

تغير المناخ ٢٠٠٧

قاعدة العلوم الفيزيائية

مساهمة الفريق العامل الأول في التقرير التجميحي الرابع
الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ.
ملخص لواضعي السياسات، الملخص الفني والأسئلة



تغير المناخ ٢٠٠٧

قاعدة العلوم الفيزيائية

ملخص لواضعي السياسات

تقرير الفريق العامل الأول للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

و

الملخص الفني

تقرير تمت الموافقة عليه من قبل الفريق العامل الأول للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ ولكن لم يعتمد بالكامل

و

الأسئلة

مساهمة فريق العامل الأول
في التقرير التقييمي الرابع
الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ

تغير المناخ ٢٠٠٧

قاعدة العلوم الفيزيائية

فريق الصياغة

| | | |
|---|--|--|
| مارتن مائين رئيس وحدة الدعم الفني الفريق العامل الأول للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ | داه كين رئيس مشارك الفريق العامل الأول للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ | سوزان سولومون رئيس مشارك الفريق العامل الأول للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ |
| هنري بي روي ميلير، جر. | ميليندا م.ب. تيغور وحدة الدعم الفني الفريق العامل الأول للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ | كريستن أفيريت ميليندا ماركيس |

زنلين شين
إدارة الصين للأرصاد الجوية

© الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ ٢٠٠٧

الطبعة الأولى ٢٠٠٧

ISBN 92-9169-621-8

صورة الغلاف:

بلو ماربل (Blue Marble) – النصف الشرقي والغربي للكرة. وتضم صور اليابسة والمحيط والتلج البحري والسحب، في تصوير بصري لنظام الأرض المناخي، وهي مبنية على بيانات مأخوذة من الفضاء بهدف رصد الأرض، إلقتها جهاز الإحساس MODIS التابع للإدارة القومية للطيران والفضاء (مقياس الطيف التصويري المتوسط قوة التحديد) على متن ساتلي TERRA وAQUA. تعتبر الصور جزءاً من مجموعة بيانات بلو ماربل وهي متوفرة على الموقع الإلكتروني: <http://bluemarble.nasa.gov>. وهي موثقة بشكل أوسع في ر. ستسكلي، إ. فيرموت، ن. ساليوس، ر. سيمون، و د. هيرينغ (٢٠٠٦). وتضم كل مجموعة من بيانات الصور «بالوان حقيقية» ديناميات موسمية. EOS, 87(5):49, 55.

الدولية المعنية بتغيّر المناخ على الجهود التي بذلوها في تنسيق كتابة تقرير ناجح آخر للهيئة.

ودعمت حكومات عديدة مشاركة علمائها الذين ساهموا في تقييم عملية المقيّمين في عملية الهيئة الحكومية الدولية كما ساهمت في صندوق الهيئة الإستئماني، ما ضمن مشاركة خبراء من الدول النامية ودول الإقتصاد الإنتقالي. أما حكومات إيطاليا والصين ونيوزيلاندا والنرويج فاستضافت جلسات الصياغة بينما استضافت فرنسا الجمعية العمومية الأخيرة التي أقرت التقرير ووافقت عليه. أما حكومة الولايات المتحدة الأميركية فأسست وحدة الدعم الفني التابعة لمجموعة العمل الأولى.

في الختام، نود أن نشكر د. ر.ك. باشوري، رئيس الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ على توجيهاته الحميدة وإرشاده الفاعل والمثابر، وإلى د. سوزان سلمون والبروفيسور داهي كين، رئيسي مجموعة العمل الأولى، على قيادتهما الرشيدة لفريق العمل الأول خلال تحضير التقرير الحالي.



م. جارود

الأمين العام

المنظمة العالمية للأرصاد الجوية



أ. ستينر

المدير التنفيذي

برنامج الأمم المتحدة للبيئة

جذب التقرير «تغيّر المناخ ٢٠٠٧ - قاعدة العلوم الفيزيائية» بسرعة إنتباه صانعي القرار والرأي العام على حدّ سواء، بصفته أهم وأول تقييم شامل لتغيّر المناخ خلال السنوات الست الماضية. ويؤكد التقرير الأول فهمنا العلمي للنظام المناخي وتأثره بالإنبعاثات الغازية المسببة لعامل الدفيئة أصبح أشمل وأعمق من أي وقت سبق. كما يعرض مجال بحث دينامي سيسلط المزيد من الضوء على ظاهرة تغيّر المناخ خلال السنوات المقبلة.

يتميز التقرير بتناسكه ومصداقيته، ويعود الفضل في ذلك إلى الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ التي شكّلتها المنظمة العالمية للأرصاد الجوية مع برنامج الأمم المتحدة للبيئة في العام ١٩٨٨. والهيئة هي جهاز حكومي دولي وشبكة لأكبر العلماء والخبراء العالميين المعنيين بتغيّر المناخ.

تعرض الفصول المشكّلة لمجل التقرير تقييم العلماء لمستوى المعرفة في كافة مجالات عملهم. وشارك في كتابتها أهم ١٥٢ مؤلفاً من ٣٠ دولة وراجعها حوالي ٦٠٠ خبير. كما شارك في تجهيزها عدد كبير من المراجعين الحكوميين إذ أبدوا ملاحظاتهم حولها.

وافق مسؤولون من ١١٣ حكومة على الملخص لصانعي القرار مما عكس إدراكهم وإعتمادهم التقرير الحالي بالكامل. وهنا تكمن قوّة الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ إذ تجمع بين آراء الخبراء والحكومات.

لا تجري الهيئة أبحاثاً جديدة، فمهمتها تكمن في إجراء تقييمات موائمة للسياسات المتوفرة، بدلاً من تقييم يصف السياسات المطلوب اعتمادها، وذلك لكل ما كُتب عالمياً عن النواحي العلمية والفنية والإقتصادية الإجتماعية لتغيّر المناخ. وساعدت تقاريرها التقييمية السابقة على إلهام الحكومات اعتماد كل من إتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيّر المناخ وبروتوكول كيوتو وتطبيقهما. كما تكمن أهمية التقرير الأول في جعل الحكومات تدرس الخيارات المتوفرة لديها للمضي قدماً مع بعضها البعض لمواجهة التحدي الناتج عن تغيّر المناخ.

تغيّر المناخ ٢٠٠٧ - قاعدة العلوم الفيزيائية هو الجزء الأول من التقرير التقييمي الرابع للهيئة. أما الجزء الثاني فينظر في تأثيرات تغيّر المناخ وفي خيارات التكيف المتوفرة ونقاط ضعفها. أما الجزء الثالث فيقيم إمكانيات الضرر وكلفته. ويلخص الجزء الرابع مجمل ما توصلت إليه الهيئة.

يعود الفضل في التوصل إلى قاعدة تعتمد على العلوم الفيزيائية، إلى التزام أهم العلماء العالميين في مجال المناخ ورغبتهم في العمل. لذا نود أن نعرب عن عميق تقديرنا لكل من المؤلفين الرئيسيين المنسّقين والمؤلفين الرئيسيين والمؤلفين المساهمين وأعضاء فريق الكتابة والمحررين. كما نود أن نشكر فريق عمل وحدة الدعم الفني لفريق العامل الأول وأمانة الهيئة الحكومية

تقدم مساهمة الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الرابع التابع للفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ، تقييماً شاملاً للعلم الفيزيائي الخاص بتغير المناخ كما توسع آفاق هذا العلم بالإعتماد على تقييمات الفريق العامل الأول السابقة. وترتكز النتائج المقدمة هنا على مؤلفات علمية شاملة أصبحت متوفرة منذ إتمام تقرير التقييم الثالث العائد إلى الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ، فضلاً عن مجموعة البيانات المنتشرة والتحليلات الجديدة وقدرات نماذج مناخية أكثر تطوراً.

