت نتيجة لظروف تضاريسية و/أو مناخية خاصة (مثل زيادة كميات الأمطار).

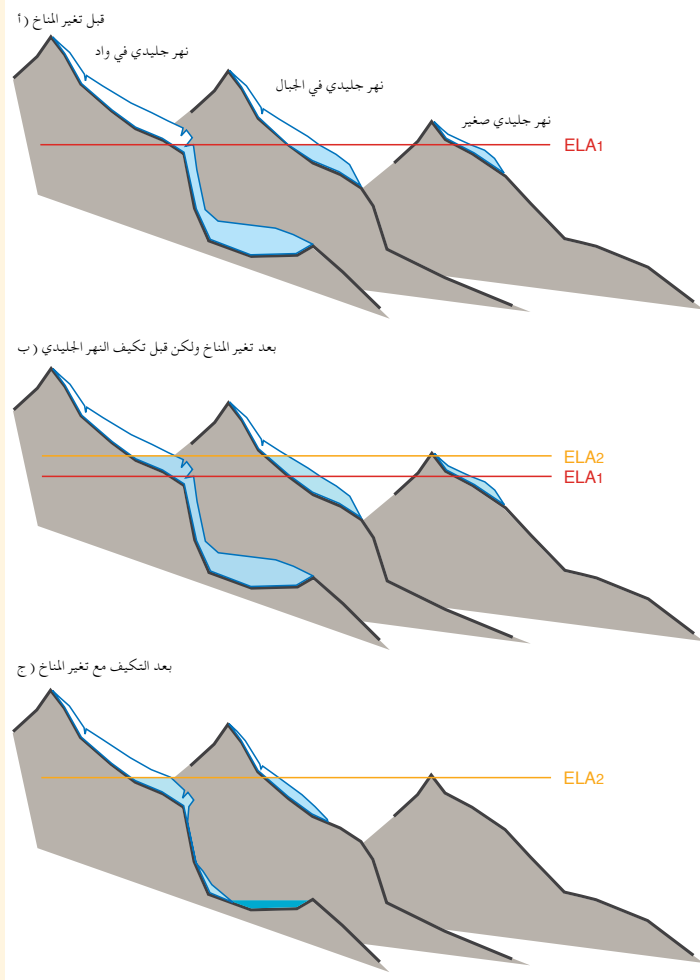
وقد يستغرق نهر جليدي عدة عقود لكي يعدل رقعته وفقاً للتغير الآني في المناخ، وعلى ذلك فإن معظم الأنهار الجليدية أكبر في الوقت الحاضر مما قد تكون عليه عندما يتحقق التوازن مع المناخ الجاري. ونظراً لأن الوقت اللازم للتعديل يتزايد مع زيادة حجم النهر الجليدي، فإن الأنهار الجليدية الكبيرة سوف تواصل التقلص خلال العقود القليلة القادمة حتى إذا استقرت درجات الحرارة. وتتواصل الأنهار الجليدية الصغيرة أيضاً تقلصها إلا أنها سوف تعدل رقعته وانحدارها بصورة أسرع، وسوف يختفي الكثير منها نهائياً في نهاية المطاف.

ويؤثر الكثير من العوامل في تطوير كل نهر جليدي في المستقبل وما إذا كان سيختفي: مثل حجمه ونطاق ارتفاعه، وتوزيع المساحة مع الارتفاع، وخواص سطحه (مثل كمية الحطام الصخري التي تغطيه). وتباين هذه العوامل تبايناً شاسعاً من منطقة لأخرى، وفيما بين الأنهار الجليدية المتجاورة كذلك. كما أن العوامل الخارجية، مثل الطبوغرافيا المحيطة والنظام المناخي، مهمة أيضاً لتطور النهر الجليدي في المستقبل. ويستجيب كل نهر جليدي خلال نطاقات زمنية قصيرة (عقد أو عقدان) لتغير المناخ بصورة منفردة وبشكل مختلف في التفاصيل.

وخلال الفترات الأطول من نحو 50 عاماً، تكون الاستجابة أكثر اتساقاً، وأقل اعتماداً على التفاصيل البيئية مما يعني أن بالإمكان نمذجة الاتجاهات الطويلة الأجل في تطور النهر الجليدي بصورة جيدة. وتقام هذه النماذج على أساس فهم المبادئ الفيزيائية الأساسية. وعلى سبيل المثال، فإن حدوث زيادة في المتوسط المحلي لدرجة حرارة الهواء دون تغيير في كميات الأمطار سوف يتسبب في تحول إلى أعلى في ارتفاع خط التوازن (ELA) (انظر المسرد) بنحو 150 متراً عن كل درجة مئوية في احترار الغلاف الجوي. ويبين السؤال 4.2، الشكل 1 هذا التحول إلى أعلى ونتائجه بالنسبة للأنهار الجليدية ذات نطاقات أحجام وارتفاعات مختلفة.

وفي البداية، يكون جميع الأنهار الجليدية منطقة تراكم (اللون الأبيض) فوق ارتفاع خط التوازن، ومنطقة ذوبان حراري (أزرق فاتح) تحت هذا الارتفاع (السؤال 4.2، الشكل 1 أ). ومع تحول ارتفاع خط التوازن (ELA) إلى أعلى، تتقلص مساحة التراكم وتتسع مساحة الذوبان الحراري، ومن ثم تزيد المساحة التي يفقد فيها الجليد من خلال الانصهار (السؤال 4.2، الشكل 1 ب). ويسفر هذا الخلل في الاتزان عن فقد شامل للجليد. وبعد عدة سنوات تتراجع مقدمة النهر الجليدي وتتقلص مساحة الذوبان الحراري إلى أن يعدل النهر الجليدي من رقعته وفقاً للمناخ الجديد (السؤال 4.2، الشكل 1 ج). وحينما يكون تغير المناخ قوياً بدرجة تكفي لرفع مستوى خط التوازن بصورة دائمة فوق أعلى نقطة في مجرى النهر الجليدي (السؤال 4.2، الشكل 1 ب إلى اليمين) يختفي النهر الجليدي نهائياً في نهاية المطاف (السؤال 4.2، الشكل 1 ج إلى اليمين). وسوف تتقلص الأنهار الجليدية المرتفعة، التي تحتفظ بمناطق التراكم الخاصة بها، إلا أنها لن تختفي (السؤال 4.2، الشكل 1 ج إلى اليسار والوسط). وقد تفقد الأنهار الجليدية للذوبان الشاسعة الكثير من ألسنتها حيث تترك على الأرجح بحيرة في مكانها (السؤال 4.2، الشكل 1 ج إلى اليسار). وبجانب درجة حرارة الهواء، تؤثر التغيرات في كمية وموسمية الأمطار كذلك في التحول في خط التوازن. وتضطلع دينامية النهر الجليدي (مثل سرعة التدفق) بدور إلا أنه لم يعالج في هذا المخطط المبسط.

وقد أكد الكثير من الرصدات أن الأنواع المختلفة من الأنهار الجليدية تستجيب بشكل مختلف لتغير المناخ الأخير. فعلى سبيل المثال، فإن الألسنة السطحية المنخفضة في الأنهار الجليدية للذوبان الشاسعة (كما في ألاسكا وكندا أو الألب) تظهر حالياً أشد الخسائر في الكتلة بصورة مستقلة إلى حد كبير عن أي جانب أو التظليل أو الغطاء الركامي. ويتباطأ هذا النوع من الأنهار الجليدية في تعديل نطاقه وفقاً للظروف المناخية الجديدة، ويتصرف بالدرجة الأولى بتقليل السمك دون حدوث تراجع كبير في نهايته. وعلى العكس من ذلك، فإن الأنهار الجليدية الصغيرة في الجبال، التي لها انحدارات ثابتة تقريباً، تتعدل بسرعة أكبر وفقاً للمناخ الجديد عن طريق تغيير حجم منطقة الذوبان الحراري بقدر أكبر من السرعة (السؤال 4.2، الشكل 1 ج في الوسط).



السؤال 4.2، الشكل 1 | رسم تخطيطي لثلاثة أنواع من الأنهار الجليدية موجودة على ارتفاعات مختلفة واستجابتها للتحويل إلى أعلى في ارتفاع خط التوازن (ELA). (أ) بالنسبة لمناخ معين، يكون لخط التوازن ارتفاع محدد (ELA1)، ولجميع الأنهار الجليدية حجم محدد. (ب) نتيجة لارتفاع درجة الحرارة، يتحول ارتفاع خط التوازن إلى أعلى لاتخاذ ارتفاع جديد (ELA2). ويسفر ذلك في البداية عن انخفاض في منطقة التراكم وزيادة في مناطق الذوبان الحراري لجميع الأنهار الجليدية. (ج) بعد أن تكيف حجم النهر الجليدي وفقاً لارتفاع خط الاتزان الجديد، يفقد النهر الجليدي للوادي لسانه، (إلى اليسار)، وتختفي الأنهار الجليدية الصغيرة كلية (إلى اليمين).

وقد أكد الكثير من الرصدات أن الأنواع المختلفة من الأنهار الجليدية تستجيب بشكل مختلف لتغير المناخ الأخير. فعلى سبيل المثال، فإن الألسنة السطحية المنخفضة في الأنهار الجليدية للوديان الشاسعة (كما في ألاسكا وكندا أو الألب) تظهر حالياً أشد الخسائر في الكتلة بصورة مستقلة إلى حد كبير عن أي جانب أو التظليل أو الغطاء الركامي. ويتباطأ هذا النوع من الأنهار الجليدية في تعديل نطاقه وفقاً للظروف المناخية الجديدة، ويتصرف بالدرجة الأولى بتقليل السمك دون حدوث تراجع كبير في نهايته. وعلى العكس من ذلك، فإن الأنهار الجليدية الصغيرة في الجبال، التي لها انحدارات ثابتة تقريباً، تتعدل بسرعة أكبر وفقاً للمناخ الجديد عن طريق تغيير حجم منطقة الذوبان الحراري بقدر أكبر من السرعة (السؤال 4.2، الشكل 1 ج في الوسط).

ويمكن أن تتحدد الاستجابة الطويلة الأجل لمعظم أنواع الأنهار الجليدية بصورة جيدة للغاية بالأسلوب المبين في السؤال 4.2، الشكل 1. غير أن نمذجة استجابة الأنهار الجليدية في المدى القصير أو الاستجابة الطويلة الأجل للأنواع الأكثر تعقيداً من الأنهار الجليدية (مثل تلك التي يغطيها ركام كثيف، وتغذيها ثلوج الانهيارات ولها مساحات تراكم غير مترابطة، ومن النمط العرامي أو تنفصل منها كتل جليدية إلى المياه) فهي أمر صعب. وتتطلب هذه الحالات معارف مفصلة عن خواص الأنهار الجليدية الأخرى مثل التوازن الكتلي، وتوزيع سمك الجليد والهيدرولوجية الداخلية. ولا تتوافر هذه البيانات بالنسبة لمعظم الأنهار الجليدية في أنحاء العالم، ومن ثم يمكن وضع تقدير تقريبي فقط لاستجابتها لتغير المناخ من خلال المخطط المبين في السؤال 4.2، الشكل 1.

وتضم سلسلة جبال كاراكورام والهمالايا، مثلاً، طائفة عريضة من أنواع الأنهار الجليدية والظروف المناخية، وما زالت خصائص هذه الأنهار غير معروفة على نحو جيد. ويؤدي ذلك إلى أن يسود عدم اليقين بصورة خاصة تطور هذه الأنهار في المستقبل. غير أن من المتوقع أن تضيق الثغرات في المعرفة بدرجة كبيرة خلال السنوات القادمة وذلك بفضل زيادة استخدام البيانات الساتلية (مثل تجميع عمليات حصر الأنهار الجليدية أو استخلاص سرعات التدفق)، وتوسع شبكات القياس الأرضية القاعدة.

وباختصار، فإن مصير الأنهار الجليدية سيكون متبايناً بحسب كل من الخواص النوعية، والظروف المناخية في المستقبل. وسوف يختفي المزيد من الأنهار الجليدية، وتفقد أنهار جليدية أخرى معظم أجزائها السفلية، وقد لا تتغير أنهار أخرى بصورة كبيرة. وحيثما يكون ارتفاع خط التوازن في أعلى ارتفاع بالفعل على نهر جليدي معين، من المحتمل أن يختفي هذا النهر بالكامل ما لم يبرد المناخ. كما أن جميع الأنهار الجليدية سوف تختفي في الأقاليم التي يزيد فيها ارتفاع خط التوازن عن أعلى ارتفاع في المستقبل.

السؤال 5.1 | هل تمثل الشمس قوة محرّكة رئيسية للتغيرات الحديثة في المناخ؟

يمثل مجموع الأشعة الشمسية (TSI) (الفصل 8) مقياساً لمجموع الطاقة التي تصل من الشمس عند قمة الغلاف الجوي. وتتباين هذه الطاقة تبايناً شاسعاً من مستويات زمنية من بلايين السنين حتى بضعة أيام قليلة وإن كانت التباينات صغيرة نسبياً خلال المائة والأربعين عاماً الماضية. وتعد التغيرات في الأشعة الشمسية محرّكاً مهماً للتقلبية المناخية (الفصل الأول: الشكل 1.1) ومنها الإنبعاثات البركانية والعوامل البشرية المنشأ. وعلى ذلك، فهي تساعد في تفسير التغير المرصود في درجات الحرارة السطحية العالمية خلال فترة استخدام الأجهزة (السؤال 5.1، الشكل 1؛ الفصل العاشر)، وخلال الألفية الأخيرة. وفي حين أنه قد يكون للتقلبية الشمسية إسهام ملموس في التغيرات في درجات الحرارة السطحية العالمية في أوائل القرن العشرين، فإنه لا يمكن أن تفسر الزيادة المرصودة منذ أن بدأ قياس مجموع الأشعة الشمسية بصورة مباشرة عن طريق السواتل في أواخر سبعينيات القرن الماضي (الفصلان 8 و 10).

وقلب الشمس عبارة عن مفاعل انشطاري نووي ضخم يحول الهيدروجين إلى هليوم. وتنتج هذه العملية طاقة تُشع في أنحاء النظام الشمسي في شكل إشعاع كهرومغناطيسي. وتتباين كمية الطاقة التي تصيب قمة الغلاف الجوي للأرض بحسب توليد الطاقة الكهرومغناطيسية وانبعائها بواسطة الشمس وعلى المسار المداري للأرض حول الشمس.

وقد قامت الأجهزة المعتمدة على السواتل بإجراء قياس مباشر لمجموع الأشعة الشمسية منذ 1978، وأشارت إلى أن نحو 1361 واط/2م تصل إلى أعلى الغلاف الجوي للأرض. ويعمل سطح الأرض وتلوث الهواء والسحب في الغلاف الجوي كمرآة وتُعكس نحو 30 في المائة من هذه الطاقة إلى الفضاء. وتسجل مستويات عالمية من مجموع الأشعة الشمسية عندما تكون الشمس أكثر نشاطاً. وتتبع التباينات في إشعاع دورة البقع الشمسية البالغة نحو 11 عاماً: وخلال الدورات الأخيرة، تباين مجموع الأشعة الشمسية (TSI) بمتوسط يبلغ نحو 0.1 في المائة.

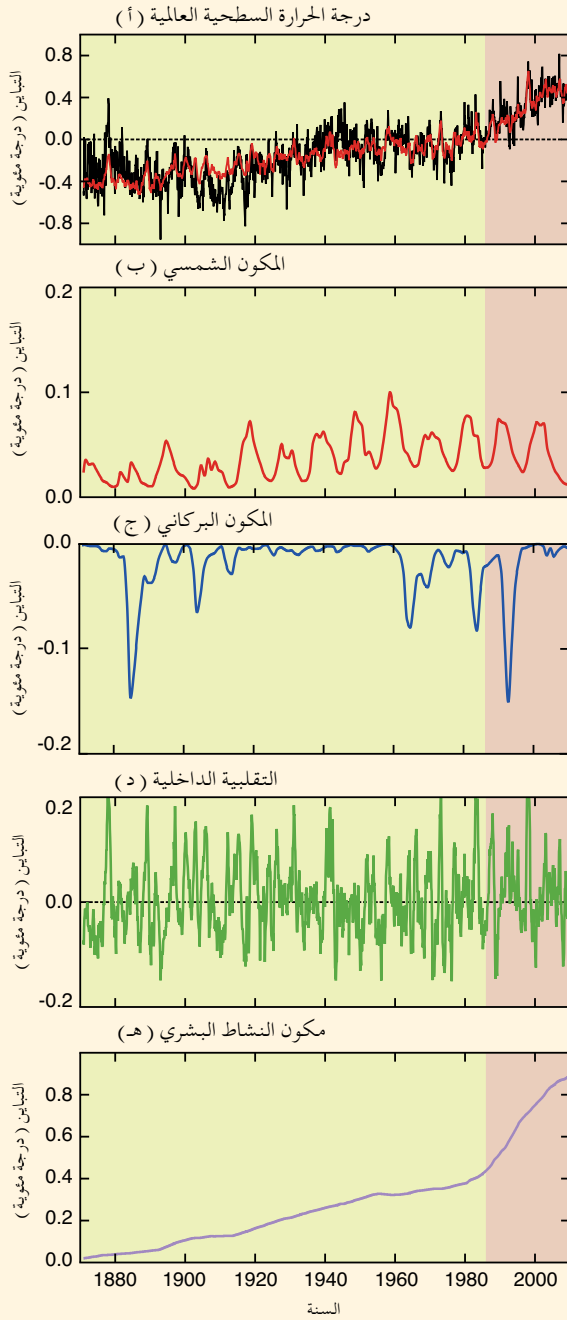
ويتعين وضع تقديرات لمجموع الأشعة الشمسية، لفترة ما قبل السواتل، من خلال أعداد البقع الشمسية (إلى عام 1610) أو من النظائر المشعة التي تتكون في الغلاف الجوي وتحفظ في الجليد القطبي وحلقات النمو الشجري. ويشار عادة إلى فترات السنوات الخمسين إلى المائة التي يحدث فيها انخفاض شديد في النشاط الشمسي مثل الحد الأدنى لماوندر فيما بين 1715 و 1945 — باعتبارها الحد الأدنى الشمسي الكبير. وتكون معظم تقديرات التغيرات في مجموع الأشعة الشمسية فيما بين الحد الأدنى لماوندر والوقت الحالي في حدود 0.1 في المائة مثل قدرة تقلبية السنوات الإحدى عشرة.

كيف يمكن إذاً أن تساعد التقلبية الشمسية في تفسير سجل درجات الحرارة السطحية العالمية التي تعود إلى عام 1870؟ من المهم للإجابة عن هذا السؤال أن يكون مفهوماً أن هناك أيضاً محرّكات مناخية أخرى مشاركة وينتج كل منها أنماطاً مميزة للاستجابات المناخية الإقليمية. غير أن مجموع هذه المحركات كلها هو الذي يسبب تغير المناخ الملاحظ. والتقلبية الشمسية والثورات البركانية من العوامل الطبيعية. وتتضمن العوامل البشرية المنشأ (الناجمة عن الأنشطة البشرية)، من ناحية أخرى، التغيرات في تركيبات غازات الاحتباس الحراري، وانبعثات تلوث الهواء المشاهدة (الهباء الجوي) وغير ذلك من المواد الناشئة عن الأنشطة البشرية. وتشير «التقلبية الداخلية» إلى التقلبات داخل النظام المناخي الناشئة من قبيل تقلبية الطقس أو بعض الظواهر الأخرى مثل التذبذب الجنوبي — النينيو.

وتتغير الإسهامات النسبية للعوامل الطبيعية والعوامل البشرية المنشأ بمرور الوقت. وبين السؤال 5.1، الشكل 1 تلك الإسهامات استناداً إلى حساب بسيط بدرجة كبيرة حيث تمثل تباينات متوسط درجات الحرارة السطحية العالمية كمية المكونات الأربعة التي تتصل خطياً بالقوى الشمسية والبركانية والقوى البشرية المنشأ وبالتقلبية الداخلية. وقد زادت درجة الحرارة السطحية العالمية بما يقرب من 0.8 درجة مئوية من 1870 إلى 2010 (السؤال 5.1، الشكل 1 أ). غير أن هذه الزيادة لم تكن متجانسة في بعض الأوقات، فالعوامل التي تبرد من سطح الأرض — الثورات البركانية، وانخفاض النشاط الشمسي، ومعظم انبعثات الهباء الجوي البشرية المنشأ — خاصة التي يزيد تأثيرها عن تأثير العوامل التي تصيبه بالاحتراق، مثل غازات الاحتباس الحراري، وتسبب التقلبية الناشئة داخل النظام المناخي في إحداث المزيد من التباينات غير المتصلة بالتأثيرات الخارجية.

وتسيطر على المساهمة الشمسية في سجل التغير في درجات الحرارة السطحية العالمية الدورة الشمسية التي تحدث كل 11 عاماً والتي يمكن أن تفسر التقلبات في درجة الحرارة العالمية حتى ما يقرب من 0.1 درجة مئوية فيما بين الدرجات الدنيا والقصى (السؤال 5.1، الشكل 1 ب). وقد يكون اتجاه التغير المتزايد الطويل الأجل للنشاط الشمسي في أوائل القرن العشرين قد عزز الاحتراق الذي سجل خلال تلك الفترة، بجانب التقلبية الداخلية والزيادات في غازات الاحتباس الحراري، والفجوات في النشاط البركاني. غير أن هذا لا يمكن أن يفسر الزيادة المرصودة منذ أواخر سبعينيات القرن الماضي، ولا حتى حدوث انخفاض طفيف في تغير مجموع الأشعة الشمسية من 1986 إلى 2008 (الفصلان 8 و 10).

وتسهم الثورات البركانية في التغير في درجات الحرارة السطحية العالمية بإطلاق الهباء الجوي من وقت لآخر في الغلاف الجوي، مما يؤدي إلى تبريد سطح الأرض (السؤال 5.1، الشكل 1 ج). إذ إن الثورات البركانية الكبيرة مثل ثورة جبل بيناتوبو في 1991 يمكن أن تبرد سطح الأرض بنحو 0.1 إلى 0.3 درجة مئوية لفترة تصل إلى ثلاث سنوات.



ويتمثل أهم مكون في تقلبية المناخ الداخلية في التذبذب الجنوبي - النينيو الذي له تأثير كبير على التقلبات من عام لآخر في درجة الحرارة المدارية ومتوسط الحرارة العالمية (السؤال 5.1، الشكل 1 د). وقد وجهت درجات حرارة سنوية مرتفعة نسبياً خلال ظواهر النينيو مثل تلك التي حدثت خلال الفترة 1997-1998.

وتجسد تقلبية درجات الحرارة السطحية العالمية المرصودة من 1870 إلى 2010 (الشكل 1 أ) التأثيرات المجتمعة للعوامل الطبيعية (الشمسية والبركانية والداخلية، السؤال 5.1، الشكل 1 ب - د)، التي تضاف إلى اتجاه التغير نحو الاحترار متعدد العقود نتيجة للعوامل البشرية المنشأ (السؤال 5.1، الشكل 1 هـ).

وقبل عام 1870، عندما كانت الانبعاثات البشرية المنشأ من غازات الاحتباس الحراري والهباء الجوي أصغر حجماً، وكانت التغيرات في النشاط الشمسي والبركاني والتقلبية الداخلية تضطلع بدور أكثر أهمية وإن كانت الإسهامات المحددة لهذه العوامل الفردية في درجات الحرارة السطحية العالمية أقل يقينية. وكانت القيم الشمسية الدنيا التي تستمر عدة عقود ترتبط في كثير من الأحيان بالأحوال الباردة. غير أن هذه الفترات تتأثر أيضاً في كثير من الأحيان بالثورات البركانية مما يتعذر معه وضع تقدير كمي للإسهام الشمسي.

وعلى النطاق الإقليمي، كانت التغيرات في النشاط الشمسي ترتبط بالتغيرات في المناخ السطحي ودوران الغلاف الجوي في مناطق المحيط الهندي - الهادي، وشمال آسيا، وشمال الأطلسي. وتشمل الآليات التي تضخم من التأثيرات الإقليمية للتقلبات الصغيرة نسبياً في مجموع الانبعاثات الشمسية في الدورة الشمسية التي تستغرق 11 عاماً تقريباً، التفاعلات الدينامية بين الغلاف الجوي العلوي والسفلي أو بين درجات حرارة سطح المحيطات والغلاف الجوي، ولها تأثير طفيف على متوسط درجات الحرارة العالمية (انظر الإطار 10.2).

وأخيراً فإن انخفاض النشاط الشمسي خلال الحد الأدنى للنشاط الشمسي السابق منذ بضع سنوات (السؤال 5.1، الشكل 1 ب) يطرح سؤالاً بشأن تأثيره على المناخ في المستقبل. وعلى الرغم من أوجه عدم اليقين بشأن النشاط الشمسي في المستقبل، تسود ثقة عالية بأن تأثيرات النشاط الشمسي في نطاق الحدود القصوى والدنيا الشمسية الكبيرة ستكون أقل بكثير من التغيرات الناشئة عن التأثيرات البشرية المنشأ.

أسئلة متواترة

أسئلة متواترة

أسئلة متواترة

أسئلة متواترة

أسئلة متواترة

السؤال 5.2 | لماذا معدل التغيير الحالي في مستوى سطح البحر غير معتاد؟

يعد معدل التغيير العالمي في متوسط مستوى سطح البحر - الذي يبلغ متوسطه 1.7 ± 0.2 مم سنوياً للقرن العشرين بأكمله وما بين 2.8 و3.6 مم سنوياً منذ عام 1993 (الفصل 13) - أمراً غير معتاد في بيان التقلبات على مستوى القرن خلال الألفيتين الأخيرتين. غير أنه حدثت معدلات أسرع بكثير في التغييرات في مستوى سطح البحر خلال الفترات الأخيرة من التفكك السريع في الصفائح الجليدية مثل التحولات بين الفترات الجليدية وبين الجليدية. كما أن التأثيرات التكتونية الاستثنائية يمكن أن تحرك التغييرات المحلية البالغة السرعة في مستوى سطح البحر حيث تجاوزت المعدلات المحلية المعدلات العالمية الحالية للتغير.

ومن الشائع الاعتقاد بأن «مستوى سطح البحر» هو النقطة التي يلتقي فيها المحيط بالأرض. ويعرف علماء الأرض مستوى سطح البحر بأنه مقياس لوضع سطح البحر بالنسبة للأرض، وكلاهما قد يتحرك بالنسبة لمركز الأرض. ولذا فإن مقياس مستوى سطح البحر يجسد توليفة من العوامل الجيوفيزيائية والمناخية. فالعوامل الجيوفيزيائية التي تؤثر في مستوى سطح البحر تشمل هبوط اليابسة أو ارتفاعها وتعديلات التضاعط الجليدي - استجابة نظام الأرض - المحيطات للتغيرات في توزيع الكتلة على الأرض وخاصة مياه المحيطات والجليد الأرضي.

وتشمل التأثيرات المناخية التقلبات في درجات حرارة المحيطات التي تتسبب في تمدد أو تقلص مياه البحر، والتغيرات في حجم الأنهار الجليدية والصفائح الجليدية، والتحولات في التيارات المحيطية. وتنتج التغييرات المحلية والإقليمية في هذه العوامل المناخية والجيوفيزيائية انحرافات كبيرة في التقدير العالمي للمعدل المتوسط لتغير مستوى سطح البحر. وعلى سبيل المثال فإن مستوى البحر المحلي ينخفض بمعدل يقترب من 19 مم سنوياً على طول الساحل الشمالي للسويد (خليج بوتنيا) نتيجة للارتفاع الجاري الناجم عن الجليد القاري الذي انصهر بعد الفترة الجليدية الأخيرة. وعلى العكس من ذلك، ارتفع مستوى سطح البحر المحلي بمعدل يبلغ ~20 مم سنوياً من 1960 إلى 2005 في جنوب بانكوك وذلك بالدرجة الأولى استجابة للانخفاض الناجم عن إستخراج المياه الجوفية.

وبالنسبة لفترة المائة والخمسين عاماً الماضية، سجل التغيير في مستوى سطح البحر في محطات قياس المد والجزر، وخلال العشرين عاماً الماضية بواسطة مقاييس الارتفاع الساتلية. وتتساق نتائج هاتين المجموعتين من البيانات بالنسبة للفترة المتداخلة. وقد يبدو المعدل المتوسط العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر البالغ 1.7 ± 0.2 مم سنوياً خلال القرن العشرين خلال العقد الماضيين - قد يكون صغيراً بالمقارنة برصدات تذبذبات الأمواج والمد والجزر حول العالم والتي قد تصل إلى أضعاف كثيرة لتلك القيمة في حدود حجم أكبر. غير أنه إذا استمرت هذه المعدلات لفترات زمنية طويلة، فإن الحجم بنطوي على نتائج مهمة بالنسبة للمناطق الساحلية المنخفضة الكثيفة السكان حيث يمكن أن تؤدي حتى زيادات صغيرة في مستوى سطح البحر إلى غمر مناطق أرضية شاسعة.

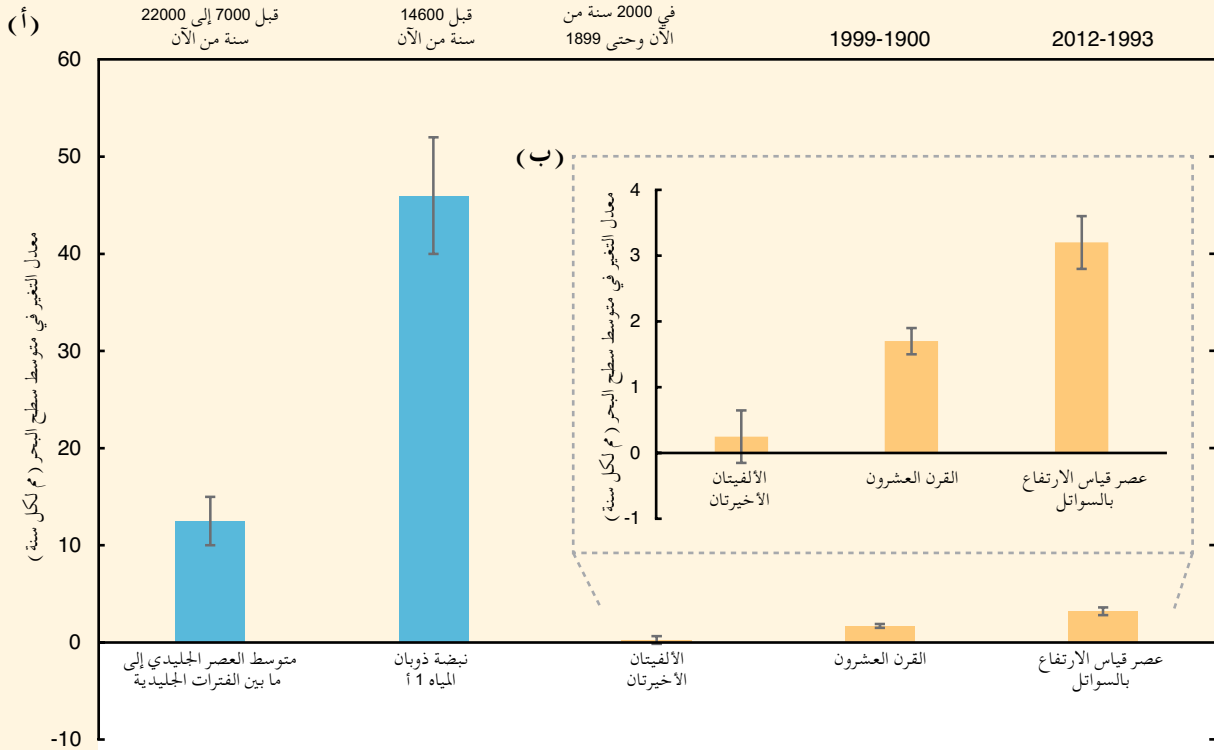
وقبيل فترة استخدام الأجهزة، كانت المعدلات المحلية لتغير مستوى سطح البحر تقدر من القياسات غير المباشرة المسجلة في المحفوظات المتعلقة بالترسبات والصخور الأحفورية والمناطق الأثرية. وهذه السجلات غير المباشرة محدودة مكانياً وتجسد كلا من الظروف المحلية والعالمية. وتتعزز عملية استنباط الإشارات العالمية وإن كانت تلتحم في إشارة مشتركة عندما تتوافر السجلات غير المباشرة الفردية من مختلف الأوضاع البيئية. ومن الجدير بالملاحظة أن المحفوظات الجيولوجية - وخاصة تلك التي تعود إلى ما قبل نحو 20000 سنة - لا ترصد في معظم الظروف سوى تغيير مستوى سطح البحر على مستوى آلاف السنين. ولذا فإن تقديرات معدلات التغيير في مستوى سطح البحر على مستوى القرن تعتمد على المعلومات على مستوى الألفية، إلا أنه ينبغي أن يكون مفهوماً أن هذه البيانات لا تستبعد بالضرورة المعدلات الأسرع للتغيرات في مستوى سطح البحر على نطاق القرن.

وتتيح عمليات استنباط مستوى سطح البحر للألفيتين الأخيرتين فرصة لاستخدام السجلات غير المباشرة للتدخل مع فترة استخدام الأجهزة بل والامتداد لما بعدها. ويأتي مثال حدث مؤخرًا من رواسب مستنقعات الملح على ساحل الأطلسي في الولايات المتحدة مقترنة باستنباط مستوى سطح البحر استناداً إلى بيانات مقياس المد والجزر وتنبؤات النماذج لتوثيق المعدل المتوسط للتغير في مستوى سطح البحر منذ أواخر القرن التاسع عشر البالغ 2.1 ± 0.2 مم سنوياً. ويتجاوز هذا الارتفاع على طول القرن أي معدل تغير آخر على مستوى القرن في السجل الكامل لعام 2000 لنفس هذا الجزء من الساحل.

وقد ووجهت، في بعض الأحيان، خلال الأطر الزمنية الأطول مدى، معدلات وقدرات أطول بكثير للتغيرات في مستوى سطح البحر. وأسفرت الدورات المناخية الجليدية، فيما بين الفترات الجليدية خلال السنوات البالغة 500000 الماضية عن تغييرات في مستويات سطح البحر العالمية تصل إلى نحو 120 إلى 140 متراً. وحدث قدر كبير من هذه التغييرات في مستوى سطح البحر خلال 10000 إلى 15000 سنة عند الانتقال من العصر الجليدي الكامل إلى عصر ما بين الفترات الجليدية بمعدلات متوسطة تتراوح بين 10 و15 مم سنوياً. ولم تستمر هذه المعدلات العالية إلا عندما كانت الأرض تخرج من فترات التجلد المتطرف عندما اتصلت صفائح الجليد الكبيرة بالمحيطات. وعلى سبيل المثال، فإنه خلال فترة الانتقال من الحدود القصوى الجليدية الأخيرة (منذ نحو 21000 سنة) إلى الفترات بين الجليدية الحالية (Holocene)، خلال فترة الـ 11650 سنة الأخيرة، أشارت رواسب الشعاب المرجانية الأحفورية إلى أن مستوى سطح البحر قد ارتفع فجأة بنحو 14 إلى 18 مم في أقل من 500 عام. ويعرف هذا الحدث بنهب ذوبان المياه 1 ألف حيث وصل معدل ارتفاع مستوى سطح البحر إلى أكثر من 40 مم سنوياً.

وتشير هذه الأمثلة من الأطر الزمنية الأطول مدى إلى أن معدلات التغير في مستوى سطح البحر كانت أكبر مما يرصد هذه الأيام إلا أنه يجب ألا يغيب عن البال أنها حدثت كلها في ظروف خاصة في أوقات التحول من عصر جليدي كامل إلى ظروف الفترات بين الجليدية؛ في أماكن مازالت تحدث فيها التأثيرات اللاحقة طويلة الأجل لهذه الفترات الانتقالية؛ في مواقع الاضطرابات التكتونية الرئيسية أو الدلتات الكبرى حيث يسيطر الهبوط الناشئ عن تراص الرواسب الذي يتعاظم في بعض الأحيان نتيجة لإستخراج السوائل من الأرض .

ويؤيد السجل المستند إلى الأجهزة والمعلومات الجيولوجية النتيجة التي مفادها أن المعدل الحالي لمتوسط التغير العالمي في مستوى سطح البحر غير معتاد بالمقارنة بذلك الذي رصد و/أو بالتقديرات المتعلقة بالألفي عام الماضيين . وقد رصدت المعدلات العالية في السجل الجيولوجي وخاصة خلال أوقات الانتقال بين عصريين جليديين وفيما بين الفترات الجليدية .



السؤال 5.2، الشكل 1 | (أ) تقديرات المعدل المتوسط للتغير في مستوى سطح البحر (بالم سنوياً) لخمس فترات زمنية مختارة: الانتقال الأخير من العصر الجليدي إلى ما بين الفترات الجليدية، ونبضة الماء الناتج عن الانصهار 1 ألف، والألفا عام الأخيرين، والقرن العشرين، وفترة قياس الارتفاع بالسواتل (2012-1993) . وتشير الأعمدة الزرقاء إلى الفترات الزمنية للانتقال من عصر جليدي إلى فترة بين جليدية حيث تشير الأعمدة البرتقالية إلى الفترة بين الجليدية الحالية . وتشير الأعمدة السوداء إلى نطاق القيم المحتملة للمعدل المتوسط للتغير في مستوى سطح البحر العالمي . وتلاحظ المعدلات المرتفعة الشاملة لخصائص التغير في مستوى سطح البحر في أوقات الانتقال من العصر الجليدي إلى ما بين الفترات الجليدية (ب) المنظر الموسع لمعدل التغير في المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر خلال ثلاث فترات زمنية في ما بين الفترات الجليدية الحالية .

السؤال 6.1 | هل يمكن أن يؤدي إطلاق الميثان أو ثاني أكسيد الكربون بسرعة من انصهار التربة الصقيعية أو احتراق المحيطات إلى إحداث زيادة كبيرة في الاحتراق؟

التربة الصقيعية عبارة عن أرض متجمدة بصورة دائمة، توجد أساساً عند خطوط العرض المرتفعة في منطقة القطب الشمالي. وتحتوي التربة الصقيعية بما في ذلك تلك الواقعة تحت الماء على الجروف الضحلة للمحيط المتجمد الشمالي وتحتوي على رواسب قديمة للكربون العضوي. وبعض هذه الرواسب من المواد المتبقية من العصر الجليدي الأخير وتحتفظ بما لا يقل عن ضعف كمية الكربون الموجودة حالياً في الغلاف الجوي في شكل ثاني أكسيد كربون (CO_2). وفي حالة انطلاق جزء كبير من هذا الكربون في شكل ميثان و ثاني أكسيد كربون، فإنه يزيد من التركيزات في الغلاف الجوي مما يؤدي إلى ارتفاع كميات الميثان و ثاني أكسيد الكربون المطلقة، ويؤدي إلى تأثيرات تفاعلية تزيد من الاحتراق العالمي.

ويمثل مجال القطب الشمالي حالياً مغيضاً صافياً لثاني أكسيد الكربون - حيث يمتص نحو 0.4 ± 0.4 بيتاغرام كربون سنوياً في الغطاء النباتي النامي الذي يمثل نحو 10 في المائة من المغيض الأرضي في العالم. كما أنه يمثل مصدراً متواضعاً للميثان (CH_4)، إذ ينبعث ما بين 15 و 50 تيراغرام من الميثان سنوياً معظمها من الأراضي الرطبة غير المتجمدة موسمياً تعادل نحو 10 في المائة من المصدر العالمي لميثان الأراضي الرطبة. ولا تتوافر أدلة واضحة بعد على أن الانصهار يسهم بدرجة كبيرة في الميزانيات العالمية الراهنة لهذين الغازين من غازات الاحتباس الحراري. غير أن دراسات النمذجة وتقديرات الخبراء تشير باتفاق متوسط أنه في ظل الاحتراق الدائم للقطب الشمالي، يمكن أن يحدث إطلاق مجمع يصل في مجموعه إلى 350 تيراغرام كربون من مكافئ ثاني أكسيد الكربون بحلول عام 2100.

وتحتوي التربة الصقيعية على اليابسة وفي جروف المحيطات على تجمعات كبيرة من الكربون العضوي الذي يزول تجمده ويتحلل بالميكروبات قبل أن يطلق - معظمها في شكل ثاني أكسيد الكربون. فحينما يكون الأوكسجين محدوداً مثلما في التربة المشبعة بالماء، تنتج بعض الميكروبات أيضاً الميثان.

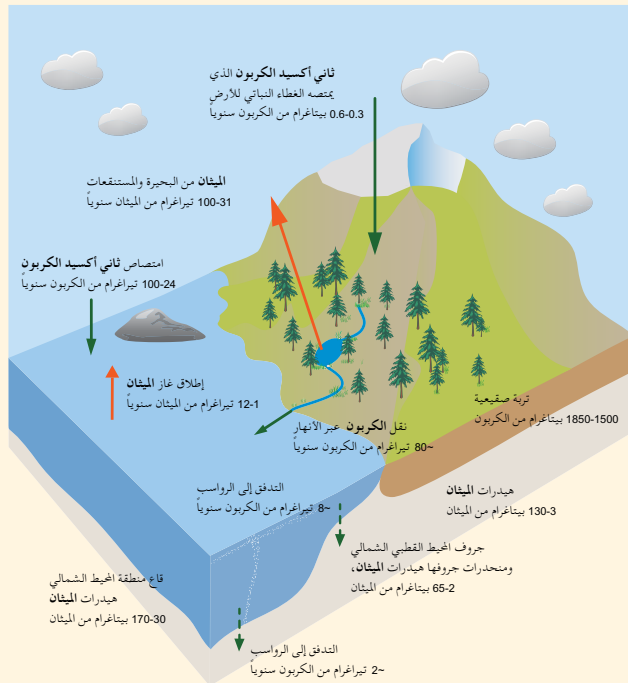
وعلى اليابسة تعلق التربة الصقيعية طبقة نشطة، سطحية يزول تجمدها خلال الصيف وتشكل جزءاً من النظام الإيكولوجي للندرا. وإذا زاد متوسط درجات حرارة الربيع والصيف، تزداد كثافة قوام الطبقة النشطة وتتيح المزيد من الكربون العضوي الذي يتحلل بفعل الميكروبات. غير أن فصول الصيف الأكثر حرارة سوف تسفر أيضاً عن زيادة امتصاص ثاني أكسيد الكربون بواسطة الغطاء النباتي في القطب الشمالي من خلال التمثيل الضوئي ويعني ذلك أن موازنة كربون القطب الشمالي تتسم بحساسية بالغة وتقع بين الامتصاص المعزز والإطلاق المعزز للكربون.

وتتسم الظروف الهيدرولوجية خلال زوال التجمد في الصيف أيضاً بالأهمية. إذ إن انصهار كتل الجليد الأرضي الزائدة قد تؤدي إلى تكوين ظروف مياه راكدة في شكل برك وبحيرات حيث يؤدي نقص الأكسجين إلى استحداث إنتاج الميثان. ويعني تعقيد المناظر الطبيعية للقطب الشمالي في ظل احتراق المناخ، أن ضعف ثقتنا بشأن أي من هذه العمليات المختلفة سوف يسيطر على المستوى الإقليمي. فانتشار الحرارة وانصهار التربة الصقيعية يستغرق وقتاً. والواقع أنه يمكن النظر إلى التربة الصقيعية الأعمق في القطب الشمالي على أنها من بقايا العصر الجليدي الأخير الآخذة في التلاشي - وعلى ذلك فإن الكثير من الخسائر الكبيرة في كربون التربة الصقيعية سوف تستمر على مدى نطاقات زمنية طويلة.

السؤال 6.1، الشكل 11 شكل مبسط لتجمعات الكربون الرئيسية الحالية في مجال القطب الشمالي بما في ذلك التربة الصقيعية على الأرض والجروف القارية (مأخوذة بتصرف من McGuire وآخرين، 2009 و Tarnocai وآخرين، 2009) $TgC = 10^{12} gC$ و $PgC = 10^{15} gC$

وإذا ما توافر أكسجين كاف، فإن تحلل المادة العضوية في التربة سوف يصاحبه إطلاق للحرارة بواسطة الميكروبات (مماثلة للكومبوست) والذي يمكن أن يحفز خلال الصيف المزيد من زوال تجمد التربة الصقيعية. وحسب محتوى التربة الصقيعية من الكربون والجليد، والنظام الهيدرولوجي، يمكن لهذه الآلية أن تطلق، في ظل الاحتراق، تلاحشاً سريعاً نسبياً للتربة الصقيعية المحلية.

وإذا ما توافر أكسجين كاف، فإن تحلل المادة العضوية في التربة سوف يصاحبه إطلاق للحرارة بواسطة الميكروبات (مماثلة للكومبوست) والذي يمكن أن يحفز خلال الصيف المزيد من زوال تجمد التربة الصقيعية. وحسب محتوى التربة الصقيعية من الكربون والجليد، والنظام الهيدرولوجي، يمكن لهذه الآلية أن تطلق، في ظل الاحتراق، تلاحشاً سريعاً نسبياً للتربة الصقيعية المحلية.



تشير دراسات النمذجة لدينامية التربة الصقيعية وانبعاثات غازات الاحتباس الحراري إلى حدوث تباطؤ نسبي في التأثير التفاعلي الإيجابي على نطاقات زمنية قدرها مئات السنين. ويمكن أن تنطلق حتى عام 2100 كمية تصل إلى 250 بيتاغرام من الكربون في شكل ثاني أكسيد الكربون وحتى 5 بيتاغرام في شكل ميثان. ونظراً لأن للميثان قدرة أكبر على إحداث الاحترار من خلال عملية الاحتباس الحراري، فإن ذلك يكافئ 100 بيتاغرام أخرى من مكافئ ثاني أكسيد الكربون تنطلق حتى عام 2100. وتماثل هذه الكميات في حجمها التأثير التفاعلي البيوجيوكيميائي لكميات ثاني أكسيد الكربون الأخرى التي تنطلق نتيجة للاحتباس الحراري العالمي للتربة الأرضية. غير أن النماذج الحالية لا تتضمن كامل التعقيدات التي تنطوي عليها العمليات التي تحدث عند زوال تجمد التربة الصقيعية مثل تكون البحيرات والبرك.

وهيدرات الميثان هي شكل آخر من الكربون المتجمد الذي يتكون في أعماق التربة الصقيعية والجروف المحيطية ومنحدرات الجروف ورواسب أعماق المحيطات. وتتألف هذه المادة من الميثان ومجموعات من جزيئات الماء التي لا تستقر إلا في نافذة نوعية من انخفاض درجات الحرارة وارتفاع الضغط. وفي الأراضي وفي المحيطات، تنشأ معظم هذه الهيدرات من الكربون البيولوجي البحري أو الأرضي الذي يتحلل في عدم وجود الأوكسجين، ويظل محتجزاً في بيئة مائية في ظل ظروف درجات حرارة وضغط مناسبين.

ويمكن لأي احتراق للتربة الصقيعية والمياه والرواسب المحيطية و/أو التغيرات في الضغط أن يؤدي إلى اضطراب استقرار هذه الهيدرات، وإطلاق الميثان (CH_4) الكامن فيها في المحيطات. وخلال عمليات الإطلاق الأكبر والأكثر توزعاً، قد ينطلق جزء من هذا الميثان (CH_4) في شكل غازات في الغلاف الجوي. ويمثل ذلك تجمعا كبيرا لهذه الهيدرات. ففي القطب الشمالي وحده، قد تكون كمية الميثان المخزنة في شكل هيدرات أكبر عشر مرات من الميثان الموجود حالياً في الغلاف الجوي العالمي.

وقد يكون إطلاق الهيدرات، مثل زوال تجمد التربة الصقيعية، عملية بطيئة تستغرق عقوداً إلى قرون. وقد تستغرق مناطق المحيطات العميقة، والرواسب القاعية فترة أطول — بين مئات وآلاف السنين لكي تحترق بصورة تكفي لبث الاضطراب في الهيدرات داخلها. وعلاوة على ذلك، ينبغي أن يصل الميثان المتحرر في المياه العميقة إلى السطح والغلاف الجوي قبل أن يصبح نشطاً من الناحية المناخية إلا أن من المتوقع أن تستهلك الكائنات الدقيقة معظمه قبل أن يصل إلى هناك. ولن يصل إلى الغلاف الجوي إلا الميثان المنطلق من الهيدرات في الجروف الضحلة كما في المحيط المتجمد الشمالي في شمال شرق سيبيريا لكي يحدث تأثيراً مناخياً.

وقد وثق العديد من الدراسات التي أجريت مؤخراً انبعاثات محلية كبيرة من الميثان (CH_4) فوق الجرف السيبيري ومن البحيرات السيبيرية للقطب الشمالي. غير أن كمية الميثان التي تنشأ من تحلل الكربون العضوي وذلك الناجم عن اضطراب الهيدرات لا تزال غير معروفة. كما لا تتوافر أدلة لتحديد ما إذا كانت هذه المصادر قد تحركت بفعل الاحتراق الإقليمي الأخير أو ما إذا كانت قائمة هناك دائماً — وقد تكون تسربات هذه الكميات من الميثان موجودة منذ عملية انصهار الجليد الأخيرة. وعلى أي حال فإن هذه المصادر لا تسهم إلا بقدر ضئيل للغاية في موازنة الميثان العالمية — وهي أقل من 5 في المائة. ويؤكد ذلك أيضاً رصدات تركيزات الميثان في الغلاف الجوي التي لم تظهر أي زيادات كبيرة في القطب الشمالي.

غير أن دراسات النمذجة وتقديرات الخبراء تشير إلى أن انبعاثات الميثان وثاني أكسيد الكربون CO_2 سوف تزيد في حالة احتراق منطقة القطب الشمالي، وإنها سوف توفر تأثيرات تفاعلية مناخية إيجابية. وسوف يكون هذه التأثير التفاعلي معتدلاً مع مرور القرون: إذ أنه سيكون بحجم مماثل للتأثير التفاعلي للنظم الإيكولوجية المناخية — الأرضية الأخرى. غير أن الكميات المنطلقة من ثاني أكسيد الكربون والميثان، خلال آلاف السنين بل وأطول، من التربة الصقيعية والجروف والمنحدرات الجوفية ستكون أكثر أهمية لمشاركة التجمعات الكبيرة من الكربون وهيدرات الميثان في العملية.

السؤال 6.2 | ماذا يحدث لثاني أكسيد الكربون عقب انبعاثه في الغلاف الجوي؟

بعد أن ينبعث ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في الغلاف الجوي يتوزع بسرعة بين الغلاف الجوي، والجزء العلوي من المحيطات والغطاء النباتي. وبعد ذلك، يواصل الكربون تحركه فيما بين مختلف مستودعات دورة الكربون العالمية مثل التربة، وأعماق المحيطات والصخور. وتحدث بعض هذه المبادلات ببطء شديد. وبحسب كمية ثاني أكسيد الكربون المنبعثة، سيظل ما بين 15 في المائة و40 في المائة في الغلاف الجوي لفترة تصل إلى 2000 عام، وبعدها تتحدد موازنة جديدة بين الغلاف الجوي، والغلاف الحيوي لليابسة والمحيطات. وسوف تستغرق العمليات الجيولوجية في أي مكان ما بين عشرات إلى مئات الآلاف من السنين - وربما أطول من ذلك - لزيادة توزيع الكربون فيما بين المستودعات الجيولوجية. ولذا فإن تركيزات ثاني أكسيد الكربون المرتفعة وما يرتبط بها من تأثيرات مناخية من الانبعاثات الحالية سوف تستمر لفترة طويلة بدرجة كبيرة في المستقبل.

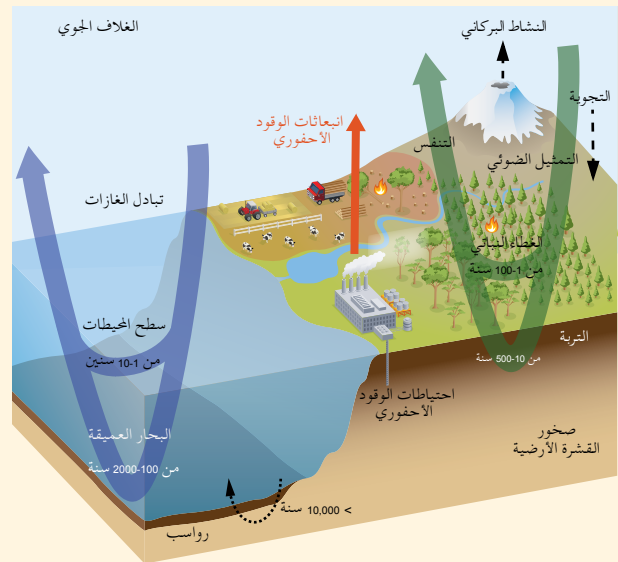
وثاني أكسيد الكربون من الغازات غير النشطة كيميائياً بدرجة كبيرة والذي يمتزج بسرعة خلال كامل التروبوسفير في أقل من عام. وخلافاً للمركبات النشطة كيميائياً في الغلاف الجوي والتي تُزال وتحلل بفعل عمليات المغيض مثل الميثان، يتوزع الكربون من جديد بدلاً من ذلك فيما بين مختلف مستودعات دورة الكربون العالمية. ويعرض السؤال 6.2، الشكل 1 شكلاً مبسطاً لدورة الكربون العالمية. وتشير الأسهم المفتوحة إلى النطاقات الزمنية المعتادة لذرات الكربون التي تنتقل من خلال المستودعات المختلفة.

قبل عصر الصناعة، كانت دورة الكربون العالمية متوازنة تقريباً. ويمكن أن يستنتج ذلك من القياسات التي تجرى على عينات الجليد التي تبين تركيزات شبه مستقرة لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي خلال آلاف السنوات العديدة الأخيرة عصر ما قبل الصناعة. غير أن الانبعاثات البشرية المنشأ لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أحدثت اضطراباً في هذا التوازن. ومع ارتفاع تركيزات ثاني أكسيد الكربون وسطح المحيطات والغطاء النباتي كما هو الحال بالنسبة للمبادلات اللاحقة داخل مستودعات الكربون وفيما بينها على اليابسة وفي المحيطات وعلى القشرة الأرضية في نهاية المطاف. وبهذه الطريقة، يعاد توزيع الكربون المضاف نتيجة لدورة الكربون العالمية إلى أن تصل عمليات مبادلة الكربون بين مختلف مستودعات الكربون إلى توازن تقريبي جديد.

وتمر جزئيات ثاني أكسيد الكربون فوق المحيطات من خلال السطح المشترك بين الهواء والبحر نتيجة لمبادلة الغاز. وفي مياه البحر، يتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع جزيئات الماء ليكون حمض الكربونيك الذي يتفاعل بسرعة مع المستودع الكبير للكربون غير العضوي الذائب - أيونات البيكربونات والكربونات - في المحيطات. وتنقل التيارات وتكون المياه الكثيفة الهابطة الكربون فيما بين الطبقات السطحية والطبقات العميقة من المحيطات.

وتقوم الكائنات البحرية الحية أيضاً بإعادة توزيع الكربون، فهذه الكائنات تبني أنسجة عضوية وصدفات جيرية في المياه السطحية التي تهبط، بعد نفوق الكائنات، إلى المياه العميقة حيث تعاد إلى مستودع الكربون غير العضوي الذائب، نتيجة للتحلل والتحلل الميكروبي. ويصل جزء ضئيل إلى قاع البحر ويندمج في الرواسب.

ويؤدي الكربون الإضافي من الانبعاثات البشرية المنشأ إلى زيادة الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي الذي يؤدي بدوره إلى زيادة تبادل جزيئات ثاني أكسيد الكربون بين الهواء والبحر. وعلى سطح المحيطات، تستوعب كيمياء الكربونات بسرعة ثاني أكسيد الكربون الإضافي. ونتيجة لذلك، تصل مياه سطح المحيط الضحلة إلى توازن مع الغلاف الجوي في غضون عام أو عامين. وتستغرق حركة الكربون من المياه السطحية إلى منتصف الأعماق وإلى الأعماق الكبيرة فترة أطول - بين عقود وعدة قرون. وخلال النطاقات الزمنية الأطول، يؤدي التحمض نتيجة لغزو ثاني أكسيد الكربون إلى إذابة رواسب الكربونات في قاع البحار مما يزيد من تعزيمتها بالتحلل. غير أن الفهم الحالي يشير إلى أنه ما لم تحدث تغييرات كبيرة في دوران المحيطات، فإن نمو العوالق (Planktons) يظل دون تغيير تقريباً بالنظر إلى أنه يتوقف في الغالب على عوامل بيئية مثل توفر العناصر الغذائية والضوء وليس على توافر الكربون غير العضوي، ولا تسهم بدرجة كبيرة في امتصاص المحيطات لثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ.



السؤال 6.2، الشكل 1 | شكل تخطيطي مبسط لدورة الكربون العالمية تبين الدوران المعتاد للنطاقات الزمنية لانتقال الكربون خلال المستودعات الرئيسية.