وتم إعداد هذا التقرير وفقاً للقوانين والإجراءات التي وضعها الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ والمستخدم في تقارير التقييم السابقة. وتمت الموافقة على تصميم التقرير في جلسة الفريق الحادية والعشرين التي عقدت في شهر تشرين الثاني / نوفمبر ٢٠٠٣ كما تمت الموافقة على المؤلفين الرئيسيين في جلسة مكتب الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ الواحدة والثلاثين التي عقدت في شهر نيسان / أبريل ٢٠٠٤. كما خضعت المسودات التي أعدها المؤلفون إلى جولتين من إعادة النظر والمراجعة حيث كتب أكثر من ٣٠٠٠٠ تعليق قدمه أكثر من ٦٥٠ خبيراً فضلاً عن الحكومات والمنظمات الدولية. وتؤكد المحررون المراجعون في كل فصل من الفصول من أنه تم أخذ جميع تعليقات الحكومات المستقلة والخبراء بعين الاعتبار. وتم التصديق على ملخص صانعي السياسات كما تمت الموافقة على الفصول الأساسية في خلال الجلسة العاشرة للفريق العامل الأول التابع للفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ التي عقدت من ٢٩ كانون الثاني / يناير إلى ١ شباط / فبراير ٢٠٠٧.

نطاق التقرير

يركز تقرير الفريق العامل الأول على مستوى الفهم الحالي للعلم الفيزيائي الخاص بتغير المناخ، الذي يحتل أهمية كبرى بالنسبة إلى صانعي السياسات. ولا يحاول التقرير أن يراجع تطور الفهم العلمي أو الإحاطة بكافة جوانب علم المناخ. فضلاً عن ذلك، يعتمد هذا التقرير على مؤلف علمي مناسب توفر للمؤلفين في منتصف العام ٢٠٠٦، وعلى القارئ أن يدرك أن بعض المواضيع المعالجة تخضع لتطورات إضافية سريعة.

وتبرز صورة حديثة للبحث في تغير المناخ وهي إتساع المراقبات المتوفرة حالياً حول مختلف مكونات النظام المناخي متضمنة الغلاف الجوي والمحيطات والكرابوسفير. وقد ساهمت المراقبات الإضافية والتحليلات الجديدة في توسيع فهمنا كما مكنت من تقليص عدد المعلومات غير الأكيدة. فضلاً عن ذلك، أدت المعلومات الجديدة إلى طرح أسئلة جديدة في بعض المجالات كالتغيرات غير المرتقبة في الطبقات الجليدية وأثرها المحتمل على ارتفاع مستوى البحر فضلاً عن تدخل تفاعلات معقدة بين التغير المناخي والكيميائي الجيولوجي الإحيائي.

ومع الأخذ بعين الاعتبار التوقعات المستقبلية لتغير المناخ، يخضع هذا التقرير إلى قرارات إتخاذها الفريق في إطار تقرير التقييم الرابع والعملية التوافقية لإستخدام سيناريوهات الإنبعثات التي حددها الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ للتنسيق بين الفرق العاملة الثلاثة. ومن ناحية ثانية، تم الاعتراف بقيمة المعلومات المتأتمية من نماذج المناخ الجديدة المتعلقة بإستقرار المناخ. وبغية معالجة الموضوعين، قامت فرق تصميم نموذج المناخ بمحاكاة المناخ التي تضمنت تجارب مثالية كان تكوين الغلاف الجوي فيها مستقراً. كما تمكن هذا التقييم من أخذ عدد أكبر من المحاكاة بعين الاعتبار مقارنة مع أي تقييم سابق لتغير المناخ وذلك لأنه جمع نماذج المناخ والمحاكاة كما تضمن العديد من نماذج القرن العشرين والحادي والعشرين.

وتقيم كل من الفريق العامل الثاني والثالث تقييم الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ لآثار تغير المناخ وإمكانية الإستجابة أو تقادي تأثيرات مماثلة ولم

يتم التطرق إلى ذلك هنا.

وفيما يقدم تقرير الفريق العامل الأول نتائج سلسلة من سيناريوهات الإنبعثات المتناسبة مع تقارير سابقة، يقوم الفريق العامل الثالث بتحديث مجموعة مقبولة من الإنبعثات المستقبلية.

بنية هذا التقرير

يتضمن تقييم الفريق العامل الأول، للمرة الأولى، فصلاً تمهيدياً فضلاً عن الفصل ١ الذي يغطي الطرق التي من خلالها تقدم علم تغير المناخ، كما يقدم نظرة عامة عن الطرق المستخدمة في علم تغير المناخ ودور نماذج المناخ وكيفية معالجة الشكوك. يغطي الفصلان ٢ و٧ التغيرات في مكونات الغلاف الجوي (الغازات والهباء الجوي) التي تؤثر على توازن الطاقة الإشعاعية في الغلاف الجوي وتحدد مناخ الأرض. ويقدم الفصل ٢ نظرة بالإعتماد على التغير المرصود في الغلاف الجوي كما أنه يغطي المفهوم المركزي للتأثير الإشعاعي. ويكمل الفصل ٧ ذلك من خلال مراقبة التفاعلات بين الدورات الكيميائية الإحيائية التي تؤثر على مكونات الغلاف الجوي وعلى تغير المناخ بما في ذلك تفاعلات السحب / الهباء الجوي.

وتغطي الفصول ٣ و٤ و٥ مجموعة كبيرة من المراقبات المتوفرة اليوم على صعيد الغلاف الجوي والسطح والتلوج والجليد والأرض الجليدية والمحيطات. وفيما تتداخل التغيرات التي رصدت في هذه المكونات الموجودة في نظام المناخ في ما بينها من خلال العمليات الفيزيائية، تسمح الفصول الأخرى بإجراء تقييم محدد للبيانات المتوفرة وللشكوك المتعلقة بها بما في ذلك بيانات الإستشعار البعيدة من الأقمار الصناعية. ويتضمن الفصل ٥ التغيرات المرصودة في مستوى البحر فيشير إلى الارتباط الوثيق بينها وبين درجة حرارة مكونات المحيط.

ويقدم الفصل ٦ نظرة مناخية قديمة ويقيم الدليل على تغير المناخ السابق وإلى أي مدى يتم تفسير ذلك من خلال الفهم العلمي الحالي. ويحتوي على تقييم جديد لدرجات الحرارة التي أعيد بناؤها عن ١٣٠٠ سنة الأخيرة.

ويغطي الفصل ٨ طرق محاكاة العمليات الفيزيائية المختلفة من خلال نماذج المناخ وتقييم النماذج بالإعتماد على مراقبة المناخ بما في ذلك معدله ووضعه وتقليبه. ويغطي الفصل ٩ المسألة المتعلقة بشكل وثيق بمدى تغير المناخ المرصود الذي يمكن ربطه بأسباب مختلفة طبيعية وبشرية.

ويغطي الفصل ١٠ استخدام نماذج المناخ لتوقع المناخ العالمي بما في ذلك الشكوك. كما يظهر النتائج المتعلقة بالمستويات المختلفة لغازات الدفيئة في المستقبل ويقدم تقييماً إحصائياً لمجموع إستجابات نظام المناخ الفيزيائي والأطر الزمنية والقصور المرتبط بإستجابات مماثلة. ويغطي الفصل ١١ التوقعات على صعيد تغير المناخ الإقليمي التي تتناسب والتوقعات العالمية. ويضم تقييمها لإمكانية الإعتماد على النموذج على المستويات الإقليمية فضلاً عن العوامل التي من الممكن أن تؤثر على تغير المناخ في المستوى الإقليمي.

ويتبع كل من خلاصة صانعي السياسات والخلاصة التقنية لهذا التقرير بنية متوازنة ويحتوي كل منهما على إحالة مرجعية إلى الفصل والقسم حيث من الممكن إيجاد المادة التي تم تلخيصها في التقرير الأساسي. فهذه الطريقة، تسمح الخلاصات في هذا التقرير بتقديم خريطة طريق لمضمون التقرير الكامل ويُنصح أن يستخدم القارئ خلاصة صانعي السياسات والخلاصة التقنية بهذه الطريقة.

والجديد في هذا التقرير هو أنه ضم ١٩ سؤالاً عاماً يُقدم لها المؤلف إجابات علمية بطريقة مفيدة ولأغراض تعليمية. وأخيراً، تم إرفاق التقرير بـ ٢٥٠ صفحة من المادة الإضافية التي تمت مراجعتها مع مسودات الفصل وهو متوفر على قرص مدمج وفي نسخ على شبكة الإنترنت لتقديم مستوى إضافياً من التفاصيل كالتالي لنماذج المناخ الفردية.