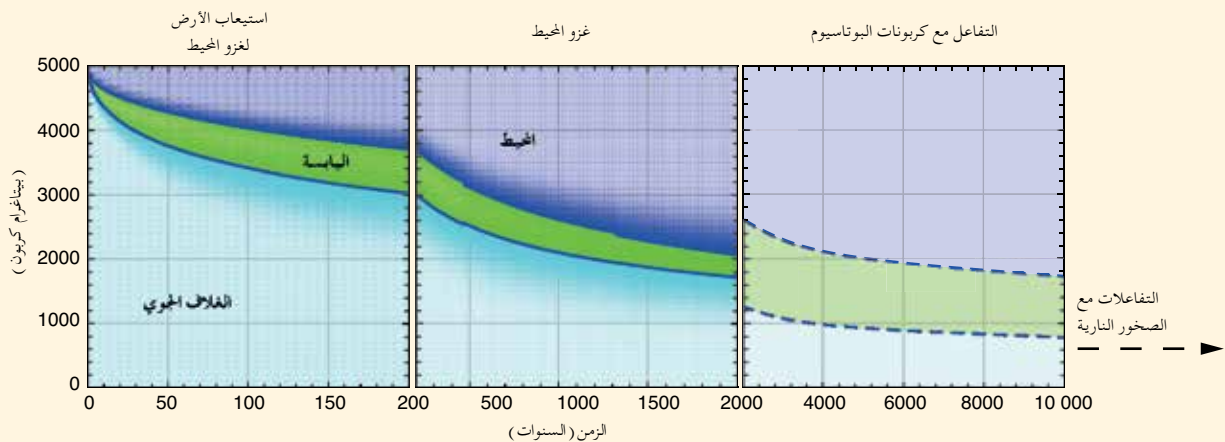
وعلى اليابسة، يمتص الغطاء النباتي ثاني أكسيد الكربون بالتمثيل الضوئي ويحوله إلى مادة عضوية. ويعاد جزء من هذا الكربون على الفور كثاني أكسيد كربون إلى الغلاف الجوي في عملية تنفس النبات. وتستخدم النباتات الجزء الباقي في النمو. وتندمج المواد النباتية الميتة في التربة وتتحلل في نهاية المطاف بواسطة الكائنات المجهرية ثم تعود مرة أخرى من خلال التنفس إلى الغلاف الجوي في شكل ثاني أكسيد كربون. وعلاوة على ذلك، يتحول الكربون في الغطاء النباتي والتربة إلى ثاني أكسيد الكربون من خلال الحرائق والحشرات وآكلات العشب وكذلك من خلال حصاد النباتات ثم استهلاكها بواسطة الحيوانات أو البشر. ويحمل بعض الكربون العضوي أيضاً إلى المحيطات بواسطة المجاري المائية والأنهار.

وتؤدي الزيادة في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى تحفيز التمثيل الضوئي، ومن ثم امتصاص الكربون. وعلاوة على ذلك، فإن زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون تساعد النباتات في المناطق الجافة على استخدام المياه الجوفية بقدر أكبر من الكفاءة. ويزيد ذلك بدوره من الكتلة الحيوية في الغطاء النباتي والتربة ومن ثم يدعم مغيض الكربون على اليابسة. غير أن حجم هذا المغيض يعتمد اعتماداً حاسماً على عوامل أخرى مثل توافر المياه والعناصر الغذائية.

وتشير نماذج المناخ ودورة الكربون المتقارنة إلى أن امتصاص المحيطات واليابسة لكميات أقل من الكربون مع احترار المناخ يشكل تأثيراً تفاعلياً مناخياً إيجابياً. إذ يسهم الكثير من العوامل المختلفة في هذا التأثير: فالمياه البحرية الحارة تتسم بانخفاض قدرة ثاني أكسيد الكربون على الذوبان ومن ثم فإن تغيير تفاعلات الكربون الكيميائية يسفر عن انخفاض امتصاص المحيطات لثاني أكسيد الكربون الزائد في الغلاف الجوي. وعلى اليابسة، تعزز درجات الحرارة المرتفعة من فترات النمو الموسمية الطويلة على خطوط العرض المتوسطة والمرتفعة، إلا أنها تزيد أيضاً من تنفس كربون التربة.

ويعتمد الوقت الذي ينقضي للوصول إلى توازن جديد لتوزيع الكربون على فترات إنتقال الكربون عبر مختلف المستودعات وتستغرق نطاقات زمنية متعددة. ويجري أولاً تبادل الكربون فيما بين مستودعات الكربون «السريعة» مثل الغلاف الجوي، وسطح المحيطات والغطاء النباتي والتربة، على مدى نطاقات زمنية تصل إلى بضعة آلاف من السنين. وخلال النطاقات الزمنية الأطول، تتضح أهمية العمليات الجيولوجية الثانوية بالغة البطء – تحلل رواسب الكربونات ودفن الرواسب في القشرة الأرضية.

ويبين الشكل 2 في السؤال 6.2 تحلل كمية زائدة كبيرة من ثاني أكسيد الكربون (5000 بيتاغرام من الكربون أو ما يعادل عشرة أمثال ثاني أكسيد الكربون المتراكم المنبعث منذ بداية عصر الصناعة) منبعثة في الغلاف الجوي، وأعيد توزيعها الآن بين اليابسة والمحيطات مع مرور الزمن. وخلال المائتي عام الأولى، تمتص المحيطات واليابسة كميات متماثلة من الكربون. وعلى النطاقات الزمنية الأطول، تسيطر الكميات التي تمتصها المحيطات بالدرجة الأولى بسبب ضخامة حجم مستودعها (~38000 بيتاغرام كربون) مقارنة باليابسة (~4000 بيتاغرام كربون)، والغلاف الجوي (589 بيتاغرام كربون قبل عصر الصناعة). وبالنظر إلى كيمياء المحيطات، فإن حجم المدخلات الأولية يكتسي أهمية: فزيادة الانبعاثات تعني أن جزءاً كبيراً من ثاني أكسيد الكربون سيظل في الغلاف الجوي. وبعد 2000 عام، سيظل الغلاف الجوي يحتوي على ما بين 5 في المائة و40 في المائة من تلك الانبعاثات الأولية من ثاني أكسيد الكربون. وسوف يستغرق المزيد من الانخفاض بفعل ذوبان رواسب الكربونات والتفاعلات مع الصخور النارية مثل تجوية السيليكات، ودفن الرواسب، من عشرات إلى مئات الآلاف من السنين أو ربما أطول.



السؤال 6.2، الشكل 2 | تحلل كمية ثاني أكسيد الكربون زائدة تبلغ 5000 بيتاغرام كربون انبعثت في وقت صفر في الغلاف الجوي، وإعادة توزيعها اللاحق في اليابسة والمحيطات كدالة للزمن محسوبة بواسطة النماذج المناخية المتقارنة لدورة الكربون. وتشير أحجام النطاقات الملونة إلى امتصاص الكربون بواسطة المستودعات المعنية. وتبين اللوحتان الأولى والثانية متوسط نموذج مشروع المقارنات بين النماذج المتقارنة (Joos وآخرون، 2013). وتبين اللوحة الأخيرة إعادة التوزيع الأطول مدى بما في ذلك تحليل المحيطات للرواسب الكربونية بالطريقة المحسوبة بها بنموذج لنظام الأرض المتوسط التعقيد (نقلا عن Archer وآخرون، 2009 ب).

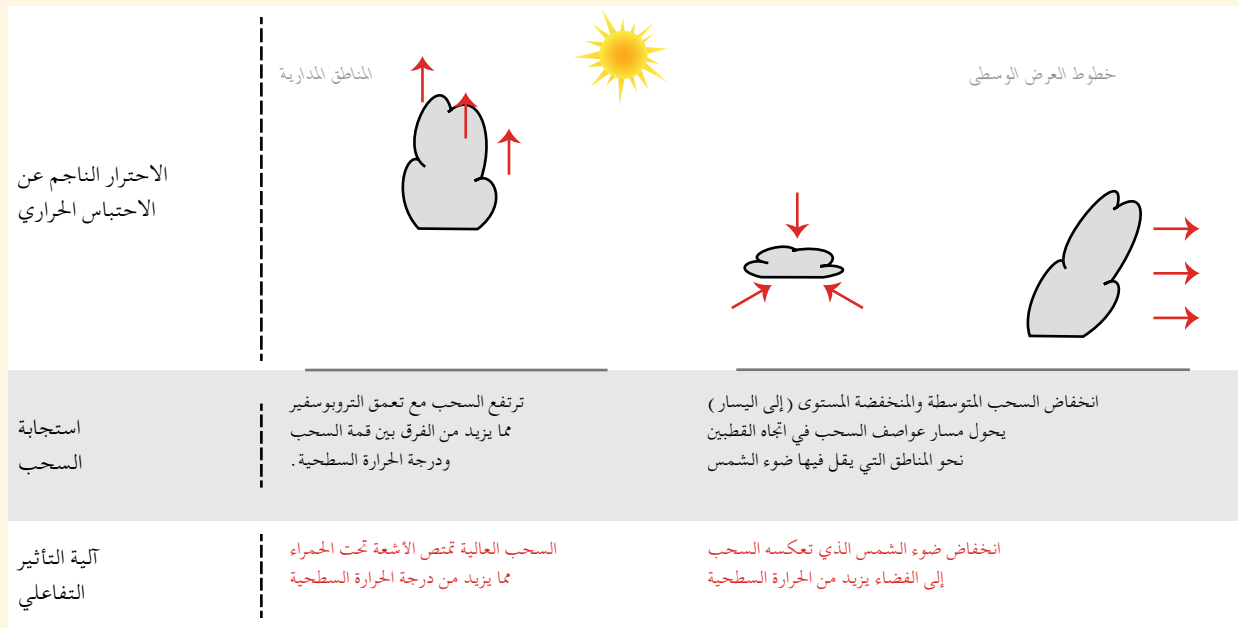
السؤال 7.1 | كيف تؤثر السحب في المناخ وتغيير المناخ؟

تؤثر السحب تأثيراً شديداً في المناخ الراهن، إلا أنه لا يمكن للرسدات بمفردها أن تدلنا حتى الآن على الطريقة التي ستؤثر بها في احترار المناخ في المستقبل. فالنبيؤات الشاملة بالتغيرات في التغير تتطلب نموذجاً للمناخ العالمي. وتحاكي هذه النماذج حقول السحب التي تماثل تقريباً تلك التي رصدت، إلا أن أخطاء مهمة وأوجه عدم يقين تظل ماثلة. فنماذج المناخ المختلفة تنتج إسقاطات متباينة عن الطريقة التي سوف تتغير بها السحب في مناخ أكثر احتراراً. واستناداً إلى جميع الأدلة المتوافرة يبدو محتملاً أن يؤدي التأثير التفاعلي لصافي السحب - المناخ إلى تفاقم الاحترار العالمي. وإذا كان الأمر كذلك تظل قوة التناقض محاطة بعدم اليقين.

وقد أدرك العلماء، منذ سبعينيات القرن الماضي، الأهمية البالغة للسحب للنظام المناخي، ولتغير المناخ. وتؤثر السحب في النظام المناخي بوسائل شتى. فهي تنتج الأمطار والثلوج الضرورية لمعظم أشكال الحياة على الأرض. والسحب تسبب احترار الغلاف الجوي نتيجة تكثف بخار الماء. وفي حين أن بعض المياه المتكثفة تتحول مرة أخرى إلى بخار، فإن الأمطار التي تصل إلى السطح تمثل احتراراً صافياً للهواء. وتؤثر السحب بقوة في تدفقات كل من ضوء الشمس (الذي يدفئ الكوكب) وضوء الأشعة تحت الحمراء (التي تبرد الكوكب عند بث إشعاعها إلى الفضاء) من خلال الغلاف الجوي. وأخيراً فإن السحب تحتوي على قوة رفع قوية يمكن أن تحمل الهواء بسرعة من المناطق القريبة من سطح الأرض إلى ارتفاعات كبيرة. وتحمل قوة الرفع الطاقة والرطوبة وقوة الدفع والغازات النزرة وجزيئات الهباء الجوي. ويستخدم العلماء منذ عقود كلاً من الرصدات والنماذج لدراسة كيفية تغيير السحب مع الطقس اليومي، ومع الدورة الموسمية، ومع التغيرات من عام لآخر، مثل تلك المرتبطة بظاهرة النينو.

وتنطوي جميع عمليات السحب على التغيير مع تغير حالة المناخ. وينطوي التأثير التفاعلي للسحب على أهمية بالغة في سياق تغيير المناخ. فأي تغيير في عمليات السحب تنشأ عن تغيير المناخ - وتؤثر بدورها على المناخ - تمثل تأثيراً تفاعلياً للسحب - المناخ. ونظراً لتفاعل السحب بهذه القوة مع كل من ضوء الشمس وضوء الأشعة تحت الحمراء، فإن التغيرات الصغيرة في نظام السحب تنطوي على تأثير كبير على النظام المناخي.

وقد أُشير إلى الكثير من الأنواع المحتملة للتأثير التفاعلي للسحب - المناخ التي تشتمل على تغيرات في كمية السحب، وارتفاع قمم السحب و/أو انعكاسية السحب (انظر السؤال 7.1، الشكل 1). وتبين الدراسات السابقة بصورة متساوقة أن السحب المرتفعة تقوي من الاحترار العالمي نتيجة تفاعلها مع الضوء تحت الأحمر الذي ينبعث من الغلاف الجوي والسطح. غير أن هناك الكثير من عدم اليقين بشأن التأثير التفاعلي المرتبط بسحب المرتفعات المنخفضة، والتأثير التفاعلي المرتبط بالكمية والانعكاسية بصفة عامة.



السؤال 7.1، الشكل 1 | شكل تخطيطي لآليات التأثير التفاعلي المهمة للسحب.

وتعكس السحب العالية الكثيفة بكفاءة ضوء الشمس، وتقلل السحب العالية الكثيفة والخفيفة بشدة كمية الضوء تحت الأحمر الذي ينبعث من الغلاف الجوي وسطح الأرض إلى الفضاء. وتؤدي المعاوضة بين هذين التأثيرين إلى أن تصبح درجة حرارة سطح الأرض أقل حساسية للتغيرات في كمية السحب المرتفعة عنها بالنسبة للتغيرات في كمية السحب المنخفضة. ويمكن أن تختل هذه المعاوضة عند وجود تحول منظم من السحب المرتفعة الكثيفة إلى السحب السميحية الخفيفة أو العكس، وفي حين أنه لا يمكن استبعاد هذا الاحتمال، لا تتوافر حالياً أي أدلة تدعم ذلك. ومن ناحية أخرى، فإن التغيرات في ارتفاع السحب العالية (بالنسبة لكمية معينة منها) يمكن أن تؤثر بقوة في درجة حرارة سطح الأرض. ويقلل التحول الصعودي في السحب العالية من الضوء تحت الأحمر الذي ينبعث من سطح الأرض والغلاف الجوي إلى الفضاء، إلا أن تأثيره طفيف فيما يتعلق بضوء الشمس المنعكس. وثمة أدلة قوية على حدوث هذا التحول في المناخ الأكثر احتراراً. ويؤدي ذلك إلى تفاقم الاحترار العالمي من خلال منع بعض الضوء تحت الأحمر الإضافي الذي ينبعث من الغلاف الجوي وسطح الأرض من مغادرة النظام المناخي.

وتعكس السحب المنخفضة قدرًا كبيراً من ضوء الشمس إلى الفضاء مرة أخرى إلا أن تأثيرها يكون ضعيفاً، بالنسبة لحالة معينة للغلاف الجوي وسطح الأرض، على الضوء تحت الأحمر الذي ينبعث إلى الفضاء من الأرض. ولذا فإن لها تأثيراً مبرداً صافياً على المناخ الحالي؛ ينطبق نفس الوضع إلى حد أقل على السحب المتوسطة المستوى. غير أن معظم النماذج المناخية التي قامت بتقييمها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ تحاكي انخفاضاً في كمية السحب على المستويين المنخفض والمتوسط مما يزيد من امتصاص ضوء الشمس ومن ثم ينحو إلى زيادة الاحترار. غير أن مدى هذا الانخفاض يعتمد تماماً على النماذج.

وهناك أيضاً وسائل أخرى قد تتغير بها السحب في المناخ الأكثر احتراراً. فالتغيرات في أنماط الرياح ومسارات العواصف يمكن أن تؤثر في الأنماط الإقليمية والموسمية للسحب والأمطار. وتشير بعض الدراسات إلى أن إشارة أحد التغيرات المشاهدة في النماذج المناخية - تحرك السحب صوب القطبين المرتبط بمسارات العواصف في خطوط العرض المتوسطة - قد لوحظ بالفعل في سجل الرصدات. ويمكن أن يضخم تحول السحب إلى المناطق التي تتلقى قدرًا أقل من ضوء الشمس من الاحترار العالمي. إذ يمكن تشكل الكثير من السحب من القطرات السائلة التي تكون صغيرة ولكنها كثيرة العدد وتعكس قدرًا من ضوء الشمس إلى الفضاء يزيد عن السحب التي تتكون من كتلة مماثلة من البلورات الجليدية. ويمكن للسحب السميحية الخفيفة، التي تمارس تأثيرات احترارية صافية والتي يصعب على النماذج المناخية محاكاتها، أن تتغير بوسائل لا تحاكيها النماذج، وإن كانت لا تتوافر أي أدلة على ذلك. وهناك عمليات أخرى قد تكون مهمة إقليمياً، فالتفاعلات بين السحب وسطح الأرض، مثلاً، يمكن أن تتغير فوق المحيطات حيث ينصهر الجليد البحري وفوق اليابسة حيث ينخفض نتح النباتات.

غير أنه لا تتوافر حتى الآن أي وسيلة مقبولة على نطاق واسع لاستخلاص التأثير التفاعلي للسحب العالمية من رصدات اتجاهات التغير الطويلة الأجل الخاصة بالسحب أو التقليدية في النطاق الزمني الأقصر مدى. ومع ذلك، فإن جميع النماذج المستخدمة في التقييم الحالي (والتقييم السابقان اللذان أجزتهما الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ) تحقق تأثيرات تفاعلية للسحب الصافية تزيد من الاحترار الناجم عن الاحتباس الحراري البشري المنشأ أو لا تنطوي على تأثيرات شاملة كبيرة. ولا تدرج التأثيرات التفاعلية في النماذج إلا أنها تنشأ من عمل السحب في عمليات محاكاة الغلاف الجوي وتأثيراتها على تدفقات الطاقة وتحولاتها في النظام المناخي. وتعزى الاختلافات في قوة التأثيرات التفاعلية للسحب الناتجة عن مختلف النماذج بدرجة كبيرة إلى تباين حساسية النماذج للتغيرات في تركيزات غازات الاحتباس الحراري.

السؤال 7.2 | كيف يؤثر الهباء الجوي في المناخ وتغير المناخ؟

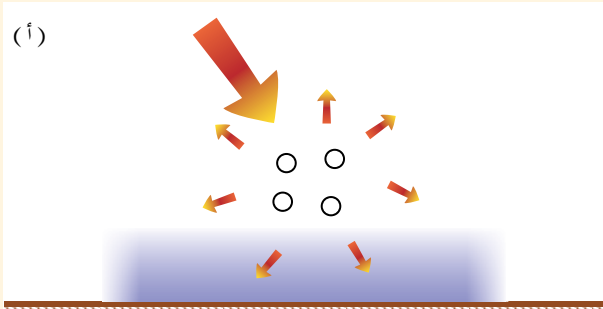
يتألف هباء الغلاف الجوي من جسيمات سائلة أو صلبة صغيرة عالقة في الغلاف الجوي تختلف عن الجسيمات الأكبر الأخرى للسحب والأمطار. ويأتي الهباء من مصادر طبيعية وبشرية المنشأ، ويمكن أن يؤثر في المناخ بطرائق متعددة ومعقدة من خلال تفاعله مع الأشعة والسحب. وبصفة عامة تشير النماذج والرصدات إلى أن الهباء البشري المنشأ قد مارس تأثيرات مبردة على الأرض منذ عصور ما قبل الصناعة، مما أدى إلى إخفاء بعض الاحترار العالمي المتوسط من غازات الاحتباس الحراري والذي كان يمكن أن يحدث في عدم وجوده. وسوف يؤدي هذا الانخفاض المتوقع في انبعاثات الهباء البشرية المنشأ في المستقبل، استجابة لسياسات نوعية الهواء، إلى إزاحة القناع عن الاحترار في نهاية المطاف.

وللهباء في الغلاف الجوي فترة بقاء معتادة تتراوح بين يوم واحد وأسبوعين في التروبوسفير، ونحو عام واحد في الستراتوسفير. ويتباين الهباء تبايناً شاسعاً من حيث الحجم والتركيب الكيميائي والشكل، وبعض أنواع الهباء مثل الأتربة ورذاذ البحر من أصل طبيعي في معظمها أو كلها في حين تأتي أنواع الهباء الأخرى مثل الكبريتات والدخان من كل من المصادر الطبيعية والبشرية المنشأ على السواء.

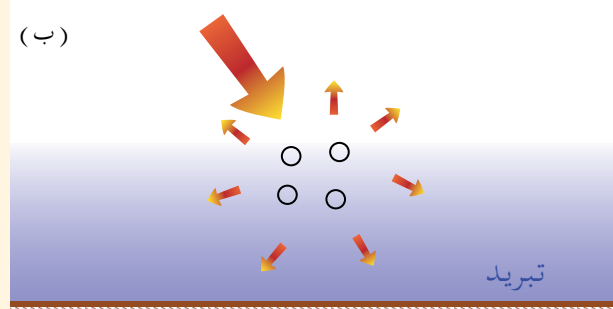
ويؤثر الهباء في المناخ بطرائق عديدة. فأولاً فإنه يشتم ويمتص ضوء الشمس مما يعدل من التوازن الإشعاعي للأرض (انظر السؤال 7.2، الشكل 1). ويؤدي تشتت الهباء عموماً إلى زيادة انعكاسية الأرض وينحو إلى تبريد المناخ، في حين أن لامتصاص الهباء تأثيراً معاكساً وينحو إلى إحداث احترار في النظام المناخي. ويتوقف التوازن بين التبريد والاحترار على جسيمات الهباء والظروف البيئية. وقد حدد الكثير من دراسات رصد تقييماً كمياً للتأثيرات الإشعاعية المحلية الناشئة عن الأهباء الطبيعية والبشرية المنشأ إلا أنها ترى أن تأثيره العالمي يحتاج إلى بيانات ساتلية ونماذج. ويأتي أحد أوجه عدم اليقين المتبقية من الكربون الأسود، وهو هباء ماص لا يتعدى فقط قياسه بشكل أكبر من الهباء المشتت بل إنه يحفز أيضاً الاستجابة المعقدة للسحب. غير أن معظم الدراسات تتفق على أن التأثير الإشعاعي الشامل للهباء البشري المنشأ هو تبريد لكوكب الأرض.

التفاعلات بين الهباء والأشعة

الأهباء المشتتة

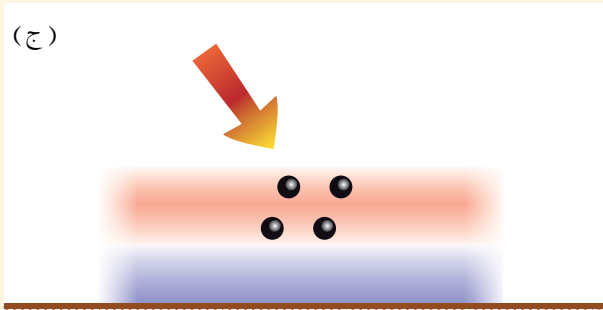


تشتت الأهباء الأشعة الشمسية، فتصل كميات أقل من الأشعة إلى سطح اليابسة مما يؤدي إلى تبريد محلي.

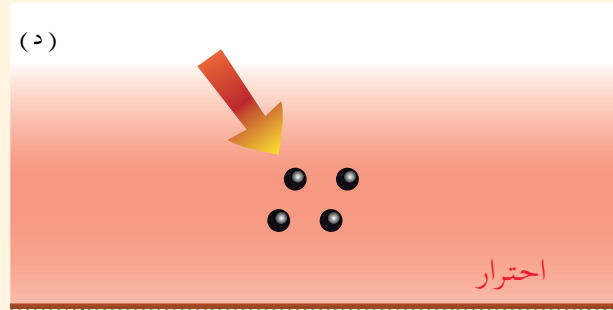


تنشر عمليات الدوران والامتزاج في الغلاف الجوي التبريد في المستويين الإقليمي والرأسي.

الأهباء الماصة



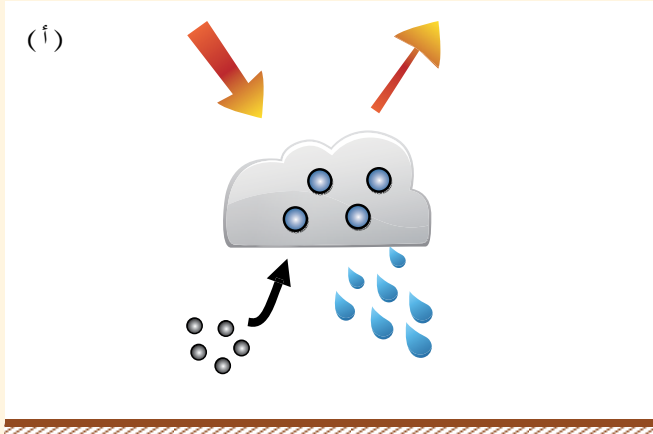
تمتص الأهباء الأشعة الشمسية. ويؤدي هذا إلى تسخين طبقة الهباء، ولكن السطح الذي يتلقى كميات أقل من الأشعة الشمسية يمكن أن يبرد محلياً.



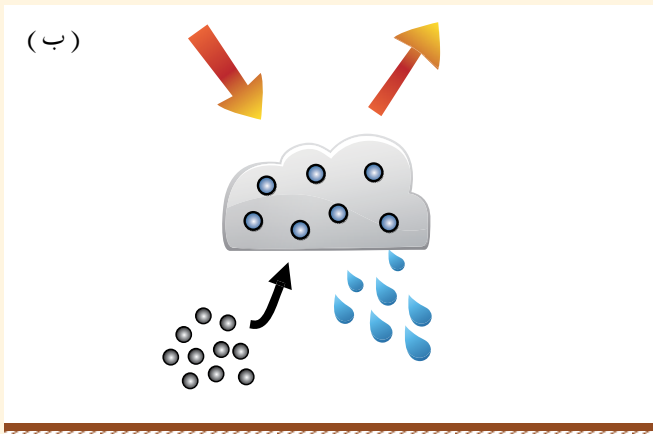
على النطاق الأكبر يحدث احترار صافٍ للسطح والغلاف الجوي لأن الدوران الاستراتوسفيري وعمليات المرجع تعيدان توزيع الطاقة الحرارية.

السؤال 7.2، الشكل 1 | عرض عام للتفاعلات بين الأهباء والأشعة الشمسية وتأثيرهما على المناخ. وتبين اللوحتان إلى اليسار التأثيرات الإشعاعية الفورية للهباء في حين تبين اللوحتان إلى اليمين تأثيرهما الشامل بعد استجابة النظام المناخي لتأثيراتهما الإشعاعية.

التفاعلات بين الأهباء الجوية والسحب



تعمل الأهباء كنوى لتكثيف السحب يمكن أن تتشكل عليها القطرات السائلة .



تؤدي زيادة الأهباء الجوية إلى زيادة تركيز القطرات الصغيرة مما يؤدي إلى سحب أنصع. غير أن هناك الكثير من العمليات المحتملة للهباء والسحب وكميات الأمطار مما قد يبسط أو يبسط من هذا التأثير.

السؤال 7.2، الشكل 12 عرض عام للتفاعلات بين الهباء والسحب وتأثيرها على المناخ. وتمثل اللوحان (أ) و (ب) سحباً منخفضة المستوى نظيفة وملونة على التوالي.

ويعمل الهباء أيضاً كمواقع للتكثيف وتنوية الجليد، التي يمكن أن تتكون عليها قطرات السحب والجسيمات الجليدية (انظر السؤال 7.2، الشكل 2). وعندما تتأثر السحب المكونة من قطرات المياه السائلة بمزيد من جسيمات الهباء، تنحو إلى أن تكون أعداد أكبر من القطرات وإن كانت أصغر مما يتسبب في أن تعكس هذه السحب قدرًا أكبر من الأشعة الشمسية. غير أن هناك الكثير من المسارات الأخرى للتفاعلات بين الأهباء والسحب، وخاصة الجليد - أو خليط السحب السائلة والجليد، حيث تكون التغيرات في الأطوار بين المياه السائلة والجليد حساسة لتركيزات الهباء وخواصه. وقد أثرت اعتراضات على وجهة النظر الأولية التي ترى أن الزيادة في تركيز الهباء ستؤدي أيضاً إلى زيادة في كمية السحب المنخفضة، لأن عدداً من العمليات ذات التأثيرات المتعارضة تبدأ في التأثير. ومن المفهوم أنه من الصعوبة بمكان وضع تقييم كمي للتأثيرات الشامل للهباء على كميات السحب وخواصها. وتشير الدراسات المتوافرة المعتمدة على النماذج المناخية والرصدات الساتلية بصفة عامة إلى أن التأثير الصافي للأهباء البشرية المنشأ على السحب يتمثل في تبريد النظام المناخي.

ونظراً لأن هذه الأهباء تكون موزعة بصورة غير منتظمة في الغلاف الجوي، فإنها يمكن أن تحدث تسخيناً وتبريداً للنظام المناخي بأشكال يمكن أن تسبب تغيرات في الطقس. ومع أن هذه التأثيرات معقدة، ويصعب محاكاتها بالنماذج الحالية، فإن العديد من الدراسات تشير إلى حدوث تأثيرات كبيرة على كميات الأمطار في بعض الأقاليم.

ونظراً لقصر فترة بقاء الأهباء الجوية في الغلاف الجوي - فإن تركيزاتها وتأثيراتها المناخية - قد تنوعت مع مرور الوقت في تناسق تقريبي مع الانبعاثات البشرية المنشأ، هي وسلائفها في الطور الغازي مثل ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، وبعض المركبات العضوية المتطايرة. ونظراً لأن انبعاثات الهباء البشري المنشأ قد ازدادت بدرجة كبيرة خلال الفترة الصناعية، فإن ذلك حال دون بعض الاحترار الذي كان يمكن أن يحدث لولا ذلك بفعل التركيزات المتزايدة لغازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز. كما تسبب الهباء الناشئ عن الثورات البركانية الكبيرة التي دخلت إلى الستراتوسفير، مثل بركاني الشيشون وبيناتوبو، اللذين تسببا أيضاً في فترات برودة استمرت عادة لعام أو عامين.

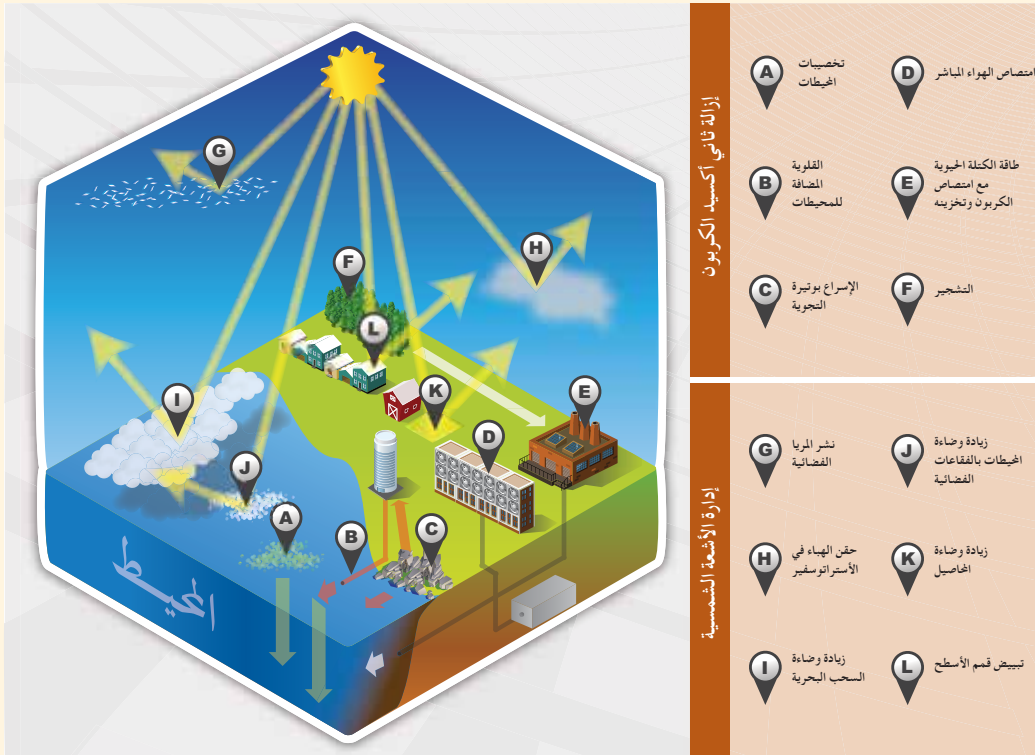
وخلال العقدين الأخيرين، انخفضت انبعاثات الهباء البشرية المنشأ في بعض البلدان المتقدمة ولكنها زادت في الكثير من البلدان النامية. ولذا يعتقد أن تأثير الهباء على المتوسط العالمي لدرجة حرارة سطح الأرض هو تأثير ضئيل. غير أنه يتوقع أن تنخفض انبعاثات الهباء البشرية المنشأ في نهاية المطاف استجابة للسياسات الخاصة بجودة الهواء، التي سوف تكبح تأثيراتها المبردة على سطح الأرض مما سيؤدي إلى زيادة الاحترار.

السؤال 7.3 | هل يمكن للهندسة الجيولوجية إبطال تغير المناخ، وما هي الآثار الجانبية التي قد تحدث؟

تعرف الهندسة الجيولوجية - والتي تسمى أيضاً بالهندسة المناخية - بأنها مجموعة عريضة من الطرائق والتكنولوجيات التي تهدف إلى أن تغير عن عمد النظام المناخي للتخفيف من آثار تغير المناخ. وهناك فئتان متميزتان من طرائق الهندسة الجيولوجية تؤخذان في الاعتبار دائماً: إدارة الأشعة الشمسية (SRM) التي يرد تقييم لها في القسم (7.7) والتي تهدف إلى التعويض عن الاحترار الناجم عن غازات الاحتباس الحراري البشرية المنشأ بزيادة انعكاسية الأرض مع إزالة ثاني أكسيد الكربون (CDR) التي جرى تقديمها في القسم (6.5) والتي تهدف إلى خفض تراكيز ثاني أكسيد الكربون CO₂ في الغلاف الجوي. وتعمل الفئتان على أساس مبادئ فيزيائية مختلفة وعلى مختلف النطاقات الزمنية. وتشير النماذج إلى أنه إذا كانت طرائق SRM قابلة للتحقيق، فإن فعاليتها ستكون في التصدي لارتفاع درجات الحرارة، إلا أنها ستكون أقل فعالية ولكنها ستستمر في التصدي لبعض التغيرات المناخية الأخرى. ولن تتصدى SRM لجميع تأثيرات تغير المناخ، كما أن جميع طرائق الهندسة الجيولوجية المقترحة تنطوي أيضاً على مخاطر وآثار جانبية. ولا يمكن توقع النتائج الإضافية بالنظر إلى أن مستوى الفهم العلمي لكل من SRM وCDR منخفض. كما أن هناك الكثير من القضايا (السياسية والأخلاقية والعملية) المتصلة بالهندسة الجيولوجية والتي تتجاوز نطاق هذا التقرير.

طرائق إزالة ثاني أكسيد الكربون

تهدف طرائق إزالة ثاني أكسيد الكربون CDR إلى إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي من خلال عمليات تعديل متعمدة في دورة الكربون أو بأساليب صناعية (مثل النهج الكيميائية). ويجري بعد ذلك تخزين الكربون المسحوب من الغلاف الجوي في اليابسة والمحيطات أو في مستودعات جيولوجية. وتعتمد بعض طرائق CDR على العمليات البيولوجية مثل التوسع في عمليات التشجير وإعادة التشجير، وامتصاص الكربون في التربة من خلال الفحم الأحثائي، والطاقة الحيوية مع احتجاز الكربون وتخزينه (BECCS) وتخصيب



السؤال 7.3، الشكل 1 | عرض عام لبعض طرائق الهندسة الجيولوجية المقترحة بالصورة التي طرحت بها طرائق إزالة ثاني أكسيد الكربون (انظر القسم 6.5 للاطلاع على التفاصيل): (ألف) إضافة عناصر غذائية للمحيطات (تخصيب المحيطات) مما يزيد من إنتاجية المحيط عند سطحه، ونقل جزء من الكربون البيولوجي إلى أسفل؛ (باء) تضاف قلوية من معادن صلبة إلى المحيطات لزيادة ذوبان ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي في المحيطات؛ (ج) زيادة معدل تجوية الصخور السيليكاتية، وانتقال المعادن الكربوناتية الذائبة إلى المحيطات؛ (دال) احتجاز ثاني أكسيد كربون الغلاف الجوي كيميائياً وتخزينه تحت اليابسة أو في المحيطات؛ (هاء) حرق الكتلة الحيوية في محطة للطاقة الكهربائية مع الكربون المحتجز، تخزين ثاني أكسيد الكربون المحتجز تحت اليابسة أو في المحيطات؛ (واو) احتجاز ثاني أكسيد الكربون من خلال التشجير وإعادة التشجير وتخزينه في النظم الإيكولوجية للأرض. طرائق إدارة الأشعة الشمسية (لمزيد من التفاصيل، انظر القسم 7.7)؛ (زاي) وضع أجهزة عاكسة في الفضاء لتعكس الأشعة الشمسية؛ (حاء) حقن الهباء في الأستراتوسفير؛ (طاء) تخصيب السحب البحرية لزيادة عاكسيتها؛ (ياء) فقاقيع صغيرة على سطح المحيطات لزيادة عاكسيتها؛ (كاف) زيادة زراعة المزيد من المحاصيل العاكسة؛ (لام) تبييض الأسطح والهياكل المبنية الأخرى.

المحيطات. وسوف تعتمد الطرائق الأخرى على العمليات الجيولوجية مثل التجوية المعجلة لصخور السيليكات والكربونات - على الأرض أو في المحيطات (انظر السؤال 7.3، الشكل 1). ويجري بعد ذلك تخزين ثاني أكسيد الكربون المزال من الغلاف الجوي في شكل عضوي في المستودعات الأرضية أو في شكل غير عضوي في المستودعات المحيطية والجيولوجية حيث يتعين تخزينه مئات السنين على الأقل لكي تحقق CDR فعاليتها.

وتقلل طرائق إزالة ثاني أكسيد الكربون (CDR) القسور الإشعاعي لثاني أكسيد الكربون بنفس القدر الذي تحقق به فعاليتها في إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي وإبعاد ثاني أكسيد الكربون المزال من الغلاف الجوي. وقد تقلل بعض الطرائق من تحمض المحيطات (انظر السؤال 3.2) في حين أن بعض الطرائق الأخرى التي تشمل التخزين المحيطي قد تزيد بدلاً من ذلك من تحمض المحيطات إذا كان الكربون الممتص في شكل ثاني أكسيد كربون ذائب. ويتمثل أحد أوجه عدم اليقين الرئيسية المتصلة بفعالية طرائق CDR في القدرة على التخزين، واستدامة الكربون المخزن. فإزالة الكربون المستدامة وتخزينها بواسطة CDR تؤدي إلى خفض احتراق المناخ في المدى الطويل. غير أن إستراتيجيات التخزين غير المستدام تتيح عودة ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي حيث يسهم مرة أخرى في الاحتراق. وسوف تعوض الإزالة المتعمدة لثاني أكسيد الكربون بواسطة طرائق CDR جزئياً باستجابة مستودعات الكربون الأرضية والمحيطية في حالة انخفاض تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ويعزى ذلك إلى أن بعض هذه المستودعات سوف يطلق إلى الغلاف الجوي ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ الذي كان قد خزن في السابق. ولذا فإن القضاء تماماً على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ يتطلب أن لا تقتصر تقنيات CDR على مجرد إزالة ثاني أكسيد الكربون الذي تراكم في الغلاف الجوي منذ عصور ما قبل الصناعة بل وأن يشمل الكربون البشري المنشأ الذي سبق أن امتصه الغلاف الحيوي لليابسة والمحيطات.

ولا يمكن زيادة حجم الطرائق البيولوجية ومعظم طرائق CDR التجوية الكيميائية إلى ما لا نهاية، فهي محدودة بالضرورة بالقيود الفيزيائية أو البيئية المختلفة، مثل الطلبات المتنافسة على الأراضي. ولدى افتراض معدل أقصى للإحتجاز عن طريق CDR قدره 200 بيتاغرام كربون للقرن من توليفة من طرائق CDR، فإن ذلك سوف يستغرق نحو قرن ونصف القرن لإزالة ثاني أكسيد الكربون المنبعث خلال الخمسين عاماً الماضية مما يؤدي إلى تعذر التخفيف من تغير المناخ بسرعة حتى بالنسبة لمجموعة من طرائق CDR المضافة. ويمكن من حيث المبدأ أن تعمل طرائق امتصاص الهواء المباشرة بصورة أسرع إلا أنه قد يحدها التنفيذ الواسع النطاق بما في ذلك استخدام الطاقة والقيود البيئية.

ويمكن أن ينطوي CDR على آثار جانبية مناخية وبيئية. فالإنتاجية النباتية المعززة، مثلاً، قد تزيد من انبعاثات أكسيد النيتروز N_2O ، وهو من الغازات التي لها قدرة تفوق قدرة ثاني أكسيد الكربون CO_2 على إحداث الاحتراق. ويمكن أن تغير زيادة واسعة النطاق في الغطاء النباتي - من خلال التشجير أو زراعة محاصيل الطاقة من خواص سطح الأرض مثل انعكاسية السطح والتدفقات المثيرة للاضطراب. وقد أظهرت بعض دراسات النمذجة أن زراعة الغابات في المناطق الشمالية التي تغطيها الثلوج موسمياً يمكن في الواقع أن يسرع الاحتراق العالمي في حين أن زراعة الغابات في المناطق المدارية قد يكون أكثر فعالية في إبطاء الاحتراق العالمي. وسيكون لطرائق CDR المرتكزة على المحيطات والتي تعتمد على الإنتاج البيولوجي (مثل تخصيب المحيطات) العديد من الآثار الجانبية على النظم الإيكولوجية للمحيطات، وحمضية المحيطات، وقد تنتج انبعاثات من غازات الاحتباس الحراري غير ثاني أكسيد الكربون.

طرائق إدارة الأشعة الشمسية

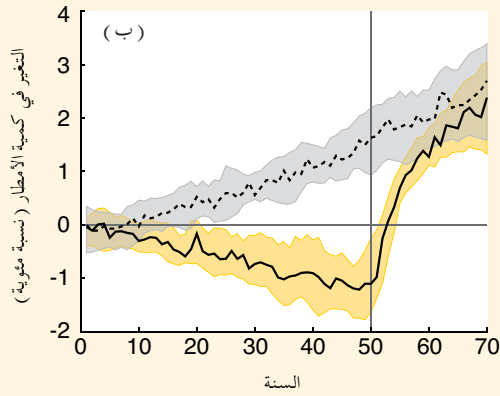
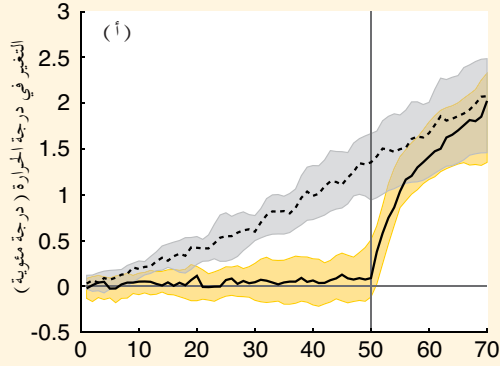
يتأثر المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية لكوكب الأرض بدرجة كبيرة بكمية ضوء الشمس التي يمتصها الغلاف الجوي للأرض وسطحها مما يؤدي إلى احتراق الأرض، ونتيجة لوجود تأثير الاحتباس الحراري، وهو العملية التي تؤثر بها غازات الاحتباس الحراري والسحب في الطريقة التي تنبعث بها الطاقة في نهاية المطاف إلى الفضاء. وتؤدي الزيادة في تأثير الاحتباس الحراري إلى ارتفاع درجة حرارة سطح الأرض لحين تكون توازن جديد. وفي حالة امتصاص قدر أقل من ضوء الشمس القادم نتيجة لزيادة عاكسية الأرض أو في حالة إمكانية انبعاث الطاقة إلى الفضاء بقدر أكبر من الفعالية نتيجة لانخفاض تأثير الاحتباس الحراري، سينخفض المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية.

وتعتمد طرائق الهندسة الجيولوجية المقترحة التي تهدف إلى إدارة تدفقات طاقة الأرض القادمة والخارجة على هذا المبدأ الفيزيائي الأساسي. وتقتصر معظم هذه الطرائق إما خفض ضوء الشمس الذي يصل إلى الأرض أو زيادة عاكسية الكوكب من خلال زيادة وضاء الغلاف الجوي والسحب أو سطح الأرض (انظر السؤال 7.3، الشكل 1). وتقتصر تقنية أخرى كبح السحب المرتفعة المعروفة باسم السحب السمحاقية حيث أن لهذه السحب تأثير احتباس حراري قوي. وتفيد الفيزياء الأساسية أنه إذا غير أي من هذه الطرائق تدفقات الطاقة كما هو متوقع، سوف تبرد الأرض عندئذ. غير أن الصورة معقدة بالنظر إلى العمليات الفيزيائية الكثيرة والمعقدة التي تحكم التفاعلات بين تدفق الطاقة، ودوران الغلاف الجوي والطقس والمناخ الناتج.

وفي حين أن المتوسط العالمي لدرجة حرارة سطح الكوكب سوف تستجيب للتغير في كمية ضوء الشمس التي تصل إلى سطح الأرض أو التغير في تأثير الاحتباس الحراري، فإن درجة الحرارة في أي مكان أو زمان معين سوف تتأثر بالكثير من العوامل الأخرى كما أن كمية التبريد الصادرة عن SRM لن تعادل عموماً كمية الاحتراق الناشئة عن غازات الاحتباس الحراري. إذ أن SRM، مثلاً، لن تغير من معدلات الاحتراق إلا خلال وقت النهار أما زيادة غازات الاحتباس الحراري فقد تغير درجات الحرارة خلال كل من النهار والليل. ويمكن أن يؤثر ذلك التعويض غير الدقيق في الدورة النهارية لدرجة حرارة سطح الأرض حتى لو لم يتغير متوسط درجة الحرارة السطحية. وثمة مثال آخر يتمثل في أن حسابات النماذج تشير إلى أن انخفاضاً موحداً في ضوء الشمس الذي يصل إلى السطح قد يبرد المتوسط العالمي للاحتراق المستحث من ثاني أكسيد الكربون إلا أن بعض المناطق سوف تنخفض بدرجة أقل من مناطق أخرى. وتشير النماذج إلى أنه في حالة تعويض الاحتراق الناجم عن الاحتباس الحراري البشري المنشأ بصورة كاملة بواسطة الهباء الموجود في الستراتوسفير، فإن المناطق القطبية سوف يقل فيها الاحتراق المتبقي في حين تصبح المناطق المدارية أقل برودة بقليل مما كانت عليه في عصر ما قبل الصناعة.

ويمكن لإدارة الأشعة الشمسية SRM أن تتصدى من الناحية النظرية للتغير المناخي البشري المنشأ بسرعة، وخفض درجة حرارة الأرض إلى مستويات عصر ما قبل الصناعة في غضون عقد أو عقدين. وهذا معروف من النماذج المناخية بل ومن السجلات المناخية للثورات البركانية الكبيرة. وقد تسبب انفجار بركان جبل بيناتوبو الذي رصد رصداً جيداً في عام 1991 في إحداث زيادة مؤقتة في أهباء الستراتوسفير، وانخفاض سريع في درجة حرارة سطح الأرض بنحو 0.5 درجة مئوية.

ويتألف المناخ من كثير من العوامل بالإضافة إلى درجة حرارة سطح الأرض. ولذا فإن النتائج بالنسبة لجوانب المناخ الأخرى مثل سقوط الأمطار، ورطوبة التربة، وتدفقات الأنهار، وتراكم الثلوج، والجليد البحري، والنظم الإيكولوجية قد تكون مهمة أيضاً. وتبين النماذج النظرية أن تعويض الزيادة في تأثير الاحتباس الحراري من خلال إدارة SRM لتثبيت درجة الحرارة السطحية سيقبل بعض الشيء من المتوسط العالمي لسقوط الأمطار (للاطلاع على نتائج مثالية لنموذج، انظر السؤال 7.3، الشكل 2) ويمكن أن تحدث أيضاً تغييرات إقليمية. ويؤدي



السؤال 7.3، الشكل 2 | التغير في المتوسط العالمي (أ) لدرجة الحرارة السطحية (درجة مئوية) و(ب) كمية الأمطار (نسبة مئوية) في تجربتين متماثلتين في الظروف. والخطوط المتصلة لحالات المحاكاة باستخدام إدارة الأشعة الشمسية (SRM) لتحقيق توازن بالزيادة بنسبة 1 في المائة سنوياً في تراكيز ثاني أكسيد الكربون حتى العام 50 وبعده تتوقف SRM. وتمثل الخطوط المتقطعة حالات المحاكاة لإحداث توازن بالزيادة بنسبة 1 في المائة سنوياً في تراكيز ثاني أكسيد الكربون في عدم وجود SRM. وبين المغلفان الأصفر والرمادي المئينين الخامسة والعشرين والخامسة والسبعين من ثمانية نماذج مختلفة.

التعويض غير الدقيق في الأنماط المناخية الإقليمية والعالمية إلى أن يكون من غير المرجح أن تحقق SRM مناخاً عالمياً في المستقبل يكون مماثلاً تقريباً لذلك الذي نتعرض له اليوم أو الذي تعرضنا له في السابق. غير أن النماذج المناخية المتوافرة تشير إلى أن المناخ الذي يخضع للهندسة الجيولوجية من خلال SRM، وارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي سيكون عموماً أقرب لمناخ القرن العشرين من مناخ المستقبل الذي يتسم بارتفاع تراكيز ثاني أكسيد الكربون وبدون SRM.

وقد يكون لتقنيات SRM آثار جانبية أخرى. إذ تشير الدراسات النظرية والرصدات والنماذج، مثلاً، إلى أن أهباء الكبريتات في الستراتوسفير الناشئ عن الانفجارات البركانية والانبعاثات الطبيعية تستنزف طبقة الأوزون الستراتوسفيري وخاصة في وجود الكلور الناشئ عن انبعاثات الكلوروفلوروكربون في الغلاف الجوي. ويتوقع أن يكون لهباء الستراتوسفير المستخدم لأغراض SRM نفس التأثير. وسوف يزيد استنفاد طبقة الأوزون من كمية الضوء فوق البنفسجي الذي يصل إلى سطح الأرض ويدمر النظم الإيكولوجية الأرضية والبحرية. كما يزيد الهباء الستراتوسفيري أيضاً من نسبة ضوء الشمس المباشر إلى الضوء المنتشر الذي يصل إلى سطح الأرض والذي يزيد عموماً من إنتاجية النباتات. كما أعرب عن بعض الشواغل من أن يؤدي هباء الكبريتات المستخدم في SRM إلى زيادة الأمطار الحمضية إلا أن دراسات النماذج تشير إلى أن الأمطار الحمضية ليست على الأرجح من الشواغل الرئيسية بالنظر إلى أن معدل الأمطار الحمضية الذي ينتج من أهباء الستراتوسفير المستخدمة لإدارة SRM سيكون أقل كثيراً من القيم التي تنتج حالياً من مصادر التلوث. ولن تتناول SRM كذلك تجمد المحيطات المرتبط بزيادة تراكيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وتأثيراته على النظم الإيكولوجية البحرية.

وبدون جهود التخفيف التقليدية أو طرائق CDR المحتملة، سوف تستمر تراكيز ثاني أكسيد الكربون المرتفعة الناتجة من الانبعاثات البشرية المنشأ في الغلاف الجوي لفترات طويلة تصل إلى آلاف السنين. وسوف تستمر SRM مادامت تراكيز ثاني أكسيد الكربون مرتفعة. وسوف يؤدي وقف SRM في الوقت الذي تظل فيه تراكيز ثاني أكسيد الكربون مرتفعة إلى إحداث احترار بالغ السرعة خلال عقد أو عقدين (انظر السؤال 7.3، الشكل 3) مما سيحدث إجهاداً شديداً للنظم الإيكولوجية والتكيف البشري.

وإذا استخدمت SRM لتجنب بعض نتائج زيادة التراكيز في ثاني أكسيد الكربون، فإن المخاطر، والآثار الجانبية وجوانب القصور سوف تزداد مع تزايد مستوى SRM. وقد اقترحت أساليب لاستخدام قدر محدود من SRM لفترة محدودة بالاقتران مع إستراتيجيات قوية لخفض تراكيز ثاني أكسيد الكربون للمساعدة في تجنب التحولات عبر الحدود القصوى المناخية أو نقاط الانقلاب التي لا يمكن تجنبها بدون ذلك. وسوف يتطلب تقييم هذه الأساليب تحليلاً دقيقاً للمخاطر مقابل المنافع مما يتجاوز بكثير نطاق هذا التقرير.

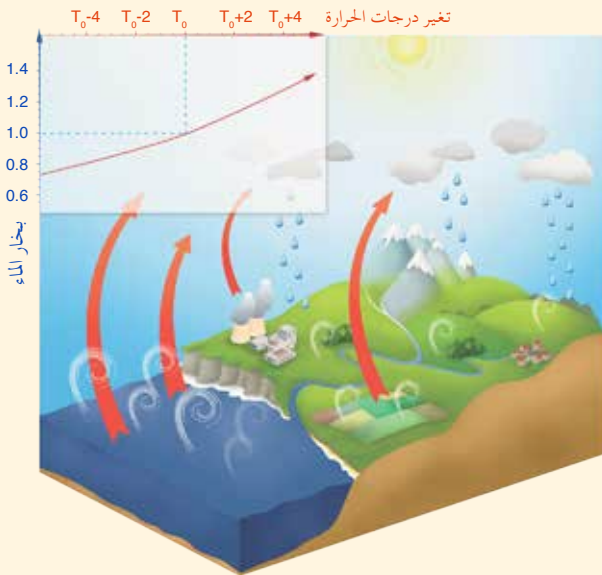
السؤال 8.1 | ما مدى أهمية بخار الماء لتغير المناخ؟

يطلق بخار الماء، بوصفه أكبر مساهم في تأثير الاحتباس الحراري الطبيعي، بدور أساسي في تغير مناخ الأرض. غير أن كمية بخار الماء في الغلاف الجوي يحكمها في الغالب درجة حرارة الهواء وليس الانبعاثات. ولهذا السبب، يعتبره العلماء عاملاً من عوامل التأثير التفاعلي وليس قوة قسرة لتحقيق تغير المناخ. وليس للانبعاثات البشرية المنشأ لبخار الماء، من خلال الري وتبريد محطات القوى، تأثير يذكر على تغير المناخ.

وبخار الماء هو غاز الاحتباس الحراري الرئيسي في الغلاف الجوي للأرض. وتعتمد مساهمة بخار الماء في التأثير الطبيعي للاحتباس الحراري مقابل مساهمة ثاني أكسيد الكربون (CO_2) على طريقة الحساب، إلا أنه يمكن اعتباره أكبر بمقدار ضعفين إلى ثلاثة أضعاف تقريباً. ويحقن معظم بخار الماء الإضافي في الغلاف الجوي من الأنشطة البشرية المنشأ، من خلال زيادة البخر من المحاصيل المروية ومن خلال تبريد محطات القوى، وبصورة طفيفة من احتراق الوقود الأحفوري. ولذا يمكن للمرء أن يتساءل عن السبب في هذا التركيز الكبير على ثاني أكسيد الكربون CO_2 وليس على بخار الماء باعتباره تأثيراً قسرياً في تغير المناخ.

ويعمل بخار الماء بطريقة مختلفة عن ثاني أكسيد الكربون بأحد الطرق الجوهرية: فإن بوسعه التكثف والتساقط. فعندما يبرد الهواء المحمل بالرطوبة العالية، يتكثف جزء من بخار الماء ويتحول إلى قطرات ماء أو جزيئات جليد، وتسقط أمطاراً. وتبلغ فترة البقاء العادية لبخار الماء في الغلاف الجوي عشرة أيام. ويقطع بخار الماء في الغلاف الجوي من المصادر البشرية المنشأ بدرجة كبيرة عن البخر الطبيعي، ولذا فإن تأثيره لا يذكر على التراكيزات الشاملة، ولا يسهم إسهاماً كبيراً في تأثير الاحتباس الحراري الطويل الأجل. وهذا هو السبب الرئيسي في أن بخار الماء التروبوسفيري (الذي يوجد عادة عند ارتفاع يقل عن 10 كيلومترات) لا يعد غازاً من غازات الاحتباس الحراري التي تسهم في القسرة الإشعاعي.

وللانبعاثات البشرية المنشأ تأثير كبير على بخار الماء في الستراتوسفير الذي يشكل جزءاً من الغلاف الجوي فوق نحو 10 كيلومترات. وتؤدي زيادة تراكيزات الميثان (CH_4) بسبب الأنشطة البشرية إلى مصدر إضافي للماء من خلال الأكسدة مما يفسر جزئياً التغيرات المرصودة في تلك الطبقة من الغلاف الجوي. ولهذا التغيير في الماء الستراتوسفيري تأثير مشع، ويعد تأثيراً قسرياً ويمكن تقييمه. وقد تباينت تراكيزات الماء في الستراتوسفير تبايناً شاسعاً خلال العقود الماضية. ولم يفهم المدى الكامل لهذه التباينات على نحو جيد، ولا يمثل على الأرجح تأثيراً قسرياً قدر ما يمثل عملية تأثير تفاعلي يضاف إلى التقلبية الطبيعية. ومساهمة بخار الماء الستراتوسفيري في الاحترار، سواء كتأثير قسري أو تأثير تفاعلي أصغر بكثير من تأثير الميثان (CH_4) وثاني أكسيد الكربون (CO_2).



السؤال 8.1، الشكل 1 | رسم توضيحي للدورة المائية وتفاعلها مع ظاهرة تأثير الاحتباس الحراري. ويشير الرسم المدرج إلى أعلى يسار الشكل إلى الزيادة النسبية في التركيز المحتمل لبخار الماء في الهواء مع الزيادة في درجة الحرارة (نحو 7 في المائة لكل درجة). وتبين الجدائل البيضاء البخر الذي يعوضه سقوط الأمطار لإغلاق موازنة المياه. وتبين الأسهم الحمراء الأشعة تحت الحمراء الخارجة التي تمتصها بخار الماء والغازات الأخرى جزئياً، وهي عملية تشكل أحد مكونات تأثير الاحتباس الحراري. ولا تظهر العمليات الستراتوسفيرية في هذا الشكل.

وتتحكم درجة الحرارة في الكمية القصوى من بخار الماء في الهواء. فقد يحتوي العمود المعتاد من الهواء الممتد من سطح الأرض إلى الستراتوسفير في المناطق القطبية ما لا يتجاوز بضعة كيلوغرامات من بخار الماء لكل متر مربع، في حين قد يحتوي عمود مماثل من الهواء في المناطق المدارية على ما يصل إلى 70 كيلوغراماً. ومع كل زيادة في درجة الحرارة بمقدار درجة واحدة، يمكن أن يحتفظ الغلاف الجوي بكمية من بخار الماء تزيد بنسبة 7 في المائة (انظر الرسم المدرج إلى اليسار أعلى الشكل 1 في السؤال 8.1). وتؤدي هذه الزيادة في التركيز إلى تفاقم تأثير الاحتباس الحراري ومن ثم تؤدي إلى زيادة الاحترار. وهذه العملية التي يشار إليها على أنها التأثير التفاعلي لبخار الماء، تحظى بفهم جيد ويجري تقييمها كميًا. وتحدث في جميع النماذج المستخدمة لتقدير تغير المناخ حيث تتسق قوتها مع الرصدات. وفي حين أنه قد رصدت زيادة في بخار ماء الغلاف الجوي، جرى التسليم بأن هذا التغير عبارة عن تأثير تفاعلي (من الزيادة في درجة حرارة الغلاف الجوي) وينبغي عدم تفسيره على أنه تأثير قسري إشعاعي من الانبعاثات البشرية المنشأ.

ولبخار الماء في الوقت الراهن التأثير الأكبر على الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي للأرض . غير أن غازات الاحتباس الحراري الأخرى ، ثاني أكسيد الكربون CO_2 بالدرجة الأولى ، ضرورية لدعم وجود بخار الماء في الغلاف الجوي . والواقع أنه في حالة إزالة هذه الغازات من الغلاف الجوي ، تهبط درجة حرارته بما يكفي لإحداث انخفاض في بخار الماء ، مما يؤدي إلى حدوث هبوط مفاجئ في تأثير الاحتباس الحراري الأمر الذي يقحم الأرض في حالة تجمد . وعلى ذلك فإن غازات الاحتباس الحراري غير بخار الماء توفر هيكل درجات الحرارة الذي يدعم المستويات الحالية لبخار الماء في الغلاف الجوي . ففي حين أن ثاني أكسيد الكربون يمثل عنصر التحكم الرئيسي البشري المنشأ في المناخ ، فإن بخار الماء يمثل التأثير التفاعلي القوي السريع الذي يقوي من أي تأثير قسري أولي بعامل معتاد يتراوح بين ضعفين وثلاثة أضعاف . وبخار الماء ليس تأثيراً قسرياً أولياً كبيراً إلا أنه مع ذلك عامل جوهري في المناخ .

السؤال 8.2 | هل للتحسينات في جودة الهواء تأثير على تغير المناخ؟

نعم تؤثر التحسينات في جودة الهواء على المناخ، إلا أن ذلك يعتمد على نوع الملوث أو الملوثات التي تحد منها، وبوسعها إما أن تبرد المناخ أو تصيبه بالاحترار. ففي حين أن خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، مثلاً، يؤدي إلى زيادة الاحترار، فإن التحكم في انبعاثات أكسيد النيتروز (NOx) له تأثير مبرد (من خلال خفض الأوزون التروبوسفيري) وله أيضاً تأثير احتراري (نتيجة لتأثيره على فترة بقاء الميثان في الغلاف الجوي وإنتاج الهباء). كما يمكن أن يؤثر تلوث الهواء في أنماط سقوط الأمطار.

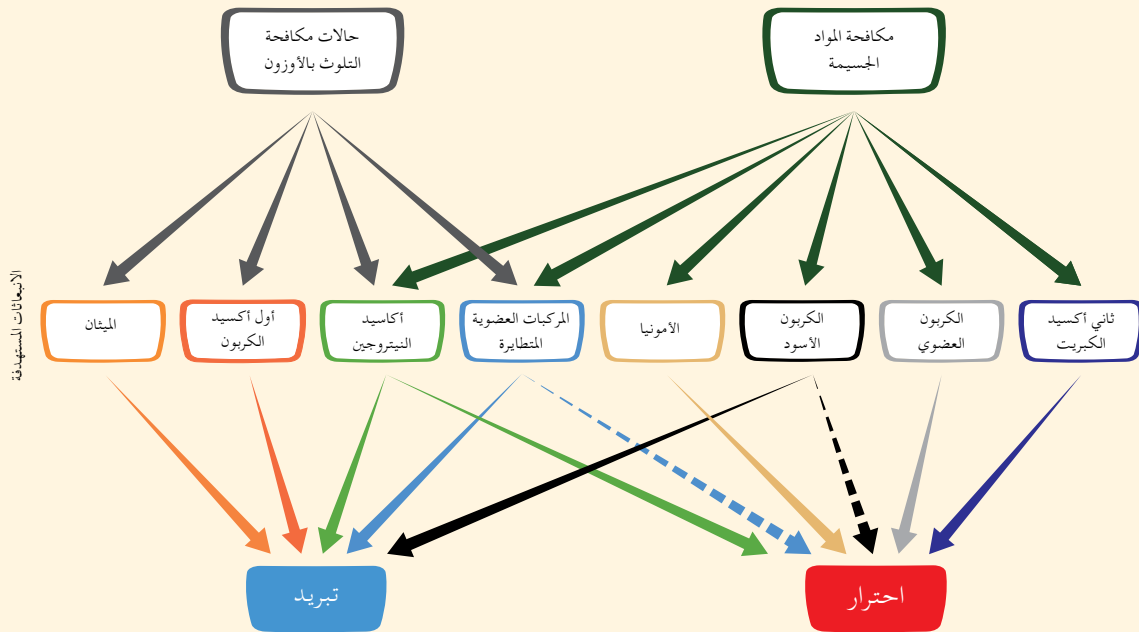
وتمثل جودة الهواء عادة مقياساً للملوثات السطحية التي يحملها الهواء مثل الأوزون، وأول أكسيد الكربون، وأكاسيد النيتروجين، والهباء الجوي (الجسيمات الصلبة أو السائلة). ويؤدي التعرض لهذه الملوثات إلى تفاقم أمراض الجهاز التنفسي والأوعية القلبية، ويضر بالنبات ويدمر المباني. ولهذه الأسباب، فإن معظم المراكز الحضرية الرئيسية تعمل على مكافحة إطلاق الملوثات التي يحملها الهواء.

وخلالاً لثاني أكسيد الكربون (CO_2) وغيره من غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز، قد يستمر أوزون الهباء الجوي في التروبوسفير في الغلاف الجوي لفترة لا تتجاوز بضعة أيام إلى بضعة أسابيع، غير أن الاقترانات غير المباشرة داخل نظام الأرض قد تطيل أمد تأثيراتها. وهذه الملوثات تكون عادة أكثر قوة بالقرب من منطقة انبعاثاتها أو تكونها، حيث يمكن أن تحدث اضطرابات محلية أو إقليمية في المناخ حتى ولو كان متوسط تأثيراتها عالمياً ضعيفاً.

وتؤثر الملوثات الهوائية في المناخ بطرق مختلفة بحسب خواصها الفيزيائية والكيميائية. وسوف تؤثر غازات الاحتباس الحراري الناشئة من التلوث في المناخ وذلك بالدرجة الأولى من خلال الأشعة ذات الموجة القصيرة والموجة الطويلة، في حين يمكن للهباء أن يؤثر بالإضافة إلى ذلك في المناخ من خلال التفاعلات بين السحب والهباء.

وقد جرى تحديد جوانب الرقابة على انبعاثات الميثان البشرية المنشأ (السؤال 8.2، الشكل 1) لخفض الأوزون السطحي على أنه يمثل أوضاعاً مفيدة في جميع الأحوال. غير أن نتائج الرقابة على سلائف الأوزون الأخرى لا تكون واضحة دائماً. فمثلاً، قد يتوقع أن يكون لحالات الرقابة على انبعاثات أكاسيد النيتروجين تأثير مبرد بالنظر إلى أنها تخفض من الأوزون الستراتوسفيري، إلا أن تأثير فترة بقاء الميثان CH_4 ، وتكون الهباء قد يتسبب على الأرجح، بدلاً من ذلك، في تحقيق احترار شامل.

وقد حددت الرصدات الساتلية زيادة في تراكيز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) (السلف الرئيسي لأهباء الكبريتات المشتتة) من محطات الطاقة العاملة بحرق الفحم في شرقي آسيا خلال العقود القليلة الأخيرة. وتستخدم أحدث محطات الطاقة أجهزة غسل الغازات للحد من هذه الانبعاثات (دون أن يشمل ذلك انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتزامنة وما يرتبط بها من احترار طويل الأجل للمناخ). ويحسن ذلك من جودة الهواء إلا أنه يقلل أيضاً من التأثير المبرد لأهباء الكبريتات ومن ثم يؤدي إلى تفاقم الاحترار. وتحدث الأهباء المبردة من خلال التفاعلات بين الهباء والأشعة، وبين الهباء والسحب، ويقدر بنحو 0.9 واط/2م (جميع الأهباء مجتمعة، القسم 8.3.4.3) منذ عصر ما قبل الصناعة ونموها على وجه الخصوص خلال النصف الثاني من القرن العشرين لدى زيادة الانبعاثات البشرية المنشأ بدرجة شديدة.



السؤال 8.2، الشكل 1 | رسم تخطيطي لتأثير الرقابة على التلوث على الانبعاثات النوعية والتأثير المناخي. ويشير الخط الأسود المتصل إلى التأثير المعروف، ويشير الخط المتقطع إلى التأثيرات التي يكتنفها عدم اليقين.

ومن ناحية أخرى فإن الكربون الأسود أو السناج يمتص الحرارة من الغلاف الجوي (مما يؤدي إلى تأثير قسري إشعاعي قدره 0.4 واط/2م من انبعاثات الوقود الأحفوري أو الأحيائي البشرية المنشأ) وعندما يترسب على الثلج فإنه يقلل من الألبيدو أو القدرة على عكس ضوء الشمس. ولذا قد يكون للانخفاضات في انبعاثات الكربون الأسود تأثير مبرد إلا أن التفاعلات الإضافية للكربون الأسود مع السحب تتسم بعدم اليقين وقد تؤدي إلى بعض التصدي للاحترار.

كذلك فإن حالات الرقابة على جودة الهواء تستهدف أيضاً قطاع نشاط محدد بشري المصدر مثل النقل أو إنتاج الطاقة. وفي تلك الحالة، تؤدي الأنواع المشتركة الانبعاث في القطاع المستهدف إلى مزيج معقد من الكيمياء والاضطرابات المناخية. فمثلاً، يحتوي الدخان الناتج من احتراق الوقود الحيوي على خليط من كل من جسيمات اضطراب ماصة ومشتتة فضلاً عن سلائف الأوزون، وهي الجوانب التي يصعب التيقن من تأثيراتها المناخية المتقارنة.

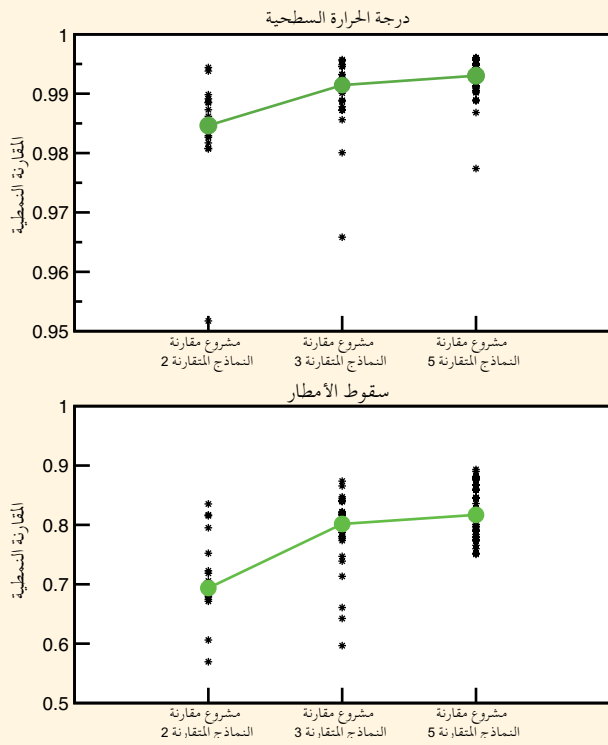
وعلى ذلك، فإن الرقابة على جودة الهواء السطحي سوف تنطوي على بعض النتائج المتعلقة بالمناخ. غير أن بعض الاقتراعات بين الانبعاثات المستهدفة والمناخ مازال يفهم أو يحدد بطريقة سيئة، بما في ذلك تأثيرات ملوثات الهواء على أنماط تساقط الأمطار مما يتعدر معه وضع تقييم كمي كامل لهذه النتائج. وثمة منعطف مهم أيضاً في التأثير المحتمل لتغير المناخ على جودة الهواء. فعلى وجه الخصوص، يشير الارتباط المرصود بين الأوزون السطحي ودرجة الحرارة في المناطق الملوثة إلى أن ارتفاع درجات الحرارة من تغير المناخ يمكن بمفرده أن يحدث تفاقماً في التلوث في بعض الأحيان مما يشير إلى «العقوبة المناخية». وتعني هذه العقوبة أن الأمر سيتطلب زيادة التشدد في الرقابة على الأوزون السطحي لتحقيق هدف محدد. وعلاوة على ذلك، فإن التغيرات المسقط في تواتر وطول فترات الركود يمكن أن تؤثر في ظروف جودة الهواء. وسوف تكون هذه الجوانب متقلبة إقليمياً ويتعدر تقييمها، إلا أن تحسن فهم هذه العمليات وتقييمها كيميا وتمذجتها سوف يوضح التفاعل الشامل بين ملوثات الهواء والمناخ.

السؤال 9.1 | هل تتحسن النماذج المناخية، وكيف سنعرف ذلك؟

النماذج المناخية عبارة عن برامج حاسوبية شديدة التعقيد تجسد فهمنا للنظام المناخي، وتحاكي، بكل الوسائل الحديثة الممكنة في الوقت الحاضر، التفاعلات المعقدة بين الغلاف الجوي، والمحيطات، وسطح اليابسة، والثلوج، والجليد، والنظام الإيكولوجي العالمي، وطائفة من العمليات الكيميائية والبيولوجية.

وقد زاد تعقيد النماذج المناخية - تمثيل العمليات الفيزيائية مثل التفاعلات بين السحب وسطح اليابسة وتمثيل دورتي الكربون والكبريت على الصعيد العالمي في الكثير من النماذج - التي زادت زيادة كبيرة منذ أول تقرير تقييم يصدر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ عام 1990، وبهذا المعنى فإن النماذج الحالية لنظام الأرض «أحسن» بكثير مما كانت عليه نماذج ذلك العصر. وقد استمر هذا التطور منذ التقييم الرابع، في حين أسهمت عوامل أخرى أيضاً في تحسين النماذج. وتتيح الحواسيب الفائقة الأكثر قوة للنماذج الحالية حل التفاصيل المكانية الأدق. كما تجسد النماذج الحالية تحسن فهم كيفية إجراء العمليات المناخية - وهو الفهم الذي تمخضت عنه البحوث والتحليلات الجارية بالإضافة إلى الرصدات الجديدة والمحسنه.

والنماذج المناخية الحالية أفضل، من حيث المبدأ، من النماذج السابقة غير أن كل جزء صغير في التعقيد المضاف، والذي يرمي إلى تحسين بعض جوانب المناخ الخاضعة للمحاكاة، يضيف أيضاً مصادر جديدة للخطأ المحتمل (عن طريق بارامترات عدم اليقين، مثلاً)، والتفاعلات الجديدة بين مكونات النموذج التي قد تؤدي، ولو مؤقتاً، إلى تدهور محاكاة النموذج لجوانب أخرى من النظام المناخي. وعلاوة على ذلك فإنه على الرغم من التقدم الذي أحرز، مازال عدم اليقين العلمي قائماً بشأن تفاصيل الكثير من العمليات.



السؤال 9.1، الشكل 1 | قدرة النموذج على محاكاة المتوسط السنوي لدرجات الحرارة وأنماط سقوط الأمطار على النحو المبين من نتائج ثلاث مراحل أخيرة من مشروع مقارنة النماذج المتقارنة (CMIP2)، نماذج من نحو عام 2000، CMIP3، نماذج من نحو عام 2005، CMIP5، الجيل الحالي من النماذج). وبين الشكل الارتباط (وهو قياس لتمائل الأنماط) بين درجات الحرارة المرصودة وتلك النمذجة (اللوحة العليا) وسقوط الأمطار (اللوحة السفلى). وتشير القيم الكبيرة إلى تحسن التواصل بين الأنماط النمذجة والمرصودة والمكانية. وتشير الرموز السوداء إلى معامل الارتباط لفرادى النماذج، بينما تشير الرموز الخضراء الكبيرة إلى القيم الوسطية (أي نصف نتائج النموذج أعلاه والنصف الآخر أقل من هذه القيم). ويتضح التحسن في أداء النماذج من الزيادة في الارتباط بين أجيال النماذج المتعاقبة).

وثمة اعتبار مهم يتمثل في أنه لا يمكن تقييم أداء بعض النماذج إلا بمقارنتها بالرصدات السابقة مع مراعاة التقلبية الداخلية الطبيعية. وينبغي لضمان الثقة في الإسقاطات المستقبلية لهذه النماذج، محاكاة المناخ التاريخي، وتقلباته وتغيره على نحو جيد. وقد وفر نطاق تقييم النماذج من حيث نوع وكمية الرصدات المتاحة، وتوافر تجارب النمذجة المنسقة والاستخدام الموسع لمختلف مصفوفات الأداء - المعلومات التي يجري تقييمها كميًا بدرجة كبيرة عن أداء النماذج. غير أن ذلك قد لا يكفي بمفرده. ففي حين أنه يمكن التحقق بانتظام من إسقاطات الطقس، والمناخ الموسمي، لا يمكن أن يتحقق ذلك بالنسبة للإسقاطات المناخية التي تغطي قرناً أو أكثر. وهذا هو الوضع على وجه الخصوص في حالة دفع التأثير القسري البشري المنشأ النظام المناخي صوب ظروف لم ترصد من قبل في السجلات القائمة على الأجهزة، وسيمثل ذلك قصوراً في كثير من الأحوال.

وعملية التقييم الكمي لأداء النماذج موضوع ظهر في جميع التقارير السابقة للفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ. ويوفر الاطلاع على عمليات التقييم السابقة هذه إحساساً عاماً بالتحسينات التي تحققت. فقد قدمت التقارير السابقة كالعادة مسحاُ واسعاً لأداء النماذج بين الفروق بين النسخ المحسوبة بالنماذج لمختلف الكميات المناخية والتقديرية الرصدية المقابلة.

بعض النماذج تقدم حتماً أداءً أفضل من غيرها بالنسبة لبعض المتغيرات المناخية، إلا أنه لا يظهر أي نموذج بمفرده بوضوح على أنه «الأفضل» بصورة شاملة. وقد أحرز مؤخراً تقدم في حساب مختلف مقاييس الأداء التي تحلل أداء النماذج بالمقارنة بطائفة من الرصدات المختلفة وفقاً لتصنيف عددي بسيط. ومن البديهي أن تعريف هذا التصنيف، وطريقة حسابه، والرصدات المستخدمة (والتي تنطوي على أوجه عدم اليقين الخاصة بها)، والطريقة التي تجمع بها مختلف علامات التقييم تتسم كلها بالأهمية، وسوف تؤثر في النتائج النهائية.

ومع ذلك، إذا حسبت المقاييس بصورة متساوية، يمكن للمرء أن يقارن بين مختلف أجيال النماذج. وتبين نتائج هذه المقارنات عموماً أنه على الرغم من أن كل جيل يعرض نطاقاً من الأداء، فإن متوسط مؤشر أداء النموذج تحسن باطراد من جيل إلى جيل. ويرد أحد الأمثلة على التغيرات في أداء النماذج بمرور الوقت في السؤال 9.1، الشكل 1، الذي يبين التحسينات الجارية وإن كانت متواضعة. ومن الجدير بالملاحظة أن كلاً من أسوأ وأحسن نموذج أداء يبين حدوث تحسن، وأن هذا التحسن يأتي بالتوازي مع الزيادة في تعقيد النماذج، والتخلص من التعديلات الاصطناعية في تجمع الغلاف الجوي والمحيطات (ما يسمى «بتعديلات التدفق»). وتشمل بعض أسباب هذا التحسن زيادة فهم مختلف العمليات المناخية والتمثيل الأفضل لهذه العمليات في النماذج المناخية. كما أن زيادة رصدات الأرض الشاملة تعتبر محركاً أيضاً لهذه التحسينات.

الإجابة عن السؤال المطروح إذا هي نعم، يتزايد تحسن النماذج المناخية، ويمكن أن نوضح ذلك بمقاييس أداء كمية تستند إلى رصدات تاريخية. وعلى الرغم من أنه لا يمكن تقييم الإسقاطات المناخية المستقبلية بصورة مباشرة، فإن النماذج المناخية تستند، إلى حد كبير، لمبادئ فيزيائية قابلة للتحقق، وقادرة على أن تنتج الكثير من الجوانب المهمة عن الاستجابة السابقة للتأثير القسري الخارجي. وبهذه الطريقة، فإنها توفر استعراضاً سليماً من الناحية العلمية لاستجابة المناخ لمختلف سيناريوهات التأثير القسري البشري المنشأ.

السؤال 10.1 | المناخ يتغير دائماً. كيف نحدد أسباب التغيرات المرصودة؟

تقيم أسباب التغيرات الطويلة الأجل المرصودة في المناخ (على نطاقات زمنية أطول من عقد) من خلال تحديد ما إذا كانت «البصمة» المتوقعة لمختلف أسباب تغير المناخ موجودة في السجل التاريخي. وتستمد هذه البصمات من عمليات المحاكاة المنمذجة المعتمدة على الحاسوب لمختلف أنماط تغير المناخ الناشئة عن التأثيرات القسرية المناخية المختلفة. وتشمل هذه التأثيرات القسرية، على نطاقات زمنية من عدة عقود، بعض العمليات مثل الزيادات في غازات الاحتباس الحراري أو التغيرات في السطوح الشمسي. ويمكن أن تحدد، من خلال مقارنة أنماط البصمات الخاضعة للمحاكاة بالأنماط المناخية المرصودة، ما إذا كانت التغيرات المرصودة قد فسرت، على أفضل وجه، من خلال أنماط تلك البصمات أو بواسطة التقلبية الطبيعية التي تحدث دون أي تأثير قسري.

وتتضح بصمات الزيادات في غازات الاحتباس الحراري البشرية المنشأ بجلاء في نمط تغير المناخ المرصود في القرن العشرين. ولا يمكن تفسير التغير المرصود إلا عن طريق بصمات التأثيرات القسرية الطبيعية أو التقلبية الطبيعية التي تحاكيها النماذج المناخية. ولذا فإن دراسات العزو قد تؤيد النتيجة التي تفيد بأنه من المحتمل بدرجة كبيرة أن تكون الأنشطة البشرية قد تسببت بأكثر من نصف الزيادة المرصودة في المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية من 1951 إلى 2010.

ومناخ الأرض في حالة تغير دائم، ويمكن أن يحدث ذلك لعدة أسباب. ويتعين علينا أولاً أن نتيقن، لكي نحدد الأسباب الرئيسية للتغيرات المرصودة، مما إذا كان التغير المرصود في المناخ يختلف عن التقلبات الأخرى التي تحدث دون أي تأثير بشري على الإطلاق. وتعتبر تقلبية المناخ دون تأثير قسري - وتسمى التقلبية الداخلية - نتيجة لعمليات داخل النظام المناخي. فالتقلبية المحيطية الواسعة النطاق مثل تقلبات التذبذب الجنوبي - النينيو (ENSO) في المحيط الهادئ، هي المصدر الغالب في تقلبية المناخ الداخلية على النطاقات الزمنية لعقود إلى قرون.

ويمكن أن ينتج تغير المناخ أيضاً عن التأثيرات القسرية الطبيعية الخارجة عن النظام المناخي مثل الانفجارات البركانية أو التغيرات في سطوح الشمس. وتعد التأثيرات القسرية من هذا القبيل مسؤولة عن التغيرات الضخمة في المناخ والتي جرى توثيقها بوضوح في السجل الجيولوجي. وتشمل التأثيرات القسرية البشرية التأثيرات انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والتلوث الجسيم في الغلاف الجوي. ويمكن أن يؤثر أي من هذه التأثيرات القسرية، الطبيعية أو البشرية المنشأ، في التقلبية الداخلية فضلاً عما تسببه في إحداث تغير في المناخ المتوسط. وتسعى دراسات العزو إلى تحديد أسباب التغير الملحوظ في المناخ المرصود - فنحن على دراية بأن المتوسط العالمي لدرجة الحرارة قد زاد خلال القرن الماضي، وعلى ذلك إذا كان التغير المرصود قد حدث قسراً فإن التأثير القسري الرئيسي يجب أن يتسبب في حدوث احتراق، لا تبريد.

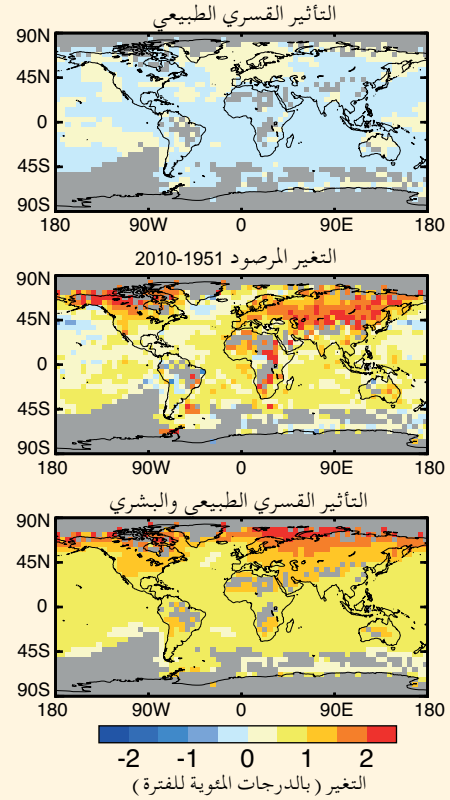
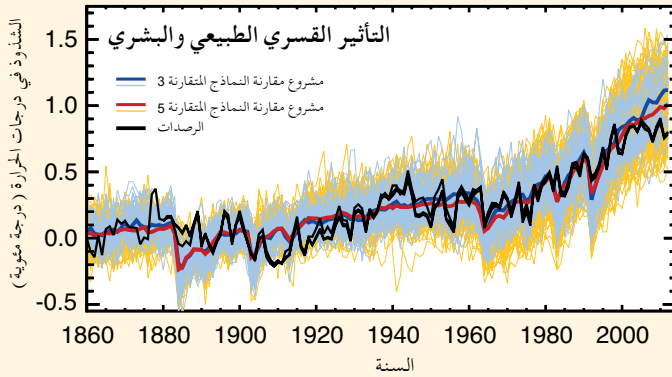
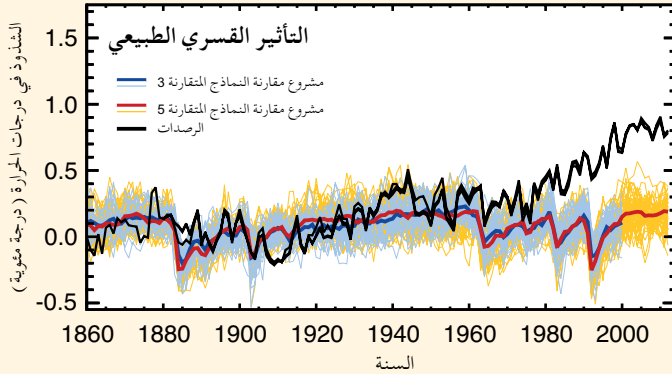
وقد درست أسباب تغير المناخ الرسمية باستخدام تجارب محكمة بنماذج مناخية. وتسمى الاستجابات التي تتم محاكاتها بالنماذج للتأثيرات القسرية المناخية المحددة في كثير من الأحيان بصمات تلك التأثيرات القسرية. ويتعين على النموذج المناخي أن يحاكي بصورة يعتمد عليها أنماط البصمات المرتبطة بالتأثيرات القسرية المختلفة فضلاً عن أنماط التقلبية الداخلية دون قسر لتحقيق تقييم معقول لأسباب تغير المناخ. ولا يوجد نموذج يستطيع أن يحاكي بأكملها جميع جوانب المناخ إلا أن الكثير من الدراسات المفصلة تشير إلى أن عمليات المحاكاة باستخدام النماذج الحالية يُعتمد عليها فعلاً بما يكفي لإجراء عمليات تقييم الأسباب.

ويبين السؤال 10.1، الشكل 1 جزءاً من تقييم بصمة التغير في درجة حرارة العالم على السطح خلال أو آخر القرن العشرين. ويعتبر التغير المرصود في النصف الأخير من القرن العشرين المبين بواسطة السلاسل الزمنية السوداء في اللوحات إلى اليسار أكبر من القيم المسقط من مجرد التقلبية الداخلية. وتخفق عمليات المحاكاة الناشئة عن التأثيرات القسرية الطبيعية (الخطوط الصفراء والزرقاء، في اللوحة العليا إلى اليسار) في محاكاة الاحتراق العالمي في أواخر القرن العشرين على السطح مع نمط مكافئ للتغيير (اللوحة العليا إلى اليمين) يختلف تماماً عن نمط التغيير المرصود (الوسط إلى اليمين). وتوفر عمليات المحاكاة التي تتضمن التأثيرات القسرية الطبيعية والبشرية المنشأ تمثيلاً أفضل بكثير لمعدل التغيير الزمني (اللوحة السفلى إلى اليسار) والنمط المكافئ (اللوحة السفلى إلى اليمين) للتغير المرصود في درجات حرارة السطح.

ويبين كل من اللوحتين إلى اليسار أن النماذج الحاسوبية تحاكي تبرد السطح الناشئ عن تأثير القسر الطبيعي الذي رصد لمدة عام أو اثنين بعد الانفجارات البركانية الكبرى مثل تلك التي وقعت في 1982 و1991. وتظهر عمليات محاكاة التأثير القسري الطبيعي التغيرات في درجات الحرارة قصيرة العمر عقب الانفجارات إلا أن عمليات المحاكاة الطبيعية والبشرية المنشأ هي التي تحاكي اتجاه الاحتراق الأطول مدى.

وسوف تفحص عملية تقييم الأسباب الأكثر اكتمالاً درجات الحرارة فوق السطح وربما في وجود متغيرات مناخية أخرى بالإضافة إلى نتائج درجات الحرارة السطحية المبينة في السؤال 10.1، الشكل 1. وقد أصبح من الأسير تمييز أنماط البصمات المرتبطة بالتأثيرات القسرية المفردة عندما يؤخذ المزيد من التقلبيات في الاعتبار في التقييم.

وعموماً، يبين السؤال 10.1، الشكل 1 أن نمط التغير المرصود في درجة الحرارة يختلف بدرجة كبيرة عن نمط الاستجابة للتأثير القسري الطبيعي بمفرده. وتوفر الاستجابة الخاضعة للمحاكاة لجميع التأثيرات القسرية بما في ذلك التأثيرات القسرية البشرية المنشأ مقارنة جيدة للتغيرات المرصودة في السطح. ولا يمكننا إجراء محاكاة صحيحة لتغير المناخ المرصود في الآونة الأخيرة دون إدراج الاستجابة للتأثيرات القسرية البشرية المنشأ بما في ذلك غازات الاحتباس الحراري، والأوزون الستراتوسفيري والهباء الجوي. وما زالت الأسباب الطبيعية للتغير تؤثر في النظام المناخي إلا أن التغيرات الأخيرة في درجات الحرارة تعزى إلى حد كبير إلى التأثيرات القسرية التي هي من صنع البشر.



السؤال 10.1، الشكل 1 | (إلى اليسار) السلاسل الزمنية للتغير في المتوسط العالمي والسنوي لدرجات الحرارة السطحية من 1860 إلى 2010. وتبين اللوحة العليا إلى اليسار النتائج من مجموعتين من النماذج المناخية مدفوعة بالتأثيرات القسرية الطبيعية فقط (الخطوط الزرقاء والصفراء)، ومجموعة التغيرات، ومتوسط درجات الحرارة (الخطوط الزرقاء والحمراء الكثيفة). وتظهر ثلاثة تقديرات مرصودة مختلفة في الخطوط السوداء. وتبين اللوحة السفلى إلى اليسار عمليات المحاكاة بواسطة نفس النماذج إلا أنها مدفوعة بكل من التأثير القسري الطبيعي والتغيرات البشرية المنشأ في غازات الاحتباس الحراري والهباء الجوي. وتبين إلى اليمين الأنماط المكانية لاتجاهات درجات الحرارة السطحية المحلية من 1951 إلى 2010. وتبين اللوحة العليا نمط الاتجاهات من مجموعة كبيرة من عمليات المحاكاة في إطار المرحلة 5 من مشروع مقارنة النماذج المتقارنة (CMIP5) المدفوعة بالتأثيرات القسرية الطبيعية فقط. وتبين اللوحة السفلى التغيرات عن المجموعة المقابلة من عمليات المحاكاة المدفوعة بالتأثيرات القسرية الطبيعية والبشرية المنشأ. وتبين اللوحة في الوسط نمط الاتجاهات المرصودة من مجموعة بيانات درجات حرارة السطح رقم 4 من وحدة البحوث المناخية في مركز هادلي (HadCRUT4) خلال تلك الفترة.

السؤال 10.2 | متى تصبح التأثيرات البشرية على المناخ واضحة على النطاقات المحلية؟

أصبح الاحترار الناشئ عن الأنشطة البشرية واضحاً بالفعل محلياً على اليابسة في بعض المناطق المدارية، وخاصة خلال الجزء الحار من العام. ويصبح الاحترار واضحاً في خطوط العرض الوسطى، خلال فصل الصيف أولاً - في غضون العقود العديدة القادمة. ويتوقع أن يظهر التغير بقدر أكبر من البطء هناك، وخاصة خلال فصل الشتاء بالنظر إلى أن تقلبية المناخ الطبيعية تزيد مع زيادة البعد عن خط الاستواء وخلال الفصل البارد. وقد عزيت التغيرات في درجة الحرارة التي رصدت بالفعل في الكثير من المناطق إلى التأثير البشري. كذلك تظهر التغيرات المناخية الحساسة لدرجات الحرارة، مثل الجليد البحري للقطب الشمالي اتجاهات مرصودة تعزى إلى التأثير البشري.

وتتجلى الاتجاهات نحو الاحترار المرتبطة بالتغير العالمي بوضوح أكثر عموماً في متوسطات درجات الحرارة العالمية عنها في السلاسل الزمنية لدرجات الحرارة المحلية (وتشير كلمة «المحلية» هنا عموماً إلى مواقع فردية أو متوسطات إقليمية صغيرة). ويرجع ذلك إلى أن متوسط معظم التقلبية المحلية للمناخ المحلي يحسب بعيداً عن المتوسط العالمي. وينظر إلى اتجاهات التغير نحو الاحترار المتعددة العقود التي رصدت في الكثير من الأقاليم على أنها تقع خارج نطاق التغيرات التي يمكن توقعها من التقلبية الداخلية الطبيعية للنظام المناخي، إلا أن هذه التغيرات لا تصبح واضحة إلا عندما يظهر متوسط المناخ المحلي من «ضوء» التقلبية من عام لآخر. وتتوقف سرعة حدوث ذلك على كل من معدل التغير نحو الاحترار وكمية التقلبية المحلية. ولا يمكن التنبؤ باتجاهات الاحترار في المستقبل بصورة دقيقة وخاصة في النطاقات المحلية، ولذا لا يمكن وضع تقديرات دقيقة عن وقت ظهور الاحترار في المستقبل.

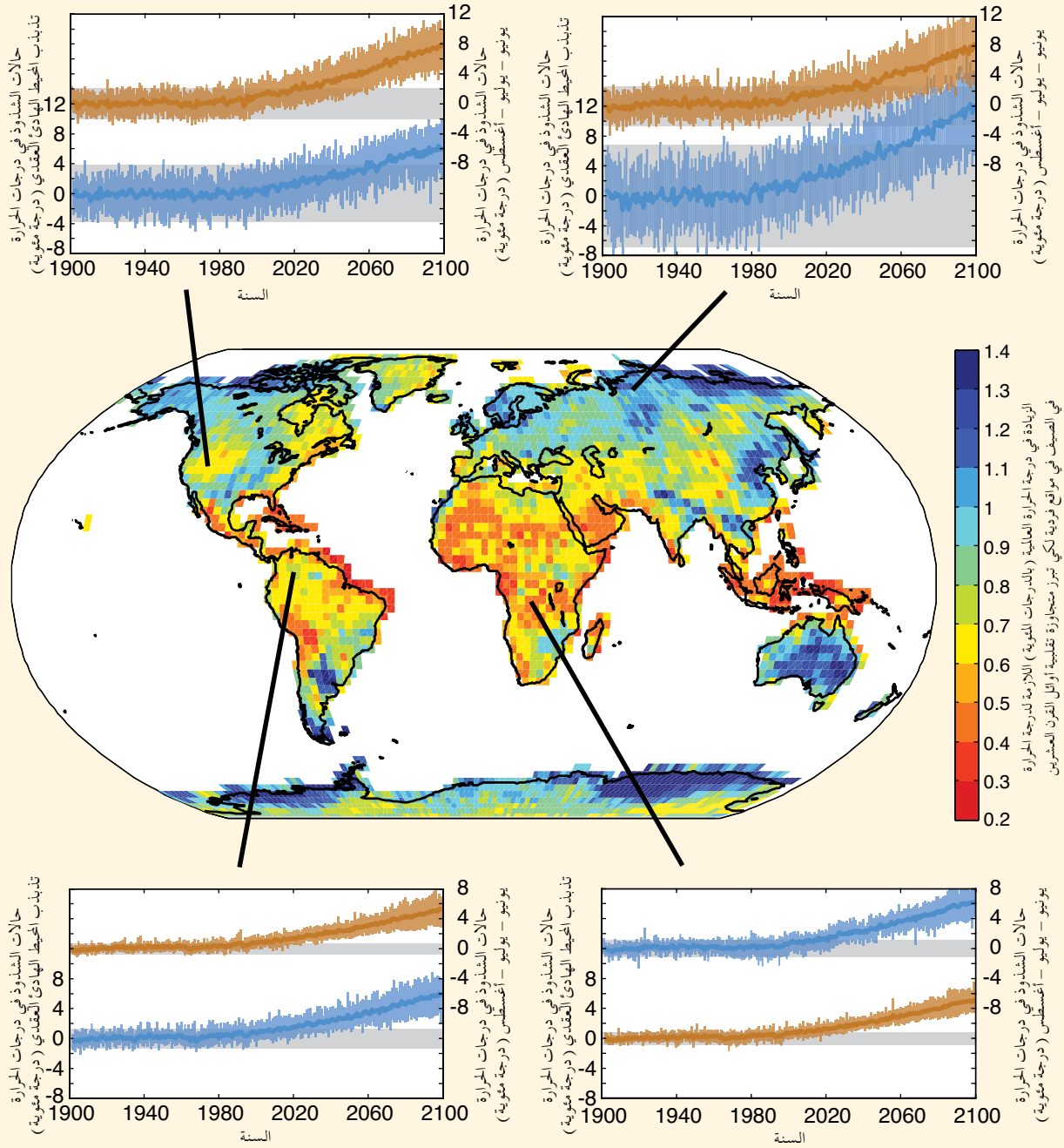
وفي بعض المناطق المدارية، ظهر التغير نحو الاحترار بالفعل من التقلبية المحلية (السؤال 10.2، الشكل 1). ويحدث ذلك بسرعة أكبر في المناطق المدارية بالنظر إلى أن التقلبية في درجات الحرارة تقل عما هي عليه في المناطق الأخرى من العالم. وقد لا يظهر الاحترار المسقط في خطوط العرض الوسطى حتى منتصف القرن الحادي والعشرين. حتى على الرغم من أن اتجاهات الاحترار هناك تكون أكبر - بالنظر إلى أن تقلبية درجة الحرارة المحلية أكبر بكثير هناك عما هي عليه في المناطق المدارية. وتنبو تقلبية درجات الحرارة المحلية، على أساس موسمي، إلى أن تظهر أولاً في الأجزاء الحارة من العام حتى في المناطق التي يكون فيها اتجاه الاحترار أكبر في الشتاء كما يظهر في وسط أوراسيا في السؤال 10.2، الشكل 1.

وتظهر التغيرات غير تلك الخاصة بدرجات حرارة سطح الأرض، بما في ذلك بعض المناطق المحيطية، معدلات تغير طويلة المدى تختلف عن التقلبية الطبيعية. وعلى سبيل المثال، فإن نطاق الجليد البحري للقطب الشمالي أخذ في الانحسار بسرعة بالغة، ويظهر بالفعل تأثيراً بشرياً. ومن ناحية أخرى، فإن من الصعوبة بمكان رصد التغير في كميات الأمطار بالنظر إلى أن تقلبية كميات الأمطار في معظم المواقع كبيرة للغاية. وقد زادت احتمالات وصول درجات حرارة فصل الصيف الحار إلى أرقام قياسية في أجزاء كبيرة من نصف الكرة الأرضية الشمالي. ومن المتوقع أن تصبح درجات الحرارة المرتفعة التي تعتبر متطرفة حالياً قريبة من المعدل خلال العقود القادمة. وانخفضت احتمالية وقوع أحداث متطرفة أخرى بما في ذلك بعض النوبات الباردة.

ولا يمكن في إطار المناخ الحالي إرجاع فرادى ظواهر الطقس المتطرفة دون لبس إلى تغير المناخ بالنظر إلى أن هذه الظواهر قد تكون قد وقعت في مناخ غير متغير. غير أن احتمالية حدوث هذه الظواهر ربما تكون قد تغيرت بدرجة كبيرة في موقع معين. وتشير التقديرات إلى أن الزيادات المستحقة بشرياً في غازات الاحتباس الحراري قد أسهمت إسهاماً كبيراً في احتمالية حدوث بعض موجات الحرارة. وبالمثل، فإن دراسات نماذج المناخ تشير إلى أن زيادة غازات الاحتباس الحراري قد أسهمت في التكتيف المرصود في ظواهر سقوط الأمطار الغزيرة التي شهدتها بعض أجزاء نصف الكرة الأرضية الشمالي. غير أن احتمالية حدوث الكثير من ظواهر الطقس المتطرفة الأخرى ربما لا تكون قد تغيرت كثيراً. ولذا، فإن من غير المستصوب إرجاع كل سجل جديد للطقس إلى تغير المناخ.

ويعتمد تاريخ ظهور اتجاهات الاحترار المسقط في المستقبل أيضاً على تقلبية المناخ المحلي الذي يمكن أن يزيد أو يخفف درجات الحرارة بصورة مؤقتة. وعلاوة على ذلك، تستند منحنيات درجات الحرارة المحلية المسقط في السؤال 10.2، الشكل 1 إلى عمليات محاكاة متعددة لنموذج مناخي مدفوع بالتأثير القسري نتيجة لنفس سيناريو الانبعاثات المفترضة في المستقبل. وسوف يتسبب معدل مختلف لتراكم غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي في إحداث تغير مختلف من الاحترار، وعلى ذلك فإن نشر إسقاطات انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (الجزء المظلل الملون في السؤال 10.2، الشكل 1) سيكون أوسع في حالة أن يتضمن الشكل انتشار السيناريوهات انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. وقد وضعت الزيادة اللازمة لتغير درجات حرارة الصيف للخروج من التقلبية المناخية للقرن العشرين (بصرف النظر عن معدل التغيير) على الخارطة الوسطى في السؤال 10.2، الشكل 1.

وتعتمد الإجابة الكاملة على السؤال المتعلق بالوقت الذي يصبح فيه التأثير البشري على المناخ المحلي واضحاً على قوة الأدلة التي يعتبرها المرء كافية لتحويل شيء إلى «واضح». وتأتي معظم الأدلة العلمية المنعقة لتأثير تغير المناخ على النطاقات المحلية من تحليل الصورة العالمية ومن وفرة الأدلة المستقاة من النظام المناخي التي تربط الكثير من التغيرات المرصودة بالتأثير البشري.



السؤال 10.2، الشكل 1 | سلاسل زمنية للتغير المسقط في درجات الحرارة المبين في المواقع التمثيلية الأربعة في فصل الصيف (المنحنيات الحمراء تمثل حزيران / يونيو، وتموز / يوليو، وآب / أغسطس في مواقع في المناطق المدارية، في نصف الكرة الشمالي أو كانون الأول / ديسمبر، وكانون الثاني / يناير، وشباط / فبراير في نصف الكرة الجنوبي)، والشتاء (المنحنيات الزرقاء). وتحاط كل سلسلة زمنية بمغلف من التغيرات المسقط (اللون الأحمر الفاتح للفصل الحار المحلي، والأزرق للفصل البارد المحلي) الناتج عن 24 عملية محاكاة مختلفة تنشأ عن المغلف الرمادي للتقلبية المحلية الطبيعية التي تمت محاكاتها من خلال نماذج تستخدم الظروف السائدة في أوائل القرن العشرين. وتظهر علامات الاحترار أولاً في المناطق المدارية خلال فصل الصيف. وتبين الخارطة الوسطى الزيادة في درجات الحرارة (بالدرجات المئوية) اللازمة لدرجات الحرارة في فصل الصيف في مواقع مختلفة للخروج من المغلف الخاص بتقلبية القرن العشرين. وتجدر الملاحظة بأن الألوان الحارة تشير إلى أصغر زيادة لازمة في درجات الحرارة ومن ثم أبكر وقت للخروج. وتستند جميع الحسابات إلى المرحلة 5 من مشروع مقارنة النماذج المتقارنة (CMIP5) لعمليات محاكاة النماذج المناخية العالمية التي يحركها مسار التركيز النموذجي 8.5 (RCP8.5) في سيناريو الانبعاثات. وتحدد مغلفات التغير المتوقع والتقلبية الطبيعية باعتبارها انحرافات معيارية $2\pm$ (مقتبس ومحدث من Mahlstein وآخرين، 2011).

السؤال 11.1 | إذا لم تكن قادراً على التنبؤ بالطقس في الشهر القادم، فكيف تستطيع أن تتنبأ بالمناخ في العقد القادم؟

على الرغم من الترابط بين الطقس والمناخ، فإنهما في الواقع شيئان مختلفان. فالطقس يعرف بأنه حالة الغلاف الجوي في وقت ومكان معينين، ويمكن أن يتغير من ساعة لأخرى، ومن يوم لآخر. أما المناخ، من ناحية أخرى، فيشير، بصفة عامة، إلى إحصاءات أحوال الطقس خلال عقد أو أكثر.

والقدرة على التنبؤ بالمناخ في المستقبل دون حاجة إلى التنبؤ على نحو دقيق بالطقس من الأمور الشائعة لدرجة أنه قد يبدو الأمر كذلك في أول الأمر. فعلى سبيل المثال، يمكن في نهاية الربيع التنبؤ على نحو دقيق بأن متوسط درجة حرارة الهواء خلال الصيف القادم في ملبورن (مثلاً) سيكون على الأرجح أعلى من متوسط درجة الحرارة خلال آخر فصل ربيع حتى على الرغم من أنه لا يمكن التنبؤ اليومي خلال الصيف القادم على نحو دقيق لما يتجاوز أسبوعاً أو نحو ذلك. ويبين هذا المثال البسيط أنه تتوافر عوامل - في هذه الحالة للدورة الموسمية للأشعة الشمسية التي تصل إلى نصف الكرة الأرضية الجنوبي - والتي يمكن أن تدعم مهارة التنبؤ بالتغيرات في المناخ خلال الفترة القادمة التي لا تعتمد على نحو دقيق على التنبؤ بالطقس خلال نفس الفترة.

وتشمل الإحصاءات الخاصة بأحوال الطقس والتي تستخدم في تحديد المناخ متوسطات درجات الحرارة وكميات الأمطار في المدى البعيد، فضلاً عن إحصاءات تقلباتها مثل الانحراف المعياري لتقلبية كميات الأمطار من عام لآخر عن المتوسط الطويل الأجل أو وتيرة الأيام التي تقل عن 5 درجات مئوية. ويطلق على متوسطات تقلبية المناخ على فترات طويلة اسم التقلبات المناخية. ويمكن أن تنطبق على الأشهر والفصول المختلفة أو السنة بأكملها. وسوف تتناول عملية التنبؤ بالمناخ أسئلة مثل «ما هو احتمال أن يكون متوسط درجة الحرارة خلال الصيف القادم أعلى من المتوسط الطويل الأجل لفصول الصيف السابقة؟ أو ما هو احتمال أن يكون العقد القادم أكثر احتراراً من العقود السابقة؟ وبتحديد أدق، فإن التنبؤ بالمناخ قد يوفر إجابة عن السؤال «ما هي احتمالية أن يتجاوز متوسط درجة حرارة (الصين، مثلاً) خلال السنوات العشرة القادمة متوسط درجة الحرارة في الصين خلال الثلاثين عاماً الماضية؟ ولا توفر التنبؤات المناخية أي إسقاطات للتطور المفصل اليومي للطقس في المستقبل. وبدلاً من ذلك، توفر احتمالات بتغيرات طويلة الأجل في إحصاءات التقلبية المناخية في المستقبل.

ومن ناحية أخرى فإن إسقاطات الطقس توفر تنبؤات عن الطقس اليومي في أوقات معينة في المستقبل وهي تساعد في معالجة أسئلة مثل «هل ستسقط أمطار غدا؟»، وفي بعض الأحيان، فإن إسقاطات المناخ قد تشير إلى أن «احتمالية سقوط الأمطار في ألبا غدا تبلغ 75 في المائة».

ويحتاج المتنبؤون لوضع تنبؤات طقس دقيقة إلى معلومات بالغة التفصيل عن الحالة الجارية للغلاف الجوي. ويعني الإختلال الكلي الكامن في طابع الغلاف الجوي أنه حتى أدق خطأ في التنبؤ «بالظروف الأولية» تؤدي عادة إلى عدم دقة الإسقاطات فيما يتجاوز الأسبوع أو نحو ذلك. وهذا هو ما يسمى تأثير الفراشة.

ولا يحاول علماء المناخ أو يدعوا أنهم يتنبأون بالتطور الفصلي للطقس في المستقبل خلال الفصول، أو السنوات أو العقود القادمة. فهناك، من ناحية أخرى، أساس علمي سليم يدعم إمكانية التنبؤ ببعض جوانب المناخ وإن بصورة غير دقيقة على الرغم من تأثير الفراشة. فالزيادات في تركيزات غازات الاحتباس الحراري الطويلة الأجل في الغلاف الجوي، مثلاً، تنحو إلى زيادة درجات حرارة السطح في العقود المقبلة. وعلى ذلك، فإن المعلومات المستقاة من الماضي يمكن أن تساعد في التنبؤ بمناخ المستقبل بل وهي تساعد فعلاً في ذلك.

ويمكن لبعض أنواع ما يسمى بالتقلبية «الداخلية» الطبيعية أن تحدث توسعاً - نظرياً على الأقل - في القدرة على التنبؤ بالمناخ في المستقبل. وتنشأ التقلبية المناخية الداخلية من حالات عدم الاستقرار الطبيعية في النظام المناخي. فإذا كانت هذه التقلبية تشمل أو تسبب تباينات واسعة النطاق وطويلة الأجل في درجة حرارة الأجزاء العليا من المحيطات، فإن ذلك سوف يتسبب في إحداث تغيرات في الغلاف الجوي الأعلى سواء محلياً أو على مسافة بعيدة. ومن الأرجح أن تكون ظاهرة التذبذب الجنوبي - النينيو أشهر مثال على هذا النوع من التقلبية المناخية. وتتكشف التقلبية المرتبطة بالتذبذب الجنوبي - النينيو بطريقة يمكن التنبؤ بها جزئياً. وتأثير الفراشة موجود إلا أنه يستغرق وقتاً أطول للتأثير بشدة على بعض التقلبات المرتبطة بالتذبذب الجنوبي - النينيو.

وقد استغلت إدارات الأرصاد الجوية والوكالات الأخرى ذلك ووضعت نظماً للتنبؤات تتراوح بين الموسمية وفترات ما بين السنوات تمكنهم من التنبؤ بصورة روتينية بحالات الشذوذ المناخية الموسمية بمهارات تنبؤ بارزة. وتباين المهارات بصورة ملحوظة من مكان لآخر ومن تقلبية لأخرى. وتنحو المهارات إلى تقليص أخطاء التنبؤ مرة أخرى في المستقبل وفي بعض المواقع حيث لا تتوافر أي مهارات. و«المهارات» المستخدمة هنا بمعناها الفني: هي مقياس مدى دقة التنبؤ مقابل دقة بعض طرائق التنبؤ البسيطة عادة مثل افتراض أن حالات الشذوذ الأخيرة سوف تستمر خلال الفترة قيد التنبؤ.

ويعتبر الطقس ونظم التنبؤات التي تتراوح بين الموسمية وما بين السنوات والعقود في أوجه كثيرة (فكلها مثلاً تتضمن نفس المعادلات الرياضية للغلاف الجوي، وكلها تحتاج إلى تحديد الظروف الأولية لبدء عملية التنبؤ، وكلها تخضع لحدود قصوى لدقة الإسقاطات التي

يفرضها تأثير الفراشة). غير أن تنبؤات العقود، على العكس من الطقس والتنبؤات الموسمية وفيما بين السنوات مازالت في مهدها. فنظم التنبؤات للعقود تظهر، رغم ذلك، درجة المهارة في التنبؤ المستبق لدرجة الحرارة بالقرب من السطح فوق جزء كبير من العالم حتى فترة تسع سنوات على الأقل. ويعني 'التنبؤ المستبق' التنبؤ بحدث سابق لم تدرجه سوى الرصدات قبل الحدث في نظام التنبؤ المستخدم في إجراء التنبؤ. ويعتقد أن الجزء الأكبر من هذه المهارات ينشأ من التأثير القسري الخارجي. فهذا «التأثير القسري الخارجي» مصطلح يستخدمه علماء المناخ للإشارة إلى عامل قسر خارج النظام المناخي يتسبب في حدوث تغير في النظام المناخي. ويشمل ذلك الزيادات في تركيز غازات الاحتباس الحراري طويلة العمر.

وتشير النظرية إلى أنه ينبغي أن تقل مهارات التنبؤ بسقوط الأمطار خلال عقد من الزمن عن مهارات التنبؤ بدرجة حرارة سطح الأرض في العقد. ويتسق أداء التنبؤ المستبق مع هذا التوقع.

وتهدف البحوث الجارية إلى تحسين نظم التنبؤ العقدي وزيادة فهم أسباب أي مهارات ظاهرة. ويمثل التيقن من الدرجة التي تصل إليها المعلومات الإضافية من التقليدية الداخلية للتحويل فعلاً إلى زيادة في المهارات قضية رئيسية. ففي حين أن من المتوقع أن تتحسن نظم التنبؤ خلال العقود القادمة، فإن الطابع غير المنتظم للنظام المناخي وما ينشأ عن ذلك من تأثير الفراشة سوف يفرض دائماً قيوداً لا يمكن تجنبها على مهارات التنبؤ. وتوجد مصادر أخرى لعدم اليقين. فالثورات البركانية، مثلاً، يمكن أن تؤثر في المناخ، غير أنه حين يتعذر التنبؤ بتوقيتها وحجمها، فإن الثورات البركانية توفر مصدراً من عدد من مصادر عدم اليقين. وعلاوة على ذلك فإن قصر الفترة التي تتوافر عنها بيانات محيطية كافية لبدء وتقييم التنبؤات العقدية تشكل أيضاً تحدياً رئيسياً.

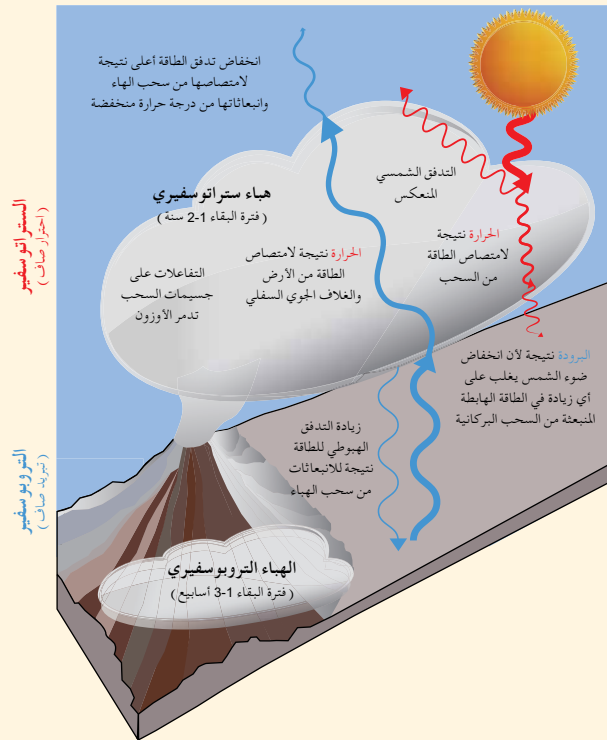
وأخيراً تجدر الملاحظة بأن نظم التنبؤات العقدية تصمم للاستفادة من كل من مصادر القدرة على التنبؤ التي تخضع للتأثير القسري الخارجي وتلك المولدة داخلياً. ويميز علماء المناخ بين التنبؤات العقدية والإسقاطات العقدية. فالإسقاطات لا تستفيد إلا من القدرة التنبؤية الناشئة عن التأثير القسري الخارجي. وفي حين أن تقارير التقييم السابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ ركزت بصورة مطلقة على الإسقاطات، فإن هذا التقرير يقيم أيضاً بحوث التنبؤات العقدية وأساسها العلمي.