بعض أهم الأسئلة والمسائل المعالجة في التقرير والفصول المناسبة

| السؤال | الفصول |
|--|-----------------|
| ما هو التقدّم الذي أحرزه العلم منذ بدأت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ عملها؟ | ١ |
| ماذا نعرف عن العوامل الطبيعية والعوامل من صنع الإنسان المساهمة في تغيّر المناخ، وعن العمليات الأساسية المشاركة؟ | ٧، ٦، ٢ |
| كيفية مراقبة تغيّر المناخ خلال مرحلة استخدام أدوات القياس. | ٥، ٤، ٣ |
| ماذا يُعرف عن تغيّرات المناخ القديم، قبل حقبة استخدام أدوات القياس، الممتدة على نطاق زمني يتراوح بين مئة ومليون سنة، وعن العمليات المسببة للتغيّرات؟ | ٩، ٦ |
| إلى أي مدى نفهم المساهمات البشرية والطبيعية في تغيّر المناخ الأخير وإلى أي درجة يمكن محاكاة التغيّرات المناخية بواسطة النماذج؟ | ٩، ٨ |
| كيف يُتوقع أن يتغيّر المناخ عالمياً وإقليمياً؟ | ١٠، ١١ |
| ما هي المعلومات المتوفرة حول التغيّرات الماضية والمُسقطَة لمستوى البحار، بما في ذلك دور التغيّرات التي طرأت على الكتل والألواح الجليدية؟ | ٤، ٥، ٦، ١٠ |
| هل تتغيّر الظروف الطبيعية المتطرّفة مثل التهطال الحاد والجفاف والأمواج الحارة ولماذا؟ وكيف يمكنها أن تتغيّر في المستقبل؟ | ١١، ٣، ٥، ٩، ١٠ |

شكر

كما ونتوجّه بخالص الشكر للأطراف المضيفة ولنظمي إجتماعات المؤلفين الأربعة الضرورية لتحضير التقرير الحالي، ونشكر كذلك الدعم الذي تلقيناه من الحكومات والوكالات في إيطاليا والصين ونيوزيلندا والنرويج. أما جلسة الإعتماد الأخيرة للفريق العامل الأول فأنجزت بفضل السيد مارك جيليت وبفضل كرم الحكومة الفرنسية وتعاونها فضلاً عن مساعدة فرانسيس هايز، منسقة مؤتمرات في المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، التي ساهمت في تيسير أعمال الدورة.

ويسرّنا أن نشيد بجهود وحدة الدعم الفني في الفريق العامل الأول، المؤلفة من ميليندا ماركيس، كريستن أفيريت، ميليندا تيغور، تال كيسن، وسكوت لونغمور، ومن المساعدين زينلين شين، باربارا كيلير، ماري أن بيكونين، كيل تيرّان، ليلاني عريس، وميرلين أندرسون. وكل الشكر لمايكل شيباو وبولا ميچينهارد على الرسوم البيانية والصور، وريتو ستوكلي على تقديم صور الأرض المأخوذة من الفضاء، للغلاف، ودايفيد ورات ودايفيد فاهي وسوزان جوي هاسول على مساعدة الرئيسين المشاركين في تنظيم الأسئلة وتحريرها. كما ونودّ أن نشكر ريناتا كريست، أمين الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ فريق الأمانة العامة المؤلفة من جيان ليو، رودى بورجوا، الأولي كورتين وجويل فيرنانديز الذي قدّم الدعم اللوجستي لسفر وتنقل خبراء حكومات الدول النامية ودول الإقتصاد الإنتقالي.

إستفاد التقييم الحالي بشكل كبير من مستوى التعاون الوثيق داخل المجتمع الدولي لعلم المناخ وبين المجتمع والبرنامج العالمي لبحوث المناخ التابع للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية والبرنامج الدولي للغلاف الأرضي والمحيط الحيوي. ونودّ أن نشيد بشكل خاص بقوة التزام مجموعات وضع النماذج الـ١٤، أفراداً ووكالات من كافة أنحاء العالم تقريباً، كما نودّ أن نشكر برنامج التشخيص والمقارنة البيئية للنماذج المناخية على توثيق وتوزيع كمية لا سابقة لها (حوالي ٣٠ تيرابايتز) لمخروج النماذج المناخي، ما سمح بإجراء تشبيه أكثر دقة للنماذج المناخية الحالية وتقييم أكثر شمولية لطبيعة تغيّر مناخٍ قد يطول.

ولا بدّ من التشديد على أن التقرير الحالي اعتمد اعتماداً كلياً على خبرة المؤلفين المنسقين الرئيسيين والمؤلفين الرئيسيين، بمساعدة كبيرة من المؤلفين المنسقين، وعلى عملهم الشاق والالتزامهم بالنوعية الممتازة طيلة فترة العمل. كما نودّ أن نعرب عن عميق تقديرنا لعمل الخبراء المشاركين وعن خالص شكرنا للعدد الكبير من ملاحظاتهم القيمة والبناءة. كما أدّى فريق المحررين دوراً مهماً في مساعدة المؤلفين على التعامل مع تلك الملاحظات.

وأدّى مكتب الفريق العامل الأول، المؤلف من قانسى بونبراغوب، فيليبو جيورجي، بوبو جالو، جان جوزيل، ماريا مارتيلو ودايفيد ورات، دور الفريق التحريري للمساعدة في إختيار المؤلفين وفي إحترام أهداف التقرير الأساسية. هم قدّموا دعماً بناءً لرئيسي فريق العامل المشاركين خلال طيلة فترة العمل ونحن ممتنون لهم.

| | | | |
|---|---|---|------------------------------|
| مارتن مانين | داه كين | سوزان سولومون | راجيندرا ك. باشتوري |
| رئيس وحدة الدعم الفني | رئيس مشارك | رئيس مشارك | رئيس الهيئة الحكومية الدولية |
| الفريق العامل الأول للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ | الفريق العامل الأول للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ | الفريق العامل الأول للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ | المعنية بتغيّر المناخ |

المحتويات

تصدير

تمهيد

ملخص لصانعي القرارات

الملخص الفني

| | | |
|-----|--|------------|
| ١ | | |
| ٢١ | | |
| ٢٣ | المقدمة | ملخص فني ١ |
| ٢٣ | التغيرات في المؤثرات البشرية والطبيعية في تغير المناخ | ملخص فني ٢ |
| ٣٩ | مشاهدات التغيرات في المناخ | ملخص فني ٣ |
| ٦٣ | فهم تغير المناخ وعزوه | ملخص فني ٤ |
| ٧٣ | التنبؤ بالتغيرات المستقبلية في المناخ | ملخص فني ٥ |
| ٨٩ | الإكتشافات الكبرى وأهم الشكوك | ملخص فني ٦ |
| ١٠١ | | الأسئلة |
| ١٠٢ | ما هي العوامل التي تحدّد مناخ الأرض؟ | سؤال ١-١ |
| ١٠٤ | ما هي العلاقة بين تغير المناخ والطقس؟ | سؤال ٢-١ |
| ١٠٦ | ما هو مفعول الدفيئة؟ | سؤال ٣-١ |
| ١٠٨ | كيف تساهم النشاطات الإنسانية بتغيير المناخ وكيف تتم مقارنتها مع تأثيرات الطبيعة؟ | سؤال ١-٢ |
| ١١١ | كيف تتغير درجات الحرارة على الأرض؟ | سؤال ٢-٢ |
| ١١٤ | كيف يتغير التهطال؟ | سؤال ٣-٢ |
| ١١٦ | هل حصل تغير في الظواهر المتطرفة مثل الأمواج الدافئة والجفاف والفيضانات والأعاصير؟ | سؤال ٣-٣ |
| ١١٨ | هل تشهد كمية الثلج والجليد على الأرض تراجعاً؟ | سؤال ١-٤ |
| ١٢٠ | هل يرتفع مستوى البحر؟ | سؤال ١-٥ |
| ١٢٢ | ما الذي تسبّب بالعصور الجليدية والتغيرات المناخية الهامة الأخرى قبل الثورة الصناعية؟ | سؤال ١-٦ |
| ١٢٤ | هل يعتبر تغير المناخ الحالي غير اعتيادي مقارنة بالتغيرات السابقة التي حدثت في تاريخ الكرة الأرضية؟ | سؤال ٢-٦ |
| ١٢٦ | هل تعتبر الأنشطة البشرية في خلال العصر الصناعي مسؤولة عن زيادة نسب ثاني أكسيد الكربون الموجودة في الغلاف الجوي وفي سائر غازات الدفيئة؟ | سؤال ١-٧ |
| ١٢٩ | إلى أي مدى يمكن الإعتماد على النماذج المستخدمة للتنبؤ بتغير المناخ في المستقبل؟ | سؤال ١-٨ |

| | | |
|-----|--|-----------|
| ١٣١ | هل من الممكن تفسير وقوع الأحداث المتطرفة الفردية عن طريق الإحترار الدفيئي؟ | سؤال ٩-١ |
| ١٣٣ | هل من الممكن تفسير إحترار القرن العشرين عن طريق التقلبية الطبيعية؟ | سؤال ٩-٢ |
| ١٣٦ | هل يُتوقع أن تتغير الظواهر المتطرفة، كموجات الحر والجفاف والفيضان، بتغير مناخ الأرض؟ | سؤال ١٠-١ |
| ١٣٧ | ما هي أرجحية تغيرات المناخ الرئيسي والمفاجئ كفقدان الأغطية الجليدية أو تغيرات الدوران المحيطي العالمي؟ | سؤال ١٠-٢ |
| ١٣٩ | إذا تم خفض معدل إنبعاث غازات الدفيئة، بأي سرعة يتراجع معدل تركيزها في الغلاف الجوي؟ | سؤال ١٠-٣ |
| ١٤١ | هل تختلف التغيرات المناخية المرتقبة من منطقة إلى أخرى؟ | سؤال ١١-١ |
| ١٤٣ | مسرد المصطلحات | المرفقات |

تقرير الفريق العامل الأول للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ.

ملخص لواضعي السياسات

صاغ الوثيقة:

ريتشارد ب. آلي، تيرجي بيرنستن، ناتانيل ل. بيندوف، زهيلين تشين، أمنات تشيدتايسونغ، بيير فريدنشتاين، جوناثان م. غريغوري، غابرييل س. هيغيل، مارتين هايمن، بروس هيويتسن، براين ج. هوسكنز، فورتونات جوس، جان جوزيل، فلاديمير كاتسوف، أولريكيه لوهمان، مارتين مانينغ، تاروه ماتسونو، ماريو مولينا، نيفيل نيكولز، جوناثان أوفريك، داهيه كين، غراسيلا راغا، فينكاتشالام راماسوامي، جياوبن رين، ماتيلدي روستيكوتشي، سوزان سولومون، ريتشارد سوميرفيل، توماس ف. ستوكر، بيتر أ. ستوت، رونالد ج. ستوفر، بيني ويتن، ريتشارد أ. وود، دافيد ورات.

بمشاركة:

ج. أربلاستر، ج. ه. كريستانس، ك.ل. دينمان، د.و. فاهي، ب. فورستر، أ. جانسن، ب.د. جونز، ر. نوتي، ه. لو تروت، ب. ليكي، ج. ميغل، د. أ. راندال، د. أ. ستون، ك.أ. ترانبيرث، ج. ويلبراند، ف. زوايرز.

عنوان هذا الملخص لواضعي السياسات هو:

الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيير المناخ IPCC، ٢٠٠٧: ملخص لواضعي السياسات. تغير المناخ ٢٠٠٧: قاعدة العلوم الفيزيائية. مساهمة الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ [سولومون، س. كين، م. مانينغ، ز. تشين، م. ماركي، ك.ب. افيريت، م. تينور، و.ل. ميلير]. منشورات جامعة كامبريدج، كامبريدج، المملكة المتحدة، ونيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية.

المقدمة

تصف مساهمة الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ التقدم الذي أحرز في مجال فهم العوامل البشرية والطبيعية المسببة لتغير المناخ، والتغير المناخي المرصود والعمليات المناخية وعزو هذه العمليات، بالإضافة إلى تقدير التغيرات المناخية المستقبلية. وتستند هذه المساهمة إلى عمليات التقييم السابقة التي قامت بها الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، وهي تضم اكتشافات جديدة حصلت خلال سنوات البحوث الست الماضية. ويقوم التقدم العلمي الذي أحرز منذ تقرير التقييم الثالث على كم كبير من المعطيات الجديدة والأكثر شمولاً، وعلى تحليل متقدم للمعطيات، وتحسن في فهم عمليات تغير المناخ ومحاكاتها في نماذج، واستكشاف واسع لنطاقات عدم اليقين.

يمكن الاطلاع على أساس الفقرات الموسعة في هذا «الملخص لواجبي السياسات» في أجزاء الفصول الواردة بين قوسين على هذا الشكل [] .

العوامل البشرية والطبيعية المسببة لتغير المناخ

أثر التغير في كمية غازات الدفيئة والأهباء الجوية الموجودة في الغلاف الجوي، بالإضافة إلى التغير في الإشعاع الشمسي، وفي خصائص سطح الأرض على توازن الطاقة في النظام المناخي. ويشار إلى هذه التغيرات بعبارة التأثير الإشعاعي^١، و تُستخدم لمقارنة كيفية تأثير العوامل الطبيعية والبشرية على زيادة الحرارة أو البرودة في المناخ العالمي. ومنذ تقرير التقييم الثالث، أدت استنتاجات جديدة متعلقة بغازات الدفيئة، والنشاط الشمسي، وخصائص سطح الأرض، وبعض سمات الهباء الجوي، إلى تحسن في التقديرات الكمية للتأثير الإشعاعي.

ارتفع معدل تركيزات ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النيتروز في الغلاف الجوي العالمي بشكل ملحوظ نتيجة النشاطات البشرية منذ العام ١٧٥٠، وقد تخطى هذا المعدل اليوم بكثير النسب المسجلة ما قبل الثورة الصناعية والتي تم تحديدها من عينة مأخوذة من باطن الجليد يبلغ عمرها آلاف السنين (انظر الرسم الأول). إن ارتفاع معدل تركيزات ثاني أكسيد الكربون يعود أولاً إلى حرق الوقود الأحفوري والتغير في استخدام الأراضي، فيما تعود تركيزات الميثان وثاني أكسيد النيتروز إلى النشاط الزراعي. (٣، ٢، ٤، ٦، ٣، ٧).

• يُعتبر ثاني أكسيد الكربون من أهم غازات الدفيئة البشرية المنشأ (انظر الرسم الثاني). وقد ارتفعت تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بنسبة ٢٨٠ إلى ٣٧٩ جزءاً في المليون^٢ عام ٢٠٠٥. ويتخطى هذا التركيز المستوى الطبيعي الذي كان سائداً خلال الـ ٦٥٠ ألف سنة السابقة (بين ١٨٠ و ٣٠٠ جزء في المليون). وكان متوسط الزيادة السنوية لتركيزات ثاني أكسيد الكربون أكثر ارتفاعاً خلال السنوات العشر الماضية (متوسط ١٩٩٥-٢٠٠٥: ١,٩ جزءاً في المليون سنوياً) بالمقارنة مع ما كان عليه منذ بداية القياسات الجوية المباشرة والمستدامة (متوسط ١٩٦٠-٢٠٠٥: ١,٤ جزءاً في المليون سنوياً)، مع أن هناك تغير سنوي في معدلات تزايد التقلبية. {٣، ٢، ٧}

• ويعد المصدر الأول لزيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون منذ مرحلة ما قبل الثورة الصناعية هو حرق الوقود الأحفوري، فيما تساهم التغييرات في استخدام الأراضي إلى تأثيرات ملحوظة لكن أقل وطأة. وارتفعت الإنبعاثات السنوية لثاني أكسيد الكربون الأحفوري^٣ من متوسط قدره ٦,٤ (بين ٦,٠ و ٦,٨) جيجا طن من

^١ يدل تغير المناخ الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ على أي تغير في المناخ بمرور الزمن، أكان ذلك ناتجاً عن التقلبية الطبيعية، أو عن النشاط البشري. وتختلف هذه اللغة عن تلك المعتمدة في إطار إتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ، حيث يتم عزو أي تغير في المناخ بشكل مباشر أو غير مباشر إلى النشاط البشري الذي يعدل تركيب الغلاف الجوي، وذلك بالإضافة إلى تغير المناخ الطبيعي الملحوظ على مدى مراحل زمنية مماثلة.

^٢ التأثير الإشعاعي هو قياس تأثير أي عامل من العوامل على تغيير توازن الطاقة الداخلة والخارجة في نظام الغلاف الجوي للأرض، وهو مؤشر على أهمية هذا العامل كعملية تغيير مناخية محتملة. ويميل التأثير الإيجابي إلى تسخين سطح الأرض، فيما تميل القوة السلبية إلى تبريدها. في هذا التقرير، يتناسب تقدير التأثير الإشعاعي للعام ٢٠٠٥ مع شروط ما قبل الثورة الصناعية المحددة في العام ١٧٥٠، ويُعبّر عنها بـ «الواط» لكل متر مربع $W m^{-2}$. انظر فهرس الكلمات والقسم ٢,٢ للمزيد من التفاصيل.