السؤال 11.2 | كيف تؤثر الانفجارات البركانية في المناخ وفي قدرتنا على التنبؤ بالمناخ؟

تؤثر الانفجارات البركانية الكبيرة في المناخ من خلال حقنها غاز ثاني أكسيد الكبريت في الجزء العلوي من الغلاف الجوي (المسمى أيضاً الستراتوسفير) الذي يتفاعل مع الماء ليشكل سحبا من قطرات حمض الكبريتيك. وتعكس هذه السحب ضوء الشمس إلى الفضاء مما يحول دون وصول طاقته إلى سطح الأرض ومن ثم تبريده بالإضافة إلى الجزء السفلي من الغلاف الجوي. وتمتص سحب حمض الكبريتيك في الجزء العلوي من الغلاف الجوي أيضا محليا الطاقة من الشمس والأرض والجزء السفلي من الغلاف الجوي مما يؤدي إلى احترار الجزء العلوي من الغلاف الجوي (انظر السؤال 11.2، الشكل 1). ومن حيث التبريد السطحي، فإن انفجار بركان جبل بيناتوبو في الفلبين عام 1991، مثلا، أدى إلى حقن نحو 20 مليون طن من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في الستراتوسفير مما أدى إلى تبريد الأرض بنحو 0.5 درجة مئوية لمدة وصلت إلى سنة. وعلى الصعيد العالمي، أدت الانفجارات أيضا إلى خفض سقوط الأمطار بالنظر إلى أن انخفاض الموجات القصيرة القادمة إلى سطح الأرض يعوضه انخفاض في الحرارة الكامنة (أي في البحر ومن ثم في كمية الأمطار).

ولأغراض التنبؤ بالمناخ، يمكن توقع انفجار بركاني يحدث تبريداً سطحياً كبيراً على الصعيد العالمي واحتراراً في الجزء العلوي من الغلاف الجوي خلال العام القادم أو نحو ذلك. وتمثل المشكلة في أنه في حين أنه يمكن رصد تزايد نشاط أحد البراكين، لا يمكن التنبؤ بالتوقيت الدقيق للانفجار أو بكمية ثاني أكسيد الكبريت التي تحقن في الجزء العلوي من الغلاف الجوي والطريقة التي قد تنتشر بها. وهذا مصدر لعدم اليقين في التنبؤات المناخية.

وتنتج الانفجارات البركانية الكبيرة قدراً كبيراً من الجسيمات التي تسمى رماداً أو tephra. غير أن هذه الجسيمات تتساقط من الغلاف الجوي بسرعة في غضون أيام أو أسابيع ومن ثم فإنها لا تؤثر في المناخ العالمي. فقد أثر انفجار بركان سانت هيلينا عام 1980 مثلاً في درجات الحرارة السطحية في الشمال الغربي من الولايات المتحدة لعدة أيام إلا أنه لم تحدث تأثيرات يمكن رصدها في المناخ العالمي بالنظر إلى أنه لم يطلق سوى قدر ضئيل من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في الستراتوسفير. وفي حالة حقن كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكبريت في الستراتوسفير عند خطوط العرض العليا لن يكون لها تأثير إلا في نصف الكرة الذي وقعت فيه، ولن يستمر التأثير إلا لمدة عام على أكثر تقدير بالنظر إلى أن سحب الستراتوسفير التي تنتجها لا تستمر فترة بقائها لأكثر من بضعة أشهر.



وتنتج البراكين المدارية ودون المدارية قدراً أكبر من التبريد السطحي العالمي أو في التروبوسفير. ويعزى ذلك إلى أن سحب حمض الكبريتيك الناشئة عن ذلك في الطبقات العليا من الغلاف الجوي تستمر ما بين عام وعامين، ويمكن أن تغطي جزءاً كبيراً من الكرة الأرضية. غير أن من الصعب التنبؤ بتأثيراتها المناخية الإقليمية، بالنظر إلى أن انتشار هباء الكبريتات في الستراتوسفير يعتمد بشدة على ظروف الرياح في الغلاف الجوي وقت انفجار البركان. وعلاوة على ذلك، فإن تأثير التبريد السطحي المعتاد لا يتم على نسق واحد: ونظراً لأن القارات تبرد أكثر من المحيطات، فإن الرياح الموسمية الصيفية يمكن أن تضعف مما يقلل من كمية الأمطار التي تسقط على آسيا وأفريقيا. وتتسم الاستجابة المناخية بمزيد من التعقيد نتيجة لأن سحب الطبقات العلوية من الغلاف الجوي من الانفجارات المدارية تمتص أيضاً ضوء الشمس والحرارة من الأرض مما يسفر عن زيادة احترار هذه الطبقات في المناطق المدارية بما يتجاوز ذلك الواقع على خطوط العرض العليا.

وقد أجريت دراسة علمية لمحاكاة أكبر انفجار بركاني يحدث خلال المائتين والخمسين عاماً الماضية. فبعد انفجار لاكي في عام 1783 في آيسلندا، سادت درجات حرارة صيفية حارة قياسية في أوروبا أعقبها شتاء قارس البرودة. وتسبب انفجاران كبيران، أحدهما غير محدد وقع في عام 1809، والآخر في تامبورا في عام 1815 في حدوث «عام بدون صيف» في عام 1816. وأدى الفشل الزراعي في أوروبا والولايات المتحدة في ذلك العام إلى حدوث عجز غذائي ومجاعة واعمال شغب.

السؤال 11.2، الشكل 1 | رسم تخطيطي عن حجم تأثير الثورات البركانية المدارية ودون المدارية الكبيرة على درجات الحرارة في الطبقات العلوية للغلاف الجوي (الستراتوسفير)، والطبقات السفلية للغلاف الجوي (التروبوسفير).

وأدى انفجار بركاني كبير حدث منذ أكثر من 50 عاماً، وهو انفجار بركان أغونغ في عام 1963 إلى إجراء الكثير من الدراسات الحديثة بما في ذلك الرصدات وحسابات النموذج المناخي . وحفز الانفجاران الكبيران اللاحقان في الشيشون في 1982 وبيناتوبو في 1991 البحوث التي أدت إلى فهمنا الحالي لتأثيرات الانفجارات البركانية على المناخ.

ولا تبقى السحب البركانية في الستراتوسفير إلا لعامين، ومن ثم فإن تأثيراتها على المناخ قصيرة بالمقابل . غير أن تأثيرات الانفجارات الكبيرة المتعاقبة قد تستمر فترة أطول، مثل ما حدث في نهاية القرن الثالث عشر من أربع انفجارات كبيرة – انفجار كل عشر سنوات . وكان الانفجار الأول الذي حدث في عام 1258 والأكبر خلال ألف عام . وأدت هذه السلسلة من الانفجارات إلى تبريد محيط شمال الأطلسي والجليد البحري في القطب الشمالي . وثمة فترة أخرى ماثرة اهتمام تتضمن الأحداث البركانية الثلاثة الكبيرة، والعديد من الانفجارات الأصغر منها، خلال الفترة 1963–1991 (انظر الفصل 8 للاطلاع على الكيفية التي تؤثر بها هذه الانفجارات في تشكيل الغلاف الجوي وتقلل من الإشعاعات القصيرة الموجة على الأرض .

ويمكن لعلماء البراكين رصد الوقت الذي يصبح فيه البركان أكثر نشاطاً إلا أنهم لا يستطيعون التنبؤ بما إذا كان بركان ما سوف يثور أو بحدوث ذلك، أو بكمية الكبريت التي ستحرق في الستراتوسفير . ومع ذلك فإن البراكين تؤثر في القدرة على التنبؤ بالمناخ بثلاث طرق مختلفة . فأولاً فإنه في حالة حقن ثورة عنيفة أحجاماً كبيرة من ثاني أكسيد الكبريت في الستراتوسفير، يمكن إدراج هذا التأثير في التنبؤات بالمناخ . وينطوي ذلك على تحديات كبيرة ومصادر لعدم اليقين مثل جمع الرصدات الكبيرة للسحب البركانية وحساب الكيفية التي ستتحرك بها وما يقع لها من تغير خلال فترة بقاءها . غير أنه استناداً إلى الرصدات، والنمذجة الناجمة للثورات التي حدثت مؤخراً، يمكن إدراج بعض تأثيرات الثورات الكبيرة في التنبؤات .

ويتمثل التأثير الثاني في أن الثورات البركانية تشكل مصدراً كبيراً محتملاً لعدم اليقين في تنبؤاتنا . إذ أنه لا يمكن التنبؤ بالثورات بصورة مسبقة إلا أنها سوف تقع وتتسبب في تأثيرات مناخية قصيرة الأجل على كل من النطاقين المحلي والعالمي، ويمكن من حيث المبدأ، أخذ احتمال عدم اليقين هذا في الاعتبار من خلال إدراج ثورات عشوائية أو ثورات تستند إلى بعض السيناريوهات في مجموعة التنبؤات المناخية للمستقبل القريب . ويحتاج هذا المجال من مجالات البحوث إلى مزيد من الاستكشاف . ولا تتضمن إسقاطات المستقبل الواردة في هذا التقرير الثورات البركانية في المستقبل .

ثالثاً، يمكن استخدام السجل المناخي التاريخي، بالإضافة إلى تقديرات هباء الكبريتات المرصود، لاختبار مدى صدق ما نقوم به من محاكاة مناخية . وفي حين أن الاستجابة المناخية للثورات البركانية المدمرة تمثل نموذجاً مفيداً لبعض التأثيرات القسرية المناخية الأخرى، فإن هناك حدوداً لذلك . فمحاكاة تأثيرات الثورات يمكن أن تساعد، مثلاً، في التحقق من النماذج المستخدمة في التنبؤات الموسمية وتنبؤات ما بين السنوات . غير أنه لا يمكن بهذه الطريقة التحقق من جميع الآليات المشاركة في احتراق العالم خلال القرن القادم لأن هذه تنطوي على التأثيرات التفاعلية المحيطية في الأجل الطويل، التي لها نطاقات زمنية أطول من الاستجابة لفرادى الثورات البركانية .

السؤال 12.1 | لماذا يستخدم هذا العدد الكبير من النماذج والسيناريوهات لوضع إسقاطات تغير المناخ؟

يتحدد مناخ المستقبل بصورة جزئية من خلال حجم انبعاثات غازات الاحتباس الحراري والهباء الجوي وغير ذلك من التأثيرات القسرية الطبيعية والبشرية المنشأ. وهذه التأثيرات القسرية تقع خارج النظام المناخي إلا أنها تعدل الطريقة التي يعمل بها. ويتشكل مناخ المستقبل من خلال استجابة الأرض لتلك التأثيرات القسرية بالإضافة إلى التقلبية الداخلية الكامنة في النظام المناخي. وتساعد طائفة من الافتراضات بشأن حجم ووتيرة انبعاثات المستقبل العلماء في وضع مختلف سيناريوهات الانبعاثات التي تستند إليها إسقاطات النماذج المناخية. وفي نفس الوقت، توفر مختلف النماذج المناخية حالات تمثيل بديلة لاستجابة الأرض لتلك التأثيرات القسرية ولتقلبية المناخ الطبيعية. وتعمل مجموعات النماذج معاً لمحاكاة الاستجابة لطائفة من مختلف السيناريوهات وترسم طائفة من حالات المستقبل المحتملة وتساعدنا في فهم ما تنطوي عليه من أوجه عدم اليقين.

ويعتبر التنبؤ بالتطورات الاجتماعية الاقتصادية أكثر صعوبة من التنبؤ بتطور نظام فيزيائي. فهي تنطوي على التنبؤ بالسلوك البشري، والاختيارات السياسية، وأوجه التقدم التكنولوجي، والتنافس والتعاون على المستوى الدولي. ويتمثل الأسلوب الشائع في هذا الصدد في استخدام السيناريوهات الخاصة بالتنمية الاجتماعية الاقتصادية المعقولة في المستقبل، والتي تستخلص من خلالها انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وغيرها من عوامل التأثيرات القسرية في المستقبل. ولم يكن من المتيسر عموماً إسناد احتمالات لسيناريوهات التأثير القسري الفردية. وبدلاً من ذلك تستخدم مجموعة من البدائل لتغطية طائفة من الاحتمالات. وتزود النتائج المستخلصة من مختلف سيناريوهات التأثيرات القسرية راسمي السياسات ببدائل وطائفة من أوضاع المستقبل المحتملة للنظر.

وتنشأ التقلبات الداخلية في المناخ بصورة تلقائية من التفاعلات بين مكونات مثل الغلاف الجوي والمحيطات. وقد تخفي في حالة تغير المناخ في المدى القريب تأثير الاضطرابات الخارجية مثل الزيادات في غازات الاحتباس الحراري (انظر الفصل 11). غير أنه من المتوقع على المدى الطويل أن يسيطر تأثير التأثيرات القسرية بدلاً من ذلك. وتوقع محاكاة النموذج المناخي أن سيناريوهات مختلفة عن غازات الاحتباس الحراري البشرية المنشأ وغير ذلك من عوامل التأثيرات القسرية، واستجابة النظام المناخي لها سوف تؤثر بطريقة مختلفة، بعد بضعة عقود، في التغير في متوسط درجة حرارة العالم (السؤال 12.2، الشكل 1، اللوحة اليسرى). ولذا فإن تقييم نتائج تلك السيناريوهات والاستجابات المختلفة ينطوي على أهمية بالغة وخاصة لدى النظر في القرارات المتعلقة بالسياسات.

وتبنى النماذج المناخية على أساس المبادئ الفيزيائية التي تحكم نظامنا المناخي، والفهم العملي، وتمثل العمليات المعقدة والمتشابكة اللازمة لمحاكاة المناخ وتغير المناخ سواء في الماضي أو في المستقبل. وتمثل النظائر المستمدة من الرصدات السابقة أو الاستنباط من اتجاهات التغير الأخيرة استراتيجيات غير كافية لإنتاج إسقاطات بالنظر إلى أن المستقبل لن يكون بالضرورة استمراراً بسيطاً لما شاهدناه حتى الآن.

ومع أنه يمكن وضع المعادلات المتعلقة بحركة الموائع والتي تحدد سلوك الغلاف الجوي والمحيطات، فإن من المستحيل حلها دون استخدام لوغاريتميات عددية من خلال المحاكاة بنماذج حاسوبية تماثل كيفية اعتماد هندسة الطائرات على المحاكاة العددية لأنماط المعادلات المماثلة. لذلك فإنه لا يمكن وصف الكثير من العمليات الفيزيائية والبيولوجية والكيميائية الصغيرة النطاق مثل عمليات السحب عن طريق هذه المعادلات، إما لأننا نفتقر إلى القدرة الحاسوبية لوصف النظام باستنارة دقيقة كافية لمحاكاة هذه العمليات بصورة مباشرة أو لأن فهمنا العلمي بشأن الآليات التي تحرك هذه العمليات لم يكتمل بعد. ويتعين وضع تقديرات تقريبية لهذه العمليات من خلال ما يسمى بعملية وضع المعايير داخل النماذج المناخية والتي يمكن من خلالها إقامة علاقة رياضية بين الكميات التي تتم محاكاتها بصورة مباشرة وتلك التي يتم تقريبها وذلك في كثير من الأحيان على أساس من السلوك المرصود.

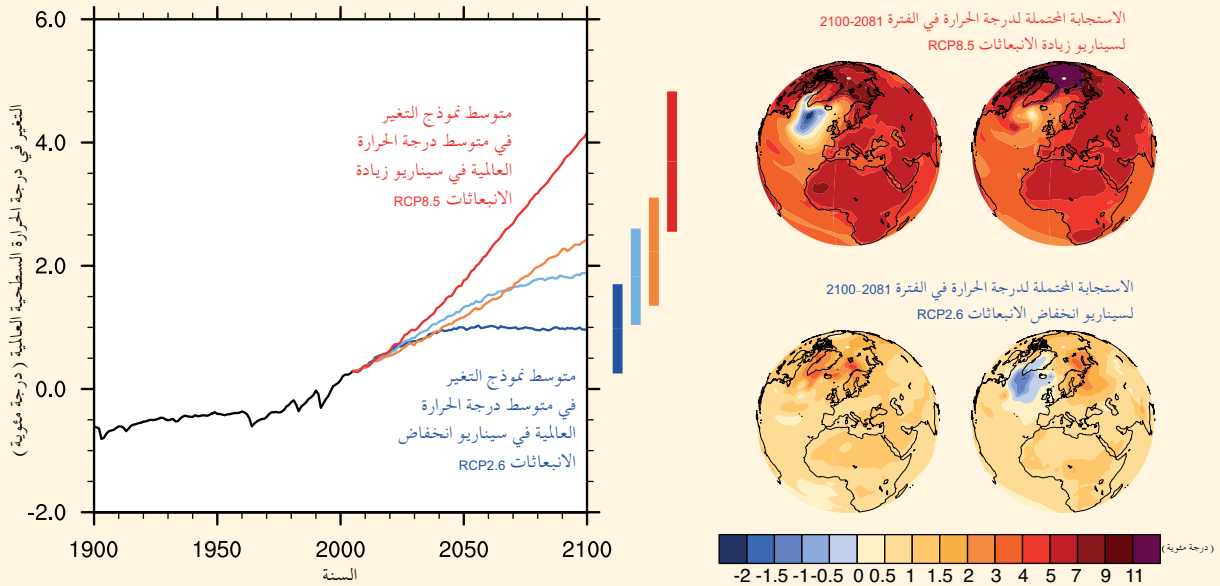
وتتوافر بدائل مختلفة وعمليات التمثيل العددي المعقولة بنفس القدر وحلول وعمليات تقريب لنموذج النظام المناخي بالنظر إلى قصور الحسابات والرصدات. ويعتبر هذا التنوع جانباً سليماً لمجتمع النمذجة المناخية، والنتائج في طائفة من الإسقاطات المعقولة لتغير المناخ على النطاقات العالمية والإقليمية. ويوفر هذا النطاق أساساً لوضع تقييم كمي لعدم اليقين في الإسقاطات غير أنه نظراً لأن عدد النماذج صغير نسبياً، ومساهمة نواتج النموذج في المحفوظات العامة طوعية، فإن أخذ عينات الأوضاع المحتملة في المستقبل لا تمثل عملية منتظمة أو شاملة. كما تستمر بعض جوانب القصور الشائعة في جميع النماذج، فالنماذج المختلفة تنطوي على جوانب قوة ومواطن ضعف مختلفة، ولم تتضح بعد ماهية الجوانب المتعلقة بنوعية المحاكاة التي يمكن تقييمها من خلال الرصدات، والتي ينبغي أن توجه تقييمنا لعمليات محاكاة عن طريق النماذج في المستقبل.

وتستخدم نماذج متباينة التعقيد عادة في مختلف مشكلات الإسقاطات. إذ يمكن استخدام نموذج سريع ذي استبانة منخفضة أو وصف مبسط لبعض العمليات المناخية، في الحالات التي تتطلب محاكاة طويلة متعددة القرون أو حينما يتعين توفير إنجازات متعددة. ويمكن أن تمثل النماذج المبسطة، بصورة كافية، متوسط الكميات الكبيرة مثل المتوسط العالمي لدرجات الحرارة، إلا أنه لا يمكن محاكاة التفاصيل الأكثر دقة مثل سقوط الأمطار على الصعيد الإقليمي إلا بواسطة نماذج معقدة.

وقد شهدت عمليات تنسيق تجارب النماذج ونواتجها بواسطة بعض المجموعات مثل مشروع مقارنة النماذج المتقارنة (CMIP)، والبرنامج العالمي للبحوث المناخية وفريقه العامل المعني بالنماذج المناخية تصعيد دوائر العلم من جهودها لتقييم قدرة النماذج على محاكاة المناخ الماضي والحالي، ومقارنة إسقاطات تغير المناخ في المستقبل. وقد أصبح نهج «النموذج المتعدد» الآن تقنية معيارية تستخدمها دوائر علم المناخ لتقييم الإسقاطات ذات التقلبية المناخية النوعية.

السؤال 12.1، الشكل 1، اللوحات إلى اليمين تبين استجابة درجات الحرارة في نهاية القرن الحادي والعشرين بواسطة نموذجين موضحين، وأعلى سيناريوهات مسار التركيزات النموذجية (RCP) وأدناها. وتتفق النماذج على أنماط واسعة النطاق للاحتراق عند السطح، مثل تعرض الأرض للاحتراق بأسرع من المحيطات، وتعرض القطب الشمالي للاحتراق بأسرع من المناطق المدارية. غير أن هذه النماذج تختلف من حيث كل من حجم الاستجابة العالمية لنفس السيناريو، وفي النطاق الصغير للجوانب الإقليمية للاستجابة. وعلى سبيل المثال فإن حجم الزيادة في القطب الشمالي يتباين فيما بين النماذج المختلفة، وتبين مجموعة فرعية من النماذج احتراقاً أكثر ضعفاً أو تبريداً طفيفاً في شمال الأطلسي نتيجة لانخفاض في تكوين المياه العميقة والتحويلات في التيارات المحيطية.

وتسود أوجه عدم يقين حتمية في التأثيرات القسرية الخارجية في المستقبل، وفي استجابة النظام المناخي لها والتي يزداد تفاقمها بالتقلبية المولدة داخلياً. وقد أصبح استخدام السيناريوهات والنماذج المتعددة اختصاراً معيارياً لتقييمها وتوصيفها، مما يتيح لنا وصف طائفة عريضة من التطورات المحتملة في مناخ الأرض في المستقبل.



السؤال 12.1، الشكل 1 | يتغير المتوسط العالمي لدرجات الحرارة التي يتحدد متوسطها عبر جميع نماذج المرحلة 5 لمشروع مقارنة النماذج المتقارنة (CMIP5) بالمقارنة بالفترة (1986–2005) للمسارات الأربعة للتركيزات النموذجية (RCP2.6) (اللون الأزرق الداكن) و RCP4.5 (اللون الأزرق الفاتح) و RCP6.0 (اللون البرتقالي) و RCP8.5 (اللون الأحمر)؛ وقد استخدمت النماذج 32 و 25 و 39 على التوالي لهذه السيناريوهات الأربعة. وتشير الأعمدة الرأسية إلى النطاقات المحتملة لتغير درجة الحرارة العالمية في نهاية القرن الحادي والعشرين على النحو المبين بالأعمدة الرأسية. وتجدر الملاحظة بأن هذه النطاقات تسري على الفرق بين متوسطين لفترتين من عشرين عاماً 2081–2100 مقابل 1986–2005 التي تمثل الأعمدة التي تتوسط القيمة الأصغر من نقطة نهاية الإسقاطات السنوية. وبالنسبة للسيناريو الأعلى (RCP8.5) والأدنى (RCP2.6)، تبين الخرائط التوضيحية الخاصة بتغير درجة الحرارة السطحية في نهاية القرن 21 (2081–2100) مقابل (1986–2005) بالنسبة لنموذجين في المشروع CMIP5. وقد اختبرت هذه النماذج لبيان نطاق عريض من الاستجابات إلا أن هذه المجموعة المعينة غير تمثيلية لأي قدر من عدم اليقين في استجابة النموذج.

السؤال 12.2 | كيف ستتغير الدورة المائية للأرض؟

يتسم تدفق الماء وتخزينه في النظام المناخي للأرض بالتقلبية الشديدة، إلا أنه من المتوقع أن تحدث التغيرات فيما يتجاوز تلك المتعلقة بالتقلبية الطبيعية في نهاية القرن الحالي. ففي عالم تتزايد درجة حرارته، ستحدث زيادات صافية في كميات الأمطار والتبخر السطحي ونتج النباتات. غير أنه ستحدث اختلافات كبيرة في التغيرات فيما بين الأماكن. وسوف تتعرض بعض الأماكن لمزيد من الأمطار وتراكم الماء على اليابسة. وفي أماكن أخرى، سوف تنخفض كمية الماء نتيجة للجفاف الإقليمي، وفقدان الغطاء الثلجي والجليدي.

وتتألف الدورة المائية من الماء المخزن على الأرض في جميع أطواره بالإضافة إلى حركة الماء من خلال النظام المناخي للأرض. ويوجد الماء في الغلاف الجوي أساساً على هيئة غاز - بخار الماء - إلا أنه يوجد أيضاً على هيئة جليد وماء سائل في السحب. ومن البديهي أن المحيطات عبارة عن ماء سائل أساساً، إلا أن المحيطات مغطاة أيضاً جزئياً بالجليد في المناطق القطبية. ويبدو الماء الأرضي في طوره السائل في شكل ماء سطحي - مثل البحيرات والأنهار - ورطوبة التربة والمياه الجوفية. ويحدث الماء الأرضي الصلب في الصفائح الجليدية والأنهار الجليدية والثلوج والجليد السطحي وفي التربة الصقيعية، والتربة التي تتجمد موسمياً.

وتشير البيانات عن مناخ المستقبل في بعض الأحيان إلى أن الدورة المائية سوف تتسارع إلا أن ذلك قد يكون من البيانات المضللة لأنها تعني، على نحو دقيق، أن دوران الماء سوف يحدث بسرعة مطردة مع الوقت وفي جميع الأماكن. والواقع أن أجزاء من العالم سوف تتعرض لاستنفاد كبير للماء ومن ثم انخفاض حركة الماء. كما أن بعض مستودعات الماء سوف تختفي.

ومع احترار الأرض، سوف تحدث بعض الجوانب العامة للتغير وذلك ببساطة استجابة للمناخ الحار. وسوف تحكم هذه التغيرات كمية الطاقة التي يضيفها الاحترار العالمي للنظام المناخي. وسوف ينصهر الجليد في جميع أشكاله بسرعة أكبر وأقل انتشاراً. فالجليد البحري الصيفي للقطب الشمالي، مثلاً، سوف يختفي قبل منتصف هذا القرن وذلك وفقاً لبعض أشكال المحاكاة التي جرى تقييمها في هذا التقرير. وسيحتوي الغلاف الجوي على قدر أكبر من بخار الماء، وتشير الرصدات ونتائج النماذج إلى أنه يفعل ذلك بالفعل. وقد يزيد متوسط كمية بخار الماء في الغلاف الجوي بنهاية القرن الحادي والعشرين بما يتراوح بين 5 و25 في المائة، بحسب كمية انبعاثات غازات الاحتباس الحراري البشرية المنشأ، والجسيمات النشطة إشعاعياً مثل الدخان. وسوف يتبخر الماء بسرعة أكبر من السطح. وسوف يرتفع مستوى سطح البحر نتيجة اتساع رقعة الاحترار في مياه المحيطات وانصهار جليد اليابسة وتدفقه إلى المحيطات (انظر السؤال 13.2).

وتتعرض هذه التغيرات العامة للتعديل نتيجة لتعقيد النظام المناخي مما يحول دون حدوثه بصورة منتظمة في جميع الأماكن وفي نفس الوقت. فدوران الماء في الغلاف الجوي، وعلى اليابسة، وفي المحيطات يمكن أن يتغير بتغير المناخ، حيث يركز الماء في بعض الأماكن، ويستنفدها من أماكن أخرى. كما أن التغيرات قد تتباين خلال العام: فبعض الفصول تنحو إلى أن تكون أكثر أمطاراً من فصول أخرى. فمثلاً، تبين عمليات المحاكاة النمذجة المقومة في هذا التقرير أن سقوط الأمطار في شمال آسيا قد يزيد بأكثر من 50 في المائة في حين يتوقع أن لا يحدث تغير يذكر في كمية الأمطار الصيفية. ويتدخل البشر أيضاً بصورة مباشرة في الدورة المائية من خلال إدارة الماء والتغيرات في استخدام الأراضي. ويمكن أيضاً أن تؤدي توزيعات السكان وممارسات استخدام الماء إلى إحداث المزيد من التغيرات في الدورة المائية.

ويمكن أن تحدث عمليات الدورة المائية خلال دقائق أو ساعات أو أيام، أو أطول من ذلك، وعلى مسافات من أمتار إلى كيلومترات وأكبر من ذلك. والتقلبية على هذه النطاقات أكثر عادة من تقلبية درجات الحرارة ومن ثم يتعدى تقدير التغيرات المناخية في كمية الأمطار. وعلى الرغم من هذا التعقيد، تبين الإسقاطات الخاصة بمناخ المستقبل أن التغيرات مسألة شائعة عبر كثير من النماذج، وسيناريوهات التأثير القسري للمناخ. وقد أبلغ عن تغيرات مماثلة في تقرير التقييم الرابع (AR4). وتشير هذه النتائج مجتمعة إلى أن آليات التغيير قد أصبحت مفهومة على نحو جيدة حتى وإن كانت الأحجام تتباين مع تباين النماذج والتأثير القسري. ونحن نركز هنا على التغيرات على الأرض حيث تنطوي هذه التغيرات في الدورة المائية على أكبر قدر من التأثير على النظم البشرية والطبيعية.

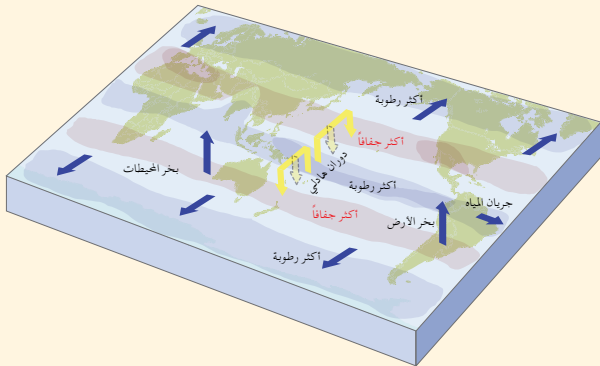
وتبين التغيرات المناخية المسقط من عمليات المحاكاة المقيمة في هذا التقرير (المبينة بصورة تخطيطية في السؤال 12.2، الشكل 1)، بصورة عامة حدوث زيادة في كميات الأمطار في أجزاء من الطبقات العميقة في المناطق المدارية والمرتفعات القطبية التي يمكن أن تتجاوز 50 في المائة في نهاية القرن الحادي والعشرين في إطار أكثر سيناريوهات الانبعاثات تطرفاً. وعلى العكس من ذلك، قد تنخفض بعض المساحات الشاسعة في المناطق دون المدارية بنسبة 30 في المائة أو أكثر. وفي المناطق المدارية، يبدو أن بعض هذه التغيرات تحكمها الزيادات في بخار الماء في الغلاف الجوي والتغيرات في دوران الغلاف الجوي التي تزيد من تركيز بخار الماء في المناطق المدارية ومن ثم سقوط المزيد من الأمطار المدارية. وفي المناطق دون المدارية، تتسبب هذه التغيرات في الدوران بصورة آمنة في انخفاض كمية الأمطار على الرغم من الاحترار في هذه المناطق. ونظراً لأن المناطق دون المدارية موطن معظم صحارى العالم، فإن هذه التغيرات تنطوي على زيادة سريعة في المناطق الجافة بالفعل وربما تؤدي إلى توسع الصحارى.

وتحكم الارتفاع في درجات الحرارة الزيادة عند خطوط العرض العليا، مما يتيح زيادة الماء في الغلاف الجوي، ومن ثم زيادة الماء الذي يتساقط مطراً. ويتيح المناخ الحار أيضاً لنظم العواصف في المناطق خارج المناطق المدارية نقل المزيد من بخار الماء إلى خطوط العرض العليا دون أن يتطلب ذلك تغيرات كبيرة في قوة الرياح المعتادة. وكما أشير أعلاه، فإن التغيرات في خطوط العرض العالية تكون أكثر وضوحاً خلال الفصول الباردة.

وسوف يعتمد تحول الأرض إلى أن تصبح أكثر جفافاً أو أكثر رطوبة جزئياً على التغيرات في كمية الأمطار إلا أنه يعتمد كذلك على التغيرات في البخر السطحي والنتح من النباتات (بالافتقار مع ما يسمى البخر - النتح). ونظراً لأن الغلاف الجوي الحار يمكن أن يحمل كمية أكبر من بخار الماء، فقد يستحث زيادة في البخر - النتح مما يعطي كميات كافية من الماء الأرضي. غير أن زيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تقلل من اتجاه النباتات إلى النتح في الغلاف الجوي والتصدي جزئياً لظاهرة الاحترار.

وتنحو زيادة البخر - النتح في المناطق المدارية إلى معادلة تأثيرات الزيادة في كميات الأمطار على رطوبة التربة، في حين لا يحقق الانخفاض الفعلي في كميات رطوبة التربة في المناطق دون المدارية سوى تغير طفيف في البخر - النتح. وفي خطوط العرض العالية، تتجاوز الزيادة في كميات الأمطار عموماً الزيادة في البخر - النتح في أنواع المناخ المتوقعة مما يسفر عن زيادة في المتوسط السنوي لجريان الماء، إلا أن ذلك سوف يشهد تغيرات مختلطة في رطوبة التربة. وكما تشير التغيرات في الدوران في السؤال 12.2، الشكل 1 قد تتغير أيضاً الحدود بين المناطق المرتفعة الرطوبة والمناطق المنخفضة الرطوبة.

وثمة عامل معقد آخر يتمثل في طبيعة سقوط الأمطار. إذ تبين إسقاطات النماذج أن الأمطار ستصبح أكثر كثافة وذلك جزئياً لزيادة الرطوبة في الغلاف الجوي. وعلى ذلك فإن عمليات المحاكاة المقومة في هذا التقرير تشير إلى أن يوماً واحداً من أيام سقوط الأمطار التي تقع على أجزاء كبيرة من الأرض حالياً كل 20 عاماً في المتوسط قد يحدث كل 10 سنوات أو حتى بوتيرة أسرع في نهاية القرن 21. وفي نفس الوقت، تبين الإسقاطات أيضاً أن ظواهر سقوط الأمطار عموماً سوف تنحو إلى أن تقع بوتيرة أقل. وتسفر هذه التغيرات عن تأثيرين متناقضين في الظاهر: انهيار الأمطار الأكثر غزارة مما يؤدي إلى المزيد من الفيضانات، وحدوث فترات جفاف أطول فيما بين أحداث الأمطار مما يؤدي إلى المزيد من الجفاف.



ويحدث عند خطوط العرض العالية والمرتفعات العالية المزيد من التغيرات نتيجة لفقدان المياه المتجمدة. ويسوى بعض هذه التغيرات بواسطة الجيل الحالي من النماذج المناخية العالمية (GCMs)، ولا يمكن الاستدلال إلا على بعضها بالنظر إلى أنها تشمل على عناصر مثل الأنهار الجليدية التي لا يتم تسويتها عادة أو إدراجها في النماذج. ويعني المناخ الحار أن الثلوج تنحو إلى أن تبدأ في التراكم في أواخر الخريف والانصهار في وقت مبكر في الربيع. وتبين عمليات المحاكاة المقومة في هذا التقرير أن المتوقع أن ينخفض الغطاء الثلجي في الفترة من آذار / مارس إلى نيسان / أبريل في نصف الكرة الأرضية الشمالي بنسبة تقرب من 10 إلى 30 في المائة في المتوسط بحلول نهاية هذا القرن بحسب سيناريو غازات الاحتباس الحراري. ويغير الانصهار المبكر في أوائل الربيع من توقيت ذروة التدفق الربيعي في الأنهار التي تحصل على المياه الناتجة من الانصهار. ويؤدي ذلك إلى انخفاض معدلات التدفق اللاحق، مما يؤثر في إدارة موارد المياه. وتظهر هذه الجوانب في محاكاة النماذج المناخية العالمية (GCMs).

وسوف يتيح فقدان التربة الصقيعية تسرب الرطوبة إلى أعماق أكبر في التربة إلا أنه سوف يتيح أيضاً زيادة احتراق التربة مما يزيد من البخر - النتح. غير أن معظم النماذج المناخية العالمية الحالية لا تتضمن جميع العمليات اللازمة لمحاكاة التغيرات في التربة الصقيعية على نحو جيد. وتشير الدراسات التي تحلل تجمد التربة

السؤال 12.2، الشكل 1 | رسم تخطيطي للتغيرات المسقط في المكونات الرئيسية للدورة المائية. وتشير الأسهم الزرقاء إلى الأنماط الرئيسية من التغيرات في حركة الماء من خلال النظام المناخي للأرض. انتقال الماء صوب القطبين بواسطة الرياح خارج المناطق المدارية، والبخر من السطح وجريان المياه من اليابسة إلى المحيطات. وتبين المساحات المظللة المناطق التي يرجح أن تصبح أكثر جفافاً أو مطراً. وتشير الأسهم الصفراء إلى تغير مهم في دوران الغلاف الجوي بواسطة دوران هادلي الذي تزيد حركته الصاعدة من الأمطار المدارية مع كبح الأمطار دون المدارية. وتشير إسقاطات النماذج إلى أن دوران هادلي سوف يحول فرعه الهبوطي صوب القطبين في كل من نصف الكرة الأرضية الشمالي ونصف الكرة الأرضية الجنوبي مع ما يرتبط بذلك من جفاف. ويتوقع حدوث ظروف رطبة على خطوط العرض العليا بالنظر إلى أن الغلاف الجوي الحار سوف يتيح زيادة كميات الأمطار مع زيادة حركة الماء في هذه المناطق.

أو تستخدم نواتج النماذج المناخية العالمية لاستخلاص المزيد من نماذج الأراضي الأكثر تفصيلاً إلى فقدان مساحات كبيرة من التربة الصقيعية في نهاية هذا القرن. وعلاوة على ذلك فإنه على الرغم من أن النماذج المناخية العالمية الحالية لا تتضمن بصورة واضحة تطور الأنهار الجليدية، يمكننا أن نتوقع استمرار انحسار الأنهار الجليدية، وقد يتقلص حجم الماء الذي توفره للأنهار في الصيف في بعض الأماكن مع اختفائها. وسوف يسهم فقدان الأنهار الجليدية في خفض تدفقات الأنهار في وقت الربيع. غير أنه إذا زاد المتوسط السنوي لسقوط الأمطار - سواء في شكل ثلوج أو أمطار - فإن هذه النتائج لا تعني بالضرورة أن المتوسط السنوي لتدفقات الأنهار سوف ينخفض.

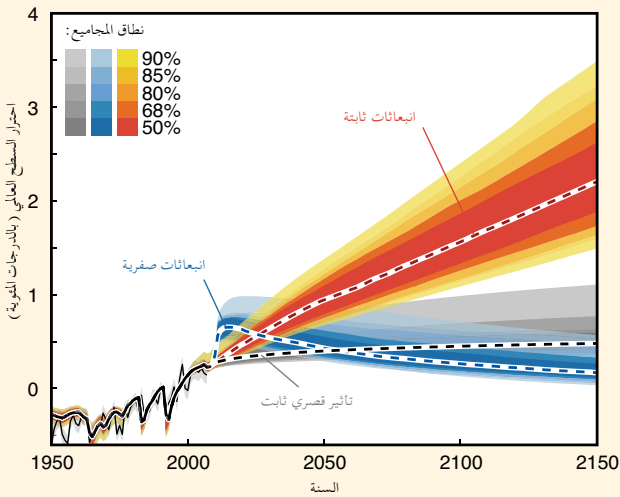
السؤال 12.3 | ماذا سيحدث لمناخ المستقبل إذا أوقفنا الانبعاثات اليوم؟

يمثل وقف الانبعاثات اليوم سيناريو غير معقول، إلا أنه واحد من حالات مثلى عديدة توفر فكراً متعمقاً عن استجابة النظام المناخي ودورة الكربون. ونتيجة للنطاقات الزمنية المتعددة في النظام المناخي، فإن العلاقة بين التغيير في الانبعاثات واستجابة المناخ مسألة شديدة التعقيد، مع حدوث بعض التغييرات بعد فترة طويلة من توقف الانبعاثات. وتبين النماذج، وفهم العملية أنه نتيجة لحالة القصور الكبيرة للمحيطات وفترة الحياة الطويلة للكثير من غازات الاحتباس الحراري ولاسيما ثاني أكسيد الكربون، سوف يستمر الكثير من الاحترار لقرون بعد توقف انبعاثات غازات الاحتباس الحراري.

ف عندما تنبعث غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي، تزال من خلال تفاعلات كيميائية مع المكونات النشطة الأخرى أو يتم تبادلها مع المحيطات واليابسة كما في حالة ثاني أكسيد الكربون (CO_2). وتحدد هذه العمليات خصائص فترة بقاء الغاز في الغلاف الجوي المعروف بأنه الوقت الذي يستغرقه انخفاض نبضة التركيز بواسطة المعامل e (2.71). وتتباين فترة بقاء غازات الاحتباس الحراري والهباء الجوي في الغلاف الجوي خلال نطاق عريض يتراوح بين أيام وآلاف السنين. ففترة بقاء الهباء، مثلاً، تبلغ أسابيع، والميثان (CH_4) نحو 10 سنوات، وأكسيد النيتروز (N_2O) نحو 100 عام. وسداسي فلوريد الايثان (C_2F_6) نحو 10000 عام. أما ثاني أكسيد الكربون (CO_2) فهو أكثر تعقيداً حيث إنه يزال من الغلاف الجوي من خلال عمليات فيزيائية وجيوكيميائية حيوية متعددة في المحيطات واليابسة حيث يعمل جميعها وفقاً لنطاقات زمنية مختلفة. وبالنسبة لنبضة انبعاثات تبلغ نحو 1000 بيتاغرام كربون، يزال نحو نصفه في غضون بضعة عقود إلا أن الجزء المتبقي يظل في الغلاف الجوي لفترة أطول بكثير. وما زال هناك ما يتراوح بين 15 و40 في المائة عن نبضة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بعد 1000 عام.

ونتيجة لطول فترات بقاء غازات الاحتباس الحراري البشرية المنشأ الرئيسية، سوف تستمر الزيادة في التركيز في الغلاف الجوي نتيجة للانبعاثات السابقة لفترة أطول بعد توقف الانبعاثات. ولا يعود تركيز غازات الاحتباس الحراري فوراً إلى مستوياته قبل عصر الصناعة في

حالة وقف الانبعاثات. فتركيز الميثان يعود إلى القيم القريبة من مستوى ما قبل الصناعة في غضون نحو 50 عاماً. وتحتاج تركيزات أكسيد النيتروز (N_2O) إلى عدة قرون ولا يعود ثاني أكسيد الكربون إطلاقاً إلى مستواه قبل عصر الصناعة في نطاقات زمنية تتعلق بمجتمعنا. ومن ناحية أخرى فإن التغييرات في انبعاثات الأنواع قصيرة العمر مثل الهباء لن تسفر إلا عن تغييرات آتية تقريباً في تركيزاتها.



وتتسم استجابة النظام المناخي للتأثير القسري لغازات الاحتباس الحراري والهباء بجوانب قصور تسببها المحيطات بالدرجة الأولى. فللمحيطات قدرات بالغة للغاية على امتصاص الحرارة ويحدث المزج بين السطح وعمق المحيطات ببطء شديد. ويعني ذلك أن الأمر يحتاج إلى عدة قرون لكي تحتل المحيطات بأكملها وللوصول إلى توازن مع التأثير القسري الإشعاعي المتغير. وسوف يواصل سطح المحيطات (ومن ثم القارات) الاحترار إلى أن تستقر درجة الحرارة السطحية في توازن مع التأثير القسري الإشعاعي الجديد. ويبين تقرير التقييم الرابع (AR4) أنه في حالة الإبقاء على تركيز غازات الاحتباس الحراري ثابتة عند مستواها الحالي، سيواصل سطح الأرض الاحترار بنحو 0.6 درجة مئوية خلال القرن الحادي والعشرين بالنسبة لعام 2000. وهذا هو الالتزام المناخي إزاء التركيزات الجارية (أو التزام التشكيل الثابت) المبين باللون الرمادي في السؤال 12.3، الشكل 1. وستؤدي الانبعاثات الثابتة بالمستويات الحالية إلى مزيد من تركيز الغلاف الجوي وإلى قدر من الاحترار يزيد بكثير عن ذلك المرصود حتى الآن (السؤال 12.3، الشكل 1 والخطوط الحمراء).

السؤال 12.3، الشكل 1 | إسقاطات مستندة إلى نموذج دورة الكربون لتوازن الطاقة ونموذج تقييم تغير المناخ المستحث بغازات الاحتباس الحراري (MAGICC) بشأن تكوين الغلاف الجوي الثابت (التأثير القسري الثابت، اللون الرمادي)، والانبعاثات الثابتة (اللون الأحمر) والانبعاثات الصفيرة في المستقبل (اللون الأزرق) بدءاً من عام 2010 مع تقديرات لعدم اليقين. وتستند الأرقام المأخوذة بتصريف من هار وماينشاوسن (2006) إلى معيارية النموذج المناخي لدورة الكربون البسيطة لجميع نماذج المرحلة الثالثة من مشروع مقارنة النماذج المتقارنة (CMIP3). ومشروع مقارنة نموذج دورة الكربون المناخي المتقارنة (C4MIP) (ماينشاوسن وآخرون، 2011 أ)، وماينشاوسن وآخرون، 2011 ب). وتستند النتائج إلى محاكاة عابرة تبدأ من عصر ما قبل الصناعة باستخدام جميع مكونات التأثير القسري. ويبين الخطان الأسود الرفيع والمظلل الاحترار المرصود وعدم اليقين.

وحتى في حالة وقف انبعاثات غازات الاحتباس الحراري البشرية المنشأ الآن، فإن التأثير القسري الإشعاعي الناشئ عن تركيزات غازات الاحتباس الحراري ذات فترات البقاء الطويلة هذه لن يؤدي إلا إلى انخفاض بطيء في المستقبل بمعدل تحدده فترة بقاء الغاز (انظر أعلاه). وعلاوة على ذلك، فإن الاستجابة المناخية لنظام الأرض لذلك التأثير القسري الإشعاعي سوف تكون أكثر بطئاً. ولن تستجيب درجة حرارة العالم بسرعة للتغيرات في تركيزات غازات الاحتباس الحراري. وسوف يؤدي التخلص من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون فقط إلى درجة حرارة شبه ثابتة لعدة قرون. وسوف يتسبب التخلص من التأثيرات القسرية السالبة القصيرة العمر من الهباء الكبريتي في نفس الوقت (مثل تدابير خفض تلوث الهواء) في حدوث احتراق مؤقت لبضعة أعشار الدرجة على النحو المبين باللون الأزرق في السؤال 12.3، الشكل 1. ولذا فإن وضع جميع الانبعاثات عند النقطة صفر في المستقبل، سيؤدي بعد فترة احتراق قصيرة إلى حالة شبيهة باستقرار المناخ لعدة قرون. ويسمى ذلك التزام من الانبعاثات السابقة (الالتزام بالانبعاثات صفرية في المستقبل). وسوف تنخفض تركيزات غازات الاحتباس الحراري ومن ثم التأثير القسري كذلك، إلا أن جوانب القصور في النظام المناخي سوف تؤخر استجابة درجات الحرارة.

ونظراً للقصور الكبير في المناخ ودورة الكربون، تخضع درجة الحرارة العالمية الطويلة الأجل إلى حد كبير لتحكم مجموع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الذي تراكم بمرور الوقت، بصرف النظر عن الوقت الذي انبعثت فيه. ولذا فإن قصر الاحتراق العالمي دون مستوى معين (مثل 2 درجة مئوية عن عصر ما قبل الصناعة) يعني ميزانية معينة لثاني أكسيد الكربون أي أن الزيادة في الانبعاثات في وقت سابق يعني انخفاضات قوية في وقت لاحق. ويتيح زيادة الهدف المناخي لدروة التركيزات المرتفعة لثاني أكسيد الكربون ومن ثم زيادة انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التراكمية (أي ما يتيح التأخير في خفض الانبعاثات الضرورية).

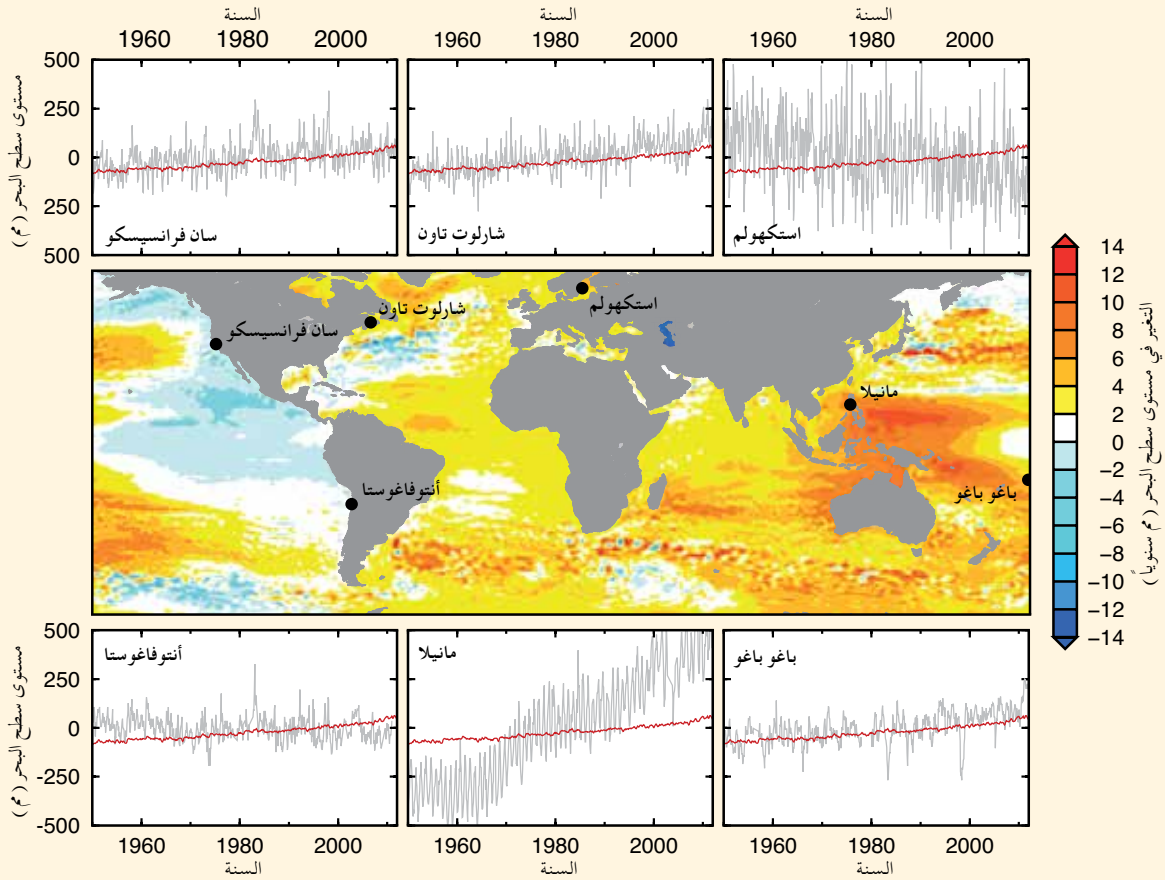
وتعد درجة الحرارة العالمية رقماً تجميعياً مفيداً لوصف شدة تغير المناخ وليس جميع التغيرات التي تقيس درجة الحرارة العالمية. فالتغيرات في الدورة المائية، مثلاً، تعتمد أيضاً على نوع التأثير القسري (مثل غازات الاحتباس الحراري والهباء والتغيرات في استخدام الأراضي)، وتباطؤ مكونات نظام الأرض مثل ارتفاع مستوى سطح البحر، وسوف تستغرق الصفائح الجليدية فترة أطول بكثير للاستجابة، وقد تكون هناك عتبات حرجة أو تغييرات مفاجئة أو غير عكوسة في النظام المناخي.

السؤال 13.1 | لماذا يختلف التغير في مستوى سطح البحار الإقليمية عن المتوسط العالمي؟

يمكن أن تغير الرياح السطحية المتحولة، وتمدد مياه المحيطات الحارة، وإضافة الجليد المنصهر التيارات المحيطية التي تؤدي بدورها إلى تغييرات في مستوى سطح البحر تتباين من مكان لآخر. وتؤثر التقلبات السابقة والحالية في توزيع جليد اليابسة في شكل الأرض ومجال الجاذبية الأرضية، التي تتسبب أيضا في حدوث تذبذبات إقليمية في مستوى سطح البحر. وتنتج التقلبات الإضافية في مستوى سطح البحر عن تأثير العمليات الأكثر محلية مثل تراخي الرواسب والحركات الأرضية.

وعبر أي ساحل يمكن أن تتسبب الحركة الرأسية لسطح البحر أو سطح اليابسة في إحداث تغييرات في مستوى سطح البحر بالنسبة للأرض (المعروفة بمستوى سطح البحر النسبي). فعلى سبيل المثال، يمكن أن يتسبب تغير محلي في زيادة ارتفاع مستوى سطح البحر أو في انخفاض ارتفاع اليابسة. وخلال فترات قصيرة نسبيا (ساعات إلى سنوات)، يسيطر تأثير المد والجزر والعواصف والتقلبية المناخية - مثل ظاهرة النينو - على تقلبات مستوى سطح البحر. كما يمكن للزلازل والانهيانات الأرضية أن تؤثر من خلال إحداث تغييرات في ارتفاع اليابسة وفي بعض الأحيان التسونامي. ويشكل تأثير تغير المناخ في الفترات الأطول مدى (العقود إلى القرون) مع التغيرات اللاحقة في حجم مياه المحيطات والجليد الأرضي - الفاعل الرئيسي في التغير في مستوى سطح البحر في معظم المناطق. وقد تتسبب العمليات المختلفة أيضا، خلال هذه النطاقات الزمنية الأطول مدى، في حدوث حركة رأسية لسطح اليابسة مما قد يتسبب في تغييرات كبيرة في المستوى النسبي لسطح البحر.

ومنذ أواخر القرن العشرين، أظهرت القياسات الساتلية لارتفاع مستوى سطح المحيطات بالمقارنة بمركز الأرض (المعروف بمستوى سطح البحر المقيس من مركز الأرض) معدلات مختلفة من التغير في مستوى سطح البحر بالمقارنة بمركز الأرض في مختلف أنحاء العالم (انظر السؤال 13.1، الشكل 1). ففي الأجزاء الغربية من المحيط الهادئ، مثلا، كانت المعدلات تزيد بنحو ثلاث مرات عن قيمة المتوسط العالمي البالغ نحو



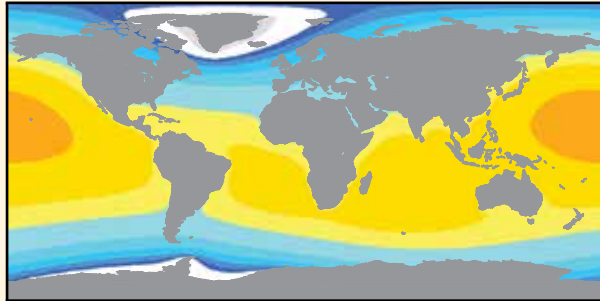
السؤال 13.1، الشكل 1 | خارطة لمعدلات التغير في ارتفاع مستوى سطح البحر (مستوى سطح البحر بالنسبة لمركز الأرض) للفترة 1993-2012 من مقياس الارتفاع الساتلي. كما تبين الخارطة التغيرات النسبية في مستوى سطح البحر (الخطوط الرمادية) من محطات مختارة لقياس المد والجزر للفترة 1950-2012. وللمقارنة، يرد أيضا تقدير للمتوسط العالمي للتغير في مستوى سطح البحر (الخطوط الحمراء) مع السلسلة الزمنية لكل مقياس للمد والجزر. وتعزى التذبذبات الكبيرة نسبيا والقصيرة الأجل في مستوى سطح البحار المحلية (الخطوط الرمادية) إلى التقلبية المناخية الطبيعية التي يرد وصف لها في النص الرئيسي. فمثلا، ترتبط الانحرافات المنتظمة الكبيرة في باغو باغو بالتذبذب الجنوبي - النينو.

3 م سنوياً من 1993 إلى 2012. وعلى العكس من ذلك، فإن المعدلات الواقعة في الأجزاء الشرقية من المحيط الهادئ تقل عن قيمة المتوسط العالمي، مع تعرض جزء كبير من الساحل الغربي للأمريكتين لانخفاض في ارتفاع مستوى سطح البحر خلال نفس الفترة.

ويعزى الكثير من التقلبية المكانية المبينة في السؤال 13.1، الشكل 1 إلى التقلبية المناخية الطبيعية مثل النينيو، وتذبذب المحيط الهادئ العقدي - على نطاقات زمنية من نحو عام إلى عدة عقود. وتغير هذه التقلبات المناخية من الرياح السطحية والتيارات المحيطية، ودرجة الحرارة، والملوحة، ومن ثم تؤثر في مستوى سطح البحر. وسوف يستمر تأثير هذه العمليات خلال القرن الحادي والعشرين. وسوف تعلق هذه التقلبات النمط المكاني للتغير في مستوى سطح البحر المرتبط بتغير المناخ في المدى الطويل والذي ينشأ أيضاً من خلال التغيرات في الرياح السطحية، والتيارات المحيطية، ودرجة الحرارة والملوحة فضلاً عن حجم المحيط. ومع ذلك، وخلافاً للتقلبية الطبيعية، فإن الاتجاهات الطويلة الأجل تتراكم بمرور الوقت، ومن ثم يتوقع أن تسيطر على القرن الحادي والعشرين. ولذا فإن معدلات التغيرات الناشئة في مستوى سطح البحر بالنسبة لمركز الأرض خلال هذه الفترة الطويلة قد تظهر نمطاً بالغ الاختلاف عن ذلك المبين في السؤال 13.1، الشكل 1.

وتحدد مقاييس المد والجزر مستوى سطح البحر النسبي، ومن ثم فهي تتضمن التغيرات الناشئة عن الحركة الرأسية لكل من سطح اليابسة والبحار. والحركة الرأسية لليابسة صغيرة في الكثير من المناطق الساحلية، ومن ثم فإن المعدل الطويل الأجل للتغيرات في مستوى سطح البحر الذي تسجله مقاييس المد والجزر الساحلية والجزرية يماثل قيمة المتوسط العالمي (انظر السجلات في سان فرانسيسكو وباغو باغو في السؤال 13.1، الشكل 1). وفي بعض المناطق، كان للحركة الرأسية لليابسة تأثير مهم. فالانخفاض المطرد في مستوى سطح البحر المسجل في ستكهولم، مثلاً، (السؤال 13.1، الشكل 1) ناتج عن الارتفاع في هذه المنطقة بعد انصهار صفحة جليدية قارية (يزيد سمكها عن 1 كيلومتر) كبيرة في نهاية العصر الجليدي الأخير منذ ما بين 20000 و9000 عام مضت. ويمثل التشويه الجاري لليابسة استجابة لانصهار صفائح الجليد القديمة عاملاً مساهماً كبيراً في التغيرات في مستوى سطح البحر الإقليمية في أمريكا الشمالية وشمال غرب أوراسيا التي كانت مغطاة بصفائح جليدية قارية ضخمة خلال ذروة العصر الجليدي الأخير.

وفي المناطق الأخرى، يمكن أن تؤدي هذه العملية أيضاً إلى هبوط سطح اليابسة مما يرفع من مستويات سطح البحر النسبية كما حدث في شارلوت تاون حيث رصدت زيادة كبيرة نسبياً بالمقارنة بمعدل المتوسط العالمي (السؤال 13.1، الشكل 1). ويمكن للحركة الرأسية لليابسة الناتجة عن حركة الصفائح التكتونية للأرض أن تتسبب أيضاً في انحرافات عن المتوسط العالمي لتغير مستوى سطح البحر في بعض المناطق، ومن الأمور الأكثر أهمية أن تلك تقع بالقرب من مناطق التلاحم النشطة حيث تنحدر إحدى الصفائح التكتونية تحت الأخرى. ففي حالة أنتوفاغوستا (السؤال 13.2، الشكل 1)، يبدو أن ذلك يسفر عن ارتفاع مطرد في اليابسة ومن ثم إلى انخفاض في المستوى النسبي لسطح البحر.



التغير في مستوى سطح البحر (م سنوياً)
-3.0 -2.0 -1.0 0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.1 1.2 1.3

السؤال 13.1، الشكل 2 | نواتج نمذجة تبين التغير النسبي في مستوى سطح البحر نتيجة لانصهار صفائح جليد غرينلاند، والصفائح الجليدية في غرب منطقة القطب الجنوبي بمعدلات تبلغ 0.5 م سنوياً لكل منها (مما يعطي قيمة المتوسط العالمي للارتفاع في مستوى سطح البحر قدرها 1 م سنوياً). وتقل التغيرات المنمذجة لمستوى سطح البحر عن قيمة المتوسط العالمي في المناطق القريبة من انصهار الجليد، إلا أنها تزيد في المناطق الأبعد (مأخوذة بتصرف من ميلن وآخرين، 2009).

والصفايح الجليدية المذابة بالنظر إلى انخفاض معدل الجاذبية فيما بين الجليد ومياه المحيطات وميل الأرض إلى الارتفاع مع انصهار الجليد (السؤال 13.1، الشكل 2) غير أنه بعيداً عن انصهار الصفائح الجليدية، يزداد ارتفاع مستوى سطح البحر بالمقارنة بقيمة المتوسط العالمي.

وباختصار فإن طائفة من العمليات تحدث تغيرات في الارتفاع في مستوى سطح المحيطات وقيعان المحيطات مما يؤدي إلى أنماط مكانية متميزة للتغيرات في مستوى سطح البحر على الأصعدة المحلية إلى الإقليمية. وتنتج توليفة من هذه العمليات نمطاً معقداً من التغير في مستوى سطح البحر يتباين بمرور الوقت بوصفه مساهمة نسبية في تغيرات كل عملية. ويعتبر تغيير المتوسط العالمي قيمة مفيدة بمفردها تجسد مساهمة العمليات المناخية (مثل انصهار جليد اليابسة واحتراق المحيطات). وتمثل تقديراً جيداً لتغير مستوى سطح البحر في كثير من الأماكن الساحلية. غير أنه حينما تسفر مختلف العمليات الإقليمية، في نفس الوقت، عن دليل قوي، قد تكون هناك انحرافات كبيرة عن قيمة المتوسط العالمي.

السؤال 13.2 | هل ستساهم الصفائح الجليدية لغرينلاند والقطب الجنوبي في تغيير مستوى سطح البحر خلال الفترة المتبقية من القرن؟

تمثل الصفائح الجليدية لغرينلاند ومنطقة القطب الجنوبي أكبر مستودع للمياه العذبة على كوكب الأرض. ولذا فقد أسهمت في تغيير مستوى سطح البحر خلال العصور الجيولوجية والأخيرة. وتحصل هذه الصفائح على كتلتها من تراكم الثلوج وتفقدتها من خلال التلاشي السطحي (في شكل انصهار الجليد أساساً) وتدفقاته عند حدودهما البحرية سواء إلى جرف جليدي عائم أو بصورة مباشرة في المحيطات من خلال انفصال الجبال الجليدية. وتتسبب الزيادة في التراكم في انخفاض المتوسط العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر، في حين تتسبب الزيادات في التلاشي السطحي والتدفقات الخارجة في ارتفاعه. وتتوقف التقلبات في هذه التدفقات في الكتل على طائفة من العمليات داخل الصفائح الجليدية أو بدونها في الغلاف الجوي والمحيطات. غير أنه يبدو أن مصادر فقد الكتلة، خلال هذا القرن، تتجه إلى تجاوز مصادر اكتسابها، ومن ثم يمكن توقع حدوث مساهمة إيجابية مستمرة في مستوى سطح البحر على الصعيد العالمي. ويوجز هذا السؤال البحوث الجارية عن الموضوع ويوفر الحجم الإرشادي للتقييم الكامل في نهاية القرن (2081-2100 بالمقارنة بالفترة 1986-2005) للمساهمات في مستوى سطح البحر، والتي أبلغت في شكل مستوى احتمالية اثنين من ثلاثة عبر جميع سيناريوهات الانبعاثات.

وبمرور الألفيات، يحمل التدفق الأفقي البطيء للصفائح الجليدية الكتلة من مناطق التراكم الصافي (في المناطق الداخلية المرتفعة عموماً) إلى مناطق الفقد الصافي (في المناطق المحيطية المنخفضة الارتفاع والمجاورة للسواحل عموماً). وفي الوقت الحالي، تفقد غرينلاند نحو نصف جليدها المتراكم من خلال التلاشي السطحي، وتفقد النصف الآخر عن طريق الانفصال. ومن ناحية أخرى، تفقد منطقة القطب الجنوبي جميع التراكم فيها تقريباً نتيجة للانفصال والانصهار تحت السطح من جروفها الجليدية الإضافية. وتطفو الجروف الجليدية، ومن ثم فإن فقدانها لا ينطوي إلا على تأثيرات مباشرة طفيفة على مستوى سطح البحر، إلا أنها يمكن أن تحدث تأثيراً غير مباشر على مستوى سطح البحر من خلال تغيير ميزانية كتلة الصفائح الجليدية الأصلية (انظر أدناه).

وفي شرق القارة القطبية الجنوبية، تشير بعض الدراسات التي تستخدم مقاييس الارتفاع الرادارية الساتلية إلى تزايد سقوط الثلوج، إلا أن النمذجة الأخيرة للغلاف الجوي والمقاييس الساتلية للتغيرات في الجاذبية لا تظهر أي زيادة كبيرة. وقد يعزى السبب في هذا الاختلاف الواضح إلى أن الصغر النسبي للتغيرات الطويلة الأجل يخفي تقلبية شديدة فيما بين السنوات فيما يتعلق بسقوط الثلوج. وتشير الإسقاطات إلى حدوث زيادة كبيرة في القرن الحادي والعشرين في سقوط الثلوج في القطب الجنوبي، وذلك بالدرجة الأولى لأن الغلاف الجوي الحار سيكون قادراً على حمل المزيد من الرطوبة إلى المناطق القطبية. والأرجح أن التغيرات الإقليمية في دوران الغلاف الجوي تضطلع بدور ثانوي في هذا المجال. وبالنسبة للصفائح الجليدية للمنطقة القطبية الجنوبية بأكملها، فيتوقع أن تسهم هذه العملية بما يتراوح بين صفر و70 مم في انخفاض مستوى سطح البحر.

وفي الوقت الحاضر، تعد درجات حرارة الهواء حول القارة القطبية الجنوبية بالغة البرودة لحدوث تلاش سطحي كبير. غير أن الرصدات الميدانية والساتلية تشير إلى زيادة التدفقات الخارجية - التي تظهر في شكل انخفاض في مستوى السطح - الجليد - في عدد قليل من المناطق الساحلية المحلية. فهذه المناطق (جزيرة بين وأنهار ثويتس الجليدية في غرب منطقة القطب الجنوبي، والأنهار الجليدية لتوتن وكوك في شرق القارة القطبية الجنوبية) تقع كلها في حدود منخفضات أساسية يصل عمقها إلى كيلومتر صوب حافة الجرف القاري للقطب الجنوبي. ويعتقد أن الزيادة في التدفق الخارجي قد انطلقت نتيجة للتغيرات الإقليمية في دوران المحيطات مما وصل بالمياه الحارة إلى ملامسة جروف الجليد الطافية.

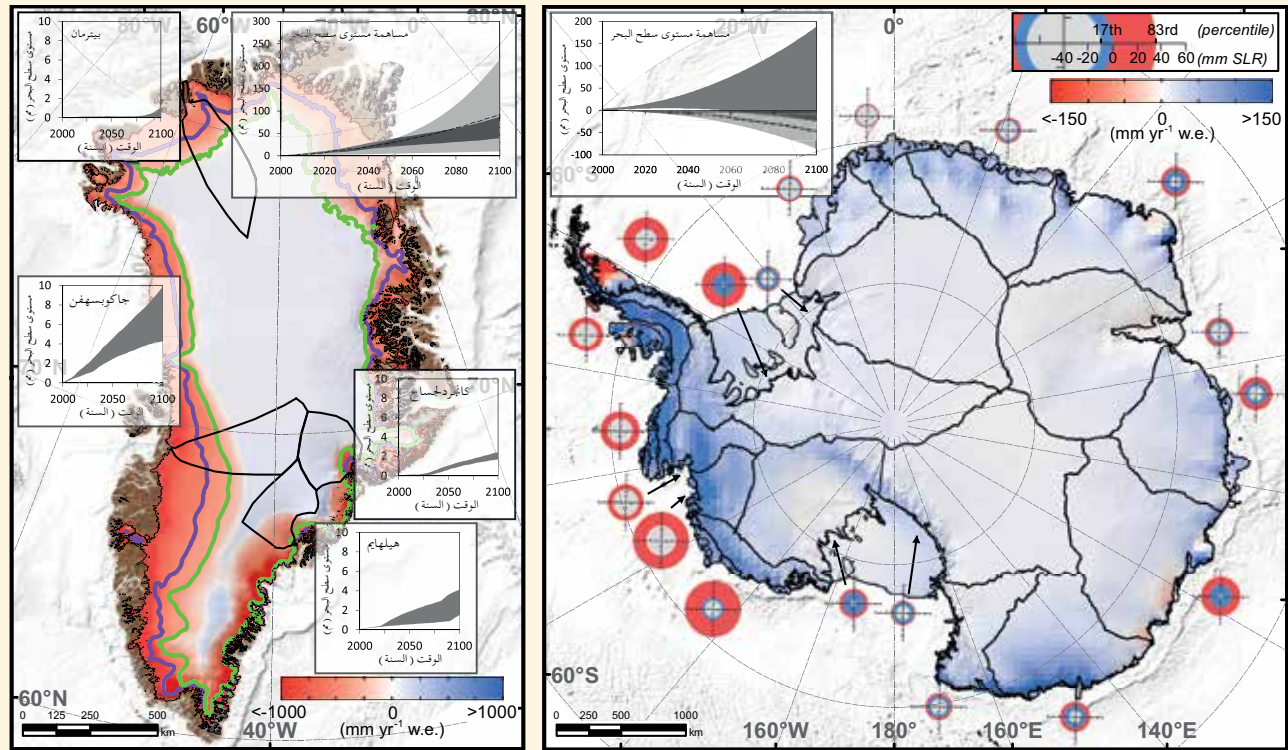
ويوجد في المناطق الشمالية من شبه الجزيرة القطبية الجنوبية، سجل حسن التوثيق عن أنهيار جرف جليدي يبدو أنه مرتبط بزيادة الانصهار السطحي الناشئ عن احتراق الغلاف الجوي خلال العقود الأخيرة. وقد كان للتخفيف اللاحق لسماك الأنهار الجليدية المنصرفة في هذه الجروف الجليدية تأثير إيجابي، وإن كان طفيفاً، على مستوى سطح البحر مثلما تحققه أي أحداث مماثلة أخرى على شبه الجزيرة. وتشير الإسقاطات الإقليمية لتغير درجات حرارة الغلاف الجوي في القرن الحادي والعشرين إلى أن هذه العملية لن تؤثر على الأرجح في استقرار الجروف الجليدية الكبيرة في كل من غرب وشرق منطقة القطب الجنوبي وإن كانت هذه الجروف قد تتعرض للخطر من جراء التغير المحيطي في المستقبل (انظر أدناه).

وتتباين تقديرات مساهمة الصفائح الجليدية للمنطقة القطبية الجنوبية في مستوى سطح البحر خلال العقود القليلة الماضية تبايناً شاسعاً، إلا أنه قطعت مؤخراً خطوات كبيرة لإحداث توافق مع الرصدات. وثمة أدلة قوية على أن التدفق الخارجي المعزز (في غرب المنطقة القطبية الجنوبية بالدرجة الأولى) يتجاوز حالياً أي زيادة في تراكم الثلوج (في شرق المنطقة القطبية الجنوبية بالدرجة الأولى) مما ينطوي على اتجاه صوب ارتفاع مستوى سطح البحر. وقبيل وضع إسقاطات يعتمد عليها للتدفقات الخارجة خلال القرن الحادي والعشرين بقدر أكبر من الثقة، يتعين تحسين النماذج التي تستخدم في محاكاة تدفق الجليد وخاصة فيما يتعلق بأي تغيرات في خط التلاقي الذي يفصل الجليد الطافي القائم على صخور القاع، والتفاعلات بين الجروف الجليدية والمحيطات. ويستند مفهوم «عدم استقرار الصفائح الجليدية البحرية» إلى فكرة أن التدفق إلى الخارج من الصفائح الجليدية المركزة على صخور القاع دون زيادات في مستوى سطح البحر عندما يكون الجليد عند

خط التلاقي أكثر سمكاً، ومن ثم أسرع في الصخور القاعية التي تنحدر هبوطياً صوب داخل الصفائح الجليدية مما يؤدي إلى إحداث حلقة مفرغة من الزيادة في التدفقات الخارجة الأمر الذي يتسبب في أن تقليل سمك الجليد عند خط التلاقي ويأخذ في الطفو. ويتراجع خط التلاقي بعد ذلك إلى أسفل المنحدرات حيث طبقة الجليد الأكثر كثافة ثم يدفع بدوره المزيد من الزيادات في التدفق الخارج. ويمكن أن يسفر هذا التأثير التفاعلي عن حدوث فقدان سريع لأجزاء من الصفائح الجليدية، مع تراجع خط التلاقي على طول الأحواض المنخفضة والأحواض التي تتعمق نحو داخل الصفائح الجليدية.

ويمكن أن تطلق التأثيرات القسرية لمناخ المستقبل انهياراً غير مستقر قد يستمر عندئذ بصورة مستقلة عن المناخ. وقد يتكشف هذا الانهيار المحتمل على مدى قرون ليكون مناطق منخفضة من طبقات صخرية منفردة في غرب المنطقة القطبية الجنوبية وقطاعات من شرق المنطقة القطبية الجنوبية. ويتركز الكثير من البحوث على فهم مدى أهمية هذا المفهوم النظري لهذه الصفائح الجليدية. وقد يرتفع مستوى سطح البحر عندما تصبح تأثيرات عدم الاستقرار البحري مهمة، إلا أنه لا تتوافر أدلة كافية في الوقت الحاضر لتحديد سليفة هذا التراجع غير المستقر بصورة لا غموض فيها. ويتوقع أن يسهم التدفق الخارج بين 20- (أي الانخفاض) و185 مم في ارتفاع مستوى سطح البحر بحلول العام 2100، على الرغم من أن تأثير عدم استقرار الصفائح الجليدية البحرية الذي يكتنفه عدم اليقين قد يزيد هذا الرقم ببضعة أضعاف من المتر. وعموماً، يبدو أن الزيادة في سقوط الثلوج سوف تعوض جزئياً فقط الارتفاع في مستوى سطح البحر نتيجة لزيادة التدفق الخارج.

وفي غرينلاند، يغلب فقدان الكتلة من خلال زيادة التلاشي السطحي والتدفق الخارج على اتجاه التغيير الأخير المحتمل صوب زيادة التراكم في الداخل. فقد تضاعفت تقديرات فقدان الكتلة نتيجة التلاشي السطحي منذ أوائل تسعينيات القرن الماضي. ويتوقع أن يستمر هذا الاتجاه خلال القرن القادم مع تعرض المزيد من الصفائح الجليدية للتلاشي السطحي لفترات أطول. والواقع أن الإسقاطات المتعلقة بالقرن الحادي والعشرين تشير إلى أن زيادة فقدان الكتلة سوف تسيطر على التراكم المتزايد أسبوعياً. وتوفر عملية إعادة تجمد الماء المنصهر التي تبرز على الصفائح الجليدية تأثيرات مخففة هامة (وإن كانت ربما مؤقتة) على العلاقة بين احترار الغلاف الجوي وفقدان الكتلة.



السؤال 13.2، الشكل 11 تجميع توضيحي للتغيرات المتوقعة في SMB. والتدفق الخارجي بحلول عام 2100 بالنسبة لما يلي (أ) الصفائح الجليدية لغرينلاند و(ب) الصفائح الجليدية لمنطقة القطب الجنوبي. وتشير الألوان المبينة على الخرائط إلى تغير SMB المتوقع فيما بين بداية ونهاية القرن الحادي والعشرين باستخدام النموذج المناخي للغلاف الجوي الإقليمي (RACMO2) في إطار سيناريوهات الاحترار في المستقبل AIB (المنطقة القطبية الجنوبية) و RCP4.5 (غرينلاند). فبالنسبة لغرينلاند، ترد مواقع متوسط خط التوازن خلال كل من هذه الفترات الزمنية باللونين الأرجواني والأخضر على التوالي. وتبين حدود الصفائح الجليدية وخطوط التلاقي بالخطوط السوداء مثلما هو الحال بالنسبة لقطاعات الصفائح الجليدية. وبالنسبة لغرينلاند، ترد نتائج نمذجة خط التدفق لأربعة منافذ أنهار جليدية رئيسية في شكل إضافات في حين تجسد الحلقات الملونة في المنطقة القطبية الجنوبية التغيير المتوقع في التدفق الخارج استناداً إلى الاستنتاج الاحتمالي للاتجاهات المرصودة. ويشير نصف القطر الخارجي والداخلي لكل حلقة إلى الحدود العليا والسفلى لثلاثي النطاق المرجح للمساهمة على التوالي (المستوى العلوي إلى اليمين)، ويشير اللون الأحمر إلى فقدان الكتلة (ارتفاع مستوى سطح البحر) في حين يشير اللون الأزرق إلى الزيادة في الكتلة (انخفاض مستوى سطح البحر). وأخيراً، تبين المساهمة في مستوى سطح البحر لكل صفحة من الصفائح الجليدية (الإضافة توجد في الخرائط أعلاه) مع إشارة اللون الرمادي الفاتح إلى SMB (ترد التجربة النموذجية المستخدمة لإنتاج خريطة SMB في شكل خط متقطع) والرمادي الداكن إلى التدفق الخارج. وتشير الإسقاطات إلى نطاق احتمالية إثنان في ثلاثة عبر جميع السيناريوهات.

وعلى الرغم من أن الاستجابة المرصودة لمناخ الأنهار الجليدية معقدة وشديدة التقلبية، زاد إنفصال الجبال الجليدية من الكثير من منافذ الأنهار الجليدية الرئيسية في غرينلاند زيادة كبيرة خلال العقد الأخير، ويشكل فقداناً إضافياً كبيراً للكتلة. ويبدو أن ذلك يتعلق بولوج الماء الحار في البحار الساحلية حول غرينلاند إلا أن من غير الواضح ما إذا كانت هذه الظاهرة تتعلق بالتقلبية فيما بين العقود مثل تذبذبات شمال الأطلسي أو الاتجاه الأطول مدى المرتبط بالاحتراق المستحث من غازات الاحتباس الحراري. ولذا فإن توقع تأثيره على التدفق الخارج في القرن الحادي والعشرين أمر صعب، إلا أنه يبرز الحساسية للتدفق الخارج بالنسبة لاحتراق المحيطات. وقد تؤدي تأثيرات زيادة الماء السطحي الناتج عن الانصهار على قاع الصفائح الجليدية وقدرة الجليد الأكثر احتراقاً على التشويه بصورة أيسر إلى زيادة معدلات التدفق، إلا أن الصلة بالزيادات الأخيرة في التدفق الخارج غير واضحة. ويتوقع أن يسهم التغير في الفروق الصافية بين التلاشي السطحي والتراكم بما يتراوح بين 10 و160 مم في الارتفاع في مستوى سطح البحر في الفترة 2081-2100 (مقابل الفترة 1986-2005) في حين أنه يتوقع أن تسهم الزيادة في التدفق الخارج بمعدل آخر يتراوح بين 10 و70 مم (الجدول 13.5).

وقد أسهمت الصفائح الجليدية لغرينلاند في ارتفاع المتوسط العالمي لمستوى سطح البحر خلال العقود القليلة الأخيرة، ويتوقع أن يزداد هذا الاتجاه خلال هذا القرن. وخلافاً للقطب الشمالي، لا يوجد في غرينلاند أي وجه من أوجه عدم الاستقرار الواسعة النطاق المعروفة قد تؤدي إلى تحقيق زيادة مفاجئة في ارتفاع مستوى سطح البحر خلال القرن الحادي والعشرين. غير أنه قد يوجد حد أقصى ومن ثم فإن استمرار التقلص قد يصبح أمراً لا رجعة فيه خلال النطاقات الزمنية المتعددة القرون، حتى إذا ما عاد المناخ إلى حالته قبل عصر الصناعة خلال النطاقات الزمنية للقرون. وعلى الرغم من أن فقدان الكتلة من خلال إنفصال الجبال الجليدية قد يتزايد في العقود القادمة، فإن هذه العملية سوف تنتهي في نهاية المطاف عندما تتراجع حدود الجليد إلى الصخور القاعية فوق مستوى سطح البحر حيث يوجد الجزء الأكبر من الصفائح الجليدية.

السؤال 14.1 | كيف يؤثر تغير المناخ في الرياح الموسمية؟

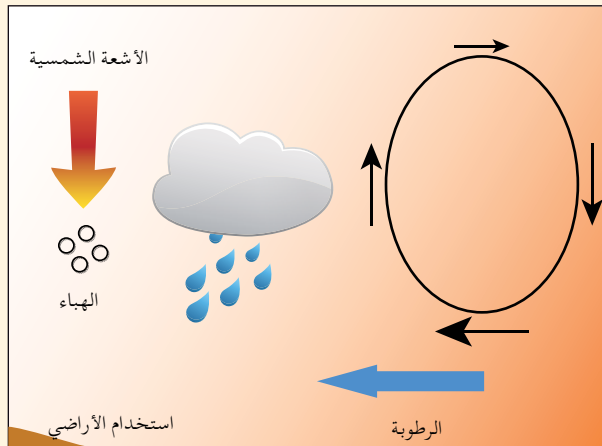
تعد الرياح الموسمية أهم طريقة للتقلبية المناخية الموسمية في المناطق المدارية، وهي مسؤولة عن جزء كبير من كميات الأمطار السنوية التي تسقط في الكثير من المناطق. وتتعلق قوة هذه الرياح وتوقيتها بمقدار الرطوبة في الغلاف الجوي، والفرق في درجات الحرارة بين اليابسة والبحار، والغطاء الأرضي واستخدامات الأراضي، وحمولات الغلاف الجوي من الهباء، وغير ذلك من العوامل. وعموماً من المسقط أن تصبح الأمطار الموسمية أكثر غزارة في المستقبل، وأن تؤثر في مناطق شاسعة بالنظر إلى أن نسبة الرطوبة في الغلاف الجوي تزداد مع ارتفاع درجات الحرارة. غير أن التأثيرات المحلية لتغير المناخ على قوة الرياح الموسمية الإقليمية وتقلبيتها مسألة معقدة ومحاطة بقدر كبير من عدم اليقين.

وتسقط الأمطار الموسمية على جميع القارات المدارية: آسيا وأستراليا والأمريكتين وأفريقيا. وينتج دوران الرياح الموسمية عن الفرق في درجات الحرارة بين اليابسة والبحار، وهي الدرجات التي تتباين موسمياً مع توزع حرارة الشمس. وتعتمد مدة سقوط الأمطار وكميتها على نسبة الرطوبة في الهواء وعلى تشكيل وقوة دوران الغلاف الجوي. كما يضطلع التوزيع الإقليمي للأراضي والمحيطات والتضاريس بدور في ذلك، فهضبة التبت، مثلاً، عدلت من جراء تقلبات غطاءها الثلجي وحرارة سطحها، قوة نظم الرياح الموسمية الآسيوية المعقدة. وحيثما ترتفع رطوبة الرياح أمام الساحل عن الجبال، كما يحدث في جنوب غرب الهند، تزداد كثافة الأمطار الموسمية. وتقل على الجانب الآخر من هذه السلسلة من الجبال.

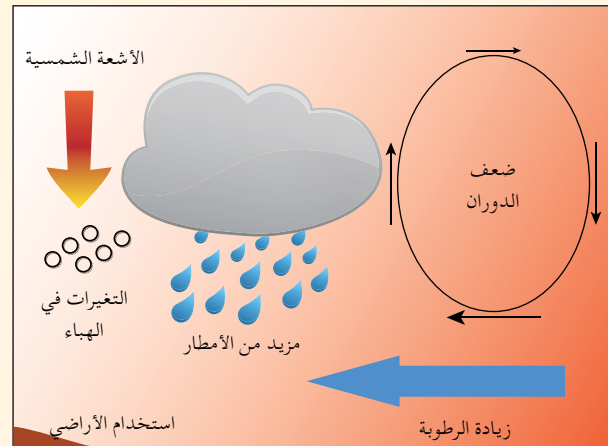
ومنذ أواخر سبعينيات القرن الماضي، أخذت الرياح الموسمية الصيفية في شرق آسيا في الضعف، ولا تصل إلى الشمال كما كانت تفعل في الأزمنة السابقة وذلك نتيجة للتغيرات في دوران الغلاف الجوي. وقد أدى ذلك بدوره إلى زيادة الجفاف في شمال الصين إلا أنها تسببت في فيضانات في وادي نهر يانغتسي الواقع إلى الجنوب. وعلى العكس من ذلك، لم تظهر نظم الرياح الموسمية الهندية - الأسترالية الواقعة غرب المحيط الهادئ أي اتجاهات تغير متساوية منذ منتصف القرن العشرين إلا أنها تعدلت كثيراً من جراء التذبذب الجنوبي - النينيو (ENSO). كما ارتبطت التغيرات المرصودة في نظام الرياح الموسمية في أمريكا الجنوبية خلال العقود القليلة الماضية بشدة بتقلبية التذبذب الجنوبي - النينيو. والأدلة محدودة عن اتجاهات التغير في نظام الرياح الموسمية في أمريكا الشمالية وإن كان قد رصد اتجاه صوب زيادة غزارة الأمطار في الجزء الشمالي من منطقة الرياح الموسمية الرئيسية. ولم ترصد أي تغيرات منتظمة طويلة الأجل في سلوك الرياح الموسمية الهندية أو الأفريقية.

ويحترق سطح اليابسة بأسرع مما يحدث بالنسبة لسطح المحيطات مما يزيد من التناقض في درجات الحرارة السطحية في معظم الأقاليم. غير أن الدوران الانقلابي للغلاف الجوي المداري يتباطأ في المتوسط مع احترار المناخ نتيجة لقيود توازن الطاقة في الغلاف الجوي المداري. وتؤدي هذه التغيرات في دوران الغلاف الجوي إلى تغيرات إقليمية في شدة الرياح الموسمية، ومنطقتها وتوقيتها. وثمة عدد من التأثيرات الأخرى بشأن الكيفية التي يؤثر بها تغير المناخ في الرياح الموسمية. وتتباين حرارة السطح مع كثافة امتصاص الأشعة الشمسية، التي تتأثر بدورها

(أ) الوقت الحاضر



(ب) المستقبل



السؤال 14.1، الشكل 1 | شكل تخطيطي يوضح الطرائق الرئيسية التي تؤثر بها الأنشطة البشرية على الأمطار الموسمية. فعندما يحترق المناخ، يتزايد انتقال بخار الماء من المحيطات إلى اليابسة بالنظر إلى أن الهواء الأكثر احتراراً يحتوي على قدر أكبر من بخار الماء. ويزيد ذلك أيضاً من احتمالات سقوط الأمطار الغزيرة. وتؤثر التغيرات المتصلة بالاحترار في الدوران الواسع النطاق في قوة ومدى الدوران الشامل للأمطار الموسمية. كما يمكن أن يؤثر تغير استخدام الأراضي وحمولة الهباء في الغلاف الجوي في كمية الأشعة الشمسية التي يمتصها الغلاف الجوي والأرض، ويمكن أن يخفف من الفروق في درجات الحرارة بين اليابسة والبحار.

بأي تغيرات في استخدام الأراضي في عاكسية (ألبيدو) سطح اليابسة. كما أن تغير حمولة الغلاف الجوي من الهباء مثل تلوث الهواء تؤثر في كمية الأشعة الشمسية التي تصل إلى الأرض مما يمكن أن يغير دوران الرياح الموسمية بتغيير الحرارة الشمسية الصيفية لسطح اليابسة. ومن ناحية أخرى، فإن امتصاص الأشعة الشمسية بواسطة الهباء الجوي يؤدي إلى احتراق الغلاف الجوي مما يغير من توزيع الحرارة فيه.

ويتمثل أقوى تأثير لتغير المناخ على الرياح الموسمية في زيادة رطوبة الغلاف الجوي المرتبطة بزيادة درجة حرارته، مما يؤدي إلى زيادة في إجمالي سقوط الأمطار الموسمية حتى إذا ضعفت قوة دوران الرياح الموسمية، أو بقيت دون تغيير.

وتوضح إسقاطات النموذج المناخي لإجمالي سقوط الأمطار الموسمية خلال القرن الحادي والعشرين زيادة في مجموع كميات الأمطار الموسمية وذلك إلى حد كبير بسبب الزيادة في نسبة الرطوبة في الغلاف الجوي. ويتوقع أن تزداد مساحة السطح الكلية المتأثرة بالرياح الموسمية جنباً إلى جنب مع توسع عام في المناطق المدارية صوب القطبين. وتشير إسقاطات النماذج المناخية إلى زيادة تتراوح بين 5 في المائة وما يقرب من 15 في المائة في كمية الأمطار الموسمية العالمية بحسب السيناريوهات. وفي حين أن مجموع الأمطار الموسمية المدارية سيزداد، سوف تتلقى بعض المناطق كميات أقل من الأمطار الموسمية نتيجة لضعف دوران الرياح المدارية. ومن المرجح أن تكون تواريخ بداية الرياح الموسمية مبكرة أو دون تغير كبير، ومن المرجح أن يتأخر تراجع تواريخ الرياح الموسمية مما يؤدي إلى إطالة فصل الأمطار الموسمية.

وتظل اتجاهات التغير الإقليمية للمستقبل في شدة الرياح الموسمية وتوقيتها مسألة غير مؤكدة في الكثير من أنحاء العالم. فالتقلبات من سنة لأخرى في الرياح الموسمية في كثير من المناطق المدارية تتأثر بالتذبذب الجنوبي ENSO. كيف إذا ستتغير هذه الظاهرة ENSO في المستقبل — وكيف سيتغير تأثيرها على الرياح الموسمية في المستقبل — هذه مسائل مازال يحيط بها عدم اليقين. غير أن الزيادة الشاملة المتوقعة في الأمطار الموسمية تشير إلى زيادة مقابلة في مخاطر أحداث الأمطار المتطرفة في معظم المناطق.

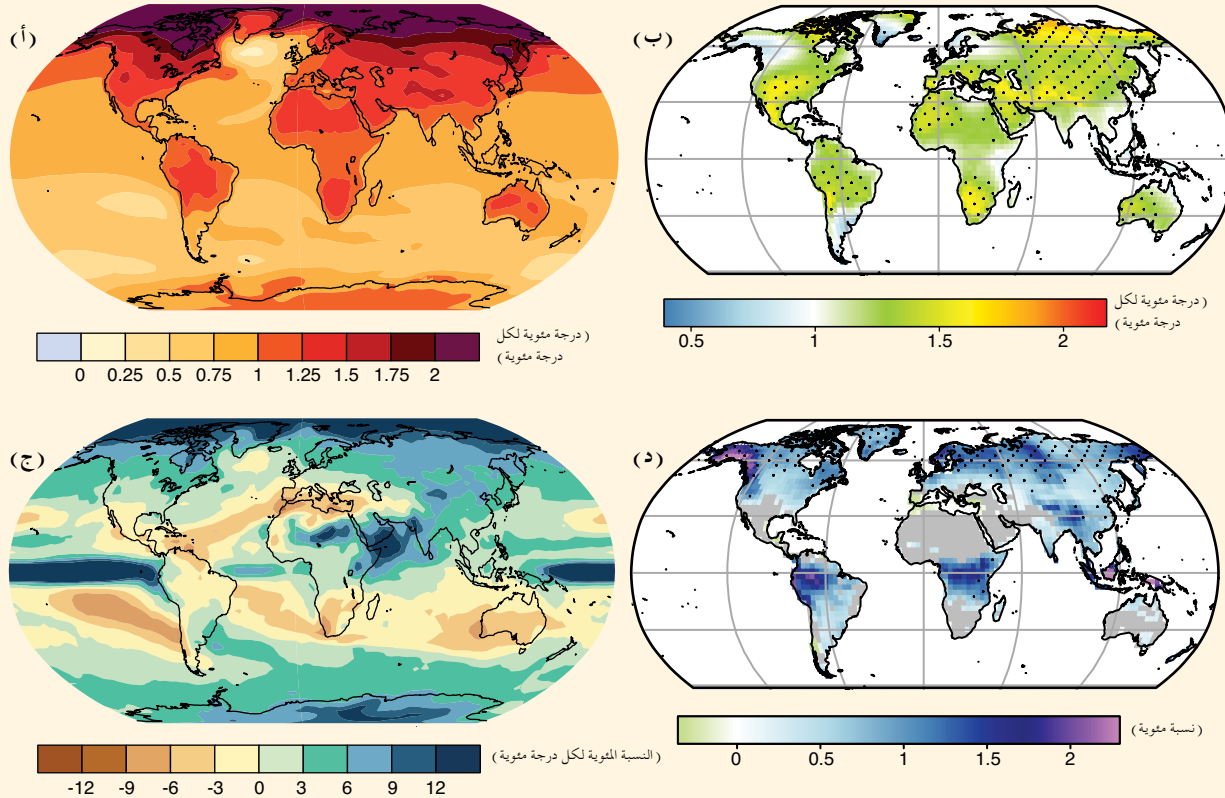
السؤال 14.2 | كيف ترتبط إسقاطات المستقبل للمناخ الإقليمي بإسقاطات المتوسطات العالمية؟

العلاقة بين تغير المناخ الإقليمي وتغير المتوسط العالمي علاقة معقدة. فأنواع المناخ الإقليمية تتباين تبايناً كبيراً مع تغير المكان ومن ثم تستجيب بصور مختلفة للتغيرات في التأثيرات على المستوى العالمي. ولذا فإن تغير المتوسط العالمي عبارة عن ملخص مبسط للكثير من الاستجابات المناخية الإقليمية المتنوعة.

والحرارة والرطوبة، والتغيرات فيهما غير موزعين بالتساوي فيما بين أقاليم العالم وذلك لعدة أسباب:

- التأثيرات القسرية الخارجية تتباين مكانياً (مثل اعتماد الأشعة الشمسية على خطوط العرض، وعلى انبعاثات الهباء من المصادر المحلية، والتغيرات الإقليمية في استخدام الأراضي وغير ذلك).
- الظروف السطحية تتغير بتغير المكان، مثل الاختلاف بين اليابسة والبحار، والتضاريس، ودرجات حرارة سطح البحر، ونسبة الرطوبة في التربة.
- تعيد نظم الطقس والتيارات المحيطية توزيع الحرارة والرطوبة من منطقة لأخرى.

وترتبط نظم الطقس بالظواهر المناخية المهمة إقليمياً، مثل، الرياح الموسمية، ومناطق الالتقاء المدارية، ومسارات العواصف والطرقات المهمة للتقلبية المناخية (مثل التذبذب الجنوبي - النينو (ENSO)، وتذبذب شمال الأطلسي (NAO) والنمط الحلقي الجنوبي (SAM) وغير ذلك). وعلاوة على تعديل الاحترار الإقليمي، تشير الإسقاطات أيضاً إلى أن بعض الظواهر المناخية ستتغير في المستقبل مما قد يؤدي إلى المزيد من التأثيرات على أنواع المناخ الإقليمية (انظر الجدول 14.3).



السؤال 14.2، الشكل 1 | التغيرات المسقط في القرن الحادي والعشرين في المتوسط السنوي والظواهر المتطرفة السنوية (على اليابسة) لدرجة حرارة الهواء وكميات الأمطار السطحية: (أ) متوسط درجة الحرارة السطحية لكل درجة مئوية من تغير المتوسط العالمي، (ب) المئين التسعين للحد الأقصى لدرجة الحرارة اليومية لكل درجة مئوية من المتوسط العالمي للحد الأقصى لدرجة الحرارة، (ج) متوسط كميات الأمطار (النسبة لكل درجة مئوية من المتوسط العالمي لتغير درجة الحرارة)، و(د) جزء من الأيام التي تتجاوز فيها كميات الأمطار المئين الخامس والتسعين. المصدر: اللوحان (أ) و(ج) التغيرات المسقط للمتوسطات بين 1986-2005 و2008-2100 من محاكاة المرحلة 5 من المشروع CM4.5 بموجب السيناريو RCP4.5 (انظر الفصل 12، الشكل 12.41). اللوحان (ب) و(د) التغيرات المتوقعة في الظواهر المتطرفة على اليابسة فيما بين 1980-1999 و2008-2100 (مقتبسة بتصرف من الشكلين 7 و12، وأرلوسكي وسينيفيرانت، 2012).

وتظهر إسقاطات درجة الحرارة وسقوط الأمطار السطحيين تباينات إقليمية شاسعة (السؤال 14.2، الشكل 1). ومن المسقط أن تحدث زيادة في احترار السطح في الأقاليم القارية على خطوط العرض المرتفعة ومحيط القطب الشمالي في حين ستكون التغيرات فوق المحيطات الأخرى وخطوط العرض المنخفضة قريبة من المتوسط العالمي (السؤال 14.2، الشكل 1 أ). وتشير الإسقاطات، مثلاً، إلى أن الاحترار بالقرب من منطقة البحيرات الكبرى في أمريكا الشمالية سوف يزيد بنحو 50 في المائة من الانخفاض في المتوسط العالمي للاحترار - كذلك تشاهد التقلبات الإقليمية الكبيرة في التغيرات المسقط لدرجات الحرارة الأكثر تطرفاً (السؤال 14.2، الشكل 1 ب). وتتسم التغيرات المسقط لكميات الأمطار بتقلبات إقليمية أكثر من التغيرات في درجات الحرارة (السؤال 14.2، الشكل 1 ج و د) نتيجة للتعديلات الناجمة عن الظواهر المناخية مثل الرياح الموسمية ومناطق الالتقاء المدارية. ومن المسقط أن يزيد متوسط كميات الأمطار عند خطوط العرض القريبة من خط الاستواء في حين أن من المسقط أن ينخفض متوسط كمية الأمطار في المناطق الواقعة على حدود المناطق دون المدارية المتجهة صوب القطبين. ومن المسقط أن يزيد متوسط كميات الأمطار في مناطق خطوط العرض المرتفعة، وعلى وجه الخصوص كميات الأمطار الأكثر تطرفاً من العواصف خارج المناطق المدارية.

وتبين المناطق القطبية التعقيدات التي تنطوي عليها العمليات المشتركة في تغيير المناخ الإقليمي. إذ يتوقع أن يزيد احترار القطب الشمالي بأكثر من المتوسط العالمي. ويرجع معظمه إلى أن انصهار الجليد والثلوج ينتج تأثيرات تفاعلية إقليمية من خلال إتاحة امتصاص المزيد من الحرارة من الشمس. ويؤدي ذلك إلى زيادة الاحترار مما يحفز المزيد من انصهار الجليد والثلوج. غير أن الاحترار المسقط فوق القارة القطبية الجنوبية والمحيطات المحيطة فهو أقل وضوحاً ويرجع ذلك جزئياً نتيجة لاتجاه التغير الإيجابي القوي في الطريقة السنوية الجنوبية. وقد زادت الرياح الغربية فوق المحيطات الجنوبية في خطوط العرض المتوسطة خلال العقود الأخيرة مدفوعة بالتأثيرات المجتمعة لفقدان الأوزون الستراتوسفيري فوق القطب الجنوبي والتغيرات في هيكل درجة حرارة الغلاف الجوي ذات الصلة بزيادة تركيزات غازات الاحتباس الحراري. وقد أدركت النماذج المناخية التغير في الطريقة السنوية الجنوبية، وأثرت بخفض انتقال حرارة الغلاف الجوي إلى القارة القطبية الجنوبية ومع ذلك فإن شبه جزيرة القطب الجنوبي مازالت تحت بسرعة بالنظر إلى أنها تمتد شمالاً بدرجة لا تتأثر فيها بالكتل الهوائية الحارة لحزام الرياح الغربية.

المسرد

المسرد

المحرر:
Serge Planton (فرنسا)

عند الاقتباس من هذا المسرد ينبغي الإشارة إليه على النحو التالي :

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC): المرفق الثالث: المسرد [Planton, S. (محرر)]. في تغير المناخ 2013: الأساس العلمي الفيزيائي. إسهام الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الخامس للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ [Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (محرر)], مطابع جامعة كمبريدج، كمبريدج، المملكة المتحدة ونيويورك، نيويورك / الولايات المتحدة الأمريكية.

ويسمى إجمالي التغير الإشعاعي الفعال الناتج عن التفاعلات بين الأهباء الجوية والسحب وبين الأهباء الجوية والأشعة القسرة الإشعاعي الفعال للأهباء الجوية (ERFari+aci). انظر أيضاً aerosol-radiation interaction.

التفاعلات بين الأهباء الجوية والأشعة (Aerosol-radiation interaction) هو تفاعل مباشر للأهباء الجوية مع الأشعة تنتج عنه تأثيرات إشعاعية. وفي هذا التقرير يجري التمييز بين مستويين من التأثير (أو الأثر) الإشعاعي:

القسر (أو الأثر) الإشعاعي الناتج عن التفاعلات بين الأهباء الجوية والأشعة (RFari) due to aerosol-radiation interactions (RFari) هو القسر الإشعاعي (أو الأثر الإشعاعي)، عندما يتولد الاضطراب داخلياً في اضطراب هوائي المنشأ كنتيجة مباشرة للتفاعلات بين الأهباء الجوية والأشعة، مع بقاء جميع المتغيرات البيئية دون تغيير. ويعرف عادة في الأعمال السابقة باسم القسر (أو الأثر) الإشعاعي المباشر للأهباء الجوية.

القسر (أو الأثر) الإشعاعي الفعال الناتج عن التفاعلات بين الأهباء الجوية والأشعة (RFari) due to (Radiative forcing (or effect) aerosol-radiation interactions (RFari) هو التأثير (أو الأثر) الإشعاعي النهائي للاضطراب الهوائي الجوي، بما في ذلك عمليات التكيف السريعة للتغير الأولي في الأشعة. وتشمل عمليات التكيف هذه التغيرات في السحب الناتجة عن أثر التسخين الإشعاعي على دوران الغلاف الجوي الواسع النطاق بفعل تيارات الحمل، الذي يعرف باسم التأثير (أو الأثر) شبه المباشر للأهباء الجوية.

ويعرف إجمالي القسر الإشعاعي الفعال الناتج عن كل من التفاعلات بين الأهباء الجوية والسحب والأهباء الجوية والأشعة بالتأثير الإشعاعي الفعال للأهباء الجوية (ERFari+aci). انظر أيضاً aerosol-cloud interaction.

زراعة الغابات (Afforestation) غرس غابات جديدة في أراض لم تكن تضم غابات فيما مضى. للاطلاع على مناقشة لمصطلح الغابة وما يتصل به من مصطلحات مثل زراعة الغابات، وإعادة زراعة الغابات، وإزالة الغابات، انظر التقرير الخاص بالهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن استخدام الأراضي والغابات، والتغير في استخدام الأراضي والغابات (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2000). انظر أيضاً التقرير المتعلق بالتعاريف والخيارات المنهجية لجرد الانبعاثات الناشئة مباشرة عن تأثير الأنشطة البشرية في تربي الغابات وإزالة الأنواع الأخرى من الغطاء النباتي (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2003).

الكسر المحمول جواً (Airborne fraction) ذلك الكسر من مجموع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (من الوقود الأحفوري والتغير في استخدامات الأراضي) المتبقي في الغلاف الجوي.

كتلة هوائية (Air mass) كتلة هوائية واسعة الانتشار ذات خواص متجانسة تقريباً (1) نشأت عندما كانت تلك الكتلة واقعة فوق إقليم معين من سطح الأرض، (2) وتحدث بها تعديلات معينة أثناء انتقالها بعيداً عن مصدرها (AMS, 2000).

الألبيدو [العاكسية] (Albedo) ذلك الجزء من الأشعة الشمسية الذي يعكسه سطح أو هدف ما، ويعبر عنه غالباً كنسبة مئوية. ويكون للأسطح المغطاة بالثلج قيمة الألبيدو مرتفعة، أما قيمة الألبيدو لأنواع التربة فهي تتراوح بين مرتفعة ومنخفضة، وتكون للأسطح المغطاة بغطاء خضري والمحيطات قيمة عاكسية منخفضة. وتتغير قيمة العاكسية لكوكب الأرض أساساً بتغير كمية الغيوم، والثلوج، والجليد، والمساحة المغطاة بأوراق الأشجار والتغيرات في الغطاء الأرضي.

القلوية (Alkalinity) مقياس لقدرة أي محلول مائي على معادلة الأحماض.

قياس الارتفاع (Altimetry) طريقة لقياس ارتفاع سطح الأرض بالنسبة إلى مركز الأرض الجيولوجي في نطاق إطار مرجعي محدد للأرض (مستوى سطح البحر الأرضي بالنسبة لمركز الأرض الجيولوجي).

Annular modes انظر Southern Annular Mode (SAM) و Northern Annular Mode (NAM).

بشري المنشأ (Anthropogenic) ناجم أو ناتج عن الأنشطة البشرية.

التذبذب/التقلبية المتعددة العقود في شمال الأطلسي (AMO/AMV) (Atlantic Multi-decadal Oscillation/Variability) تذبذب متعدد العقود (من 65 إلى 75 سنة) يحدث في شمال الأطلسي أظهرت

يعرف هذا المسرد مصطلحات معينة بالصورة التي أراد المؤلفون الرئيسيون أن تفسر بها تلك المصطلحات في سياق هذا التقرير. وتشير الكلمات المكتوبة باللون الأحمر بخط مائل إلى أن المصطلح معرف في المسرد.

التغير المناخي المفاجئ (Abrupt climate change) تغير على نطاق واسع في النظام المناخي يحدث خلال عدد قليل من العقود أو أقل من ذلك، ويستمر (أو يتوقع أن يستمر) لعدد قليل من العقود على الأقل، ويتسبب في حدوث اضطراب كبير في النظم البشرية والطبيعية.

الطبقة النشطة (Active layer) تلك الطبقة من اليابسة التي تتعرض لانصهار وتجمد سنوي في المناطق التي تعلو التربة الصقيعية.

Adjustment time انظر Lifetime. انظر أيضاً Response time.

التأق (Advection) انتقال الماء أو الهواء مع خصائصهما (مثل درجة الحرارة، المواد الكيميائية النزرة) بواسطة الرياح أو التيارات. وفيما يتعلق بالتمييز بين التأق والحمل الحراري بصفة عامة، يصف الاصطلاح الأول النقل الذي يحدث نتيجة حركة واسعة النطاق للغلاف الجوي أو المحيط، بينما يصف الحمل الحراري بصفة أساسية الحركة الرأسية المستحقة محلياً.

الأهباء الجوية (Aerosols) الجسيمات الصلبة أو السائلة المعلقة في الهواء، والتي يتراوح حجم حبيباتها عادة بين عدد قليل من النانومترا (النانومتر هو واحد من الف مليون 10^{-9}) من المتر) و10 ميكرومترا (الميكرومتر هو واحد من مليون من المتر 10^{-6}) وتظل معلقة في الغلاف الجوي لعدة ساعات على الأقل. ولغرض التيسير، يستخدم مصطلح (Aerosol) الهباء الجوي، الذي يشمل كلا من الجسيمات والوسط الغازي الذي هي معلقة فيه في هذا التقرير في أغلب الأحيان بصيغة الجمع للإشارة إلى الجسيمات المعلقة في الهباء. وتنشأ الأهباء الجوية بصورة طبيعية أو بفعل الأنشطة البشرية. وقد تؤثر الأهباء الجوية على المناخ بطرائق عديدة: بصورة مباشرة من خلال تشتيت الأشعة وامتصاصها (انظر aerosol-radiation interaction)، وغير مباشرة من خلال عملها كوى لتكثيف السحب أو نوى لتبلور الجليد، وتعديل الخصائص البصرية وعمر السحب (انظر aerosol-cloud interaction).

التفاعل بين الأهباء الجوية والسحب (Aerosol-cloud interaction) عملية يؤثر فيها اضطراب ما في الأهباء الجوية على الخواص الفيزيائية المجهرية وتطور السحب من خلال دور نظم الأهباء الجوية كوى تكثف السحب أو نوى تكوين الجليد، وخاصة بطرائق تؤثر في الأشعة أو تساقط الأمطار؛ ويمكن أن تشمل هذه العمليات أيضاً تأثير السحب وتساقط الأمطار على الأهباء الجوية. وقد ينجم اضطراب الأهباء الجوية عن أنشطة بشرية أو عن مصدر من المصادر الطبيعية. ويعزى الأثر الإشعاعي لهذه التفاعلات عادة للعديد من التأثيرات غير المباشرة للأهباء الجوية، غير أنه سيجري التمييز في هذا التقرير بين اثنين فقط من مستويات التأثير (أو الأثر) الإشعاعي.

القسر (أو الأثر) الإشعاعي الناتج عن التفاعلات بين الأهباء الجوية والسحب (RFaci) due to aerosol-radiation interactions (RFaci) هو التأثير (أو الأثر الإشعاعي)، الناتج عن اضطرابات تولد داخلياً نتيجة للتغير في عدد أو حجم توزيع قطرات السحب أو بلورات الجليد كنتيجة تقريبية لاضطراب الأهباء الجوية مع بقاء التغيرات الأخرى (وبخاصة التركيز الإجمالي للماء في السحب) متساوية. وفي السحب السائلة، تؤدي الزيادة في تركيز قطرات السحب والمساحة السطحية لها إلى زيادة الألبيدو السحب (cloud Albedo). ويسمى هذا التأثير أيضاً تأثير الألبيدو السحب، أو التأثير غير المباشر الأول، أو ظاهرة تومي. وهو مفهوم نظري إلى حد كبير يتعذر عزلة بسهولة في عمليات الرصد أو في نماذج العمليات الشاملة نتيجة للسرعة الزائدة لعمليات التكثيف السريع وشيوعها.

القسر (أو الأثر) الإشعاعي الفعال الناتج عن التفاعلات بين نظم الأهباء الجوية والسحب (ERFaci) (Effective radiative forcing (or effect) due to aerosol-cloud interactions (ERFaci) هو القسر (أو الأثر) الإشعاعي النهائي للاضطراب الناتج عن الهباء الجوي، بما في ذلك عمليات التكثيف السريع للتغير الأولي في معدل تكون القطرات أو البلورات. وتشمل عمليات التكثيف هذه التغيرات في قوة الحمل، أو كفاءة الترسب، أو الكسر السحابي، أو فترة البقاء (Life time)، أو تركيز الماء في السحب، وتكون أو تثبيط تكون السحب في المناطق النائية نتيجة تغير عمليات الدوران.

من **الغلاف الحيوي**، يتكون عادة من عدد من **النظم الإيكولوجية** (مثل الغابات، والأنهار، والبرك، والمستنقعات في إقليم معين). وتتميز المجتمعات الأحيائية بوجود مجتمعات نباتية وحيوانية معينة.

الغلاف الحيوي (البري والبحري) (Biosphere (terrestrial and marine)) هو ذلك الجزء من نظام الأرض المكون من جميع **النظم الإيكولوجية** والكائنات الحية في **الغلاف الجوي** وعلى سطح اليابسة (الغلاف الحيوي الأرضي)، أو في المحيطات (الغلاف الحيوي البحري)، بما في ذلك المواد العضوية الميتة الناشئة من كائنات حية، مثل النفايات والمواد العضوية الموجودة في التربة ومخلفات المحيطات.

الكربون الأسود (Black carbon (BC)) فصليل من **الأهباء الجوية** المعرف من ناحية التشغيل على أساس قياس الإمتصاص الضوئي والنشاط الكيميائي و/أو الاستقرار الحراري. ويشار إليه أحيانا باسم **السنج (soot)**.

مرتفع جوي مستقر (Blocking) يقترن هذا التعبير بوجود نظم ضغط مرتفع بطيئة الحركة ومستمرة تعوق حركة الرياح الغربية السائدة عند خطوط العرض المتوسطة والمرتفعة، والتقدم العادي نحو الشرق لنظم العواصف فوق المدارية العابرة. وهو أحد المكونات المهمة في **التقلبية المناخية** الموسمية في النظم دون المدارية ويمكن أن يسبب ظروفًا مناخية طويلة الأمد مثل الفترات الباردة في الشتاء و**موجات الحر** في الصيف.

دوران بريور-دوبسون (Brewer-Dobson circulation) الدوران الانقلابي الزوالي **لليستراتوسفير** الذي ينقل الهواء إلى أعلى في المناطق المدارية، وباتجاه القطبين نحو نصف الكرة الشمالي، وإلى أسفل عند خطوط العرض القطبية ودون القطبية. والقوة الدافعة لدوران بريور-دوبسون هي التفاعل بين الموجات الكوكبية التي تنتقل إلى أعلى ومتوسط التدفق.

الحمل (Burden) الكتلة الإجمالية للمواد الغازية المعنية في **الغلاف الجوي**.

النظير ¹³C **النظير المستقر للكربون ¹³C** الذي تبلغ قيمة وزنه الذري 13 تقريبا. وتستخدم قياسات النسبة ¹³C/¹²C في جزيئات **ثاني أكسيد الكربون** لاستنباط مدى أهمية **دوران الكربون** والعمليات المناخية المختلفة وحجم **مستودع** الكربون الأرضي.

النظير ¹⁴C **النظير غير المستقر للكربون ¹⁴C** الذي تبلغ قيمة وزنه الذري 14 تقريبا، وتبلغ فترة العمر النصفية له 5700 سنة وغالبا ما يستخدم هذا النظير لأغراض التأريخ التي ترجع إلى نحو 40000 سنة. ويتأثر تغيره مع الزمن بالمجالين المغنطيسيين للشمس والأرض، اللذين يؤثران على إنتاجه من الأشعة الكونية (انظر **Cosmogenic radioisotopes**).

انفصام جليدي (Calving) انفصال قطع جليدية مستقلة من **نهر جليدي** glacier، أو **صفحة جليدية** ice sheet أو **رف جليدي** ice shelf في بحيرة أو في مياه البحر، لتنتج جبلا جليدية عائمة. ويمثل هذا نوعا من فقدان الكتلة في أي جسم جليدي. (انظر أيضا **mass balance / budget (of glaciers or ice sheets)**).

الهباء الكربوني (Carbonaceous aerosol) **هباء جوي** يتكون في معظمه من مواد عضوية و**كربون أسود**.

دورة الكربون (Carbon cycle) يستخدم هذا المصطلح لوصف تدفق الكربون (بأشكاله المختلفة، مثل **ثاني أكسيد الكربون**) عبر **الغلاف الجوي**، والمحيطات، و**الغلاف الحيوي**، و**الغلاف الصخري** البري والبحري. ويستخدم هذا التقرير وحدة الغيغا طن كربون أو ما يكافئها بالببيكو طن كربون (10¹⁵ جرام).