^٣ الجزء في المليون أو الجزء في المليار (مليار = ألف مليون) هو نسبة جزيئات غازات الدفيئة في إجمالي عدد الجزيئات في الهواء الجاف. ٣٠٠ جزء في المليون على سبيل المثال يعني وجود ٣٠٠ جزيئة من غازات الدفيئة في مليون جزيئة من الهواء جاف.

^٤ تشمل إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفوري تلك الناجمة عن إنتاج الوقود الأحفوري وتوزيعه وإستهلاكه، وعن إنتاج الإسمنت كمنتج ثانوي. إنبعاثات بمعدل جيجا طن من الكربون يساوي ٣,٦٧ جيجا طن من الكربون O_2 .

^٥ تعتبر نطاقات عدم اليقين المحددة في هذا الملخص لواجبي السياسات عموماً مراحل عدم يقين بنسبة ٩٠ بالمئة، ما لم يذكر خلاف ذلك. وهناك إمكانية بنسبة ٥ في المئة أن تخطى النسب المعدل الوارد بين قوسين معقوفين على هذا الشكل []، وإمكانية أخرى بنسبة ٥ في المئة أيضاً في أن يكون التأثير دون هذا المعدل. يتم تبيان أفضل التقديرات عندما تكون متوفرة. ونطاقات عدم اليقين التي تخضع إلى تقييم ليست موازية دوماً للتقديرات الفضلى المناسبة. يُذكر أن عدداً من نطاقات عدم اليقين في تقرير التقييم الثالث للفريق العامل الأول تتوافق مع انحرافين قياسييين (٩٥ في المئة)، وذلك غالباً بالجوء إلى آراء الخبراء.

الكربون. [٢٣,٥ بين ٢٢ و٢٥] جيغا طن من الكربون (O_2) سنوياً في التسعينيات إلى ٧,٢ [بين ٦,٩ و٧,٥] جيغا طن من الكربون (٢٦,٤ [بين ٢٥,٣ و٢٧,٥] جيغا طن من الكربون (O_2) سنوياً بين العامين ٢٠٠٠ و٢٠٠٥ (بيانات ٢٠٠٤ و٢٠٠٥ هي تقديرات مؤقتة). انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة باستخدام الأراضي تُقدَّر بـ ١,٦ [بين ٠,٥ و٢,٧] جيغا طن من الكربون (٥,٩ [بين ١,٨ و٩,٩] جيغا طن من الكربون (O_2) سنوياً خلال التسعينيات مع أن هذه التقديرات ليست أكيدة. {٧,٣}

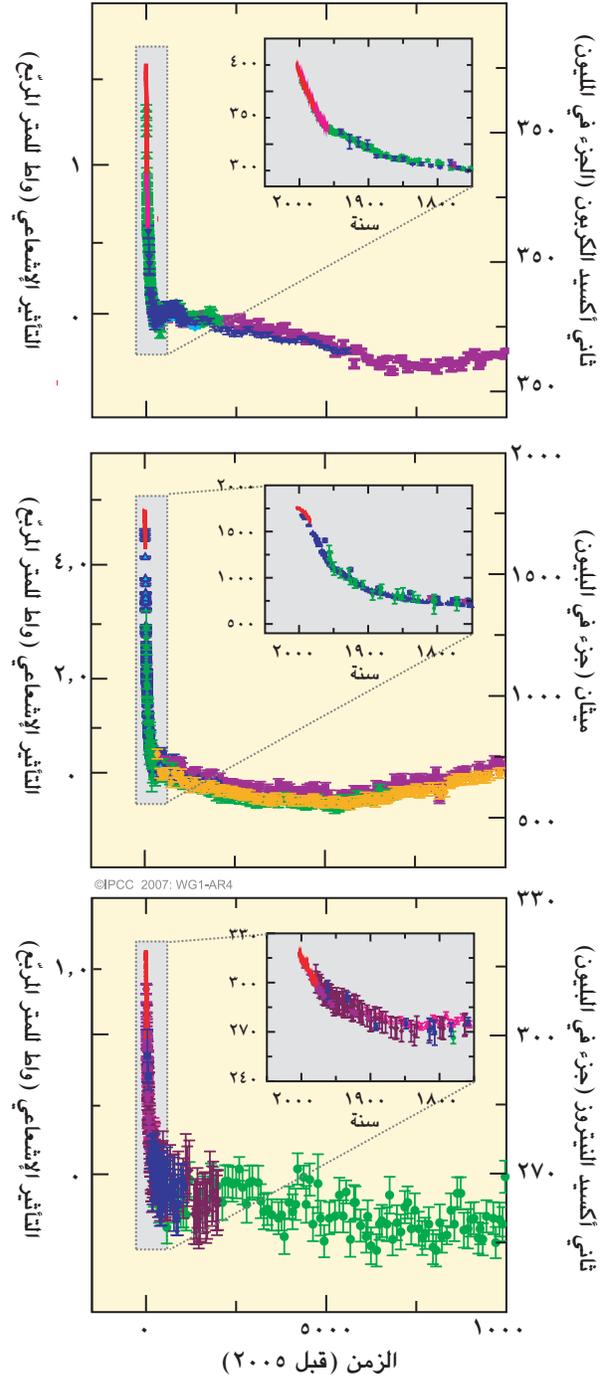
• تركيزات الميثان الإجمالية في الغلاف الجوي إرتفعت بنسبة ٧١٥ جزءاً في المليار لتصبح ١٧٣٢ جزءاً في المليار في التسعينيات، وكانت قد بلغت ١٧٧٤ جزءاً في المليار عام ٢٠٠٥. تركيزات الميثان في الغلاف الجوي للعام ٢٠٠٥ تخطت النطاق الطبيعي الذي سُجِّل خلال الـ ٦٥٠ ألف سنة الماضية (بين ٣٢٠ و٧٩٠ جزءاً في المليار) مثلما ظهر في عينة الجليد الأسطوانية. معدلات النمو في بداية التسعينيات انخفضت بشكل متناغم مع الانبعاثات الإجمالية (مجموع المصادر البشرية) التي كانت شبه مستقرة خلال هذه الفترة. من المرجح جداً أن ينتج الإرتفاع في تركيزات الميثان عن النشاط البشري والزراعي وإستخدام الوقود الاحفوري، لكن المساهمات الأخرى ذات الصلة لم تُحدَّد بشكل واضح بعد. {٢,٣ و٧,٤}

تحسّن فهم تأثيرات النشاط البشري على إرتفاع درجات الحرارة أو إنخفاضها منذ تقرير التقييم الثالث، وأدى إلى مستوى عالٍ من الثقة في أن المعدل الإجمالي للتأثير الصافي للنشاط البشري منذ العام ١٧٥٠ كان الإحترار المناخي مع تأثير إشعاعي بمعدل +١,٦ [بين ٠,٦ و٢,٤] واط للمتر المربع الواحد (انظر الرسم ٢). {٢,٩ و٢,٣,٦,٥}

٦ في هذا التلخيص لوضعي السياسات، استعملت هذه المصطلحات للدلالة على الأرجحية المحتملة، إستناداً إلى الحكم المتخصّص على حصيلّة أو نتيجة ما. مؤكّد افتراضياً <٩٩٪ كنسبة حدوث، فائق الأرجحية <٩٥٪، مرجّح جداً <٩٠٪، مرجّح <٦٦٪، أكثر ترجيحاً من الاستبعاد <٥٠٪، مستبعد <٣٣٪، مستبعد جداً <١٠٪، فائق الاستبعاد <٥٪ (انظر الملخص الفني، الإطار ١ للمزيد من التفاصيل).

٧ في هذا التلخيص لوضعي السياسات، استعملت مستويات الثقة التالية للتعبير عن الحكم المتخصّص المتعلّق بدقّة العلم الضمني: الثقة العالية جداً تمثّل على الأقل ٩ فرص من أصل ١٠ لتكون دقيقة، والثقة العالية تمثّل ٨ فرص من أصل ١٠ لتكون دقيقة (انظر الملخص الفني، الإطار ١).