ثاني أكسيد الكربون (Carbon dioxide (CO₂)) غاز موجود في الطبيعة، وهو أيضا أحد النواتج العرضية لاحتراق الوقود الأحفوري المستمد من الرواسب الكربونية الأحفورية، مثل النفط والغاز والفحم، و**لاحتراق الكتلة البيولوجية**، والتغيرات التي تطرأ على **استخدام الأراضي**، وغير ذلك من العمليات الصناعية (مثل إنتاج الأسمت). وهو **غاز الاحتباس الحراري الرئيسي الناشئ عن الأنشطة البشرية** الذي يؤثر على التوازن الإشعاعي للأرض. وهو الغاز الذي يتخذ مرجعا تقاس عليه غازات الاحتباس الحراري الأخرى، ومن ثم، فإن قدرته على رفع درجة الحرارة العالمية تكافئ 1.

التخصيب بثاني أكسيد الكربون (Carbon dioxide (CO₂) fertilization) تحسن نمو النباتات نتيجة لزيادة تركيز **ثاني أكسيد الكربون** في الغلاف الجوي.

إزالة ثاني أكسيد الكربون (Carbon Dioxide Removal (CDR)) تشير طرائق إزالة ثاني أكسيد الكربون إلى مجموعة من التقنيات التي تستهدف إزالة **ثاني أكسيد الكربون** من الغلاف الجوي مباشرة بإحدى الطريقتين التاليتين

فيه **درجات حرارة سطح البحر** أطواراً دافعة خلال الفترات من 1860 إلى 1880 ومن 1930 إلى 1960 تقريبا وأطواراً باردة خلال الفترة من 1905 إلى 1925 والفترة 1970 إلى 1990 في نطاق يبلغ 0.4 درجة مئوية تقريبا. انظر المعامل AMO، الإطار 2.5.

الغلاف الجوي (Atmosphere) الغلاف الغازي المحيط بالكرة الأرضية. يتكون الغلاف الجوي الجاف بصورة كلية تقريبا من النيتروجين (نسبة الخلط الحجمية 78.1 في المائة) والأكسجين (نسبة الخلط الحجمية 20.9 في المائة)، إلى جانب عدد من الغازات النزرة مثل الأرجون (نسبة الخلط الحجمية 0.93 في المائة)، والهيليوم، و**غازات الاحتباس الحراري** النشطة إشعاعيا مثل **ثاني أكسيد الكربون** (نسبة الخلط الحجمية 0.035 في المائة) و**الأوزون**. وإضافة إلى ذلك، يحتوي الغلاف الجوي على بخار الماء ضمن غازات الاحتباس الحراري التي يتباين مقدارها كثيرا من غاز لآخر، ولكنه يقارب عادة نسبة خلط حجمي تبلغ 1 في المائة. ويحتوي الغلاف الجوي أيضا على غيوم و**أهباء جوية**.

Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM) انظر **Climate model**.

الطبقة الحدودية للغلاف الجوي (Atmospheric boundary layer) طبقة الغلاف الجوي المتاخمة لسطح الأرض التي تتأثر بالاحتكاك بذلك السطح الحدودي، وربما ينقل الحرارة والتغيرات الأخرى عبر ذلك السطح (AMS, 2000). وتسمى المائة متر الدنيا من السطح الحدودي (10 في المائة تقريبا من سمك الطبقة الحدية السطحية أو الطبقة الحدية)، التي يسود فيها التوليد الميكانيكي للاضطراب الطبقة الحدية السطحية أو الطبقة السطحية.

Atmospheric lifetime انظر **Lifetime**

Attribution انظر **Detection and attribution**

التنفس بالامتصاص الذاتي (Autotrophic respiration) **تنفس** كائنات التمثيل الضوئي الذاتية الامتصاص (انظر **photosynthesis**) (مثل، النباتات والطحالب).

تزييلق قاعدي (Basal lubrication) تقليل الاحتكاك عند قاعدة **صفحة جليدية** أو **نهر جليدي** نتيجة لتزييلق الماء الناتج عن الانصهار. ويمكن أن يتيح هذا للنهر الجليدي أو الصفحة الجليدية الانزلاق فوق قاعدة النهر أو الصفحة. وقد ينتج ماء الانصهار عن الانصهار المستحث بالضغط أو الاحتكاك أو الحرارة الجوفية الأرضية، أو أن يؤدي الانصهار السطحي إلى تصريف الماء الناتج عن الانصهار إلى القاعدة من خلال الثقوب الموجودة في الجليد.

خط الأساس / المرجع (Baseline / reference) خط الأساس (أو المرجع) هو الحالة التي يقاس التغير على أساسها. وفترة خطط الأساس هي الفترة التي تحسب على أساسها حالات الشذوذ. وتركيز خط الأساس لأحد الغازات النزرة هو ذلك التركيز المقيس في مكان لا يتأثر بالانبعاثات المحلية الناتجة عن **الأنشطة البشرية**.

طريقة / نهج بايسيان (Bayesian method / approach) طريقة بايسيان هي طريقة لإجراء تحليل إحصائي لكمية (كميات) غير معلومة أو غير مؤكدة وتتم في خطوتين. أولا، يوضع مسبقا توزيع احتمالات للكمية (الكميات) غير المؤكدة على أساس المعارف القائمة (إما عن طريق طلب آراء الخبراء أو باستخدام البيانات والدراسات القائمة). وفي هذه المرحلة الأولية، قد يؤثر عنصر من العناصر غير الموضوعية على الاختيار، ولكن في الكثير من الحالات، يمكن اختيار التوزيع الاحتمالي المسبق بحيث يحقق أكبر قدر ممكن من التعادل، لكي لا يؤثر على النتيجة النهائية للتحليل. وفي الخطوة الثانية، تستخدم البيانات المكتسبة حديثا لتحديث التوزيع الاحتمالي المسبق وجعله توزيعا خارجيا. ويجري التحديث إما من خلال عملية حسابية تحليلية أو من خلال التقريب العددي، باستخدام نظرية وضعها عالم الرياضيات البريطاني (Thomas Bayes) (1702-1761) وسميت باسمه.

مضخة بيولوجية (Biological pump) عملية نقل الكربون من الطبقات السطحية للمحيط إلى أعماق المحيط عن طريق الإنتاج الأولي للعوالق النباتية، التي تحول الكربون غير العضوي الذائب (DIC) والعناصر الغذائية إلى مواد عضوية عن طريق **التمثيل الضوئي**. وهذه الدورة الطبيعية تتوقف أساسا على توفر الضوء والعناصر الغذائية، مثل الفوسفات، والنترات، وحمض السيليسيك، والمواد الغذائية النزرة، مثل الحديد. انظر أيضا **Solubility pump**.

الكتلة البيولوجية (Biomass) الكتلة الإجمالية للكائنات الحية في مساحة معينة أو حجم معين؛ ويمكن إدراج المواد النباتية الميتة ككتلة أحيائية ميتة. ويعرف حرق الكتلة البيولوجية بأنه حرق النباتات الحية والميتة.

مجتمع أحيائي (Biome) المجتمع الأحيائي عنصر إقليمي رئيسي ومتميز

التزام تغير المناخ (Climate change commitment) نتيجة للقصور الحراري للمحيطات والعمليات البيئية لسطحي **الغلاف الجليدي** واليابسة، سيستمر **المناخ** في التغير حتى وإن تم الحفاظ على ثبات تركيب الغلاف الجوي عند القيم السائدة اليوم. إن التغيرات التي حصلت فيما مضى في تركيب الغلاف الجوي تؤدي إلى تغير مناخ ملتزم به، يستمر ما دام اللاتوازن الإشعاعي مستمرا وإلى أن تتكيف مكونات **النظام المناخي** كافة مع الحالة الجديدة. وإذا استمرت التغيرات الأخرى في درجات الحرارة بعد تثبيت تركيب **الغلاف الجوي** فإنها تدعى درجة الحرارة الثابتة للمكونات أو بتعبير أبسط الاحتراز الملتزم به أو الاحتراز المعهود. ويشمل تغير المناخ الملتزم به تغيرات مستقبلية أخرى، مثل، **الدورة الهيدرولوجية** و**ظواهر جوية متطرفة**، و**ظواهر مناخية متطرفة**، و**تغير مستوى سطح البحر**. والالتزام بالانبعاثات الثابتة هو تغير المناخ الملتزم به الذي ينشأ عن تثبيت الانبعاثات البشرية المنشأ والتزام الانبعاثات الصخرية هو التزام متعلق بتغير المناخ عندما يتم تحديد الانبعاثات عند صفر. انظر أيضا **Climate change**.

التأثيرات التفاعلية للمناخ (Climate feedback) تفاعل يحدث فيه أي اضطراب في إحدى الكميات المناخية تغيرا في كمية أخرى، ويؤدي التغير في هذه الكمية الثانية في نهاية المطاف إلى تغير إضافي في الكمية الأولى. والتأثيرات التفاعلية السلبية هي تأثير تفاعلي يضعف فيه الاضطراب الأولي نتيجة ما يحدثه من تغيرات؛ أما التأثيرات التفاعلية الإيجابية فهي تأثير تفاعلي معزز. وفي هذا التقرير المخصص للتقييم، يستخدم غالبا تعريف ذو نطاق ضيق تكون فيه الكمية المناخية التي يحدث فيها اضطراب هي **المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية**، التي تسبب بدورها تغيرات في الميزانية الإشعاعية العالمية. وفي أي من الحالتين يمكن أن يحدث الاضطراب الأولي نتيجة أسباب خارجية ويمكن أيضا أن ينشأ كجزء من **التقلبية الداخلية**. انظر أيضا **Climate Feedback Parameter**.

بارامتر التأثير التفاعلي للمناخ (Climate Feedback Parameter) طريقة للتحديد الكمي للاستجابة الإشعاعية للنظام المناخي لتغير في **متوسط درجة الحرارة السطحية العالمية** مستحث بتأثير إشعاعي. وهو يتناسب عكسيا مع مقلوب **الحساسية المناخية الفعالة**. ويعرف بارامتر التأثير التفاعلي للمناخ رسميا بالعلاقة $a = \Delta Q / (\Delta T - \Delta F)$ بوحدة واط لكل متر مربع لكل درجة مئوية) ΔT هي المتوسط العالمي للتأثير الإشعاعي، ΔF هي المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية للهواء، F_0 هي تدفق الحرارة إلى المحيط، Δ تمثل التغير بالنسبة للمناخ غير المضطرب.

Climate forecast انظر **Climate prediction**

معامل المناخ (Climate index) متسلسلة زمنية تبني من التغيرات المناخية لتوفر موجزا تجميعيا لحالة **النظام المناخي**. فمثلا، غالبا ما يوفر الفرق بين الضغط عند مستوى سطح البحر في أيسلندا وفي جزر الأزور معاملا تاريخيا بسيطا ولكنه مفيد لمعامل **التذبذب في شمال المحيط الأطلسي (NAO)**. وبسبب خصائصها المثلى، غالبا ما تعرف المعاملات المناخية باستخدام مكونات رئيسية - مجموعات خطية لتغيرات مناخية في أماكن مختلفة تظهر الحد الأقصى للتغير رهنا بفيود معيارية معينة (مثل، معاملي **الأسلوب الحلقي الشمالي NAM** و**الأسلوب الحلقي الجنوبي SAM** اللذين يمثلان مكونين أساسيين في نصف الكرة الشمالي ونصف الكرة الجنوبي لحالتي شذوذ الضغط الشبكي، على التوالي). للإطلاع على ملخص لتعاريف معاملات الرصد المستخدمة، انظر الإطار 2.5. انظر أيضا **Climate pattern**.

النموذج المناخي (الطيف أو الهيكل الهرمي) (Climate model (spectrum or hierarchy)) تمثيل عددي للنظام المناخي قائم على الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لمكوناته وتفاعلاتها وعملياتها والتأثير التفاعلي وتحليل بعض خصائصه المعروفة. ويمكن تمثيل النظام المناخي بنماذج ذات درجات تعقيد مختلفة، وبعبارة أخرى، فإنه يمكن تحديد طيف أو هيكل هرمي من النماذج لأي مكون من المكونات أو لمجموعة من تلك المكونات وإن كانت تختلف في جوانب مثل، عدد الأبعاد المكانية ومدى تمثيل العمليات الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية بوضوح أو المستوى الذي يتم فيه إشراك عمليات تحديد **البارامترات** الأمبيريقية. وتوفر النماذج المتقارنة للدوران العام للغلاف الجوي والمحيطات (**AOGCMs**) تمثيلا يصل إلى قرب نهاية أو نهاية الطيف الأكثر شمولا متاح حاليا. وهناك تطور نحو النماذج الأكثر تعقيدا باستخدام الكيمياء والبيولوجيا التفاعليتين. وتستخدم النماذج المناخية كأداة بحثية لدراسة ومحاكاة **المناخ** وفي الأغراض التشغيلية، بما في ذلك التنبؤات المناخية الشهرية والفصلية وتلك الخاصة بفترات ما بين السنوات. انظر أيضا **Earth System Model**، و**Earth-System Process Model of Intermediate Complexity**، و**Energy Balance Model**، و**term Model of Intermediate Complexity**، و**Semi-empirical model**، و**Based Model**، و**Regional Climate Model**.

(1) زيادة **المغائض** الطبيعية للكربون، أو (2) استخدام الهندسة الكيميائية لإزالة ثاني أكسيد الكربون، من أجل خفض تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. وتستخدم طرائق إزالة ثاني أكسيد الكربون المحيط، واليابسة، والنظم التقنية، بما في ذلك طرائق مثل **التخصيب بالحديد**، و**زراعة الغابات** على نطاق واسع، والافتناص المباشر لثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي باستخدام وسائل هندسية كيميائية. وتندرج بعض طرائق إزالة ثاني أكسيد الكربون تحت فئة **الهندسة الأرضية**، على الرغم من أن ذلك قد لا ينطبق على الطرائق الأخرى، ويستند التمييز هنا إلى شدة، ونطاق، وتأثير أنشطة معينة لإزالة ثاني أكسيد الكربون. والفرق بين إزالة ثاني أكسيد الكربون و**التخفيف** من تأثيره غير واضح وقد يكون هنالك بعض التداخل بين التعريفين الحاليين (IPCC, 2012)، الصفحة 2). انظر أيضا **Solar Radiation Management (SRM)**.

CFC انظر **Halocarbons**

مضطرب (Chaotic) قد يظهر **نظام دينامي**، مثل **نظام المناخ**، تحكمه معادلات محددة غير خطية (انظر **اللاخطية**) سلوكا مضطربا أو مشوشا بمعنى أن حدوث تغييرات طفيفة للغاية في الحالة الأولية للنظام في الوقت المناسب قد يؤدي إلى حدوث تغييرات كبيرة ولا يمكن التنبؤ بها فيما يبدو في تطوره الزمني. ويحدد هذا السلوك المشوش من **إمكانية التنبؤ** بحالة أي نظام دينامي لاخطي في أوقات معينة في المستقبل، رغم أن التغيرات في إحصاءاته قد تظل قابلة للتنبؤ في ضوء التغير في بارامترات النظام أو ظروفه الحدودية.

فحم نباتي (Charcoal) مادة تنتج عن الاحتراق الجزئي **للكتلة الحيوية bio-mass**، والتي تظل عادة محتفظة ببعض المظاهر المعتادة للأنسجة النباتية؛ ومن حيث التركيب الكيميائي يتكون الفحم النباتي أساسا من الكربون المحتوي على بعض البنى المشوهة المميزة له، في وجود كميات أقل من الأكسجين والهيدروجين.

التأريخ (Chronology) ترتيب الأحداث بحسب تواريخ أو أوقات حدوثها.

رزغة (الميثان) (Clathrate (methane)) خليط حمائي متجمد جزئيا من غاز **الميثان** والجليد، يوجد عادة في الرواسب.

معادلة / علاقة كلاوزياس - كلايرون (Clausius-Clapeyron equation / relationship) العلاقة الدينامية الحرارية بين التغيرات الطيفية التي تحدث في درجات الحرارة والضغط البخاري في نظام متزن يحتوي على أطوار مكثفة. وبالنسبة للغازات المنزلة، مثل بخار الماء، تعطي هذه العلاقة الزيادة في الضغط البخاري عند الاتزان (أو التشبع) لكل وحدة تغير في درجة حرارة الهواء.

المناخ (Climate) يعرف المناخ بمعناه الضيق عادة بأنه متوسط الطقس، أو بتعبير أدق، بأنه الوصف الإحصائي لمتوسط وتقلبية الكميات ذات الصلة خلال فترة زمنية تتراوح بين أشهر وآلاف أو ملايين السنين. والفترة التقليدية لتحديد متوسط هذه التغيرات هي 30 عاما، حسبما حددتها المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO). وغالبا ما تكون هذه الكميات متغيرات سطحية، مثل درجات الحرارة، وكميات الأمطار، والرياح. والمناخ، بمعناه الأعم، هو تعبير عن حالة **النظام المناخي** تشمل وصفا إحصائيا.

التأثير التفاعلي لدورة المناخ - الكربون (Climate-carbon cycle feedback) تأثير تفاعلي يتعلق بالتغيرات في خواص **دورة الكربون** على اليابسة وفي المحيط استجابة لتغير المناخ. ففي المحيط، يمكن أن تؤثر التغيرات في درجة حرارة المحيط ودورانه في تدفق ثاني أكسيد الكربون بين الغلاف الجوي والمحيط؛ وعلى القارات، يمكن أن يؤثر تغير المناخ على التمثيل الضوئي في النباتات وعلى التنفس الميكروبي في التربة ومن ثم على تدفق ثاني أكسيد الكربون بين الغلاف الجوي واليابسة.

تغير المناخ (Climate change) يشير مصطلح تغير المناخ إلى حدوث تغير في حالة **المناخ** يمكن التعرف عليه (باستخدام اختبارات إحصائية، مثلا) ناتج عن تغير في متوسط خصائصه و/أو تقلبيته، ويدوم ذلك لفترة ممتدة تبلغ عادة عقودا أو أطول من ذلك. وقد يعود تغير المناخ إلى عمليات داخلية طبيعية أو **تأثيرات خارجية** مثل التغيرات التي تحدث في **الدورة الشمسية**، والانفجارات البركانية والتغيرات المستمرة الناتجة عن الأنشطة البشرية في تركيب **الغلاف الجوي** أو في استخدام الأراضي. ويلاحظ أن اتفاقية الأمم المتحدة **الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC)** تعرف التغير المناخي في المادة الأولى منها بأنه التغير في المناخ الذي يعزى بصورة مباشرة أو غير مباشرة إلى النشاط البشري الذي يغير من التركيب الكيميائي للغلاف الجوي على الصعيد العالمي والذي يكون إضافة إلى **التقلبية في المناخ** الطبيعي الملاحظة خلال فترات زمنية ماثلة. وعلى ذلك فإن الاتفاقية **الإطارية** تميز بين تغير المناخ الذي يعزى إلى الأنشطة البشرية التي تغير من تركيب الغلاف الجوي وتقلبية المناخ التي تعزى إلى أسباب طبيعية. انظر أيضا **Climate change commitment**، و**Detection and Attribution**.

والغلاف الصخري، والمحيط الحيوي، وما بينها من تفاعلات. ويتطور النظام المناخي بمضي الوقت تحت تأثير ديناميته الداخلية وبسبب **تأثيرات خارجية** من قبيل ثوران البراكين، والتغيرات الشمسية وتأثيرات **النشاط البشري** من قبيل التغيير في تركيب الغلاف الجوي و**تغيير استخدام الأراضي**.

تقلبية المناخ (Climate variability) تشير تقلبية المناخ إلى التباينات في متوسط حالة المناخ وغيره من الإحصاءات المناخية (مثل الانحرافات المعيارية، وحدوث الظواهر المتطرفة، وما إلى ذلك) بجمع **النطاقات الزمنية والمكانية** التي تتجاوز نطاق الظواهر الجوية الفردية. وقد تعزى التقلبية إلى عمليات داخلية طبيعية في إطار **نظام المناخ** (التقلبية الداخلية) أو إلى تباينات في المؤثر الإشعاعي **الخارجي الطبيعي أو البشري المنشأ** (التقلبية الخارجية). انظر أيضا **Climate change**.

نوى تكثف السحب (Cloud condensation nuclei (CCN)) المجموعة الفرعية لجسيمات **الهباء الجوي** التي تعمل كموقع أولي لتكثف بخار الماء إلى سائل، والتي يمكن أن تؤدي إلى تكوين قطرات السحب في ظل الظروف المعتادة لتكوين السحب. والعامل الرئيسي الذي يحدد ماهية الجسيمات المكونة للهباء التي تعمل كنوى لتكثف السحب عند درجة معينة من حالة فوق التشبع هو حجم تلك النوى.

التأثيرات التفاعلية للسحب (Cloud feedback) **تأثيرات مناخية تفاعلية** تنطوي على حدوث تغيرات في أي من خصائص السحب استجابة لتغيير في **متوسط درجة الحرارة السطحية المحلية أو العالمية**. لذا يتطلب فهم التأثيرات التفاعلية للسحب وتعيين قوتها وإشارتها وفهم كيفية تأثير أي تغيير **مناخي** على طيف أنواع السحب، وأجزائها وارتفاعاتها، وخصائصها الإشعاعية، وأخيرًا، ميزانية الأرض الإشعاعية. وما زالت التأثيرات التفاعلية للسحب حتى الآن أكبر مصدر **لعدم التيقن** من تقديرات **حساسية المناخ**. انظر أيضا **Cloud radiative effect**.

الأثر الإشعاعي للسحب (Cloud radiative effect) الأثر الإشعاعي للسحب، بالنسبة للحالة المطابقة بدون سحب. في التقارير السابقة للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ سُمي هذا باسم القسور الإشعاعي للسحب، غير أن هذا المصطلح لا يتفق والاستخدامات الأخرى للمصطلح قسر ولا يستخدم في هذا التقرير. انظر أيضا **Cloud feedback**.

CO₂-equivalent انظر **Equivalent carbon dioxide**

الأيام الباردة/الليالي الباردة (Cold days / cold nights) الأيام التي تكون فيها درجة الحرارة القصوى، أو الليالي التي تكون فيها درجة الحرارة الدنيا أقل من **العشيرة** الموسمي العاشر، حيث تكون توزيعات درجة الحرارة معروفة عموماً بالنسبة للفترة **المرجعية 1961-1990**. للاطلاع على المعاملات المناظرة، انظر الإطار 2.4.

الانبعاثات المتسقة (Cold days / cold nights) يمكن استخدام نماذج نظم الأرض التي تحاكي دورة ثاني أكسيد الكربون على سطح اليابسة وفي المحيط في حساب انبعاثات **ثاني أكسيد الكربون** المتسقة مع مسار تركيز معين لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. وتكون الانبعاثات المتسقة على مدى فترة معينة من الزمن مساوية لزيادة في الكربون على مدى الفترة الزمنية نفسها مضروبة في مجموع **المستودعات النشطة الثلاثة: الغلاف الجوي، واليابسة، والمحيط**.

الثقة (Confidence) صحة الاستنتاج على أساس نوع ومقدار وجودة واتساق الأدلة (مثل الفهم الميكانيكي، والنظرية، والبيانات، والنماذج، وحكم الخبراء) ودرجة التوافق. ويعبر عن الثقة نوعياً (Mastrandrea et al., 2010). للاطلاع على مستويات الثقة انظر الشكل 1.11 وللاطلاع على عناصر تأهيل الاحتمال انظر الجدول 1.1. انظر أيضا **Uncertainty**.

الحمل الحراري (Convection) حركة رأسية مدفوعة بقوى الطفو الناشئة عن عدم الاستقرار الاستاتيكي، وتنتج عادة عن التبريد قرب السطح أو عن زيادات في الملوحة في حالة المحيط وارتفاع درجة الحرارة قرب السطح أو التبريد الإشعاعي لقمم السحب في حالة **الغلاف الجوي**. وفي الغلاف الجوي يؤدي الحمل إلى تكوين سحب ركامية وسقوط أمطار ويكون فعالاً عند الفضائل الكيميائية القمامة والفضائل الكيميائية الرأسية النقل. وفي المحيطات يمكن أن تقلل تيارات الحمل المياه السطحية إلى أعماق المحيطات.

النظائر المشعة الكونية (Cosmogenic radioisotopes) **نظائر** مشعة نادرة تنتج عن تفاعل جسيم شعاعي كوني عالي الطاقة مع نوى الذرات. وتستخدم في أحيان كثيرة كدليل على **النشاط الشمسي** الذي يوهن من شدة الأشعة الكونية أو

نمط مناخي (Climate pattern) مجموعة من المعاملات المختلفة مكانياً يتم الحصول عليها عن طريق «اسقاط» (تراجع) المتغيرات المناخية على متسلسلة زمنية **للمعامل المناخي**. وعندما يكون العامل المناخي مكوناً أساسياً، فإن النمط المناخي يكون متجهاً ذاتي التأثير لمصفوفة التغيرات، ويشار إليه في علم المناخ بتعبير الدالة المتعامدة الإمبريقية (**Empirical Orthogonal Function (EOF)**).

التنبؤ بالمناخ (Climate prediction) ينتج التنبؤ بالمناخ أو توقع المناخ عن محاولة (تبدأ من حالة معينة من حالات **النظام المناخي**) لإنتاج تقدير للتطور الفعلي **للمناخ** في المستقبل، على النطاق الزمني الفصلي أو نطاق ما بين السنوات أو على نطاق عقود. وحيث أن تطور **النظام المناخي** في المستقبل قد يكون شديد الحساسية للظروف الأولية، فإن هذه التنبؤات تكون عادة ذات طابع احتمالي. انظر أيضا **Climate projection**، **Climate scenario**، و**Model initialization**، و**Predictability**.

إسقاط مناخي (Climate projection) هو محاكاة لاستجابة **النظام المناخي** لسيناريو انبعاثات أو تركيزات غازات الاحتباس الحراري والأهباء الجوية في المستقبل، يتم إعدادها بصفة عامة باستخدام نموذج مناخي. وتتميز الاسقاطات المناخية عن **التنبؤات المناخية** باعتمادها على سيناريو الانبعاثات / التركيزات / التأثير الإشعاعي المستخدم، والتي تستند بدورها إلى افتراضات تتعلق على سبيل المثال بتطورات اجتماعية واقتصادية وتكنولوجية مستقبلية قد تتحقق أو لا تتحقق. انظر أيضا **Climate scenario**.

نظام مناخي (Climate regime) حالة من حالات **النظام المناخي** تحدث بتواتر أكبر من الحالات المجاورة لها نتيجة استمرارها أو تكرار حدوثها بتواتر أكبر. وبعبارة أخرى، فإنها مجموعة في فضاء الحالة المناخية مقترنة بحد أقصى محلي في **دالة كثافة الاحتمالات**.

Climate response انظر **Climate sensitivity**

سناريو مناخي (Climate scenario) تمثيل معقول ومبسط، في أغلب الأحيان، **للمناخ** الذي سيسود في المستقبل استناداً إلى مجموعة متسقة داخلياً من العلاقات المناخية التي وضعت للاستخدام الصريح في استقصاء العواقب المحتملة **لتغير المناخ الناشئ عن الأنشطة البشرية**، والتي تستخدم في كثير من الأحيان في صورة مدخلات لنماذج التأثير. وتستخدم **إسقاطات المناخ** في أحيان كثيرة كمادة خام لوضع سيناريوهات المناخ، على أن هذه الأخيرة تحتاج عادة إلى معلومات إضافية مثل المعلومات المتعلقة بالمناخ الحالي المرصود. وسيناريو تغير المناخ هو الفارق بين سيناريو المناخ والمناخ الراهن. انظر أيضا **Emission scenario**، و**scenario**.

الحساسية المناخية (Climate sensitivity) في تقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، تشير الحساسية المناخية عند الاتزان (بوحدة الدرجة المئوية) إلى التغير عند الاتزان (الحالة المستقرة) وفي **درجة الحرارة السطحية العالمية السنوية** عقب مضاعفة الكميات المكافئة من تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. ونظراً للقيود الحسابية، تقدر الحساسية المناخية عند الاتزان في **النموذج المناخي** أحياناً بتشغيل نموذج دوران عام في الغلاف الجوي مقترن بنموذج محيطي مختلط الطبقات، لأن الحساسية المناخية عند الاتزان تتحدد بدرجة كبيرة بالعمليات الجوية. ويمكن تشغيل نماذج عالية الكفاءة للوصول إلى حالة الاتزان مع المحيط الدينامي. ويشير بارامتر الحساسية المناخية (بوحدة الدرجة المئوية لكل واط على الكيلومتر المربع) إلى التغير عند الاتزان في متوسط درجة الحرارة السطحية العالمية السنوية بعد تغيير التأثير الإشعاعي بمقدار وحدة واحدة.

الحساسية الفعالة للمناخ (بوحدة الدرجة المئوية) هي تقدير للاستجابة في متوسط درجة الحرارة السطحية العالمية لمضاعفة تركيزات **ثاني أكسيد الكربون** التي تقم من خرج النموذج أو من المشاهدات بالنسبة لحالات عدم الاتزان الناشئة. وهي مقياس لقوى **التأثير التفاعلي للمناخ** في وقت معين وقد تتغير بتغير تاريخ التأثير وحالة **المناخ**، ومن ثم قد تختلف عن الحساسية المناخية عند الاتزان.

الاستجابة المناخية العابرة (بوحدة الدرجة المئوية) هي التغير في المتوسط العالمي لدرجة الحرارة السطحية التي يُحسب متوسطها على مدى فترة 20 عاماً، وتتركز حول وقت تضاعف ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، في نموذج محاكاة مناخي يزيد فيه ثاني أكسيد الكربون بنسبة 1 في المائة سنوياً. وهي مقياس لقوة وسرعة استجابة درجة الحرارة السطحية لتأثير **غازات الاحتباس الحراري**.

Climate sensitivity parameter انظر **climate sensitivity**

النظام المناخي (Climate system) هو النظام المعقد للغاية المؤلف من خمسة مكونات رئيسية هي: **الغلاف الجوي، والغلاف المائي، والغلاف الجليدي،**

الجفاف (Drought) فترة يكون فيها الطقس جافاً على نحو غير عادي وتستمر لمدة تكفي لإحداث خلل هيدرولوجي جسيم. والجفاف اصطلاح نسبي؛ ومن ثم يتعين أن تشير أي مناقشة على أساس نقص كمية الأمطار إلى النشاط المحدد المرتبط بكمية الأمطار الساقطة التي هي قيد المناقشة. فمثلاً، يؤثر النقص في كميات الأمطار في أثناء موسم النمو سلباً على إنتاج المحاصيل أو على وظيفة النظام الإيكولوجي بصفة عامة (نتيجة لجفاف رطوبة التربة، التي يطلق عليها أيضاً اسم الجفاف الزراعي)، ويؤثر بصورة أساسية في أثناء موسم الجريان والتخلل على إمدادات المياه (الجفاف الهيدرولوجي). وتحدث أيضاً تغيرات في تخزين الرطوبة والمياه الجوفية في التربة نتيجة الزيادات الفعلية في عمليتي التبخر والنتح إضافة إلى الانخفاضات في كميات الأمطار. ويطلق على أي فترة تتسم بنقص غير عادي في كميات الأمطار تعبير الجفاف البالغ (megadrought). والجفاف البالغ هو جفاف يمتد لفترة بالغة الطول، واسعة الانتشار، يستمر لفترة تطول كثيراً عن الفترات العادية، تصل إلى عقد أو أكثر. للاطلاع على المعاملات المناظرة، انظر الإطار 2.4.

نظام ديناميكي (Dynamical system) عملية أو مجموعة من العمليات تتحكم في تطورها مع الزمن مجموعة من القوانين الفيزيائية الحتمية. ويعد النظام المناخي نظاماً ديناميكياً. انظر أيضاً *Abrupt climate change*، و *Chaotic*، و *Non-linearity*، و *Predictability*.

نموذج شامل لنظام الأرض (Earth System Model (ESM)) نموذج مقارن للدوران العام للغلاف الجوي والمحيطات يتضمن تمثيلاً لدورة الكربون، ويتيح إجراء حسابات تفاعلية لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أو للانبعاثات المستتقة. ويمكن أيضاً أن تدرج به مكونات إضافية (مثل، كيمياء الغلاف الجوي، والصفحات الجليدية، والغطاء الحضري الديناميكي، ودورة النيتروجين، ولكنه يتضمن أيضاً نماذج حضرية أو نماذج للمحاصيل). انظر أيضاً *Climate model*.

النموذج المتوسط التعقيد الشامل لنظام الأرض (Earth-System Model of Intermediate Complexity (EMIC)) نموذج مناخي يستهدف إدراج أهم عمليات نظام الأرض كافة كتلك الموجودة في النموذج الشامل لنظام الأرض ولكن عند درجة استبانة أقل أو بطريقة أبسط وأقرب إلى المثالية.

حساسية نظام الأرض (Earth System sensitivity) يشار إلى استجابة درجة حرارة الاتزان للنظام المقارن للغلاف الجوي - المحيطات - الغلاف الجليدي - الغطاء النباتي - دورة الكربون لمضاعفة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بتعبير حساسية نظام الأرض. ولأن ذلك يسمح للمكونات البيئية (مثل الصفحات الجليدية، والغطاء النباتي) في النظام المناخي بالتكيف للاضطرابات الخارجية، فقد تختلف بصورة كبيرة عن الحساسية المناخية المستمدة من نماذج اقتران الغلاف الجوي - المحيط.

نظام إيكولوجي (Ecosystem) النظام الإيكولوجي هو وحدة وظيفية تتألف من الكائنات الحية، والبيئة غير الحية المحيطة بها، والتفاعلات التي تحدث في داخلها وفيما بينها. وتعتمد المكونات الموجودة في نظام إيكولوجي معين وفي تحوّمه المكانية على الغرض الذي من أجله يعرف النظام الإيكولوجي: ففي بعض الحالات تكون تلك المكونات محددة تحديداً واضحاً نسبياً، وفي أحيان أخرى لا تكون واضحة المعالم. ويمكن أن تتغير حدود النظام الإيكولوجي مع الزمن. وتنضوي نظم إيكولوجية داخل نظم إيكولوجية أخرى، ويمكن أن يتغير نطاقها من صغير جداً ليشمل الغلاف الحيوي بكامله. وفي العصر الحالي، لا تحتوي معظم النظم الإيكولوجية على البشر ككائنات رئيسية، كما أنها لا تتأثر بتأثير الأنشطة البشرية على البيئات التي يعيش فيها البشر.

Effective climate sensitivity انظر *Climate sensitivity*.

Effective radiative forcing انظر *Radiative forcing*.

الفعالية (Efficacy) مقياس مدى فعالية تأثير إشعاعي *radiative forcing* ناتج من آلية معينة من فعل البشر أو آلية طبيعية في تغير متوسط درجة الحرارة السطحية العالمية عند الاتزان مقارنة بالتأثير الإشعاعي المكافئ الناتج عن ثاني أكسيد الكربون. ووفقاً للتعريف فإن زيادة ثاني أكسيد الكربون له فعالية قيمتها 1.0. وقد تنشأ تغيرات في فعالية المناخ نتيجة لعمليات التكيف السريعة في التأثير الواقع عليه، تختلف باختلاف التأثيرات.

الضخ الإيكمان (Ekman pumping) جهد احتكاكي يحدث عند السطح المشترك بين مادتين مائعتين (الغلاف الجوي والمحيط) أو بين مادة مائعة وسطح صلب مجاور (سطح الأرض) فيؤدي إلى حدوث دوران. وعندما يحدث تقارب لنقل الكتلة الناتج، يستلزم قانون بقاء الكتلة حدوث تدفق رأسي متباعد عن السطح. وهذا هو ما يسمى ضخ إيكمان. ويسمى التأثير المضاد لهذا التأثير،

كمواد نزرة لتعقب عمليات الانتقال في الغلاف الجوي، وتسمى أحياناً النويدات المشعة الكونية.

الغلاف الجليدي (Cryosphere) جميع المناطق الموجودة على سطح الأرض والمحيط وتحتها والتي يوجد فيها الماء في الحالة الصلبة، بما في ذلك الجليد البحري، وجليد البحيرات، وجليد الأنهار، والغطاء الثلجي، والأنهار الجليدية، والصفحات الجليدية، والأراضي المتجمدة (التي تشمل التربة الصقيعية).

أحداث دانسغارد-أويسجر (Dansgaard-Oeschger events) أحداث مناخية تتسم، في عينات غرينلاند الجليدية، وسجلات المناخ القديم للمناطق القريبة منها في شمال الأطلسي، بوجود حالة جليدية باردة، يعقبها انتقال سريع إلى طور أكثر دفئاً، ثم الرجوع ببطء إلى البرودة عوداً إلى الظروف الجليدية. وتشاهد أجزاء توجد بها أحداث مضادة لأحداث دانسغارد-أويسجر في أقاليم أخرى أيضاً.

إزالة الغابات (Deforestation) تحويل الغابات إلى مناطق غير حرجية. المناقشة مصطلح الغابة وما يتصل به من مصطلحات مثل التشجير وإعادة زراعة الغابات وإزالة الغابات، انظر تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن استخدام الأراضي، والتغير في استخدام الأراضي والغابات (IPCC, 2000). انظر أيضاً تقرير عن التعريف والخيارات المنهجية لحصر الانبعاثات الناشئة مباشرة عن تأثير الأنشطة البشرية في تردي الغابات وإزالة الأنواع الأخرى من الغطاء النباتي (IPCC, 2003).

انصهار جليدي / انتهاء عصر جليدي (Deglaciation / glacial termination) عمليات الانتقال من الظروف الجليدية الكاملة (عصر جليدي) إلى الفترات الواقعة بين العصور الجليدية وتتسم هذه الفترات بحدوث احترار عالمي وارتفاع مستوى سطح البحر بسبب التغير في حجم الجليد القاري.

الكشف عن التغير وتعليله (Detection and attribution) يعرف الكشف عن التغير بأنه عملية لبيان أن المناخ أو أن نظاماً يتأثر بالمناخ قد تغير بطريقة ما محددة إحصائياً، دون تقديم سبب لذلك التغير. ويكتشف التغير المحدد في الرصدات إذا تبين أن احتمال حدوثه بالصدفة يرجع إلى التقلبية الداخلية وحدها هو احتمال ضعيف، أقل من 10 في المائة مثلاً. ويعرف التعليل بأنه عملية تقييم للإسهامات النسبية للعوامل العارضة المتعددة لتغير أو لحدث ما مقترن بمستوى ثقة إحصائي (Hegerl et al., 2010).

طحالب الدياتوم (Diatoms) طحالب بحجم حبيبات الطمي تعيش في المياه السطحية للبحيرات والأنهار والمحيطات وتكون طبقات من الأوبال. ويرتبط توزيع أنواعها في قلب المحيط في أحيان كثيرة بدرجات حرارة سطح البحر التي كانت سائدة في الماضي.

Direct (aerosol) effect انظر *Aerosol-radiation interaction*.

الاقتناص المباشر من الهواء (Direct Air Capture) عملية كيميائية ينتج بواسطتها تيار من ثاني أكسيد الكربون النقي باقتناص ثاني أكسيد الكربون من الهواء المحيط.

نطاق التغير اليومي في درجة الحرارة (Diurnal temperature range) الفرق بين درجتَي الحرارة القصوى والدنيا خلال فترة 24 ساعة.

وحدة دويسون (Dobson unit (DU)) وحدة لقياس الكمية الإجمالية للأوزون الموجود في عمود رأسي فوق سطح الأرض (عمود الأوزون الإجمالي). وعدد وحدات دويسون هو السمك مقياساً بوحدات 10^{-5} متر الذي يشغله عمود الأوزون إذا تم ضغطه إلى طبقة منتظمة الكثافة عند ضغط 1013 هكتوباسكال ودرجة حرارة 0 درجة مئوية. وتناظر وحدة دويسون عموداً من الأوزون يحتوي على 2.69×10^{20} جزيئاً في كل متر مربع. ورغم التغير الكبير في كمية الأوزون في عمود من الغلاف الجوي فإنها تتراوح 300 وحدة دويسون عادة.

تقليص النطاق (Downscaling) طريقة لاستنباط المعلومات المتصلة بالنطاقات التي تتراوح بين المحلية والإقليمية (من 10 كيلومترات إلى 100 كيلومتر) من تحليل نماذج أو بيانات أوسع نطاقاً. ويتم ذلك بطريقتين رئيسيتين: التقليص الديناميكي للنطاق والتقليص الأميريقي/الإحصائي للنطاق. وتستخدم الطريقة الديناميكية خرج النماذج الإقليمية للمناخ، والنماذج العالمية ذات الاستبانة المكانية المتغيرة، أو نماذج عالمية عالية الاستبانة. أما الطريقة الأميريقي/الإحصائية فتعتمد إلى إيجاد علاقات إحصائية تربط بين متغيرات الغلاف الجوي الواسعة النطاق والمتغيرات المناخية المحلية/الإقليمية. وفي جميع الأحوال، تظل جودة النموذج المحرك تمثل الحد الأقصى لجودة المعلومات التي تم تقليص نطاقها.

واحد أو نموذجاً ثنائي الأبعاد إذا كانت التغيرات في ميزانية الطاقة بالنسبة لخطوط العرض، أو لكل من خطوط العرض والطول، قد جرى النظر فيهما بوضوح. انظر أيضاً *Climate model*.

ميزانية الطاقة (للأرض) (Energy budget of the Earth) الأرض نظام مادي له ميزانية طاقة تشمل كل ما اكتسب من الطاقة الواردة وكل ما فقد من الطاقة الصادرة. وتحدد ميزانية طاقة الأرض بقياس مقدار الطاقة التي تصل إلى النظام الأرضي من الشمس، ومقدار الطاقة التي تفقد في الفضاء، وحساب ما تبقى على الأرض وفي غلافها الجوي. والأشعة الشمسية هي المصدر الغالب للطاقة في نظام الأرض. وقد تتعرض الطاقة الشمسية الأتية للتشتت والانعكاس بتأثير السحب والأهباء الجوية أو تمتص في الغلاف الجوي. الأشعة النافذة إما أن تمتص عندئذ أو تنعكس عند سطح الأرض. ويبلغ متوسط انعكاسية الأرض نحو 0.3، مما يعني أن 30 في المائة من الطاقة الشمسية الساقطة تنعكس إلى الفضاء، وأن الأرض تمتص 70 في المائة. وتتحول طاقة الأشعة الشمسية أو الطاقة القصيرة الموجات إلى حرارة محسوسة، وطاقة كامنة (تشمل أطواراً مائية مختلفة)، وطاقة كامنة، وطاقة حركية قبل أن تنبعث كأشعة تحت حمراء. ونظراً لأن متوسط درجة حرارة سطح الأرض يبلغ نحو 15 درجة مئوية (288 درجة كلفن)، فإن التدفق الرئيسي للطاقة الصادرة يكون في جزء الأشعة تحت الحمراء من الطيف. انظر أيضاً *Energy balance*، و*Latent heat flux*، و*Sensible heat flux*.

مجموعة (Ensemble) طائفة من عمليات محاكاة النماذج تصف تنبؤاً أو إسقاطاً مناخياً. وتتمخض الفوارق في الظروف الأولية وفي صياغة النماذج عن تطورات مختلفة للنظام المنمذج وقد توفر معلومات عن عدم التيقن المرتبط بخطأ في النموذج وخطأ في الظروف الأولية في حالة التنبؤات المناخية وعن عدم التيقن المرتبط بخطأ في النموذج وبالتقلبية المناخية المتولدة داخلياً في حالة الإسقاطات المناخية.

تجربة المناخ عند الاتزان وتجربة المناخ العابر (Equilibrium and transient climate experiment) تجربة المناخ عند الاتزان، هي تجربة لنموذج مناخي يسمح فيها للنموذج بالتكيف التام مع أي تغيير في التأثير الإشعاعي. وتوفر هذه التجارب معلومات عن الفارق بين حالة النموذج الأولية وحالته النهائية، ولكنها لا توفر معلومات عن الاستجابة المعتمدة على الزمن. وإذا سُمح للتأثير أن يتطور تدريجياً وفقاً لسيناريو انبعاث محدد سلفاً، فقد يتيح تحليل استجابة النموذج المناخي المعتمدة على الزمن. وتسمي هذه التجربة تجربة المناخ العابر. انظر أيضاً *Climate projection*.

Equilibrium climate sensitivity انظر *Climate sensitivity*.

خط الاتزان (Equilibrium line) هو متوسط الحدود المكانية في لحظة معينة، يُختار عادة بوصفه الحد الأدنى لميزانية الكتلة الموسمية في نهاية فصل الصيف، بين المنطقة الواقعة على نهر جليدي حيث تحدث خسارة سنوية صافية في كتلة الجليد (منطقة الانصهار)، والمنطقة التي يحدث بها مكسب سنوي صافٍ (منطقة التراكم). ويشير إلى ارتفاع هذا الحد باسم ارتفاع خط الاتزان (ELA).

تركيز ثاني أكسيد الكربون (CO₂) المكافئ (Equivalent carbon dioxide concentration (CO₂)) تركيز ثاني أكسيد الكربون الذي يسبب نفس التأثير الإشعاعي الذي يسببه خليط معين من ثاني أكسيد الكربون ومكونات مؤثرة أخرى. وهذه التقييم قد تأخذ في الاعتبار فقط غازات الاحتباس الحراري، أو خليط من غازات الاحتباس الحراري والأهباء الجوية. والتركيز المكافئ لثاني أكسيد الكربون هو مقياس لمقارنة التأثير الإشعاعي لمزيج من الغازات الحابسة للحرارة المختلفة في وقت معين، ولكن ذلك لا يعني تكافؤاً في الاستجابات المناظرة للتغير في المناخ ولا في التأثير في المستقبل. وبصفة عامة، ليس هناك ارتباط بين انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المكافئة والتركيزات المكافئة لثاني أكسيد الكربون الناتج.

انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المكافئ (Equivalent carbon dioxide emission (CO₂)) كمية انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي تحدث نفس التأثير الإشعاعي المتكامل الذي تحدثه على مدى نطاق زمني معني كمية من غازات الاحتباس الحراري أو خليط من غازات الاحتباس الحراري. ويمكن تعيين انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المكافئ بضرب انبعاث أي غاز من غازات الاحتباس الحراري في قدرة ذلك الغاز على إحداث الاحتباس العالمي في النطاق الزمني المحدد. وتعين قيمة الانبعاثات لخليط من غازات الاحتباس الحراري بجمع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المكافئ لكل غاز من الغازات المكونة للخليط. وتعد انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المكافئ مقياساً موحداً لمقارنة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري المختلفة، ولكن ذلك لا يعني أنه مكافئ دقيق للاستجابات المناظرة للتغير المناخي. انظر أيضاً تركيز ثاني أكسيد الكربون المكافئ.

والذي يحدث في حالة التباعد، سحب إيكمان. وهذه الظاهرة مهمة في كل من الغلاف الجوي والمحيط.

النقل الإيكمان (Ekman transport) النقل الكلي الناتج عن حدوث توازن بين قوة كوريوليس والإجهاد الاحتكاكي الناتج عن تأثير الرياح على سطح المحيط. انظر أيضاً *Ekman pumping*.

طيف كهرومغناطيسي (Electromagnetic spectrum) نطاق الطول الموجي أو الطاقة لجميع الأشعة الكهرومغناطيسية. ويعرف الإشعاع الطيفي بدلالة الأشعة الشمسية بأنه القوة التي تصل إلى وحدة المساحة من سطح الأرض لكل وحدة طول موجي.

ظاهرة النينو (التذبذب الجنوبي) (El Niño–Southern Oscillation (ENSO)) استعمال مصطلح النينو أصلاً لوصف تيار من المياه الدافئة يتدفق دورياً على طول ساحل إكوادور وبيرو، مما يؤدي إلى تعطيل صناعة صيد الأسماك المحلية. ومن ثم أصبح يعرف باحترار منطقة المحيط الهادئ المدارية على نطاق كامل الحوض شرقي خط التوقيت الدولي. ويرتبط هذا الحدث المحيطي بتقلب نمط الضغط السطحي المداري وشبه المداري على النطاق العالمي وهو ما يُعرف باسم التذبذب الجنوبي. وتتراوح النطاقات الزمنية لهذه الظاهرة المتقارنة بظاهرة الغلاف الجوي – المحيطات بين سنتين وسبع سنوات تقريباً، وتُعرف بظاهرة النينو / التذبذب الجنوبي. وغالباً ما تقاس بواسطة الاختلاف في شذوذ الضغط السطحي بين تاهيتي وداروين أو درجات حرارة سطح البحر في المنطقة الوسطى والشرقية من المحيط الهادئ الاستوائي. وأثناء حدوث ظاهرة النينو – التذبذب الجنوبي، يضعف الرياح التجارية السائدة فيحفض من حدة صعود التيارات المحيطية العميقة وتبدلها مما يؤدي إلى ارتفاع درجات حرارة سطح البحر فيزيدي بدوره من ضعف الرياح التجارية. ولهذه الظاهرة تأثير كبير على الرياح ودرجات حرارة سطح البحر وأنماط سقوط الأمطار في منطقة المحيط الهادئ المدارية. ولهذه الظاهرة تأثيرات مناخية في كامل منطقة المحيط الهادئ وفي أنحاء أخرى كثيرة من العالم من خلال الارتباط العالمي عن بعد. وتسمى مرحلة النينو – التذبذب الجنوبي الباردة بالنينيا *La Niña*. للاطلاع على مؤشرات المناظرة، انظر الإطار 2.5.

سيناريو الانبعاثات (Emission scenario) تمثيل معقول للتطورات المستقبلية لانبعاثات المواد التي يحتمل أن تكون نشطة نسبياً من الناحية الإشعاعية (مثل غازات الاحتباس الحراري والأهباء الجوية) استناداً إلى مجموعة متجانسة ومتسقة داخلياً من الافتراضات بشأن القوى المحركة (مثل التطورات الديموغرافية والاجتماعية الاقتصادية والتغيرات التكنولوجية) والعلاقات الرئيسية التي تربط بينها. وتستخدم سيناريوهات التركيزات، المشتقة من سيناريوهات الانبعاثات، كمدخلات في نموذج مناخي لحساب الإسقاطات المناخية. وقد عرضت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، في تقريرها عام 1992، مجموعة من سيناريوهات الانبعاثات استخدمت كأساس لوضع إسقاطات المناخ في تقرير التقييم الثاني لسنة 1996. ويشار إلى سيناريوهات الانبعاثات هذه باعتبارها السيناريوهات IS92. وقد نشرت في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات سيناريوهات انبعاثات جديدة أطلق عليها اسم سيناريوهات الانبعاثات للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (Nakićenović and Swart، 2000)، أو ما يسمى *SRES scenarios*، واستعمل بعضها كأساس للإسقاطات المناخية المعروضة في الفصول من 9 إلى 11 من تقرير الهيئة لسنة 2001 والفصلين 10 و 11 من تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ الصادر في 2007. ووضعت سيناريوهات انبعاثات جديدة لتغير المناخ، هي السيناريوهات الممثلة لمسارات التركيز الأربعة، من أجل تقرير التقييم الحالي للهيئة، ولكن بصورة مستقلة عنها. انظر أيضاً *Climate scenario* و *scenario*.

رصيد الطاقة (Energy balance) هو الفرق بين الطاقة الإجمالية الساقطة والطاقة الإجمالية الصادرة. فإذا كان هذا الرصيد موجياً، حدث احترار؛ أما إذا كان سالباً، فيحدث تبريد. وعند أخذ المتوسط على الصعيد العالمي ولفترات زمنية طويلة يجب أن يكون هذا الرصيد صفراً. ولأن النظام المناخي يستمد كل طاقته تقريباً من الشمس، فإن وجود رصيد صفري على الصعيد العالمي يعني أن الأشعة الشمسية التي تم امتصاصها، أي الأشعة الشمسية الساقطة مطروحاً منها الأشعة المنعكسة عند قمة الغلاف الجوي، والأشعة الطويلة الموجات الصادرة من النظام المناخي متساويتين. انظر أيضاً *Energy budget*.

نموذج رصيد الطاقة (Energy Balance Model (EBM)) نموذج مبسط يحلل ميزانية الطاقة للأرض من أجل حساب التغيرات في المناخ. وهو في أبسط صورته، لا يتضمن بُعداً مكانياً واضحاً ويمكن للنموذج عندئذ أن يقدم تقديراً للتغيرات في متوسط درجات الحرارة على الصعيد العالمي محسوبة من التغيرات في الأشعة. ويمكن توسيع نطاق نموذج رصيد الطاقة ذي البعد الصفري ليشمل نموذجاً ذا بعد

الغلاف الجوي الحر (Free atmosphere) طبقة الغلاف الجوي التي لا تتأثر تأثيراً يذكر بالاحتكاك بسطح الأرض، والتي تعلو الطبقة الحدودية للغلاف الجوي.

الأراضي المتجمدة (Frozen ground) التربة أو الصخور التي يحدث فيها تجمد جزئي أو كلي للماء الموجود في المسام. وتشمل الأراضي الدائمة التجمد التربة الصقيعية. والأراضي التي تتعرض للتجمد والانصهار سنوياً تسمى الأراضي الموسمية التجمد.

الدوران العام (General circulation) التحركات الواسعة النطاق للغلاف الجوي والمحيط نتيجة للتفاوت في درجة حرارة الأرض بسبب التسخين التفاضلي للأرض ودورانها. ويسهم الدوران العام في توازن طاقة النظام من خلال نقل الحرارة وكمية الحركة.

(General Circulation Model (GCM) انظر *Climate model*.

الهندسة الجيولوجية (Geoengineering) يشير هذا المصطلح إلى مجموعة عريضة من الطرائق والتكنولوجيات التي تستهدف التغيير المتعمد للنظام المناخي بغية الحد من تأثيرات تغير المناخ. وترمي معظم الطرائق، وليس كلها، إلى تحقيق أحد هدفين: (1) التقليل من كمية الطاقة الشمسية التي يمتصها النظام المناخي (*Solar Radiation Management*)؛ أو (2) زيادة المصارف الصافية للكربون من الغلاف الجوي على نطاق تكفي ضخامته لتغيير المناخ (*Carbon Dioxide Removal*). والنطاق والقصد هنا لهما أهمية بالغة. وتمثل اثنتان من الخصائص الجوهرية لطرائق الهندسة الجيولوجية التي لها أهمية خاصة في أن هذه الطرائق تستخدم النظام المناخي أو تؤثر فيه (الغلاف الجوي، أو الأرض، أو المحيط) على الصعيد العالمي أو الإقليمي و/أو يمكن أن تحدث آثاراً جوهرية غير مقصودة تتجاوز الحدود الوطنية. وتختلف الهندسة الجيولوجية عن تعديل المناخ والهندسة الإيكولوجية، غير أن الحدود الفاصلة بينهما قد تكون غير واضحة (IPCC, 2012، الصفحة 2).

هيئة الأرض المائية (Geoid) السطح المتساوي الكُمون والذي يتساوى فيه الكُمون الأرضي عند كل خط من خطوط العرض وخطوط الطول حول العالم (ويرمز ممارسو الجيوديسيا لهذا الكُمون بالرمز *W0*) ليحقق أفضل تقريب لمتوسط مستوى سطح البحر. وهو السطح المرجعي لقياس الارتفاع. وفي الممارسة العملية، يوجد عدد من التعاريف المختلفة لهيئة الأرض المائية بحسب الطريقة التي ينظر بها إلى المد والجزر الدائمين (المد والجزر الصفري التردد الناتج عن الشمس والقمر) في الدراسات الجوديسية.

الرياح أو التيارات الدورانية (Geostrophic winds or currents) ربح أو تيار في حالة توازن مع ممال الضغط الأفقي وقوة كوريوليس، ومن ثم، يكون خارج نطاق تأثير الاحتكاك. وعلى ذلك، فإن الرياح أو التيار موازية لخطوط تساوي الضغط الجوي، أما سرعتها فتكون متناسبة مع ممال الضغط الأفقي.

الدورات الجليدية والدورات الفاصلة بين العصور (Glacial-interglacial cycles) أطوار في تاريخ الأرض تنسم بحدوث تغيرات كبيرة في حجم الجليد القاري والمستوى العالمي لسطح البحر. انظر أيضاً *Ice age* و *Interglacials*.

التكيف الجليدي التماثل الترتيب (Glacial isostatic adjustment (GIA)) التشوه الذي يحدث في الأرض وفي مجالها الثقالي نتيجة استجابة نظام الأرض- المحيط للتغيرات في أحمال الجليد والماء المقترن به. ويشار إليه أحياناً باسم التوازن الكثافي للجليد والماء (*glacio-hydro isostasy*). وهو يتضمن تشوهات رأسية وأفقية لسطح الأرض وتغيرات في هيئة الأرض المائية (*geoid*) نتيجة لإعادة توزيع الكتلة في أثناء تبادل الكتلة بين الجليد والمحيطات.

نهر جليدي (Glacier) كتلة حولية من جليد اليابسة تنشأ من الثلج المضغوط، وتظهر أدلة للتدفق في الماضي أو الحاضر (من خلال تشوهات داخلية و/أو انزلاق عند القاعدة) ويكبحها الضغط الداخلي والاحتكاك عند القاعدة والجوانب. وتدمم الأنهار الجليدية بفعل تراكم الثلوج عند الارتفاعات العالية الذي يوازن انصهار الجليد عند الارتفاعات المنخفضة و/أو التصريف في البحر. وأي كتلة جليدية متأتمية من نفس المصدر الذي تأتي منه الأنهار الجليدية، ولكنها ذات حجم قاري تسمى **الصفحة الجليدية (ice sheet)**. ولغرض التبسيط في تقرير التقييم الراهن، يشار إلى جميع الكتل الجليدية بخلاف الصفحات الجليدية على أنها أنهار جليدية. انظر أيضاً *Mass balance / budget* و *Equilibrium line* (للأنهار الجليدية أو الصفحات الجليدية).

خفوت ضوئي عالمي (Global dimming) يشير تعبير الخفوت الضوئي العالمي إلى انخفاض واسع النطاق في الأشعة الشمسية الساقطة على سطح الأرض خلال الفترة من 1961 إلى نحو 1990.

التبخير والنتح (Evapotranspiration) العملية المشتركة للتبخير من سطح الأرض والنتح من النباتات.

Extended Concentration Pathways انظر *Representative Concentration Pathways*.

التأثير الخارجي (External forcing) يشير مصطلح التأثير الخارجي إلى عامل مؤثر خارج النظام المناخي يسبب تغيراً في النظام المناخي. فالثورات البركانية، والتقلبات الشمسية والتغيرات التي تسببها الأنشطة البشرية في تركيب الغلاف الجوي، والتغيرات في استخدام الأراضي هي تأثيرات خارجية. والتأثير المداري أيضاً تأثير خارجي ناتج عن التغيرات في التعرض للشمس مع تغير لامركزية البارامترات المدارية، والميل، ودقة الاعتدالين.

عاصفة فوق مدارية (Extratropical cyclone) عاصفة واسعة النطاق (من فئة 1000 كم) عند خطوط عرض متوسطة أو مرتفعة وذات ضغط مركزي منخفض وجبهات ذات تدرجات أفقية قوية من حيث درجة الحرارة والرطوبة. وهي سبب رئيسي لسرعات الرياح وكميات الأمطار المتطرفة ولا سيما في أوقات الشتاء.

Extreme climate event انظر *Extreme weather event*.

Extreme sea level انظر *Storm surge*.

ظاهرة طقس متطرف (Extreme weather event) حالة تكون نادرة في مكان معين ووقت معين من السنة. وتباين تعريف كلمة نادرة غير أن ظاهرة طقس متطرف تكون عادة نادرة أو أكثر نُدرة من المئين العاشر أو المئين التسعين من **دالة كثافة الاحتمالات المقدرة من الرصدات**. وبحسب التعريف، فإن خصائص ما يسمى بظاهرة الطقس المتطرف تتباين من مكان إلى آخر بالمعنى المطلق للتعبير. وإذا استمر نمط طقس متطرف لبعض الوقت، كموسم مثلاً، فقد يصنف على أنه ظاهرة مناخية متطرفة، ولا سيما إذا أسفرت عن متوسط أو مجموع يكون هو نفسه متطرفاً (من جفاف، أو أمطار غزيرة، طوال الموسم).

مناطق الصيخد الشمسي (Faculae) بقع ساطعة فوق الشمس. ويتسع نطاق المنطقة المغطاة بالبقع خلال فترات النشاط الشمسي الشديد.

Feedback انظر *Climate feedback*.

البصمة المناخية (Fingerprint) نمط الاستجابة المناخية في المكان و/أو الزمان لتأثير محدد ويشار إليه عموماً بأنه بصمة. فالأنماط المكانية لاستجابة مستوى سطح البحر لانصهار الأنهار الجليدية أو الصفائح الجليدية (أو لتغيرات أخرى في حمل السطح) يُشار إليها أيضاً بأنها بصمات. وتستخدم البصمات لاكتشاف وجود هذه الاستجابة في الرصدات وتقدر عادة باستخدام محاكاة لتأثير المناخ باستخدام النماذج.

تكيف التدفق (Flux adjustment) يمكن، بغية تجنب مشكلة تحول أي نموذج دوران عام متقارن للغلاف الجوي والمحيطات إلى حالة مناخية غير واقعية، تطبيق شروط التكيف على بيانات تدفقات الحرارة والرطوبة للغلاف الجوي والمحيطات (وأحياناً على الإجهادات السطحية الناجمة عن تأثير الرياح على سطح المحيط) قبل إدراج هذه التدفقات في نموذج المحيط والغلاف الجوي. ونظراً إلى أنه يتم حساب عمليات التكيف هذه مسبقاً ومن ثم تكون مستقلة عن تكامل النموذج المتقارن، فإنها لا ترتبط بحالات الشذوذ التي تتطور أثناء عملية التكامل.

غابة (Forest) نوع من الغطاء النباتي تغلب عليه الأشجار. وهناك الكثير من التعاريف المستخدمة لمصطلح الغابة في مختلف أنحاء العالم، مما يعكس وجود اختلافات كبيرة في الظروف الجيوفيزيائية البيولوجية، والهيكلي الاجتماعي، والنظم الاقتصادية. وللاطلاع على مناقشة مصطلح الغابة والمصطلحات المرتبطة به مثل **زراعة الغابات، وإعادة زراعتها، وإزالة الغابات**، انظر التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن استخدام الأراضي وتغيير استخدام الأراضي والحراجة (الهيئة الحكومية المعنية بتغير المناخ، 2000). انظر أيضاً التقرير الخاص بالتعاريف والخيارات المنهجية المتعلقة بجدد الانبعاثات الناتجة عن تدهور الغابات وإزالة أنواع أخرى من الغطاء النباتي نتيجة النشاط البشري المباشر (الهيئة الحكومية المعنية بتغير المناخ، 2003).

الانبعاثات الناتجة عن الوقود الأحفوري (Fossil fuel emissions) انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (وبخاصة ثاني أكسيد الكربون)، والغازات النزرة الأخرى والأهباء الجوية التي تنتج عن احتراق الوقود المستمد من رواسب الكربون الأحفورية، مثل النفط، والغاز، والفحم.

Framework Convention on Climate Change انظر *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* (*work Convention on Climate Change*).

الكولوروفلوروكربون (CFCs)، ومركبات الهيدروكلوروفلوروكربون (HCFCs)، والهيدروفلوروكربون (HFCs)، والهالونات، وكلوريد الميثيل وبروميد الميثيل. وتتسم العديد من المركبات الهيدروكلوروكربونية المهلجنة بقدرات عالية على إحداث الاحترار العالمي. كما تشارك المركبات الهيدروكلوروكربونية المهلجنة المحتوية على الكلور والبروم في نضوب طبقة الأوزون.

تدرج الملوحة (Halocline) طبقة في عمود المياه المحيطية تتغير فيها الملوحة بسرعة مع العمق. وعموماً، تكون المياه الأكثر ملوحة أعلى كثافة وتوجد تحت المياه الأقل ملوحة. وفي المحيطات الموجودة عند بعض خطوط العرض المرتفعة، قد تكون المياه السطحية أبرد من المياه العميقة ويكون تدرج الملوحة مسؤولاً عن المحافظة على استقرار عمود الماء وعزل المياه السطحية عن المياه العميقة. انظر أيضاً **Thermocline**.

Halosteric انظر **Sea level change**.

HCFC انظر **Halocarbons**.

موجة حارة (Heat wave) فترة يكون فيها الطقس غير عادي وغير مريح. انظر أيضاً **Warm spell**.

التنفس المتغاير (Heterotrophic respiration) تحويل المواد العضوية إلى ثاني أكسيد الكربون بواسطة الكائنات الأخرى غير الكائنات الذاتية الاغتذاء.

HFC انظر **Halocarbons**.

التنبؤ بأثر رجعي أو التنبؤ في الماضي (Hindcast or retrospective forecast) تنبؤ متعلق بفترة في الماضي يعتمد فيه فقط على المعلومات التي كانت متاحة قبل بدء التنبؤات. ويمكن استخدام سلسلة تنبؤات لاحقة لمعايرة نظام التنبؤ و/أو لتوفير مقياس لمتوسط المهارة التي أظهرها نظام التنبؤ في الماضي كدليل يسترشد به في معرفة درجة المهارة التي يمكن توقعها في المستقبل.

الهولوسين (Holocene) حقبة الهولوسين هو الحقب الأخير من الحقبين اللذين ينقسم إليهما **العصر الرابع** في تقسيم الزمن الجيولوجي الذي يمتد من 11.65 ألف سنة قبل 1950 حتى الآن. ويعرف أيضاً باسم مرحلة التنبؤ البحري 1 (MIS) أو العصر بين الجليدي الراهن.

المناخ الهيدرولوجي (Hydroclimate) جزء من المناخ المتعلق بهيدرولوجية منطقة ما.

الدورة الهيدرولوجية (Hydrological cycle) الدورة التي يتبخر فيها الماء من المحيطات وسطح اليابسة، ويجمَل فوق سطح الأرض في دوران الغلاف الجوي في شكل بخار ماء يتكثف مكوناً سحباً، ويتساقط على المحيطات واليابسة من جديد مطراً أو ثلجاً، ويمكن أن تعترضه على سطح الأرض الأشجار والغطاء النباتي، ويوفر جرياناً على سطح الأرض، ويتغلغل في التربة، ويغذي المياه الجوفية، ويصب في الأنهار، ويتدفق إلى المحيطات في نهاية المطاف ليتبخر من جديد. ويشتر إلى مختلف النظم الداخلة في الدورة الهيدرولوجية، عادة، باسم النظم الهيدرولوجية.

الغلاف المائي (الهيدروسفير) (Hydrosphere) عنصر النظام المناخي المؤلف من السطح السائل والمياه الموجودة تحت سطح الأرض، مثل المحيطات، والبحار، والأنهار، وبحيرات المياه العذبة، والمياه الجوفية، وما إلى ذلك.

مقياس الارتفاعات (Hypsometry) توزيع سطح اليابسة والجليد كدالة للارتفاع.

عصر جليدي (Ice age) يتسم العصر الجليدي أو الفترة الجليدية بانخفاض طويل الأجل في درجة حرارة مناخ الأرض، ويؤدي ذلك إلى تنامي الصفحات والأنهار الجليدية.

التأثير التفاعلي للجليد - الألبيدو (Ice-albedo feedback) تأثير تفاعلي مناخي تحدث فيه تغيرات في العاكسية (الألبيدو) الخاصة بسطح الأرض. وتزيد قيمة عاكسية الثلج والجليد كثيراً (لتصل إلى نحو 0.8) عن متوسط عاكسية الأرض (نحو 0.3). ومع ارتفاع درجات الحرارة، يتوقع أن يتناقص نطاق الثلج والجليد، وأن تقل العاكسية الشاملة للأرض وتمتص كميات أكبر من الأشعة الشمسية، مما يؤدي إلى تزايد احترار الأرض.

عينة جليدية جوفية (Ice core) العينة الجليدية الجوفية هي اسطوانة جليدية تستخرج بالحفر من نهر جليدي أو صفحة جليدية.

صفحة جليدية (Ice sheet) كتلة من الجليد الأرضي ذات حجم قاري وسماك يكفي لتغطية معظم تضاريس القاع الصخرية الواقعة تحتها، لدرجة أن شكل

متوسط درجة الحرارة السطحية العالمية - **Global mean surface temperature** هو المتوسط العالمي المقدر لدرجة حرارة الهواء السطحي. أما معرفة التغيرات التي حدثت مع الزمن، فتقوم على استخدام حالات الشذوذ وحدها، بوصفها خروجاً عن قواعد علم المناخ، وتستند عادة إلى المتوسط العالمي المرجح بحسب المنطقة لشذوذ درجات حرارة سطح البحر ودرجات حرارة الهواء فوق سطح الأرض.

القدرة على إحداث الاحترار العالمي (Global Warming Potential (GWP)) معامل يرتكز إلى الخصائص الإشعاعية لغازات الاحتباس الحراري، يقيس التأثير الإشعاعي عقب نبضة انبعاث قوتها وحدة كتلة واحدة من غاز معين من غازات الاحتباس الحراري الموجودة في الغلاف الجوي الحالي تندمج في الغلاف الجوي خلال نطاق زمني معين، بالنسبة لوحدة الكتلة من ثاني أكسيد الكربون. وتمثل القدرة على إحداث الاحترار العالمي التأثير المشترك للمدد الزمنية المتفاوتة التي تبقى خلالها هذه الغازات في الغلاف الجوي وفعاليتها النسبية في إحداث التأثير الإشعاعي. ويستند بروتوكول كيو توكيو إلى القدرة على إحداث الاحترار العالمي انطلاقاً من الانبعاثات النبضية على مدى فترة 100 سنة.

ظاهرة الاحتباس الحراري (Greenhouse effect) التأثير الإشعاعي للأشعة تحت الحمراء لجميع المكونات التي تمتص الأشعة تحت الحمراء الموجودة في الغلاف الجوي. وتمتص غازات الاحتباس الحراري، والسحب، والأهباء الجوية (وإن بدرجة أقل) الأشعة الأرضية المنعكسة من سطح الأرض ومن الغلاف الجوي. وتصدر هذه المواد أشعة تحت حمراء في جميع الاتجاهات، غير أنه عند تساوي جميع الظروف الأخرى، تكون الكمية الصافية الصادرة إلى الفضاء عادة أقل من الكمية التي تنبعث في عدم وجود هذه المواد التي تمتص الأشعة نتيجة انخفاض درجة الحرارة مع الارتفاع في طبقة التروبوسفير وما يترتب على ذلك من إضعاف للانبعاش. وتزيد قوة هذا التأثير بزيادة تركيز غازات الاحتباس الحراري؛ ويسمى الفرق بينهما أحياناً تأثير الاحتباس الحراري المعزز. وبسبب الانبعاثات الناجمة عن الأنشطة البشرية، يسهم التغير في تركيز غازات الاحتباس الحراري في حدوث تأثير إشعاعي لحظي برفع درجة الحرارة السطحية ودرجة حرارة التروبوسفير استجابة لهذا التأثير، ويعيد التوازن الإشعاعي تدريجياً عند قمة الغلاف الجوي.

غاز حابس للحرارة (Greenhouse gas (GHG)) الغازات الحابسة للحرارة هي المكونات الغازية للغلاف الجوي سواء كانت طبيعية أم بشرية المنشأ التي تمتص الأشعة وتطلقها عند أطوال موجية محددة في نطاق طيف الأشعة الأرضية التي تنبعث من سطح الأرض والغلاف الجوي ذاته، والسحب. وتؤدي هذه الخاصية إلى حدوث ظاهرة الاحتباس الحراري. وغازات الاحتباس الحراري الرئيسية الموجودة في الغلاف الجوي هي بخار الماء (H₂O) وثاني أكسيد الكربون (CO₂) وأكسيد النيتروز (N₂O) والميثان (CH₄) والأوزون (O₃). وبالإضافة إلى ذلك، يوجد في الغلاف الجوي عدد من غازات الاحتباس الحراري البشرية المنشأ كالبخار، مثل مركبات الهالوكربون وغيرها من المواد المحتوية على الكلور والبروم التي يجري تناولها في إطار بروتوكول مونتريال. وإضافة إلى ثاني أكسيد الكربون وأكسيد النيتروز والميثان، يتناول بروتوكول كيو توكيو سادس فلوريد الكبريت والمركبات الكربونية المحتوية على الفلور والهيدروجين والمركبات الكربونية الفلورية المشبعة. للإطلاع على قائمة بخليط من غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاز، انظر الجدول A.1.2.

الإنتاج الأولي الإجمالي (Gross Primary Production (GPP)) كمية الكربون التي يتم تثبيتها بواسطة الكائنات الذاتية الاغتذاء (النباتات والطحالب).

خط الانفصال (Grounding line) ملتقى نهر جليدي أو صفحة جليدية برف جليدي؛ وهو المكان الذي يبدأ الجليد منه الطفو. ويحدث الالتقاء عادة فوق منطقة محددة وليس على خط.

دورة محيطية (Gyre) نمط دوران أفقي يحدث في المحيط على نطاق حوضي مع تدفق دوراني بطيء حول الحوض المحيطي، مغلق بواسطة تيار حدودي قوي وضيق (عرضه 100-200 كم) على الجانب الغربي. وتقترب الدورات المحيطية دون المدارية في كل محيط من المحيطات بضغط مرتفع في مراكز الدورات؛ وتقترب الدورات المحيطية دون القطبية بضغط منخفض.

دورة هادلي (Hadley Circulation) خلية دورانية مباشرة مدفوعة حرارياً في الغلاف الجوي تتكون من تدفق قطبي الاتجاه في التروبوسفير العلوي، وهواء هابط يدور في ضغط جوي مرتفع في المنطقة دون المدارية، وتدفق عائد كجزء من الرياح التجارية القريبة من سطح الأرض، مع هواء صاعد قرب خط الاستواء فيما يسمى بالتقارب بين المنطقتين المداريتين.

مركبات هيدروكلوروكربونية مهلجنة (Halocarbons) مصطلح شامل يشير إلى مجموعة الفصائل العضوية المهلجنة جزئياً، والتي تشمل مركبات

اللاعكوسية (Irreversibility) تعرف أي حالة مضطربة لنظام ديناميكي بأنها حالة لاعكوسية على نطاق زمني معين، إذا كان النطاق الزمني للعودة إلى الحالة الطبيعية من هذه الحالة نتيجة للعمليات الطبيعية أطول كثيراً من الزمن الذي تستغرقه لوصول النظام إلى هذه الحالة المضطربة. وفي سياق التوازن الجاذبي الكثافي العالمي، يتراوح النطاق الزمني المعني بين مئات السنين والآلاف السنين. انظر أيضاً **Tipping point**.

التوازن الجاذبي الكثافي أو توازن الجاذبية والكثافة (Isostatic or Isostasy) يشير مصطلح توازن الجاذبية والكثافة إلى استجابة الأرض للتغيرات في الحمل السطحي. ويشمل ذلك الاستجابة المتعلقة بالتشوه والجاذبية. وتتسم هذه الاستجابة بأنها استجابة مرنة على النطاقات الزمنية القصيرة، كما في حالة استجابة الأرض والمحيط للتغيرات الحديثة في سقوط الجليد على الجبال، أو مرنة لدرجة على النطاقات الزمنية الأطول، كما في حالة الاستجابة لآخر دورة جليدية أعقبت آخر فترة تجدد قصوى. انظر أيضاً **GIA (Glacial Isostatic Adjustment)**.

النظائر (Isotopes) ذرات لنفس العنصر الكيميائي لها نفس عدد البروتونات ولكنها تختلف في عدد النيوترونات. وبعض تشكيلات البروتونات والنيوترونات مستقرة (النظائر المستقرة)، بينما يكون البعض الآخر غير مستقر ويحدث به اضمحلال إشعاعي تلقائي (النظائر المشعة). ومعظم العناصر لها أكثر من نظير مستقر واحد. ويمكن استخدام النظائر لتعقب عمليات الانتقال أو لدراسة العمليات التي تؤدي إلى تغيير نسبة النظائر. وإضافة إلى ذلك، توفر النظائر المشعة معلومات زمنية يمكن استخدامها في التاريخ الإشعاعي.

بروتوكول كيوتو (Kyoto Protocol) اعتمد بروتوكول كيوتو الملحق باتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) في الدورة الثالثة لمؤتمر الأطراف في الاتفاقية الذي عقد في كيوتو باليابان، في عام 1997. ويشمل البروتوكول تعهدات ملزمة قانوناً بالإضافة إلى التعهدات الواردة في الاتفاقية (UNFCCC). وقد وافقت البلدان المدرجة في المرفق بآ الملحق بالبروتوكول (معظم بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والبلدان التي تمر اقتصاداتها بمرحلة انتقالية) على تخفيض انبعاثاتها من غازات الاحتباس الحراري البشرية المنشأ (ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النيتروز، ومركبات الهيدروفلوروكربون، والمركبات الكربونية المشبعة بالفلور، وسداسي فلوريد الكبريت) بمقدار 5 في المائة على الأقل تحت مستويات 1990 في فترة الالتزام التي تبدأ في 2008 وتنتهي في 2012. وقد دخل بروتوكول كيوتو حيز النفاذ في 16 شباط/فبراير 2005.

درجة حرارة الهواء عند سطح اليابسة (Land surface air temperature) هي درجة حرارة الهواء على سطح الأرض التي يتم قياسها على سواثر باستخدام شاشات ترشيح جيدة التهوية، على ارتفاع 1.5 متر فوق سطح الأرض.

استخدام الأراضي والتغير في استخدام الأراضي (Land use and Land use change) يشير مصطلح استخدام الأراضي إلى مجموع الترتيبات والأنشطة والمخلات التي تتعلق بنوع معين من الغطاء الأرضي (مجموعة من الإجراءات البشرية). ويستعمل مصطلح استخدام الأراضي أيضاً بمعنى الأغراض الاجتماعية والاقتصادية المنشودة من إدارة الأراضي (مثل الرعي وقطع الأخشاب وحفظ الأراضي). أما تغير استخدام الأراضي فيعني تغيراً في استخدام الإنسان أو إدارته للأراضي بطريقة قد تفضي إلى تغير في الغطاء الأرضي. وقد يؤثر الغطاء الأرضي والتغير في استخدام الأراضي على **الآليدو السطحي، والتبخّر، والنتح، ومصادر ومغائص غازات الاحتباس الحراري،** أو الخصائص الأخرى التي يتسم بها **النظام المناخي،** مما قد يولد تأثيراً إشعاعياً و/أو تأثيرات أخرى على المناخ على الصعيد المحلي أو العالمي. انظر أيضاً التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن استخدام الأراضي وتغير استخدام الأراضي والحراجة. (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2000).

تخزين الماء على اليابسة (Land water sotage) المياه المخزنة على اليابسة بخلاف تلك الموجودة في الأنهار الجليدية والصفائح الجليدية (أي المياه المخزنة في الأنهار والبحيرات، والأراضي الغدقة، والمناطق المشبعة، والمكامن، والمستودعات، والتلج، والتربة الصقيعية). وتسهم التغيرات في تخزين المياه على اليابسة المدفوعة بالمناخ وبالنشاط البشرية في التغير في مستوى سطح البحر.

La Niña انظر **El Niño–Southern Oscillation**.

معدل التغير الراسي (Lapse rate) معدل تغير أحد المتغيرات الجوية، درجة الحرارة عادة، مع الارتفاع. ويعد معدل التغير موجبا عندما تنقص قيمة المتغير مع زيادة الارتفاع.

آخر ذروة جليدية (Last Glacial Maximum (LGM)) هي الفترة من العصر الجليدي الأخير التي وصلت فيها الأنهار الجليدية والصفائح الجليدية إلى أقصى

الصفحة يتحدد بالدرجة الأولى من خلال ديناميتها (أي تدفق الجليد أثناء تفككه داخليا و/أو انزلاقه فوق قاعدته). وتنساب أي صفحة نحو الخارج من هضبة وسطى عالية ذات انحدار سطحي متوسطه صغير. وتنحدر الحواف عادة بصورة حادة، وينصرف الجليد من خلال **المجري الجليدية** سريعة التدفق أو من خلال **الأنهار الجليدية** التي تشكل منافذ، وينصرف الجليد في بعض الحالات إلى البحار أو إلى **الألواح الجليدية** الطافية على سطح البحر. ولا يوجد سوى صفتين جليديتين في العالم الحديث إحداهما في غرينلاند والأخرى في أنتاركتيكا. وخلال العصور الجليدية، كانت هناك صفحات أخرى.

رف جليدي (Ice shelf) لوح طاف من الجليد ذو سمك هائل يمتد من الساحل (عادة لمسافات أفقية كبيرة، وله سطح ينحدر انحداراً طفيفاً) فيملاً الفجوات الخليجية على الخط الساحلي **للسفحة الجليدية** في أحيان كثيرة. وتوجد الأرف الجليدية على الخط الساحلي لصفحة جليدية في أحيان كثيرة. وتوجد الأرف الجليدية كلها تقريباً في القارة القطبية الجنوبية، حيث يتدفق معظم الجليد المنصرف في المحيط عن طريق الأرف الجليدية.

مجرى جليدي (Ice stream) تيار جليدي يتدفق بسرعة معززة من جزء من صفحة جليدية. وغالبا ما يكون المجرى الجليدي منفصلاً عن الجليد المحيط به بحواف معرضة لنقص قوي ومشقة. انظر أيضاً **Outlet glacier**.

Incoming solar radiation انظر **Insolation**.

القطبية الثنائية للمحيط الهندي (Indian Ocean Dipole (IOD)) نمط واسع النطاق من التقبية الدولية لدرجة حرارة سطح البحر في المحيط الهندي. ويظهر هذا النمط من خلال تدرج إقليمي لدرجة حرارة سطح البحر في المنطقة المدارية، يظهر في أحد أطواره المتطرفة في الخريف الشمالي تبريداً في سومطره وتدفئة في الصومال في الغرب، ويكونان مقترنين برياح شرقية شاذة على طول خط الاستواء.

Indirect aerosol effect انظر **Aerosol–cloud interaction**.

الثورة الصناعية (Industrial Revolution) فترة نمو صناعي سريع ذات آثار اجتماعية واقتصادية واسعة النطاق، بدأت في بريطانيا خلال النصف الثاني من القرن الثامن عشر وانتشرت في أوروبا وبعد ذلك في بلدان أخرى، بما فيها الولايات المتحدة. وكان اختراع الآلة البخارية نقطة انطلاق مهمة حفزت هذا التطور. وتؤرخ الثورة الصناعية لبداية الزيادة الكبيرة في استخدام الوقود الأحفوري وفي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفوري بصفة خاصة. وفي هذا التقرير يشير مصطلحاً قبل الثورة الصناعية وبعد الثورة الصناعية، بصورة تعسفية إلى حد ما، إلى الفترة السابقة والفترة اللاحقة لعام 1750، على التوالي.

Infrared radiation انظر **Terrestrial radiation**.

تشمس (Insolation) كمية الأشعة الشمسية التي تسقط على الأرض مقبسة بحسب خط العرض والفصل بوحدهات الواط لكل متر مربع (Wm^{-2}). ويشير مصطلح التشمس عادة إلى الأشعة التي تصل إلى قمة **الغلاف الجوي**. ويحدد المصطلح أحياناً بأنه يشير إلى الأشعة التي تصل إلى سطح الأرض. انظر أيضاً **Total Solar Irradiance**.

الفترات الفاصلة بين العصور الجليدية (Interglacials or interglaciations) الفترات الدافئة بين فترات سقوط الجليد في العصور الجليدية. وكثيراً ما تعرف هذه الفترات بأنها الفترات التي كانت فيها مستويات سطح البحر قريبة من المستوى الراهن. وبالنسبة لآخر فترة فاصلة بين عصرين جليديين حدث ذلك قبل نحو 129 ألف سنة و116 ألف سنة من الوقت الحالي (معرفاً بأنه سنة 1950) وإن كانت الفترة الدافئة قد بدأت في بعض المناطق قبل ذلك بعدد قليل من آلاف السنين. وباستخدام سجل **نظائر الأكسجين** تعرف الفترة الفاصلة بين العصور الجليدية بأنها الفترة بين النقطة المتوسطة لانتهاء فترة جليدية سابقة وبدء فترة جليدية لاحقة. وقد بدأت الفترة الحالية الفاصلة بين عصرين جليديين في العصر الحديث (Holocene) قبل 11.65 ألف سنة من الآن وإن كانت مستويات سطح البحر على الصعيد العالمي لم تقترب من وضعها الحالي حتى نحو 7000 سنة من الآن.

Internal variability انظر **Climate variability**.

منطقة الالتقاء المداري ((Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ)) منطقة الالتقاء المداري هي حزام استوائي ذو ضغط منخفض، وتيارات حمل حراري قوية وأمطار غزيرة بالقرب من خط الاستواء حيث تلتقي الرياح الشمالية الشرقية التجارية والرياح الجنوبية الغربية التجارية. ويتحرك هذا الحزام مع الفصول.

التخصيب بالحديد (Iron fertilization) إضافة متعمدة للحديد إلى الجزء العلوي من المحيط لتعزيز الإنتاجية التي يمكن أن تسحب الكميات الإضافية من ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي إلى المحيط.

تذبذب مادن-جوليان (Madden-Julian Oscillation (MJO)) هو أكبر مكون وحيد للتقلبية في الغلاف الجوي في نطاق الفصل الواحد (فترات تتراوح بين 30 و90 يوماً) في المنطقة المدارية. ويتجه ذلك التذبذب شرقاً بسرعة $m s^{-1} 5$ في شكل اقتران واسع النطاق بين دوران الغلاف الجوي وتيارات حمل حراري عميقة. وهو في تقدمه يرتبط بأقاليم كبيرة وتصحبه أمطار غزيرة وخفيفة على حد سواء، وبصورة رئيسية فوق المحيط الهندي وغرب المحيط الهادئ. وتستمر ظاهرة مادن-جوليان لمدة تتراوح بين 30 و60 يوماً تقريباً، ومن ثم تعرف بموجة الـ 30 إلى 60 يوماً، أو التذبذب الفصلي النطاق.

الصفائح الجليدية التي توجد قواعدها تحت سطح البحر (Marine-based ice sheet) هي صفائح جليدية تحتوي على مناطق كبيرة تتركز على طبقة تقع تحت مستوى سطح البحر ويتصل محيطها الخارجي بالمحيط. وأفضل مثال معروف لذلك هو الصفحة الجليدية لغرب القارة القطبية الجنوبية.

توازن/ميزانية الكتلة (لأنهار الجليدية أو الصفائح الجليدية) (Mass balance/budget (of glaciers or ice sheets)) هو الفرق بين الكتلة الداخلة إلى جسم جليدي (التراكم) والكتلة المفقودة (الانصهار والإنفصال الجليدي للـ **الجليد الجليدي**) على مدى فترة زمنية محددة، سنة أو موسماً غالباً. ويشير توازن الكتلة الموضوعي إلى رصيد الكتلة في موقع معين في **النهر الجليدي** أو **الصفحة الجليدية**. ورصيد الكتلة السطحية هو الفرق بين التراكم السطحي والانصهار السطحي. وفيما يلي مصطلحات دخل وخرج توازن الكتلة:

التراكم (Accumulation) كل العمليات التي تضيف إلى كتلة نهر جليدي. والمساهم الرئيسي في التراكم هو سقوط الثلج. كما يتضمن التراكم أيضاً ترسب الصقيع، والأمطار المتجمدة، والأنواع الأخرى من الترسبات الصلبة، وما يضاف من الثلج الذي تحمله الرياح، والأنهيارات الثلجية.

التلاشي (Ablation) جميع العمليات السطحية التي تقلص من كتلة نهر جليدي. والمساهم الرئيسي في التلاشي هو الانصهار مع **الصف السطحي**، ولكن في بعض الأنهار الجليدية يكون التصعد sublimation، ونقص الثلج بفعل الرياح والأنهيارات الثلجية عمليات مهمة في التلاشي.

تصرف/تدفق إلى الخارج (Discharge/outflow) نقص الكتلة بسبب انفصال الجبال الجليدية أو تصرف الجليد عبر **الخط الأرضي لرف جليدي** طاف. وبالرغم من التعامل مع ذلك كثيراً باعتباره انصهاراً، ففي هذا التقرير يعامل انفصال الجبال الجليدية والتصرف الجليدي بصورة مستقلة عن التصرف السطحي.

متوسط مستوى سطح البحر (Mean sea level) هو المستوى السطحي للمحيط عند نقطة معينة يحسب متوسطها على مدى فترة طويلة من الزمن كسهر أو سنة. وكثيراً ما يستخدم متوسط مستوى سطح البحر كمستوى وطني مرجعي تقاس منه الارتفاعات فوق سطح الأرض.

(Medieval Climate Anomaly (MCA)) انظر **Medieval Warm Period**.

الفترة الحارة في العصور الوسطى (Medieval Warm Period (MWP)) فترة تتسم بأحوال جوية دافئة نسبياً وبظواهر مناخية شاذة ملحوظة أخرى مثل حالات **جفاف** على نطاق واسع في بعض الأقاليم القارية. وزمن هذه الفترة ليس محددًا بشكل جلي، مع وجود سجلات مختلفة تبين بداية ونهاية فترة الدفء في أزمنة مختلفة، وبعضها ينم عن فترات دفء منقطعة. ومعظم التعاريف تندرج تحت الفترة من سنة 900 إلى سنة 1400 ميلادية. وتشير السيناريوهات المتاحة حالياً لمتوسط درجة حرارة في نصف الكرة الشمالي إلى أن أكثر الفترات دفءًا بمقياس نصف الكرة الشمالي ربما حدثت في الفترة من 950 إلى 1250 ميلادية. وتشير السجلات و**عمليات استنباط** درجات الحرارة القديمة المتاحة حالياً إلى أن متوسط درجات الحرارة خلال أجزاء من تلك الفترة كانت بالفعل أكثر دفءًا في سياق الألفي سنة الأخيرة، ولو أن الدفء ربما لم يكن شاملاً عبر المواسم والأقاليم الجغرافية مثلما كان عليه الحال في دفة القرن الـ 20. ويطلق عليه أيضاً الشدود المناخية في العصور الوسطى.

الدوران الزوالي الانقلابي المدفوع بالتباين الحراري والملحي في المحيط (Merid-ional Overturning Circulation (MOC)) تحسب كمية الدوران الانقلابي المدفوع بالتباين الحراري والملحي في المحيط (بين الشمال والجنوب) بكميات المناطق من إجمالي الكتل المنقولة (بين الشرق والغرب) في العمق أو في الطبقات المتباينة الكثافة. ففي شمال الأطلسي وبعيداً عن المناطق دون القطبية، كثيراً ما يُعرف **الدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي في المحيط** (وهو من حيث المبدأ كمية تخضع للملاحظة) بأنه الدوران الحراري والملحي، وهو تفسير مفاهيمي

مدى لها قبل 21 ألف سنة تقريباً. وقد درست تلك الفترة باستفاضة لأن **التأثيرات الإشعاعية** والظروف الحدودية معروفة معرفة جيدة نسبياً.

Last Interglacial (LIG) انظر **Interglacials**.

التدفق الحراري الكامن (Latent heat flux) التدفق المضطرب للحرارة من سطح الأرض إلى **الغلاف الجوي** المقترن بالتبخير أو بتكثف بخار الماء عند السطح؛ وهو أحد عناصر **ميزانية الطاقة السطحية**.

العمر (Lifetime) العمر أو فترة البقاء مصطلح عام للإشارة إلى النطاقات الزمنية المختلفة التي تميز معدل العمليات التي تؤثر في تركيز الغازات النزرة. ويمكن التمييز بين الأعمار التالية:

وقت الدوران (Turnover time (T)) (يسمى أيضاً عمر الغلاف الجوي العالمي) هو نسبة الكتلة M في **مستودع** ما (مركب غازي في **الغلاف الجوي**، مثلاً) والمعدل الكلي للإزالة (S) من المستودع: $T=M/S$. ويمكن تحديد وقت دوران منفصل لكل عملية إزالة. ويشار إلى ذلك في مجال بيولوجيا الكربون الموجود في التربة بأنه متوسط فترة البقاء.

زمن التكيف أو زمن الاستجابة (T_a) هو المقياس الزمني الذي يصف اضمحلال مدخل نظفي لحظي في المستودع. ويستخدم مصطلح وقت التكيف أيضاً لوصف تكيف كتلة المستودع عقب تغيير قوة **المصدر** بمقدار خطوة واحدة. ويستخدم تعبير العمر النصفي أو ثابت الاضمحلال للتحديد الكمي لعملية اضمحلال أسية من الرتبة الأولى. للاطلاع على تعريف مختلف يتعلق بالتغيرات **المناخية** انظر **وقت الاستجابة**.

وللتبسيط، يستخدم مصطلح العمر أحياناً كبديل لمصطلح وقت التكيف.

وفي الحالات البسيطة، عندما تكون الإزالة العالمية للمركب متناسبة مباشرة مع الكتلة الكلية للمستودع، فإن وقت التكيف يساوي وقت الدوران: $T=T_a$. ومن أمثلة هذا مركبات الكلوروفلوروكربون CFC-11 التي تزال من الغلاف الجوي فقط بعمليات كيميائية ضوئية في طبقة **الستراتوسفير**. وفي الحالات الأكثر تعقيداً، عندما يتعلق الأمر بالعديد من المستودعات أو عندما لا تكون الإزالة متناسبة مع الكتلة الكلية، لا تنطبق المعادلة $T=T_a$. و**ثاني أكسيد الكربون** هو مثال مطرف لذلك. فوقت دورانه نحو 4 سنوات فقط بسبب التغير السريع بين الغلاف الجوي والمحيط والكائنات الحية. ومن ناحية ثانية، فإن جزءاً كبيراً من ثاني أكسيد الكربون يعود إلى الغلاف الجوي في غضون سنوات قليلة. وعلى هذا فإن وقت التكيف لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي يحدد بالفعل بواسطة معدل إزالة الكربون من الطبقة السطحية للمحيطات إلى طبقاتها العميقة. ومع أن القيمة التقريبية البالغة مائة سنة قد تُعطي كوقت تكيف لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، فإن التكيف الفعلي يكون سريعاً في أول الأمر ويبطئ بعد ذلك. وفي حالة **الميثان (CH₄)** يكون وقت التكيف مختلفاً عن وقت الدوران لأن الإزالة تكون أساساً عن طريق تفاعلات كيميائية مع شق الهيدروكسيل OH، الذي يعتمد تركيبه هو ذاته على تركيز الميثان (CH₄). ولذلك فإن معدل إزالة الميثان S لا يتناسب مع كتلته الكلية M.

الاحتمال (Likelihood) هو فرصة حدوث نتيجة محددة، حيث يمكن تقدير ذلك على أساس الاحتمالات. ويعبر عن ذلك في هذا التقرير باستخدام المصطلحات المعيارية، على النحو المبين في الجدول 1-1. انظر أيضاً **Confidence Uncertainty**.

الغلاف الصخري (Lithosphere) الطبقة العليا من الأرض الصلبة، سواء في القارات أو في المحيطات، والتي تشمل الصخور القشرية كافة، والجزء البارد المرن غالباً من الدثار الصخري العلوي. والنشاط البركاني، وإن يكن جزءاً من الغلاف الصخري فلا يعد جزءاً من **النظام المناخي**، ولكنه يعمل كعامل مؤثر خارجي. انظر أيضاً **Isostatic**.

عصر جليدي صغير (Little Ice Age (LIA)) هو فترة خلال الألفية الأخيرة اتسمت بعدد من حالات توسع **الأنهار الجليدية** وحالات تراجع معتدلة فيما بين ذلك، في كل من نصفي الكرة الأرضية الشمالي والجنوبي على حد سواء. وتختلف أزمنة تقدم الجليد فيما بين **الأقاليم**، ولذا فإن هذا العصر الجليدي ليس محددًا بشكل جلي من حيث الزمن. وتقع معظم التعاريف في الفترة بين 1400 و1900 ميلادية. وفي الوقت الراهن تشير معظم العمليات المتاحة **لاستنباط** متوسط درجة حرارة نصف الكرة الشمالي إلى أن أبرد الفترات بمقياس نصف الكرة ربما حدثت خلال الفترة من 1450 إلى 1850 ميلادية.

Longwave radiation انظر **Terrestrial radiation**.

الكسر الجزئي (Mole fraction) الكسر الجزئي أو نسبة الخلط، هي نسبة عدد الجزيئات الجرامية من مكون ما في حجم معين، إلى إجمالي عدد الجزيئات الجرامية لجميع المكونات الموجودة في ذلك الحجم. وعادة ما يتم إبلاغها فيما يتعلق بالهواء الجاف. والقيم العادية لغازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج تكون في حدود ميكرومول لكل مول $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (عدد الأجزاء في كل مليون جزء PPM)، ونانومول لكل مول nmol mol^{-1} (عدد الأجزاء في كل بليون جزء: Ppb)، وفمتومول (عدد الأجزاء في كل ترليون جزء: Ppt). ويختلف الكسر الجزئي عن نسبة الخلط بدلالة الحجم التي يعبر عنها في أحيان كثيرة بالرمز ppmv وما إلى ذلك، وذلك بإضافة تصويب لمراعاة عدم مثالية الغازات. وهذا التصويب مهم بالنسبة لدقة القياس لكثير من غازات الاحتباس الحراري (Schwartz and Warneck, 1995).

الرياح الموسمية (Monsoon) الرياح الموسمية هي انعكاس موسمي مداري ودون مداري في كل من الرياح السطحية والأمطار المصاحبة لها، ينتج عن اختلاف حراري بين كتلة أرضية قارية وبين المحيط المتاخم لها. وتسقط أمطار الرياح الموسمية بصورة رئيسية فوق اليابسة في فصل الصيف.

بروتوكول مونتريال (Montreal Protocol) اعتمد بروتوكول مونتريال، بشأن المواد التي تسبب نضوب طبقة الأوزون، في مونتريال عام 1987، وجرت مواءمته وتعديله بعد ذلك في لندن (1990)، وكوبنهاغن (1992)، وفيينا (1995)، ومونتريال (1997) وبيجين (1999). وهو ينظم استهلاك وإنتاج المواد الكيميائية المحتوية على الكلور والفلور - التي تدمر أوزون الغلاف الستراتوسفيري مثل مركبات الكلوروفلوروكربون وميثيل الكلوروفوم ورباعي كلوريد الكربون ومواد كثيرة أخرى.

التربة الصقيعية القريبة من السطح (Near-surface permafrost) مصطلح يستخدم كثيرا في تطبيقات النماذج المناخية للإشارة إلى التربة الصقيعية الموجودة على أعماق قريبة من سطح الأرض (على عمق يصل عادة إلى 3.5 م). وفي دراسات النمذجة، يجري تشخيص التربة الصقيعية القريبة من السطح عادة من متوسطات مناخية تغطي 20 أو 30 سنة، ويختلف هذا التعريف عن التعريف التقليدي للتربة الصقيعية. واختفاء التربة الصقيعية القريبة من السطح من مكان ما لا يستبعد وجودها على أعماق أبعد. انظر أيضا الطبقة النشطة، والأرض المتجمدة والكارست الحراري.

عناصر التأثير المناخي القريبة من السطح (Near-term climate forcers) تشير عناصر التأثير المناخي القريبة من السطح إلى المكونات التي يحدث تأثيرها على المناخ أساسا خلال العقد الأول من انبعاثها. وتتألف هذه المجموعة أساسا من المكونات التي لها فترة بقاء قصيرة في الغلاف الجوي مقارنة بغازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج، وكان يشار إليها لبعض الوقت باسم عناصر القسر المناخي القصيرة الأجل أو المواد الملوثة للمناخ القصيرة الأجل. غير أن الخاصية المشتركة البالغة الأهمية لأي تقييم مناخي هي الإطار الزمني الذي يظهر فيه تأثيره على المناخ. وتشمل هذه المجموعة من المركبات الميثان، وهو أيضا من غازات الاحتباس الحراري الجيدة الامتزاج، والأوزون، والأهباء الجوية، أو سلائفها، وبعض الفصائل المحتوية على هالوجينات والتي تعد من الغازات الحابسة للحرارة غير جيدة الامتزاج. ولا تتراكم هذه المركبات في الغلاف الجوي على مدى النطاقات الزمنية العقدية إلى القرنية، ومن ثم فإن تأثيرها على المناخ يحدث أساسا على الأجل القريب بعد انبعاثها.

ترسب النيتروجين (Nitrogen deposition) ترسب النيتروجين يعرف بأنه النيتروجين المنقول من الغلاف الجوي إلى سطح الأرض بعملية الترسيب الرطب والترسيب الجاف.

أكسيد النيتروز (Nitrous oxide (N₂O)) هو أحد غازات الاحتباس الحراري الستة التي ينبغي التخفيف من آثارها بموجب بروتوكول كيوتو. والمصدر الرئيسي ناجم عن الأنشطة البشرية المتعلقة بأكسيد النيتروز هو الزراعة (إدارة التربة وروث الحيوانات)، بيد أنه تأتي إسهامات مهمة أيضا من معالجة فضلات الصرف الصحي، واحتراق الوقود الأحفوري، والعمليات الصناعية الكيميائية. ويُنتج أكسيد النيتروز أيضا طبيعيا من طائفة واسعة من المصادر البيولوجية في التربة وفي المياه ولا سيما العمليات الميكروبية في الغابات المدارية الرطبة.

اللاخطية (Nonlinearity) يطلق تعبير اللاخطية على أي عملية عندما لا تكون هناك علاقة تناسبية بسيطة بين السبب والنتيجة. ويحتوي النظام المناخي على كثير من العمليات اللاخطية، والتي تسفر عن نظام ذي سلوك يحتمل أن يكون معقدا جدا. وقد يؤدي التعقيد إلى تغيير مناخي مفاجئ. انظر أيضا Cha-predictability and otic.

وغير تام. ويجب أن يؤخذ في الاعتبار أن هذا الدوران تدفعه أيضا الرياح، وقد يشمل أيضا خلايا دوارة أكثر ضحالة مثل تلك التي تحدث في أعلى المحيط وفي المناطق المدارية ودون المدارية، وفيها تتحول المياه الدافئة (الخفيفة) التي تتحرك صوب القطب إلى مياه ذات كثافة أكبر قليلا تُنقل تحتيا صوب خط الاستواء عند مستويات أعمق.

البيانات الشرحية (Metadata) هي معلومات بشأن بيانات الأرصاد الجوية والمناخية تتعلق بطريقة ووقت قياسها، ونوعيتها، والمشاكل المعروفة بشأنها، وخصائص أخرى.

الميثان (CH₄) (Methane (CH₄)) أحد غازات الاحتباس الحراري الستة التي ينبغي التخفيف منها بمقتضى بروتوكول كيوتو وهو المكون الرئيسي للغاز الطبيعي ويرتبط بجميع أنواع الوقود الهيدروكربوني، وتربية الماشية، والزراعة.

وسيلة قياس (Metric) مقياس ثابت لإحدى خصائص جسم أو نشاط يتعدى تقدير كميته بغير ذلك من الوسائل. وفي إطار تقييم النماذج المناخية، يُعد هذا مقياسا كميًا يحظى بالاتفاق بين كمية محاكاة وكمية مشاهدة ويمكن استخدامه لتقييم أداء نماذج إفرادية.

وحدة سبر بالموجات المتناهية القصر (Microwave Sounding Unit (MSU)) هي مقياس للسبر بالموجات المتناهية القصر يعمل مع السوائل ذات المدارات القطبية التابعة للإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي في الولايات المتحدة (NOAA) والتي تقدر درجة حرارة الطبقات السميكة للغلاف الجوي بقياس الانبعاثات الحرارية لجزيئات الأكسجين من مجموعة خطوط الانبعاث بالقرب من 60 غيغاهيرتز. وقد بدأت مجموعة تتكون من تسع من هذه الوحدات بإجراء هذا النوع من القياسات في أواخر عام 1978. وبدأ في منتصف عام 1998 تشغيل مجموعة من الأدوات، هي وحدات السبر المتقدمة بالموجات المتناهية القصر (AMSUs).

التحلل العضوي/التحول غير العضوي (Mineralization/Remineralization) تحول عنصر من صورته العضوية إلى صورة غير عضوية نتيجة للتحلل الميكروبي. وفي حالة تحلل النيتروجين، يحول النيتروجين العضوي الناتج من تحلل البقايا النباتية والحيوانية (البروتينات، والأحماض النووية، والسكريات الأمينية، واليوريا) إلى أمونيا أو نشادر (NH₃) وأمونيوم (NH₄⁺) وذلك عبر نشاط بيولوجي.

التخفيف من الأثر (Mitigation) تدخل بشري للحد من المصادر أو لتعزيز مغاوض غازات الاحتباس الحراري.

Mixing ratio انظر Mole fraction.

انحراف النموذج (Model drift) حيث أن المناخ النموذجي يختلف إلى حد ما عن المناخ المشاهد، فإن التنبؤات المناخية "تتحرف" عادة عن الحالة القائمة على المشاهدة الأولية صوب المناخ النموذجي. ويحدث هذا الانحراف بمقاييس زمنية مختلفة ومتغيرات مختلفة، ويمكن أن يطمس معلومات التنبؤات للحالة الأولية ويزال عادة بأثر رجعي بواسطة تعديل أمبيريق يكون خطيا عادة.

Model hierarchy انظر Climate model (الطيف أو التسلسل الهرمي).

بدء النموذج (Model initialization) يبدأ التنبؤ المناخي عادة بالشروع في دمج نموذج مناخي مسبقا من حيث الوقت في حالة مبدئية يُقصد بها أن تعكس الحالة الواقعية للنظام المناخي. وتستوعب الرصدات المتاحة عن النظام المناخي في النموذج. وبدء النموذج عملية معقدة يحد منها الرصدات المتاحة، وأخطاء الرصدات، وبحسب الإجراءات المستخدمة، قد تتأثر بعدم التيقن المتعلق بتاريخ التأثير المناخي. وستحتوي الأحوال الأولية على أخطاء تنمو مع تقدم التنبؤ مما يحد من الوقت الذي يظل فيه التنبؤ مفيدا. انظر أيضا Climate model.

امتداد النموذج (Model spread) هو نطاق أو انتشار النتائج المستمدة من النماذج المناخية، مثل تلك التي تجمعها المرحلة الخامسة من مشروع مقارنة النماذج المناخية المتقاربة (Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5)). ولا يوفر هذا بالضرورة تقديرا كاملا ورسميا لعدم اليقين من حيث التأثيرات التفاعلية، ولا للتأثيرات أو الإسقاطات، حتى وإن تم التعبير عنها في شكل رقمي، أي بحسب الانحراف المعياري لاستجابات النماذج، مثلا. ومن أجل تحديد عدم التيقن كميًا، يجب الجمع بين المعلومات المستخلصة من الرصدات، والقيود المادية، وآراء الخبراء، باستخدام إطار إحصائي.

شكل التقلبية المناخية (Mode of climate variability) هو الهيكل الأساسي المكاني - الزمني، ونمطه المكاني المفضل والتنوع الزمني الذي يساعد في تفسير السمات الإجمالية في التفاوت وفيما يتعلق بالارتباطات التباعدية. وكثيرا ما يعتبر شكل التقلبية ناتجا للتمط المناخي المكاني وسلسلة زمنية للمعامل المناخي المرتبط به.

التقلبية العقدية في المحيط الهادئ (Pacific decadal variability) تقلبية متقارنة يتراوح نطاقها من عقد إلى عقود لدوران الغلاف الجوي والمحيط الواقع تحته في حوض المحيط الهادئ. وتبرز هذه التقلبية في أعلى صورها في شمال المحيط الهادئ، حيث تتغير التقلبات في قوة نظام الضغط المنخفض الشتوي في الألويت بتغير درجات حرارة سطح البحر في شمال المحيط الهادئ، وبالتغيرات العقدية في دوران الغلاف الجوي، ودرجات حرارة سطح البحر ودوران المحيط في حوض المحيط الهادئ بكامله. ولتلك التقلبات أثرها المهدئ **لدورة التذبذب الجنوبي - النينيو**. وتمثل المقاييس الأساسية للتقلبية العقدية في المحيط الهادئ في معامل شمال المحيط الهادئ (NPI)، ومعامل التذبذب العقدي في المحيط الهادئ (PDO) ومعامل التذبذب في المحيط الهادئ فيما بين العقود (IPO)، وقد وردت تعاريفها جميعا في الإطار 2.5.

نمط أمريكا الشمالية الواقعة على المحيط الهادئ (Pacific-North American pattern) (PNA) نمط موجي واسع النطاق للغلاف الجوي، يبرز سلسلة من ظواهر الضغط المرتفع والمنخفض الشاذة في طبقة التروبوسفير تمتد من منطقة غرب المحيط الهادئ دون المدارية إلى الساحل الشرقي لأمريكا الشمالية. انظر PNA pattern index، الإطار 2.5.

المناخ القديم (Paleoclimate) المناخ خلال الفترات السابقة على تطور أدوات القياس، بما في ذلك الزمن التاريخي والزمن الجيولوجي، والتي لا يتوفر عنها سوى سجلات مناخية **بديلة**.

تحدد البارامترات (Parametrization) في نماذج المناخ، يشير هذا المصطلح إلى أسلوب لتمثيل عمليات لا يمكن إيجاد حل واضح لها عند مستوى الوضوح المكاني أو الزماني للنموذج (عمليات دون شبكية) بواسطة علاقات بين متغيرات على نطاق أوسع ومحلولة بالنماذج ومتوسط الأثر بحسب المنطقة أو الزمن لتلك العمليات على النطاق دون الشبكي.

المئينات (Percentiles) هي مجموعة قيم تجزئة تقسم مجموع مجتمع توزيعي إلى مائة جزء من الأجزاء المتساوية، وينظر المئين الخمسون القيمة المتوسطة لمجتمع القيم.

التربة الصقيعية (Permafrost) هي الأرض (التربة أو الصخور وما تتضمنه من جليد ومواد عضوية) التي تظل عند درجة صفر مئوية أو دونها لمدة سنتين متعاقبتين على الأقل. انظر أيضا التربة الصقيعية القريبة من السطح.

مقياس الحمضية (pH) مقياس لتمييز له لقياس درجة حمضية الماء (أو أي محلول مائي) بتعيين تركيز أيونات الهيدروجين فيه (H⁺). وتقاس pH بمقياس لوغاريتمي حيث (pH = -log₁₀(H⁺)). وعلى هذا فإن انخفاض قيمة pH بمقدار وحدة واحدة ينظر زيادة بمقدار 10 أمثال في تركيز H⁺، أو الحمضية.

التمثيل الضوئي (Photosynthesis) عملية تتمص فيها النباتات ثاني أكسيد الكربون من الهواء (أو البيكربونات من الماء) وتقوم ببناء الكربوهيدرات، وإطلاق الأكسجين. وهناك مسارات عديدة لعمليات التمثيل الضوئي باستجابات مختلفة لتركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. انظر أيضا **Carbon dioxide fertilization**.

عوالق (Plankton) كائنات مجهرية تعيش في الطبقات العليا من النظم المائية. وثمة فرق بين العوالق النباتية التي تعتمد على التمثيل الضوئي لإمدادها بالطاقة، والعوالق الحيوانية التي تتغذى على العوالق النباتية.

البليستوسين (Pleistocene) هو الحقب الأسبق من حقبين ينقسم إليهما العصر الرابع، الذي يمتد من Ma 2.59 حتى بداية عصر الهولوسين (الحديث) في 11.65 ka.

البليوسين (Pliocene) حقب البليوسين هو آخر أحقاب العصر الأخير من نظام الحياة الحديثة الذي بدأ منذ من نحو 5.33 مليون سنة واستمر حتى بداية عصر البليستوسين منذ 2.59 مليون سنة.

تحليل غبار الطلع (Pollen analysis) هو أسلوب لتحديد التواريخ النسبية ولإعمار البيئي، يتألف من التعرف على أنواع غبار الطلع المحفوظة في الحث، وفي رواسب البحيرات والرواسب الأخرى. انظر أيضا **Proxy**.

المياه القابلة للاستمطار (Precipitable water) الكمية الكلية لبخار الماء في عمود رأسي من الغلاف الجوي مساحة مقطعه العرضي وحدة واحدة. ويعبر عنها عادة بدلالة ارتفاع المياه إذا تكثفت بصورة كاملة وجمعت في وعاء له نفس المقطع العرضي الذي للوحدة.

تذبذب شمال الأطلسي (North Atlantic Oscillation (NAO)) يتألف تذبذب شمال الأطلسي من متغيرات متضادة للضغط السطحي بالقرب من آيسلندا وبالقرب من جزر الأزور. لذا فإنه يقابل التقلبات في قوة الرياح الغربية الرئيسية عبر المحيط الأطلسي إلى أوروبا، ومن ثم تقلبات الأعاصير فوق المدارية الموجودة فيها مع نظم الجبهات المرتبطة بها. انظر معامل NAO، الإطار 2.5.

النمط الحلقي الشمالي (Northern Annular Mode (NAM)) هو تقلب شتوي في سعة نمط يتسم بانخفاض للضغط السطحي في القارة القطبية الشمالية ورياح غربية قوية في خطوط العرض الوسطى. وللشكل الحلقي الشمالي صلات بالدوامة القطبية الشمالية في الغلاف الستراتوسفيري. وينحرف نمطه نحو شمال المحيط الأطلسي، ولعامله علاقة ارتباط قوية بمعامل تذبذب شمال الأطلسي. انظر معامل NAM، الإطار 2.5.

تحمض المحيط (Ocean acidification) يشير تحمض المحيط إلى انخفاض قيمة pH في المحيط على مدى فترة طويلة، عقود أو أطول في العادة، وبسببه بصورة رئيسية امتصاص ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي، ولكن يمكن أن يسببه أيضا إضافة مواد كيميائية أخرى إلى المحيط أو سحب مواد أخرى منه. وتشير عبارة تحمض المحيطات بفعل الأنشطة البشرية إلى مكون يتسبب في خفض قيمة pH نتيجة للنشاط البشري (IPCC, 2011, p. 37).

كفاءة المحيط في امتصاص الحرارة (Ocean heat uptake efficiency) مقياس لمعدل زيادة مخزون الحرارة في المحيطات العالمية مع زيادة ارتفاع متوسط درجة الحرارة السطحية على الصعيد العالمي. وهو بارامتر مفيد في تجارب تغير المناخ التي تتغير فيها التأثير الإشعاعي بصورة رتيبة، عندما يمكن مقارنته ببارامتر التأثير التفاعلي للمناخ لقياس الأهمية النسبية لاستجابة المناخ وامتصاص المحيط للحرارة لتعيين معدل تغير المناخ. ويمكن أن يقدر من مثل تلك التجربة باعتباره نسبة معدل زيادة المحتوى الحراري للمحيط إلى متوسط التغير في درجة حرارة الهواء السطحي العالمي.

الهباء العضوي (Organic aerosol) أحد مكونات النظم الهوائية يحتوي على مركبات عضوية، وكربون، وإيدروجين، وأكسجين أساسا، ومقادير أقل من عناصر أخرى. انظر أيضا **Carbonaceous aerosol**.