التغيّر في غازات الدفيئة انطلاقاً من عينة مأخوذة من باطن الجليد والمعلومات الحديثة



الرسم الأول: تركيزات ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وثاني أكسيد النيتروز خلال الـ ١٠ آلاف سنة الماضية (الجدول الكبير) ومنذ العام ١٧٥٠ (الجدول الصغير). تظهر القياسات الخاصة بالعينة المأخوذة من باطن الجليد (المبيّنة بألوان مختلفة لتدلّ على دراسات مختلفة) وبعينات من الغلاف الجوي (الخطوط الحمراء). يظهر التأثير الإشعاعي الموجب على المقياس الوارد ناحية اليمين (الرسم ٦,٤).

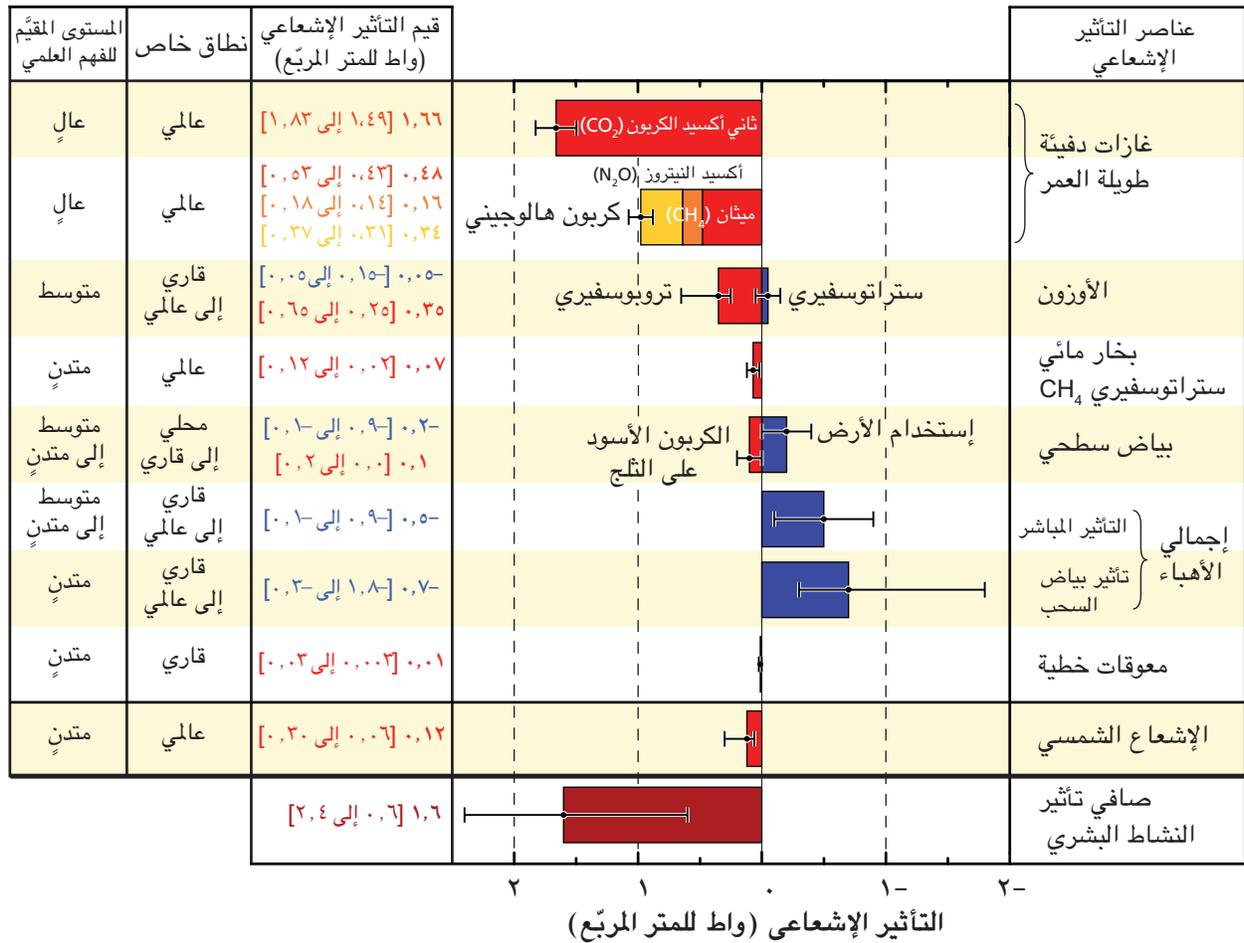
[واط للمتر المربع الواحد، وغير مباشر بنسبة ٠,٧ -] بين ١,٨ - واط للمتر المربع الواحد. أصبح فهم هذه التأثيرات اليوم أسهل من مرحلة إعداد تقرير التقييم الثالث، وذلك نتيجة تحسّن القياس من الأرض ومن الساتل، وتوفّر تخطيطات أكثر شمولية، غير أن نطاق عدم اليقين لا يزال حاضراً في مجال التأثير الإشعاعي. ويؤثر الهباء الجوي أيضاً على مدة حياة الغيوم وعلى هطول الأمطار.

• تنتج المساهمات البشرية في التأثير الإشعاعي عن عدّة مصادر. إنّ التغيّرات في طبقة الأوزون الناتجة عن انبعاثات مواد كيميائية تشكّل بدورها، تساهم طبقة الأوزون (أكسيدات النيتروجين، أكسيد الكربون، والهيدروكربونات) بنسبة ٠,٣٥ + (بين ٠,٢٥ + و ٠,٦٥ +)

• التأثير الإشعاعي الناتج عن ارتفاع في معدلات ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وثاني أكسيد النيتروز، هو ٢,٣٠ + (بين ٢,٠٧ + و ٢,٥٣ +) واط للمتر المربع الواحد، ومن الممكن جداً أن يكون معدّل ارتفاعه في الحقبة الصناعية لا سابق له في الـ ١٠ آلاف سنة الماضية (انظر الرسم الأول والثاني). إرتفع تأثير ثاني أكسيد الكربون الإشعاعي بنسبة ٢٠ في المئة بين العامين ١٩٩٥ و ٢٠٠٥، وهو التغيّر الأكبر خلال أي عقد في السنوات الـ ٢٠ الأخيرة على الأقل. {٦,٤ و ٢,٣}

• المساهمات البشرية في الهباء الجوي (خاصة الكبريت، والكربون العضوي، والكربون الأسود، والنيترات، والغبار) تنتج مفعولاً مبرداً، مع تأثير إشعاعي مباشر بنسبة ٠,٥ - (بين ٠,٩ - و ٠,١ -)

عناصر التأثير الإشعاعي



©IPCC 2007: WG1-AR4

الرسم ٢: تقديرات ونطاق المتوسط الإجمالي للتأثير الإشعاعي للعام ٢٠٠٥ في ما يخص ثاني أكسيد الكربون الناتج عن الأنشطة البشرية، بالإضافة إلى الميثان وثاني أكسيد النيتروز، وغيرها من العوامل الهامة، ناهيك عن الإطار الجغرافي المثالي (علي المستوى الفضائي) للتأثير الإشعاعي والمستوى المقيم للفهم العلمي LOSU. يظهر أيضاً التأثير الإشعاعي الصافي الناتج عن النشاط البشري ونطاقه. تطلب ذلك احتساب التقديرات غير الأكيدة واللا-ممتاثلة من الشروط المكوّنة، ولا يمكن التوصل إليه بعملية حسابية بسيطة. تعتبر عناصر التأثير الإشعاعي الأخرى وغير الواردة هنا ذات مستوى فهم علمي منخفض. ويُعتبر الهباء الجوي البركاني تأثيراً إشعاعياً طبيعياً إضافياً، غير أنه ليس مدرجاً في هذا الرسم بسبب طبيعته العرضية. نطاق الغيوم الصناعية المستقيمة التي تخلفها الطائرات لا يضمّ تأثيرات أخرى ممكنة للملاحة الجوية على الضباب {٢,٩، الرسم ٢,٢٠}