الأشعة الصادرة الطويلة الموجات (Outgoing longwave radiation) صافي الأشعة الصادرة في ذلك الجزء من الأشعة تحت الحمراء من الطيف في أعلى طبقة الغلاف الجوي. انظر أيضا **Terrestrial radiation**.

مشلحة مصرفية (Outlet glacier) نهر جليدي موجود عادة بين جدران صخرية، تشكل جزءا من صفحة جليدية، وتصرف فيها. انظر أيضا **Ice stream**.

الأوزون (Ozone) شكل ثلاثي الذرات للأكسجين، وهو مكون غازي من مكونات الغلاف الجوي. وفي طبقة التروبوسفير، ينشأ الأوزون طبيعيا وبتفاعلات كيميائية ضوئية في وجود غازات ناجمة عن الأنشطة البشرية (ضبخان [ضباب+دخان]). ويعمل الأوزون التروبوسفيري كغاز من غازات الاحتباس الحراري. وفي طبقة الغلاف الستراتوسفيري ينشأ الأوزون بالتفاعل بين الأشعة الشمسية فوق البنفسجية وجزء الأكسجين (O₂). ويؤدي أوزون الغلاف الستراتوسفيري دورا رئيسيا في التوازن الإشعاعي للستراتوسفير. ويكون تركيزه أعلى ما يكون في طبقة الأوزون.

Ozone hole انظر **Ozone layer**.

طبقة الأوزون (Ozone layer) يحتوي الستراتوسفير على طبقة يكون فيها تركيز الأوزون عند أعلى قيمة له، تسمى طبقة الأوزون. وتمتد الطبقة من نحو 12 إلى 40 كم فوق سطح الأرض. ويصل تركيز الأوزون إلى ذروته بين حوالي 20 و25 كم. وتعرض هذه الطبقة للنضوب بفعل الانبعاثات البشرية من مركبات الكلور والبروم. وفي كل عام، وفي أثناء ربيع نصف الكرة الجنوبي، يحدث نضوب شديد لطبقة الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية، بسبب مركبات الكلور والبروم الناجمة عن النشاط البشري في ظل الظروف الجوية النوعية لتلك المنطقة. وتعرف هذه الظاهرة باسم ثقب الأوزون. انظر أيضا **Montreal Protocol**.

التذبذب العقدي في المحيط الهادئ (Pacific Decadal Oscillation (PDO)) هو النمط والمتسلسلات الزمنية لأول دالة أمبيريقية متعامدة لدرجة حرارة سطح البحر فوق شمال المحيط الهادئ إلى الشمال من درجة 20 شمالا. وقد اتسع نطاق هذا التذبذب وأصبح يشمل حوض المحيط الهادئ بكامله ويعرف باسم تذبذب المحيط الهادئ فيما بين العقود. ويظهر التذبذبان كلاهما تطورا زمنيا متماثلا. انظر أيضا **Pacific Decadal Variability**.

الأهباء والأشعة، والأثر الإشعاعي للسحب، وظاهرة الاحتباس الحراري. وفي هذا التقرير، يوصف أي جزء من الأثر الإشعاعي الذي يحدث عند قمة الغلاف الجوي ويكون ناتجاً عن **انشطة بشرية** أو أي تأثيرات خارجية أخرى (مثل، الانفجارات البركانية أو التغيرات التي تطرأ على الشمس) باسم **التأثير الإشعاعي الآني**.

التأثير الإشعاعي (Radiative forcing) التأثير الإشعاعي هو التغير في الدفع الإشعاعي الهابط ناقصا الدفع الإشعاعي الصاعد (معبراً عنها بوحدات واط/م²) في **التروبوز** أو عند قمة **الغلاف الجوي** بسبب تغير في القوة الدافعة الخارجية **للتغير المناخي**، مثل التغير في تركيز **ثاني أكسيد الكربون** أو في خرج الشمس. وفي بعض الأحيان، تظل قوى الدفع الداخلية تعامل كتأثيرات خارجية حتى وإن نشأت عن تغير في **المناخ**، مثل التغيرات في **نظم الأهباء أو غازات الاحتباس الحراري في المناخ القديم**. ويُحسب التأثير الإشعاعي التقليدي مع تثبيت جميع خصائص التروبوسفير عند قيمها غير المضطربة، وبعد السماح لدرجات الحرارة في الستراتوسفير بالتكيف من جديد مع الاتزان الدينامي الإشعاعي، إذا كان قد حدث بها اضطراب. ويسمى التأثير الإشعاعي تأثيراً آنياً إذا لم يوجد ما يبدل على وجود تغير في درجة الحرارة في الستراتوسفير. وبمجرد وجود ما يبدل على **التكيف السريع** للتأثير الإشعاعي، فإنه يسمى تأثيراً إشعاعياً فعالاً. ولأغراض هذا التقرير، يعرف التأثير الإشعاعي أيضاً بأنه التغير المتصل بعام 1750، كما يشير إلى قيمة عالمية ومتوسط سنوي، مالم يذكر خلاف ذلك. وينبغي عدم الخلط بين التأثير الإشعاعي والتأثير الإشعاعي للسحب، الذي يصف مقياساً لاصلة له بتأثير السحب على الدفع الإشعاعي عند قمة الغلاف الجوي.

التكيف السريع (Rapid adjustment) الاستجابة لعامل يحدث اضطراباً في **النظام المناخي** مدفوعاً مباشرة بهذا العامل، وبصورة مستقلة عن أي تغير في **متوسط درجة الحرارة السطحية العالمية**. فمثلاً، يمكن أن يتسبب كل من **ثاني أكسيد الكربون والأهباء الجوية**، بتغييرهما لمعدلي التسخين والتبريد الداخليين في **الغلاف الجوي**، في تغييرات في الغطاء السحابي والتغيرات الأخرى فينتج عن ذلك **أثر إشعاعي** حتى في حالة عدم وجود أي تسخين أو تبريد سطحي. وتكون التكيفات سريعة بمعنى أنها تبدأ بالحدوث فوراً قبل حدوث **التأثيرات التفاعلية للمناخ** المدفوعة بارتفاع درجة الحرارة (ولو أن بعض التكيفات قد تستغرق وقتاً طويلاً لكي تكتمل، مثل تلك التي تشمل الغطاء الحضري أو **الصفائح الجليدية**). وهي تسمى أيضاً الاستجابة السريعة أو **التكيف السريع**. للمزيد من التوضيح بشأن هذا المفهوم، انظر القسمين 7.1 و 8.1.

Rapid climate change انظر **Abrupt climate change**.

التغير الدينامي السريع (الأنهار أو الصفائح الجليدية) (Rapid dynamical change (of glaciers or ice sheets)) تغيرات في كتلة **الأنهار أو الصفائح الجليدية** تحدث نتيجة التغيرات في سرعة التدفق والتصريف في الأنهار الجليدية أكثر مما تحدث بالتراكم أو الانصهار. ويمكن أن يسفر هذا عن معدل للتغير في الكتلة أكبر من أي تغير راجع إلى أي اختلال بين التراكم والانصهار. وربما يتحرك التغير الدينامي السريع بدافع مناخي، مثل اقترام مياه المحيط الدافئة تحت **رف جليدي**، أو تضالؤ الوجهة النهائية لياه المد الأرضية، مما قد يؤدي إلى ردود فعل داخل نظام النهر الجليدي، قد تسفر عن فقدان سريع للجليد. انظر أيضاً **Mass balance / budget (of glaciers or ice sheets)**.

إعادة التحليل (Reanalysis) إعادة التحليل هي تقديرات لدرجة الحرارة والرياح التاريخية أو لدرجات الحرارة والتيارات الأوقيانوغرافية، ولكميات أخرى، تنشأ من خلال تجهيز بيانات أرصاد جوية أو بيانات أوقيانوغرافية سابقة باستخدام تنبؤات ثابتة حديثة أو نماذج دوران المحيط مع تطبيق أساليب استيعاب البيانات. ويؤدي استخدام استيعاب البيانات الثابتة إلى تجنب الآثار الناجمة عن تغيير نظام التحليل الذي يحدث في التحليلات التشغيلية. وبالرغم من تحسّن الاستمرارية، لا تزال عمليات إعادة التحليل العالمية تعاني من تغير التغطية والتحييزات في نظم الرصد.

التأثير الارتدادي (Rebound effect) عند إزالة **ثاني أكسيد الكربون** من **الغلاف الجوي**، يقل تدرج تركيز ثاني أكسيد الكربون بين **مستودع الكربون** في الغلاف الجوي من جهة ومستودع الكربون في اليابسة والمحيطات من جهة أخرى. ويؤدي هذا إلى انخفاض أو تبدل في معدل الإزالة الأصلي لثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي لاحقاً بواسطة عمليات **دورة الكربون** الطبيعية على اليابسة وفي المحيطات.

استنباط (متغير مناخي) (Reconstruction (of climate variable)) نهج لاستنباط الخصائص الزمنية والمكانية السابقة لأحد المتغيرات المناخية بواسطة مصادر التنبؤ. ويمكن أن يغدو لمصادر التنبؤ أهمية فيما يتعلق بالبيانات إذا استخدم الاستنباط في استكمال البيانات الناقصة أو البيانات **البدلية** إذا كانت قد

السلائف (Precursors) مركبات موجودة في الغلاف الجوي ليست من **غازات الاحتباس الحراري** ولا من **الأهباء الجوية**، بيد أنها تؤثر على غازات الاحتباس الحراري أو على تركيزات الأهباء الجوية من خلال المشاركة في العمليات الفيزيائية أو الكيميائية وتنظيم معدلات إنتاجها أو تدميرها.

إمكانية التنبؤ (Predictability) المدى الذي يمكن فيه التنبؤ بالحالات المستقبلية لنظام ما استناداً إلى معارف تتعلق بالحالات الحالية والسابقة للنظام. ونظراً لأن المعارف المتعلقة بحالات **النظام المناخي** السابقة والحالية يعوزها الكمال عامة، مثلما هو حال النماذج التي تستخدم تلك المعارف لإنتاج **تنبؤات مناخية**، ولأن النظام المناخي هو أصلاً نظام **لاخطي وعشوائي**، فإن إمكانية التنبؤ بالنظام المناخي تكون بطبيعتها محدودة. وحتى في وجود نماذج ومشاهدات تجعل دقيقة في تأثيرها، فإن إمكانية التنبؤ قد تظل تواجه قيود التنبؤ التي تواجهها النظم اللاخطية (AMS, 2000).

جودة/ مهارة التنبؤ (Prediction quality/skill) هي مقاييس لنجاح **التنبؤ** في ضوء المعلومات القائمة على الرصد. ولا يمكن لمقياس واحد أن يلخص كل جوانب جودة التنبؤ ولذا ينظر في استخدام مجموعة من **أساليب القياس**. وستتفاوت أساليب القياس بالنسبة للتنبؤات المحددة والتنبؤات الاحتمالية. انظر أيضاً **Climate prediction**.

Pre-industrial انظر **Industrial Revolution**.

دالة كثافة الاحتمالات (Probability Density Function (PDF)) هي دالة تبين الفرص النسبية لحدوث نتائج مختلفة تتعلق بأحد المتغيرات. وتتكامل الدالة إلى قيمة تصل وحدة واحدة على مدى المجال الذي تحد من أجله ولها خاصية أن تكاملها على مدى مجال فرعي يساوي احتمال أن تقع نتيجة المتغير في ذلك المجال الفرعي. إذ يمكن مثلاً الحصول على احتمال حدوث شذوذ في درجة الحرارة معرف بطريقة معينة تزيد قيمته عن صفر من دالة كثافة الاحتمالات الخاصة بذلك الشذوذ بإجراء عملية تكامل تغطي جميع حالات شذوذ درجة الحرارة التي تزيد قيمتها عن صفر. وتعرف دوال كثافة الاحتمالات التي تصف متغيرين أو أكثر في آن واحد، بطريقة ماثلة.

نموذج قائم على عمليات (Process Based Model) مفاهيم نظرية وطرائق حسابية تمثل وتحاكي سلوك نظم العالم الحقيقي المستمدة من مجموعة من المكونات الوظيفية وتفاعلاتها مع بعضها البعض وبيئة النظام، من خلال عمليات فيزيائية وميكانيكية تحدث مع الزمن. انظر أيضاً **Climate model**.

الإسقاط (Projection) هو تطور يحتمل تحققه في المستقبل لكمية أو مجموعة من الكميات، غالباً ما تحسب بالاستعانة بنموذج. وخلافاً للتنبؤات، تكون الإسقاطات مرتبهة بافتراضات تتعلق مثلاً بالتطورات الاجتماعية الاقتصادية والتكنولوجية المقبلة التي قد تتحقق أو لا تتحقق. انظر أيضاً **Climate prediction** و **Climate projection**.

البديل (Proxy) مؤشر المناخ البديل هو سجل يفسر باستخدام المبادئ الفيزيائية والفيزيائية-البيولوجية، لتمثيل خليط ما من المتغيرات المتعلقة بالمناخ والعودة بها إلى الماضي. ويشار إلى البيانات المتعلقة بالمناخ والمستمدة على هذا النحو بوصفها بيانات بديلة. وتشمل أمثلة البيانات البديلة **تحليل غبار الطلع**، وسجلات **حلقات جذوع الأشجار**، وترسبات المعادن في الكهوف، وخصائص الشعاب المرجانية والبيانات المختلفة المستمدة من الترسبات البحرية ومن **العينات الجوفية للجليد**. ويمكن معايرة البيانات البديلة لتوفير معلومات كمية تتعلق بالمناخ.

التذبذب (أو تغيير الاتجاه، مرة قرابة كل سنتين) (Quasi-Biennial Oscillation (QBO)) تذبذب شبه دوري للرياح الإقليمية الاستوائية بين رياح شرقية ورياح غربية في **الاستراتوسفير** المداري لفترة متوسطة نحو 28 شهراً. وتهبط الرياح القصوى المتناوبة من قاعدة الميزوسفير حتى **التروبوز**، مدفوعة بظاهرة موجية تنتشر من **التروبوسفير** إلى أعلى.

العصر الرابع (Quaternary) الدور الثاني والأخير من حقبة الحياة الحديثة (من 65 مليون سنة إلى العصر الحاضر)، ويمتد من 2.59 مليون سنة وحتى الوقت الراهن، ويشمل حقبة **البليستوسين** وحقبة **الهولوسين**.

الأثر الإشعاعي (Radiative effect) الأثر الواقع على تدفق إشعاعي أو معدل تسخين (الأكثر شيوعاً في التدفق الهابط عند قمة **الغلاف الجوي**) الذي يسببه تفاعل مكوّن معين إما مع حقول **الأشعة تحت الحمراء** أو **الأشعة الشمسية** من خلال الامتصاص، والتشتت، والانبعاث، فيما يتعلق بغلاف جوي ذي خواص متطابقة في كل شيء آخر وخال من ذلك المكون. ويسفر هذا عن تعيين الأثر الكمي لهذا المكون على **النظام المناخي**. ومن أمثلة ذلك **التفاعلات بين نظم**

للاطلاع على المزيد من الوصف للسيناريوهات المستقبلية، انظر الإطار 1.1.

المستودع (Reservoir) مكون من مكونات النظام المناخي، غير الغلاف الجوي، له القدرة على تخزين وتجميع أو إطلاق مادة ذات أهمية، مثل الكربون، أو غاز من غازات الاحتباس الحراري، أو أحد السلائف. والمحيطات والتربة بتأونها والغابات هي أمثلة لمستودعات الكربون. والحوض هو مصطلح مكافئ (لاحظ أن تعريف الحوض كثيرا ما يشمل الغلاف الجوي). والكمية المطلقة للمادة ذات الأهمية الموجودة في مستودع ما في وقت معين تسمى الرصيد.

الاستبانة (Resolution) في النماذج المناخية، يشير هذا المصطلح إلى المسافة الفعلية (بالمتر أو الدرجات) بين كل نقطة من نقاط الشبكة المستخدمة لحساب المعادلات. ويشير مصطلح الاستبانة الزمانية إلى الخطوات الزمنية أو الوقت الذي ينقضي بين حساب كل نموذج للمعادلات.

التنفس (Respiration) العملية التي تحوّل بها الكائنات الحية المواد العضوية إلى ثاني أكسيد كربون، مطلقة طاقة ومستهلكة الأكسجين الجزيئي.

فترة الاستجابة (Response time) الاستجابة أو زمن التكيف هو الزمن الذي يحتاجه النظام المناخي أو مكوناته للوصول إلى حالة جديدة من الاتزان، عقب حدوث تأثير ناتج من عمليات خارجية. وهو يختلف اختلافا كبيرا بالنسبة للمكونات المختلفة لنظام المناخ. فزمن الاستجابة للترابوسفير قصير نسبيا، إذ يتراوح بين أيام وأسابيع، في حين أن الستراتوسفير يصل إلى الأتزان خلال نطاق زمني يصل إلى بضعة شهور عادة. ونظرا للقدرة الحرارية الكبيرة للمحيطات، فإن لها زمن استجابة أطول كثيرا. عقود في العادة، ولكنه قد يصل إلى مئات بل وآلاف السنين. ولذا فإن زمن الاستجابة لنظام السطح - التروبوسفير الشديد التقارن يكون بطيئا مقارنة بزمن استجابة الستراتوسفير، ويتحدد أساسا بواسطة المحيطات. وقد يستجيب الغلاف الجوي بسرعة (لحالات الجفاف، مثلا)، ولكن أيضا ببطء شديد للتغيرات المفروضة. للاطلاع على تعريف مختلف لزمن الاستجابة المتعلقة بمعدل العمليات التي تؤثر في تركيز الغازات النزرة، انظر (life-time).

فترة الارتداد (Return period) هي تقدير لمتوسط الفترة الزمنية بين وقوع حدث ما (فيضان أو سقوط كميات أمطار كبيرة للغاية) بقيمة أدنى أو أعلى (من حجم أو شدة محددتين). انظر أيضا Return value.

قيمة الارتداد (Return value) هي أعلى قيمة (أو بدلا عن ذلك أدنى قيمة) لمتغير معين، يحدث في المتوسط مرة كل فترة معينة من الزمن (كل 10 سنوات مثلا). انظر أيضا Return period.

River discharge انظر Streamflow.

التصريف السطحي (Runoff) هو ذلك الجزء من كمية الأمطار الذي لا يتبخر ولا يظهر، وإنما يغض عبر اليابسة أو فوق سطحها ويعود إلى الكتل المائية. انظر أيضا Hydrological cycle.

السيناريو (Scenario) هو وصف معقول للكيفية التي قد يتطور بها المستقبل استنادا إلى مجموعة افتراضات متجانسة ومتسقة داخليا عن القوى المحركة (مثل معدل تغير التكنولوجيا، والأسعار) والعلاقات الرئيسية. وجدير بالذكر أن السيناريوهات ليست تنبؤات أو توقعات، ولكنها مفيدة إذ تعطي فكرة عن تداعيات التطورات والإجراءات. انظر أيضا Representative scenario، Emission scenario، و nario، و Representative Concentration Pathways، و SRES scenarios.

الجليد البحري (Sea ice) جليد يوجد عند سطح البحر وهو ناشئ عن تجمّد مياه البحر. وقد يكون جليد البحار على هيئة أجزاء غير متصلة (كتل جليد طافية) تحركها الرياح والتيارات فوق سطح المحيط (كتل جليدية طافية)، أو صفحة جليدية ساكنة متصلة بالساحل (جليد أرضي راسخ). وتركيز جليد البحار هو ذلك الجزء من المحيط المغطى بالجليد. ويُسمى الجليد البحري الذي يقل عمره عن سنة واحدة جليد السنة الأولى، أما الجليد الدائم فهو الجليد البحري الذي يبقى صيفا واحدا على الأقل. ويجوز أن يُقسّم تقسيمات فرعية إلى جليد السنة الثانية والجليد المتعدد السنوات، حيث يكون الجليد المتعدد السنوات قد بقي لفترة صيفين على الأقل.

تغيّر مستوى سطح البحر (Sea level change) يمكن أن يتغير مستوى سطح البحر، عالميا ومحليا على حد سواء للأسباب التالية: 1' التغيرات التي تطرأ على شكل أحواض المحيطات، 2' التغير في حجم المحيط نتيجة لتغير كتلة ماء المحيط و3' التغيرات في حجم المحيط نتيجة للتغيرات في كثافة ماء المحيط. ومتوسط مستوى سطح البحر العالمي الناشئ عن تغير كتلة المحيط يسمى المستوى

استُخدمت لوضع استنباطات متعلقة بعلم المناخ القديم. وقد استحدثت أساليب مختلفة لهذا الغرض تشمل: الطرائق القائمة على التراجع المتعدد المتغيرات الخطي وطريقة بيسيان للاخطية والطرائق التمثالية.

إعادة زراعة الغابات (Reforestation) زراعة الغابات على الأراضي التي كانت تحتوي في السابق على غابات ولكنها حُوّلت إلى استخدام من نوع آخر. ولمناقشة مصطلح الغابة والمصطلحات ذات الصلة مثل زراعة الغابات، وإعادة زراعة الغابات، وإزالة الغابات، انظر تقرير الهيئة الدولية المعنية بتغيّر المناخ بشأن استخدام الأراضي، وتغير استخدام الأراضي والغابات (IPCC، 2000). انظر أيضا التقرير المتعلق بالتعاريف والخيارات المنهجية بشأن الانبعاثات المدرجة في قوائم الحصر والناجمة عن التدهور المباشر للغابات وزوال أنواع أخرى من النباتات نتيجة الأنشطة البشرية (IPCC، 2003).

إقليم (Region) الإقليم هو أرض تتسم بسمتات جغرافية ومناخية معينة. ويتأثر مناخ الإقليم بسمتات على النطاقين الإقليمي والمحلي، مثل الطبوغرافيا، وخصائص استخدام الأراضي والبحيرات، فضلا عن تأثيرات من جهات نائية مثل التأثيرات الآتية من أقاليم أخرى. انظر أيضا Teleconnection.

نموذج مناخي إقليمي (Regional Climate Model (RCM)) هو نموذج مناخي ذو درجة استبانة عالية فوق منطقة محدودة. وتستخدم هذه النماذج لتقليص حجم نتائج المناخ العالمي على نطاقات إقليمية معينة.

الرطوبة النسبية (Relative humidity) تحدد الرطوبة النسبية نسبة ضغط بخار الماء الفعلي إلى ضغط بخار التشبع للماء السائل أو الجليد عند نفس درجة الحرارة. انظر أيضا Specific humidity.

مستوى سطح البحر النسبي (Relative sea level) يُقاس المستوى النسبي لسطح البحر بمقياس المد بالنسبة لليابسة التي يوجد عليها. انظر أيضا Mean sea level، و Sea level change.

مسارات التركيز النموذجية (Representative Concentration Pathways (RCPs)) هي سيناريوهات تشمل متسلسلة زمنية من الانبعاثات والتركيزات للمجموعة الكاملة من غازات الاحتباس الحراري والأهباء الجوية والغازات النشطة كيميائيا، فضلا عن استخدام الأراضي / الغطاء الأرضي (Moss et al., 2008). وتعني كلمة نموذجية أن كل مسار من مسارات التركيز النموذجية يوفر واحدا فقط من السيناريوهات الكثيرة المحتملة التي تؤدي إلى خصائص تأثير إشعاعي معينة. ويؤكد تعبير مسار أن مستويات التركيز الطويلة الأجل ليست وحدها هي المستويات المهمة، ولكن أيضا الزمن الذي يستغرقه المسار لبلوغ تلك النتيجة (Moss et al., 2010).

وتشير مسارات التركيز النموذجية عادة إلى ذلك الجزء من مسار التركيز الممتد حتى عام 2100، والتي تنتج من أجلها نماذج التقييم المتكاملة سيناريوهات انبعاث مناظرة. وتصف مسارات التركيز الممتدة المستمرة مسارات التركيز النموذجية من عام 2100 إلى عام 2500 التي حُسبت باستخدام قواعد بسيطة أسفرت عنها مشاورات الجهات صاحبة الشأن، ولا تمثل سيناريوهات متسقة تماما.

وقد انبثجت أربعة مسارات تركيز نموذجية من نماذج التقييم المتكامل اختيرت من بين الأعمال السابقة المنشورة ويجري استخدامها في التقييم الحالي الذي تجريه الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ كأساس للتنبؤات والإسقاطات المناخية الواردة في الفصول 11 إلى 14:

مسار التركيز النموذجي 2.6 (RCP2.6) أحد مسارات التركيز النموذجية التي يصل فيها القسرة الإشعاعي إلى ذروة عند نحو 3 واط/م² قبل عام 2100 ثم ينخفض (إلى القيمة المناظرة لمسارات التركيز الممتدة ECP بافتراض ثبات الانبعاثات بعد عام 2100)

مسار التركيز النموذجي 4.5 (RCP4.5) ومسار التركيز النموذجي 6.0 (RCP6.0) وهما مساران متوسطان للاستقرار يستقر فيهما التأثير الإشعاعي عند نحو 4.5 واط/م² و6 واط/م² بعد عام 2100 (تفترض مسارات التركيز التقديرية المقابلة تركيزات ثابتة بعد عام 2150).

مسار التركيز النموذجي 8.5 (RCP8.5) مسار مرتفع يصل فيه القسرة الإشعاعي إلى أكثر من 8.5 واط/م² بحلول العام 2100 ويستمر في الارتفاع لفترة ما من الزمن (إلى القيمة المناظرة لمسارات التركيز الممتدة بافتراض ثبات الانبعاثات بعد عام 2100 وثبات التركيزات بعد عام 2250).

درجة حرارة التربة (Soil temperature) درجة حرارة التربة، ويمكن قياسها أو نمذجتها على مستويات متعددة في نطاق عمق التربة.

النشاط الشمسي (Solar activity) مصطلح عام يصف طائفة من الظواهر المغنطيسية على سطح الشمس مثل الكلف الشمسي [البقع الشمسية]، والصبيخ الشمسي (المناطق الساطعة)، وألسنة اللهب (انبعاثات من جزيئات عالية الطاقة). وهو يتباين في المقاييس الزمنية من دقائق إلى ملايين السنين. انظر أيضا *Solar cycle*.

الدورة الشمسية (11 عاماً) (Solar ('11 year') cycle) تغير شبه منتظم في **دورة النشاط الشمسي** مع تباين الاتساع الموجي لفترة تمتد من 8 إلى 14 عاماً.

الأشعة الشمسية (Solar radiation) أشعة كهرومغنطيسية تنبعث من الشمس بطيف يقترب من طيف الجسم الأسود وبدرجة حرارة تبلغ 5770 درجة كلفن. ويبلغ الإشعاع ذروته في الأطوال الموجية المرئية. وعند مقارنتها **بالأشعة الأرضية** غالباً ما يشار إليها بالأشعة القصيرة الموجة. انظر أيضا *Total solar* و *Insolation* و *irradiance (TSI)*.

إدارة الأشعة الشمسية (Solar Radiation Management (SRM)) تشير إدارة الأشعة الشمسية إلى التكييف الدولي للميزانية الإشعاعية للموجات القصيرة الأرضية بهدف الحد من **تغير المناخ** وفقاً لمقاييس معينة (مثل **درجة الحرارة السطحية**، وكميات الأمطار، والآثار الإقليمية، وما إلى ذلك). ويُعد الحقن الصناعي **للأهباء الجوية** في الستراتوسفير وزيادة وضاعة السحب مثليين على أساليب إدارة الأشعة الشمسية. وثمة طرائق لتعديل بعض العناصر السريعة الاستجابة في الميزانية الإشعاعية الطويلة الموجة (مثل السحب السمحاقية)، والتي وإن كانت ليست جزءاً من إدارة الأشعة الشمسية بالمعنى الدقيق للتعبير، فإنه يمكن الربط بينها وبين إدارة الأشعة الشمسية. ولا تندرج أساليب إدارة الأشعة الشمسية ضمن التعاريف العادية **للتخفيف** والمواءمة (IPCC, 2012, p.2). انظر أيضا *Solar radiation* و *Carbon Dioxide Removal (CDR)*، و *Geoengineering*.

المضخة الذوبانية (Solubility pump) المضخة الذوبانية عملية كيميائية فيزيائية مهمة تنقل الكربون غير العضوي الذائب من سطح المحيط إلى داخله. وتتحكم هذه العملية في رصيد الكربون في المحيط. ويمكن أن تغير ذوبانية ثاني أكسيد الكربون الغازي تركيزات ثاني أكسيد الكربون في المحيطات وفي **الغلاف الجوي** الذي يعولها. انظر أيضا *Biological pump*.

المصدر (Source) أي عملية أو نشاط أو آلية تطلق في **الغلاف الجوي** غازاً من غازات الاحتباس الحراري، أو نظاماً للهباء، أو سليفة من سلائف غاز من غازات الاحتباس الحراري أو نظاماً للهباء.

النمط الحلقي الجنوبي (Southern Annular Mode (SAM)) النمط الرئيسي لتقلبية الارتفاع الكوموني الأرضي المحتمل لنصف الكرة الجنوبي، والذي يرتبط بتحولات مع خط العرض لتيار خطوط العرض المتوسطة. انظر معامل SAM، الإطار 2.5.

Southern Oscillation انظر *El Niño–Southern Oscillation (ENSO)*.

منطقة الالتقاء في جنوب المحيط الهادئ (South Pacific Convergence Zone (SPCZ)) هي شريط التقاء منخفض المستوى يتسم بوجود الغيوم وسقوط الأمطار، توجد في الحوض الدافئ الجنوبي لغرب المحيط الهادئ مع الاتجاه شرقاً صوب جزر بولونيزيا الفرنسية، ويعد من أهم سمات مناخ نصف الكرة الجنوبي دون المداري. وتتشرك هذه المنطقة في بعض الخصائص مع منطقة **الالتقاء المدارية (ITCZ)**، ولكنها ذات طابع فوق مداري، ولاسيما شرقي الخط الزمني.

النطاقات المكانية والزمانية (Spatial and temporal scales) المناخ يمكن أن يتباين على مدى كبير من النطاقات المكانية والزمانية. فقد تتراوح النطاقات المكانية ما بين محلية (أقل من 100000 كم²) إلى إقليمية (100000 إلى 10 ملايين كم²) إلى قارية (من 10 ملايين إلى 100 مليون كم²). وقد تتراوح النطاقات الزمنية من موسمية إلى جيولوجية (حتى مئات الملايين من السنين).

الرطوبة النوعية (Specific humidity) تحدد الرطوبة النوعية نسبة كتلة بخار الماء إلى الكتلة الكلية للهواء الرطب. انظر أيضا *Relative humidity*.

التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات (SRES scenarios) التقرير الخاص عن **سيناريوهات الانبعاثات** هو سيناريوهات انبعاثات أعدتها ناكيشينوفيتش وسوارت (2000) واستخدمت أساساً لبعض **الانبعاثات المناخية**

المستقر الكتلة. ومقدار تغير الكتلة المستقرة لمستوى سطح البحر بسبب إضافة أو إزالة كتلة ماء يُسمى **مكافئ مستوى سطح البحر (SLE)**. وتغيرات مستوى سطح البحر الناجمة عن التغيرات في كثافة الماء، سواء كانت عالية أو محلية، تسمى مستوى سطح البحر الجسم. وتغيرات الكثافة المستحثة بتغيرات درجة الحرارة فقط تسمى المجسمات الحرارية، في حين أن التغيرات في الكثافة المستحثة بواسطة تغيرات الملوحة تسمى المجسمات الملحية. ولا تشمل التغيرات في مستوى سطح البحر المستقر الكتلة والمجسمات تأثير التغيرات في شكل أحواض المحيط المستحثة بواسطة التغيرات في كتلة المحيط وتوزيعها. انظر أيضا *Relative Sea Level*، و *Thermal expansion*.

مكافئ مستوى سطح البحر (Sea level equivalent (SLE)) مكافئ مستوى سطح البحر لكتلة من الماء (الجليد، أو الماء السائل، أو بخار الماء) هي تلك الكتلة المحولة إلى حجم باستخدام كثافة تساوي 1000 كيلوجرام للمتر المكعب، ثم تقسم على مساحة سطح المحيط الحالية البالغة 3.625 × 10¹⁴ م² وعلى ذلك، فإن إضافة كتلة مائية قدرها 362.5 غيغاطن إلى المحيط تسبب ارتفاعاً بمقدار 1 مم في **متوسط الارتفاع العالمي لمستوى سطح البحر**. انظر أيضا *Sea level change*.

Seasonally frozen ground انظر *Frozen ground*.

درجة حرارة سطح البحر (Sea surface temperature (SST)) درجة حرارة سطح البحر هي درجة حرارة الكتلة الموجودة تحت السطح في الأمتار القليلة العليا من المحيط، وتقاس بواسطة السفن والعوامات، وأجهزة القياس الطافية. وكانت قياسات عينات الماء تؤخذ من السفن باستخدام دلاء حَوْل معظمها في الأربعينيات من القرن الماضي إلى عينات تؤخذ بواسطة آلات لسحب الماء. وتستخدم السوائل لقياس درجة حرارة القشرة (الطبقة العليا) التي يزيد سمكها عن جزء من المليمتر) كما تستخدم الأشعة تحت الحمراء ألياً في أعلى سنتيمتر وكذلك الموجات القصيرة، ولكن هذه القياسات يجب أن تعدل لتتفق مع درجة حرارة الكتلة المائية.

Semi-direct (aerosol) effect انظر *Aerosol–radiation interaction*.

نموذج شبه أمبيريق (Semi-empirical model) نموذج تستند فيه الحسابات إلى خليط من الارتباطات المشاهدة بين متغيرات واعتبارات نظرية ترتبط بالتغيرات من خلال مبادئ أساسية (مثل بقاء الطاقة). فمثلاً، في دراسات مستوى سطح البحر، تشير النماذج شبه الأمبيريقية تحديداً إلى دوال انتقال تصاغ لإسقاط **تغيير** عالمي مقبل **لمتوسط مستوى سطح البحر**، أو مساهمات في ذلك المتوسط من تغيير مقبل **لمتوسط درجة الحرارة السطحية العالمية** أو **لتأثير إشعاعي**.

تدفق حراري محسوس (Sensible heat flux) التدفق المضطرب أو الموصل للحرارة من سطح الأرض إلى الغلاف الجوي غير المرتبط بتغير أطوار الماء، وهو أحد متغيرات **ميزانية الطاقة السطحية**.

Sequestration انظر *Uptake*.

Shortwave radiation انظر *Solar radiation*.

ارتفاع موجي كبير (Significant wave height) متوسط الارتفاع من قاع الموجة إلى قمته من بين أعلى ثلث قيم ارتفاعات الأمواج (البحر والموجة) التي تحدث خلال فترة زمنية معينة.

مغيض (Sink) هي أي عملية، أو نشاط، أو آلية تزيل من **الغلاف الجوي** غازاً من غازات الاحتباس الحراري، أو هباء جوي، أو سليفة لغاز من غازات الاحتباس الحراري أو من نظم الأهباء الجوية.

نموذج المحيط الساكن (Slab-ocean model) تمثيل مبسّط في نموذج مناخي للمحيط كطبقة ساكنة من المياه بعمق يتراوح بين 50 متراً و100 متر. ولا يمكن استخدام نماذج المناخ ذات المحيط الساكن إلا لتقدير استجابة اتزان **المناخ** لتأثير معين، وليس التطور العابر للمناخ. انظر أيضا *Equilibrium and transient climate experiment*.

نطاق الغطاء الثلجي (Snow cover extent) نطاق مساحة الأرض المغطاة بالثلج.

المكافئ المائي للثلج (Snow water equivalent (SWE)) عمق الماء السائل الذي ينتج عن الانصهار التام لكتلة من الثلج.

رطوبة التربة (Soil moisture) الماء المخزون في التربة في حالة سائلة أو متجمدة.

Surface temperature انظر **Global mean surface temperature**، و**Land surface air temperature**، و**Sea surface temperature**.

تطبيق (Talik) طبقة من التربة غير المتجمدة على مدار العام تقع في مناطق الجهد الدائم.

الارتباطات المتبادعة (Teleconnection) ارتباط إحصائي بين متغيرات مناخية في مواقع جغرافية ثابتة جغرافيا بينها مسافات شاسعة. وتنتج الارتباطات المتبادعة عن هياكل مكانية كبيرة من قبيل تقلبية الأنماط المتقارنة الحوضية النطاق لنظام المحيط - **الغلاف الجوي**، ورتل أمواج روسبي المتدافعة، وتيارات خطوط العرض المتوسطة و**مسارات العواصف** وما إلى ذلك. انظر أيضا **Teleconnection pattern**.

نمط الارتباطات المتبادعة (Teleconnection pattern) خريطة لعلاقة ترابط يتم الحصول عليها بحساب علاقة الارتباط بين متغيرات في مواقع مكانية مختلفة و**معامل مناخي**. وهي الحالة الخاصة **لنمط مناخي** يتم الحصول عليه بالنسبة لمتغيرات معايرة ومعامل مناخي معاير أي أن كلا من المتغيرات والمعامل متمركز ومحدد النطاق بحيث ينتجان معا متوسط صفريا ووحدة تغاير واحدة. ويتم إعداد خرائط الارتباطات المتبادعة ذات النقطة الواحدة باختيار متغير في أحد المواقع ليكون المعامل المناخي. انظر أيضا **Teleconnection**.

الأشعة الأرضية (Terrestrial radiation) أشعة تنبعث من سطح الأرض ومن **الغلاف الجوي** والسحب. وتُعرف أيضا باسم الأشعة تحت الحمراء الحرارية أو الأشعة الطويلة الموجات، وهي تختلف عن الأشعة القريبة من الأشعة تحت الحمراء التي هي جزء من الطيف الشمسي. والأشعة تحت الحمراء عموما، بأن لها نطاقا متميزا من الأطوال الموجية (الطيف) أعلى من الطول الموجي للضوء الأحمر في الجزء المرئي من الطيف. وطيف الأشعة الأرضية يتميز كله تقريبا عن طيف الموجات القصيرة أو **الأشعة الشمسية** بسبب الفرق في درجة الحرارة بين الشمس ونظام الأرض - **الغلاف الجوي**. انظر أيضا **Outgoing longwave radiation**.

التمدد الحراري (Thermal expansion) فيما يتعلق بمستوى سطح البحر، يشير هذا المصطلح إلى زيادة في الحجم (ونقصان في الكثافة) ينتجان عن دفء المياه. ويؤدي دفء المحيط إلى تمدد حجم المحيط ومن ثم إلى زيادة في مستوى سطح البحر. انظر أيضا **Sea level change**.

الهبوط الحراري (Thermocline) هو طبقة أقصى تدرج لدرجة الحرارة الرأسية في المحيط، وتوجد بين سطح المحيط والأعمق المحيطية. وفي المناطق دون المدارية، يكون مصدره مياه سطحية عادة عند خطوط العرض العليا التي اندست (انظر **الاندساس**) وتحركت صوب خط الاستواء. وفي خطوط العرض العليا، ينعدم أحيانا، ويحل محله **طبقة تمازج الملوحة**، وهي طبقة تتسم بأقصى تدرج رأسي للملوحة.

الدوران الحراري الملحي (Thermohaline circulation (THC)) دوران واسع النطاق في المحيط يحول مياه المحيط العليا المنخفضة الكثافة إلى مياه سطحية ومياه عميقة مرتفعة الكثافة ويعيد تلك المياه مرة أخرى إلى أعلى المحيط. ويكون الدوران لاثماليا، مع التحول إلى مياه أعلى كثافة في مناطق مقيدة عند خطوط عرض مرتفعة وتقرن العودة إلى السطح بتيارات صاعدة بطيئة وعمليات انتشار فوق مناطق جغرافية أكبر كثيرا. ويتحرك الدوران الحراري الملحي بتأثير ارتفاع الكثافة عند السطح أو بالقرب منه، بفعل درجات الحرارة الباردة و/أو الملوحة المرتفعة، ولكن بالرغم من اسمه وما ينطوي عليه من إحصاءات، وإن يكن شاعرا، فإنه يُدفع أيضا بقوى ميكانيكية من قبيل الرياح والمد والجزر. وغالبا ما يُستخدم اسم الدوران الحراري للملوحة كمرادف **للدوران الزوالي الانقلابي المدفوع بالتباين الحراري الملحي في المحيط**.

كارست حراري / منطقة جيرية حرارية (Thermokarst) عملية تنجم عنها أشكال أرضية ذات خصائص معينة نتيجة لانصهار طبقات **التربة الصقيعية** الغنية بالجليد أو انصهار الجليد الأرضي المترص.

Thermosteric انظر **Sea level change**.

مقياس المد والجزر (Tide gauge) جهاز في موقع ساحلي أو في أعماق البحر يقيس بصورة مستمرة مستوى سطح البحر بالنسبة للأراضي المتاخمة. وتعطي متوسطات مستوى سطح البحر التي تُسجل على هذا النحو التغيرات العامة المشاهدة **لمستوى سطح البحر النسبي**.

نقطة حاسمة (Tipping point) في المناخ، عتبة حاسمة مفترضة فيما يتعلق **بالتغيرات المناخية العالمية** أو الإقليمية من حالة مستقرة واحدة إلى حالة مستقرة أخرى. وحالة النقطة الحاسمة قد تكون حالة لاعكوسة. انظر أيضا **Irreversibility**.

المبينة في الفصول من 9 إلى 11 من تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (2001) والفصلين 10 و 11 من تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (2007)، في جملة استخدامات أخرى. والمصطلحات التالية مهمة لفهم أفضل لهيكل واستخدام مجموعة سيناريوهات الانبعاثات:

أسرة السيناريوهات (Scenario family) هي سيناريوهات لها تغيرات متماثلة لخط الأحداث الديمغرافية والاجتماعية والاقتصادية والتقنية. وهناك أربع أسر سيناريوهات تمثل مجموعة سيناريوهات الانبعاثات: A1 و A2 و B1 و B2.

السيناريو التوضيحي (Illustrative Scenario) هو سيناريو يوضح كل واحد من مجموعات السيناريوهات الستة الواردة في موجز أعدته لصناع السياسات ناكيجينكوفيتش وسوارت (2000). وهي تشمل أربعة سيناريوهات دلالية ومنقحة لمجموعات السيناريو A1B، و A2، و B1، و B2 واثنين من السيناريوهات الإضافية للمجموعتين A1F1، و A1T. وكل مجموعات السيناريوهات متساوية من حيث سلامتها.

السيناريو الدليلي (Marker Scenario) سيناريو تم نشره أصلاً في شكل مشروع سيناريو على الموقع الإلكتروني للتقرير الخاص بسيناريوهات الانبعاثات (SRES) ليمثل أسرة معينة من السيناريوهات. واستند اختيار السيناريوهات الدليلية إلى أفضل القياسات الكمية الأولية التي تعبر عن خط الأحداث والسمات المحددة للنماذج. ولا تعد السيناريوهات الدليلية أرحح من السيناريوهات الأخرى، ولكن فريق كتابة التقرير الخاص يعتبرها موضحة لخط معين من الأحداث. وقد أورد ناكيسينوفيتش وسوارت (2000) السيناريوهات الدليلية بشكلها المنقح. وخضعت هذه السيناريوهات للتدقيق من جانب فريق الصياغة ومن خلال العملية المفتوحة المتعلقة بالتقرير الخاص. وتم أيضا اختيار هذه السيناريوهات لتوضيح الفئتين الأخرين من السيناريوهات.

خط الأحداث (Storyline) وصف سردي لسيناريو (أو أسرة سيناريوهات)، يبرز الخصائص الرئيسية للسيناريو، والعلاقات بين القوى المحركة وديناميات تطورها.

Steric انظر **Reservoir**.

Stock انظر **Sea level change**.

عرام العاصفة (Storm surge) زيادة مؤقتة في ارتفاع البحر في موقع معين نظرا لظروف مطرقة تتعلق بالأرصاء الجوية (ضغط جوي منخفض و/أو رياح قوية). ويعرف هبوب العاصفة بأنه القدر الزائد فوق المستوى المتوقع من تغير المد والجزر وحده في ذلك الوقت وذلك المكان.

مسارات العواصف (Storm tracks) يشير هذا المصطلح أصلا إلى مسارات نظم طقس إحصائية إفرادية، لكنه يستخدم الآن كثيرا بشكل أعم للإشارة إلى **الأقاليم الرئيسية** التي تحدث فيها اضطرابات في المسارات فوق المدارية لكونها أنظمة ضغط منخفض (عواصف) وضغط مرتفع (أضاد الأعاصير).

الستراتوسفير (Stratosphere) المنطقة الكثيرة الطبقات من **الغلاف الجوي فوق التروبوسفير** والتي يتراوح ارتفاعها من نحو 10 كم (تتراوح بين 9 كم في خطوط العرض العليا و16 كم في المناطق المدارية في المتوسط) إلى نحو 50 كم.

تدفق المجرى (Streamflow) هو الماء المتدفق في نهر ضمن قناة معبراً عنه مثلا بالتر المكعب في الثانية. وهو مرادف لتصريف النهر.

الاندساس (Subduction) هي عملية محيطية تدخل فيها المياه السطحية إلى داخل المحيط من طبقة مختلطة سطحية من خلال عملية **مضخة إيكمان والتأفق الجانبي**. ويحدث التأفق الجانبي عندما تنتقل المياه السطحية إلى منطقة تكون فيها الطبقة السطحية المحلية أقل كثافة ومن ثم تنزل تحت الطبقة السطحية، ويحدث هذا عادة دون تغير في الكثافة.

البقع الشمسية (Sunspots) مناطق داكنة على وجه الشمس، حيث تقوم حقول مغناطيسية قوية بخفض الحمل الحراري متسببة في انخفاض في درجة الحرارة بمقدار 1500 درجة كلفن تقريبا مقارنة بالمناطق المجاورة. ويرتفع عدد البقع الشمسية في أثناء فترات تزايد **النشاط الشمسي**، وتتغير بصفة خاصة مع **الدورة الشمسية**.

Surface layer انظر **Atmospheric boundary layer**.

مستويات عام 1990 وذلك بحلول عام 2000. ودخلت الاتفاقية حيز التنفيذ في آذار/مارس 1994. وفي عام 1997، اعتمدت اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ **بروتوكول كيوتو**.

امتصاص (Uptake) إضافة مادة ذات أهمية إلى **مستودع**. كثيرا ما يسمى امتصاص المواد المحتوية على الكربون، وبخاصة **ثاني أكسيد الكربون**، عزل (الكربون).

جزيرة حرارية حضرية (Urban heat island (UHI)) هي الدفء النسبي لأي مدينة مقارنة بالمناطق الريفية المحيطة بها، والمرتبطة بالتغيرات في آثار **الصف السطحي** وتأثيرات الاحتفاظ بالحرارة، والتغيرات في **عاكسية السطح**.

التهوية Ventilation تبادل خواص المحيط مع **الطبقة السطحية للغلاف الجوي** بحيث تقترب تركيزات هذه الخصائص من قيم الأثر مع **الغلاف الجوي (AMS, 2000)**، والعمليات التي تنشر هذه الخواص في داخل المحيط.

المركبات العضوية المتطايرة (Volatile Organic Compounds (VOC)) ثمة فئة مهمة من ملوثات الهواء الكيميائية العضوية التي تتطاير في الظروف الجوية المحيطة. وتستخدم مصطلحات أخرى لتمثيل المركبات العضوية المتطايرة من الهيدروكربونات، والغازات العضوية النشطة، والمركبات العضوية المتطايرة غير الميثان. وتسهم هذه الغازات بدرجة كبيرة (مع أكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون) في تكوين المواد المؤكسدة ذات النشاط الضوئي الكيميائي مثل **الأوزون**.

دوران ووكر (Walker Circulation) دوران انقلابي في **الغلاف الجوي** في منطقة ما تحركه الحرارة مباشرة فوق المنطقة المدارية في المحيط الهادئ، مع ارتفاع الهواء في المنطقة الغربية وهبوطه في المنطقة الشرقية من المحيط الهادئ.

أيام دافئة / ليال دافئة (Warm days / warm nights) هي الأيام التي تتجاوز فيها درجة الحرارة القصوى والليالي التي تتجاوز فيها درجة الحرارة الدنيا **المئين** الـ 90، حيث تعرف توزيعات درجة الحرارة ذات الصلة عامة باستخدام الفترة **المرجعية 1961-1990**. للاطلاع على المعاملات المقابلة انظر الإطار 2.4.

فترة حارة (Warm spell) فترة من الطقس الحار بصورة غير عادية. للاطلاع على المعاملات المقابلة انظر الإطار 2.4. انظر أيضا **Heat wave**.

Water cycle انظر **Hydrological cycle**.

كتلة مائية (Water mass) كتلة من مياه المحيط ذات خواص يمكن تعريفها (درجة الحرارة، الملوحة، الكثافة، المواد الكيميائية النزرة) ناتجة عن عملية تكوينها الفريدة. وكثيراً ما تحدد الكتلة المائية من خلال الدرجات المتطرفة لخواصها الرأسية أو الأفقية من قبيل الملوحة. وتعد المياه المتوسطة لشمال المحيط الهادئ والمياه المتوسطة للقارة القطبية الجنوبية مثالين على الكتلة المائية.

التجوية/ أثر العوامل الجوية (Weathering) الإزالة التدريجية ل**ثاني أكسيد الكربون** من الغلاف الجوي عن طريق تحلل صخور السيليكات والكربونات، وقد تشمل التجوية عمليات فيزيائية (التجوية الميكانيكية). أو نشاطاً كيميائياً (التجوية الكيميائية).

Well-mixed greenhouse gas انظر **Greenhouse gas**.

فترة يوجر درايس (Younger Dryas) الفترة بين 12.85 ألف سنة و11.65 ألف سنة (قبل عام 1950)، أثناء فترة **انحسار الجليد**، التي اتسمت بعودة مؤقتة إلى ظروف أبرد في كثير من الأماكن، ولا سيما حول شمال المحيط الأطلسي.

السطوع الشمسي الكلي (Total solar irradiance (TSI)) الكمية الكلية **للأشعة الشمسية** مقدرة بالواط لكل متر مربع التي تستقبل خارج **الغلاف الجوي** للأرض على سطح عمودي على الأشعة الساقطة، وعند المسافة المتوسطة بين الأرض والشمس.

ولا يمكن إجراء قياسات موثوقة للأشعة الشمسية إلا من الفضاء ويتمد السجل الدقيق حتى عام 1978 فقط. والقيمة المقبولة عامة هي 1368 واط/م² بدقة تبلغ 0.2 في المائة. وقد قدر حديثاً أن الحد الأدنى من الأشعة الشمسية لعام 2008 هو 360.8 ± 0.5 واط/م². ومن الشائع وجود فروق بعدد قليل من الكسور العشرية في المائة، ويرتبط هذا عادة بمرور **البقع الشمسية** عبر قرص الشمس. وتراوح ما تحده الاختلافات في **الدورة الشمسية** من فروق في الأشعة الشمسية نحو 0.1 في المائة (AMS, 2000). وتكون التغيرات التي تحدث للجزء الخاص بالأشعة فوق البنفسجية من الطيف أثناء أي دورة شمسية أكبر نسبياً (كنسبة مئوية من الأشعة الشمسية الكلية). انظر أيضا **Insolation**.

Transient climate response انظر **Climate sensitivity**.

الاستجابة المناخية العابرة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتراكمة (Transient climate response to cumulative CO₂ emissions (TCRE)) يبلغ متوسط التغير في **درجة الحرارة السطحية** العالمية العابرة لوحدة الانبعاثات المتراكمة من **ثاني أكسيد الكربون** عادة 1000 بيتاغرام كربون. وتشمل الاستجابة المناخية العابرة لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتراكمة معلومات عن كل من **الجزء المنقول جواً** من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المتراكمة (جزء من ثاني أكسيد الكربون الكلي المنبعث والذي يظل في **الغلاف الجوي**)، والاستجابة المناخية العابرة.

حلقات النمو الشجري (Tree rings) هي حلقات متحدة المركز من الخشب الثانوي تكون ظاهرة في مقاطع جذوع النباتات الخشبية. والفرق بين الخشب المتأخر الكثيف الصغير الخلايا لأحد المواسم من جهة والخشب المبكر المتسع الخلايا للربيع الذي يليه من جهة أخرى، يتيح تقدير عمر الشجرة، كما أن عرض الحلقات أو كثافتها يمكن ربطه ببارامترات مناخية مثل درجات الحرارة وكميات الأمطار. انظر أيضا **Proxy**.

اتجاه التغير (Trend) يعني اصطلاح اتجاه التغير في هذا التقرير، تغيراً رتيباً عامة من حيث الوقت، في قيمة أحد المتغيرات.

التروبوبوز (Tropopause) هو الحد بين **التروبوسفير** و**الستراتوسفير**.

التروبوسفير (Troposphere) هو الجزء الأسفل من الغلاف الجوي بدءاً من سطح الأرض إلى ارتفاع يبلغ نحو 10 كم عند خطوط العرض المتوسطة (يتراوح بين 9 كم عند خطوط العرض العليا و16 كم في المتوسط في المناطق المدارية)، حيث تحدث الظواهر المتعلقة بالسحب والطقس. وتنخفض درجات الحرارة عموماً مع الارتفاع في التروبوسفير. انظر أيضا **Stratosphere**.

Turnover time انظر **Lifetime**.

عدم التيقن (Uncertainty) حالة من عدم اكتمال المعرفة يمكن أن تنتج عن الافتقار إلى المعلومات أو عدم الاتفاق بشأن ما هو معروف أو حتى ما يمكن معرفته. ويمكن أن تنشأ عن أنواع كثيرة من المصادر، من عدم دقة البيانات، إلى عدم وضوح مفاهيم أو مصطلحات محددة، إلى إسقاطات غير مؤكدة للسلوك البشري. ولذا يمكن تمثيل عدم اليقين بمقاييس كمية (مثل دالة كثافة الاحتمالات) أو ببيانات نوعية (تعمكس رأي فريق من الخبراء) (انظر Moss and Schneider, 2000; Manning et al., 2004; Mastrandrea et al., 2010). انظر أيضاً **Confidence**، و**Likelihood**.

اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيير المناخ (United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)) اعتمدت الاتفاقية في 9 أيار/مايو 1992 في نيويورك وتم التوقيع عليها في مؤتمر قمة الأرض الذي عُقد في ريو دي جانيرو عام 1992 من قبل 150 بلداً والجماعة الأوروبية. وهدفها النهائي هو العمل على استقرار تركيزات **غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي** عند مستوى من شأنه أن يمنع تدخل **النشاط البشري الخطير في النظام المناخي**. وتنطوي على التزامات على جميع الأطراف. وبموجب الاتفاقية، فإن جميع الأطراف المدرجة في المرفق الأول (جميع بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والبلدان التي تمر اقتصاداتها بمرحلة انتقالية) ترمي إلى إعادة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري التي لاينظمها بروتوكول مونتريال إلى

- Moss, R. et al., 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, **463**, 747–756.
- Nakićenović, N., and R. Swart (eds.), 2000: *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.
- Schwartz, S.E., and P. Warneck, 1995: Units for use in atmospheric chemistry. *Pure Appl. Chem.*, **67**, 1377–1406.
- AMS, 2000: *AMS Glossary of Meteorology*, 2nd ed. American Meteorological Society, Boston, MA, <http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse>.
- Hegerl, G. C., O. Hoegh-Guldberg, G. Casassa, M. P. Hoerling, R. S. Kovats, C. Parmesan, D. W. Pierce, and P. A. Stott, 2010: Good practice guidance paper on detection and attribution related to anthropogenic climate change. In: *Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Detection and Attribution of Anthropogenic Climate Change* [T. F. Stocker, C. B. Field, D. Qin, V. Barros, G.-K. Plattner, M. Tignor, P. M. Midgley and K. L. Ebi (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland.
- IPCC, 1992: *Climate 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 and New York, NY, USA, 116 pp.
- IPCC, 1996: *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* [J. T. Houghton., L. G. Meira . A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 pp.
- IPCC, 2000: *Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [R. T. Watson, I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo, and D. J. Dokken (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 377 pp.
- IPCC, 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noquer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881 pp.
- IPCC, 2003: Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-Induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types [Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe and F. Wagner (eds.)]. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan, 32 pp.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- IPCC, 2011: *Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Impacts of Ocean Acidification on Marine Biology and Ecosystems* [C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, K. J. Mach, G.-K. Plattner, M. D. Mastrandrea, M. Tignor and K. L. Ebi (eds.)]. IPCC Working Group II Technical Support Unit, Carnegie Institution, Stanford, CA, USA, 164 pp.
- IPCC, 2012: *Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Geoengineering* [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, C. Field, V. Barros, T. F. Stocker, Q. Dahe, J. Minx, K. Mach, G.-K. Plattner, S. Schlömer, G. Hansen and M. Mastrandrea (eds.)]. IPCC Working Group III Technical Support Unit, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany, 99 pp.
- Manning, M., et al., 2004: *IPCC Workshop on Describing Scientific Uncertainties in Climate Change to Support Analysis of Risk of Options*. Workshop Report. IPCC Working Group I Technical Support Unit, Boulder, CO, USA, 138 pp.
- Mastrandrea, M. D., C. B. Field, T. F. Stocker, O. Edenhofer, K. L. Ebi, D. J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K. J. Mach, P. R. Matschoss, G.-K. Plattner, G. W. Yohe, and F. W. Zwiers, 2010: *Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <http://www.ipcc.ch>.
- Moss, R., and S. Schneider, 2000: *Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to Lead Authors for More Consistent Assessment and Reporting*. In: IPCC Supporting Material: Guidance Papers on Cross Cutting Issues in the Third Assessment Report of the IPCC. [Pachauri, R., T. Taniguchi, and K. Tanaka (eds.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, pp. 33–51.
- Moss, R., et al., 2008: *Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 pp.