المئة الماضية (من ١٩٠٦ حتى ٢٠٠٥) والذي بلغ ٠,٧٤ درجة مئوية [بين ٠,٥٦ درجة مئوية و ٠,٩٢ درجة مئوية] هو أكبر مما سُجِّل بين العامين ١٩٠١ و ٢٠٠٠ كما ورد في تقرير التقييم الثالث أي ٠,٦ درجة مئوية [بين ٠,٤ درجة مئوية و ٠,٨ درجة مئوية]. الإحترار الذي سُجِّل بشكلٍ مستقيم خلال السنوات الـ ٥٠ الماضية (٠,١٣ درجة مئوية [بين ٠,١٠ درجة مئوية و ٠,١٦ درجة مئوية] في العقد الواحد) هو تقريباً ضعف ما سُجِّل في السنوات المئة الماضية. الإرتفاع الإجمالي للحرارة من ١٨٥٠-١٨٩٩ حتى ٢٠٠١-٢٠٠٥ هو بنسبة ٠,٧٦ درجة مئوية [بين ٠,٥٧ درجة مئوية و ٠,٩٥ درجة مئوية]. تأثير جزر الحرارة في المدن واقعي ولكن غير محلي، ولديه مفعول ضئيل (أقل من ٠,٠٦ درجة مئوية على سطح الأرض في العقد الواحد، وصفر على مياه المحيط). {٢,٢}

• تُظهر تحاليل جديدة للقياسات المستمدة من التوابع الإصطناعية والبالونات الجوية لحرارة الطبقة السفلى والوسطى التروبوسفيرية مستويات إحترار شبيهة ببيانات حرارة سطح الأرض، وهي متناغمة في إطار عدم اليقين، وشبيهة بشكل كبير بالإختلاف الوارد في تقرير التقييم الثالث. {٣,٤، ٣,٢}

• إرتفع معدّل محتوى البخار في الجوّ منذ الثمانينيات فوق اليابسة والمحيط، وفي الطبقة التروبوسفيرية العليا. هذا الإرتفاع يتناغم بشكلٍ واسع مع البخار الإضافي الذي يمكن للهواء الساخن أن يحمله.

• أظهرت الملاحظات التي دُوّنت منذ العام ١٩٦١ أن متوسط حرارة المحيط الاجمالية إزداد حتى عمق ٣٠٠٠ متر كحدّ أدنى، وأن المحيط يمتصّ أكثر من ٨٠ في المئة من الحرارة المضافة إلى النظام المناخي. يسبّب إحترار مشابه إرتفاعاً في مستوى مياه البحر (انظر الرسم الأول). {٥,٥، ٥,٢}

• إنخفض مستوى الجليد والأنهر الجليديّة في المرتفعات في نصفي الكرة الأرضيّة، وقد ساهم ذلك في إرتفاع مستوى مياه البحر (لا تضمّ الأنهر الجليديّة الألواح الثلجية في المنطقة القطبية الشمالية وغرينلاند). (انظر الجدول ١). {٥,٦، ٤,٧، ٤,٨، ٥,٥}

واط للمتر المربع الواحد الواحد. تبلغ نسبة التأثير الإشعاعي المباشر الناتج عن تغيّر في الكربون المشعّ ^{١٤} ٠,٣٤ + [بين ٠,٣١ + و ٠,٣٧ +] واط للمتر المربع الواحد. يعزّز التغيّر في المساحة الناتج عن تغيّر التربة وتساقط الهباء الجوي الكربوني الأسود على الثلوج التأثير الإشعاعي بنسبة ٠,٢ - [بين ٠,٤ - و ٠,٠ +] واط للمتر المربع الواحد. وتبرز تأثيرات إضافية أقلّ من ٠,١ + / - واط للمتر المربع الواحد في الرسم الثاني. {٢,٣، ٢,٥، ٢,٢، ٧}

• يُقدّر أن التغيّر في الشعاع الشمسي منذ العام ١٧٥٠ سبّب تأثيراً إشعاعياً بنسبة ٠,١٢ + [بين ٠,٠٦ - و ٠,٣٠ +] واط للمتر المربع الواحد، أي أقلّ من نصف التقديرات الواردة في تقرير التقييم الثالث. {٢,٧}

ملاحظات مباشرة حول تغيّرات مناخية حديثة

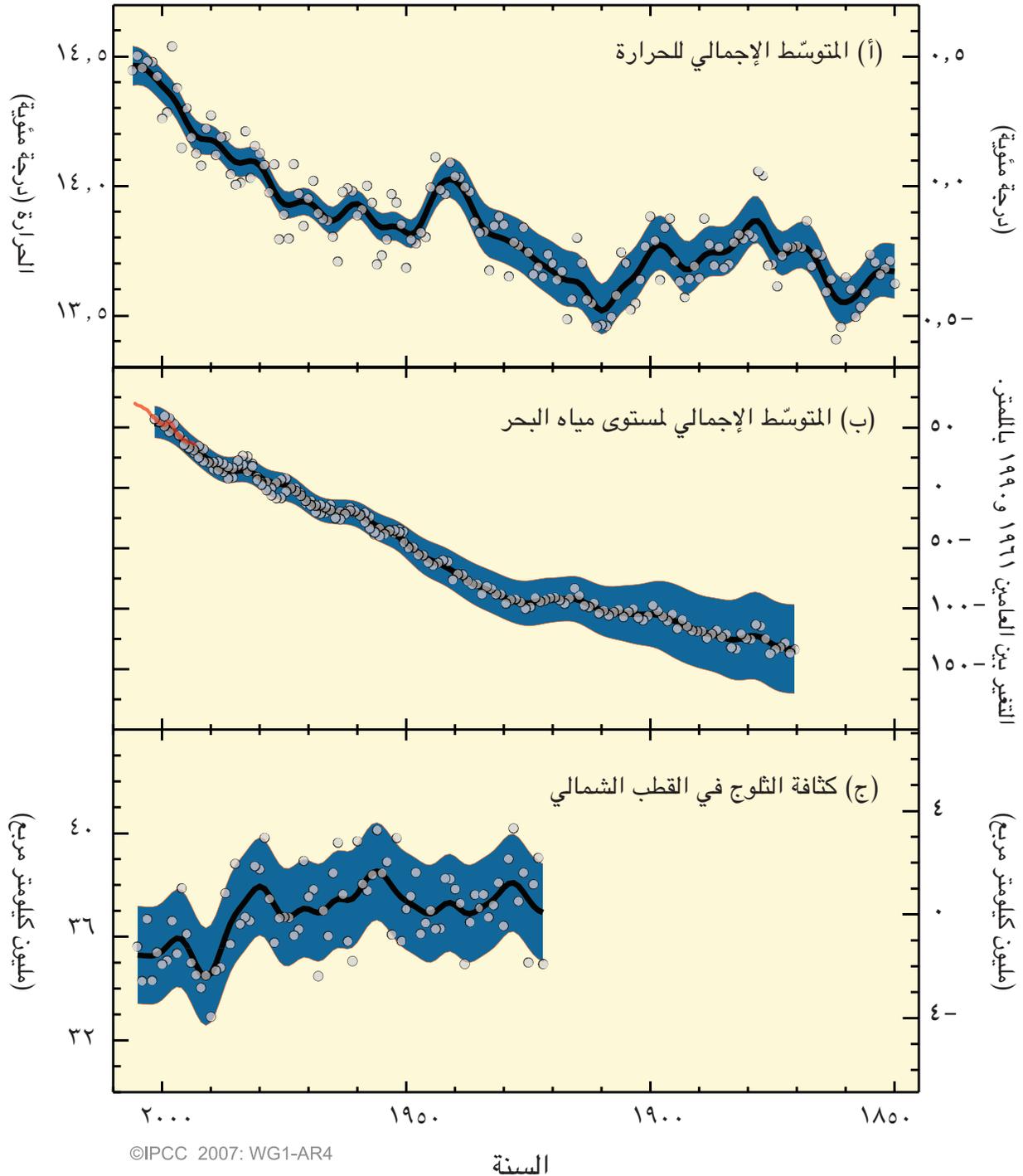
منذ تقرير التقييم الثالث، تحسّن التقدّم في فهم كميّة تغيّر المناخ في الزمان والمكان من خلال تطوّر وتوسّع عدّة بيانات ومعلومات وتحاليل، وفهم أفضل لنطاق عدم اليقين، واختلاف طرق القياس. المزيد من الملاحظات الشاملة متوفرة عن الأنهر الجليدية والغطاء الثلجي منذ الستينيات، بالإضافة إلى مستوى مياه البحر والألواح الجليدية منذ بداية العقد الماضي. غير أن جمع المعلومات لا يزال محدوداً في بعض المناطق.

الإحترار في النظام المناخي ليس موضوع التباس، كما هو واضح من خلال الملاحظات التي تشير إلى إرتفاع إجمالي لحرارة الجوّ والمحيط، وذوبان الثلج والجليد الواسع على رقعة جغرافية واسعة، وإرتفاع المستوى الإجمالي لمياه البحر (انظر الرسم الثالث). {٢، ٣، ٤، ٥، ٥}

• ١١ سنة من أصل السنوات الـ ١٢ الماضية (١٩٩٥-٢٠٠٦) هي من بين السنوات الـ ١٢ الأكثر دفئاً في بيان حرارة سطح الأرض الاجمالية^١ (منذ ١٨٥٠). التوجّه المستقيم الذي سُجِّل خلال السنوات

^١ التأثير الإشعاعي للكربون المشعّ قد تمّ تقييمه مؤخراً بالتفصيل في التقرير الخاص بالهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ حول حماية طبقة الأوزون والنظام المناخي العام.

التغير في الحرارة، ومستوى مياه البحر، وكثافة الثلوج في القطب الشمالي.



الرسم ٣: التغير في (أ) المتوسط الإجمالي لحرارة سطح الأرض، (ب) المتوسط الإجمالي لمستوى مياه البحر بقياس المد والجزر (الأزرق) والمعلومات المسجلة بالساتل (أحمر) و(ت) كثافة الثلوج في القطب الشمالي في شهري آذار/مارس ونيسان/أبريل. كل التغيرات متناسبة مع المعدلات المطابقة للمرحلة الممتدة بين العامين 1961 و 1990. تدل الإنحناءات الناعمة على معدل النسب المسجلة في كل عقد، فيما تدل الدوائر على النسب السنوية. مناطق الظل هي نطاق عدم اليقين المقدرة إنطلاقاً من تحليل شامل للنقاط المشكوك فيها المعروفة (أ و ب) ومن السلسلة الزمنية (ت). {الأسئلة ٣، ١، الرسم الأول، الرسم ٤، ٢، الرسم ٥، ١٣}

في التوجّه الطويل الأمد. هناك ثقة كبيرة بأن مستوى مياه البحر قد ارتفع بين القرنين التاسع عشر والعشرين. ويُقدَّر الإرتفاع الذي سجّل في القرن العشرين بـ ٠,١٧ [بين ٠,١٢ و ٠,٢٢] متراً. {٥,٥}

• بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣، يتناغم مجموع المساهمات المناخية على مستوى عدم اليقين مع مجموع إرتفاع مستوى مياه البحر الذي يُلاحظ مباشرةً (انظر الجدول ١). وتقوم هذه التقديرات على تحسُّن القياسات بالساتل وبيانات المعلومات التي أصبحت الآن متوفرة. بين العامين ١٩٦١ و ٢٠٠٣، كان مجموع المساهمات المناخية أقلّ من إرتفاع مستوى مياه البحر الملحوظ. وقد نصّ تقرير التقييم على إختلاف مماثل بين العامين ١٩١٠ و ١٩٩٠.

على مستوى مياه المحيط في الأقاليم والقارات، شهدنا عدداً من التغيّرات المناخية الطويلة الأمد، ومن بينها التغيّر في الحرارة والثلج في المنطقة القطبية الشمالية، ناهيك عن تحوّل في مقادير الهطول، وملوحة البحر، ونوعية الهواء، وأشكال المناخ القاسي مثل الجفاف، والأمطار الغزيرة، وموجات الحرّ، وقوّة الأعاصير المدارية^{١٠}. {٥,٢,٣,٦,٣,٥,٣,٤,٣,٣,٢}

• وتُظهر معلومات جديدة سُجّلت منذ تقرير التقييم الثالث أن إنخفاض مستوى الألواح الثلجية في غرينلاند والمنطقة القطبية الشمالية قد ساهم بشكل ملحوظ في إرتفاع مستوى مياه البحر بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣ (انظر الجدول ١). لقد أصبح معدّل الذوبان في غرينلاند والمنطقة القطبية الشمالية أكثر سرعةً، ما أدّى إلى تفرّغ الجليد من داخل الألواح الجليدية. ولطالما كان الإرتفاع في مقدار الخسارة من الألواح الثلجية يأتي بعد تقلّص، وإنخفاض، وخسارة، في حجم الطبقات الثلجية أو القطع الثلجية العائمة. هذه الخسارة السريعة في مستوى الجليد كافية لتفسير معظم إنخفاض الحجم الصافي لغرينلاند. وقد وقع ما تبقى من الخسارة الجليدية في غرينلاند لأن هذه الخسارة الناتجة عن الذوبان تخطّت التراكم الناتج عن تساقط الثلوج. {٥,٥,٤,٨,٤,٦}

• إرتفع المتوسط الاجمالي لمستوى مياه البحر بمعدل ٨.٠ [بين ١,٣ و ٢,٣] مللتر في السنة بين العامين ١٩٦١ و ٢٠٠٣. كان المعدّل أسرع بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣: حوالي ٣,١ [بين ٢,٤ و ٣,٨] مللتر في السنة. من غير الواضح ما إذا كان هذا المعدّل السريع الذي سجّل بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣ يعكس تقلباً يجري كل عقد، أو إرتفاعاً

الجدول الأوّل. الإرتفاع الملحوظ لمستوى مياه البحر، والمساهمات المقدّرة من مصادر مختلفة. {٥,٥,٥,٣}

| متوسط إرتفاع مستوى مياه البحر (مللتر في السنة) | | مصدر إرتفاع مستوى مياه البحر |
|--|-------------|---|
| ٢٠٠٣-١٩٩٣ | ٢٠٠٣-١٩٦١ | |
| ٠,٥ ± ١,٦ | ٠,١٢ ± ٠,٤٢ | التوسّع الحراري |
| ٠,٢٢ ± ٠,٧٧ | ٠,١٨ ± ٠,٥٠ | القمم الثلجية والكُتل الجليدية |
| ٠,٠٧ ± ٠,٢١ | ٠,١٢ ± ٠,٠٥ | لوح غرينلاند الجليدي |
| ٠,٣٥ ± ٠,٢١ | ٠,٤١ ± ٠,١٤ | اللوح الجليدي في القطب الشمالي |
| ٠,٧ ± ٢,٨ | ٠,٥ ± ١,١ | مجموع المساهمات الفردية المناخية في إرتفاع مستوى مياه البحر |
| ١,٠٧ ± ٣,١ | ١,٠٥ ± ١,٨ | مجموع إرتفاع مستوى مياه البحر الملحوظ |
| ١,٠ ± ٠,٣ | ٠,٧ ± ٠,٧ | الفرق (المجموع الملحوظ الناقص للمساهمات المناخية المقدّرة) |

ملاحظات الجدول:

^{١٠} معلومات ما قبل العام ١٩٩٣ متعلقة بقياس المد والجزر، ومعلومات ما بعد العام ١٩٩٣ متعلقة بقياس الإرتفاعات من الساتل.

^{١٠} تتضمن الأعاصير المدارية التيفونات والزوبعات.

- إرتفع متوسط الحرارة في المنطقة القطبية الشمالية بنسبة ضعف مجموع المتوسط العام خلال السنوات المئة الماضية. وللحرارة في هذه المنطقة هامش تغير في كل عقد، ومرحلة حارة سُجِّلت بين العامين ١٩٢٥ و ١٩٤٥. {٣,٢}
- المعلومات الساتلية منذ العام ١٩٧٨ أظهرت أن المعدل السنوي لإرتفاع مستوى المياه الجليدية تقلص بنسبة ٢,٧ [بين ٢,١ و ٣,٣] في المئة خلال كل عقد، مع إنخفاض إضافي في الصيف مع نسبة ٧,٤ [بين ٥,٠ و ٩,٨] في المئة في القرن. وتتماشى هذه الأرقام مع ما ورد في تقرير التقييم الثالث. {٤,٤}
- الحرارة في أعلى طبقة التربة الصقيعية إرتفعت منذ الثمانينيات في المنطقة القطبية (بمعدل ٣ درجات مئوية). وقد تغير الزمن الذي كانت فيه الأرض تُغطى بالجليد، فأصبحت المدة الأطول لهذا المناخ أكثر إرتفاعاً بنسبة ٧ في المئة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، وذلك منذ العام ١٩٠٠، مع إرتفاع خلال الربيع بنسبة تفوق الـ ١٥ بالمئة. {٤,٧}
- ظهرت التوجّهات الطويلة الأمد بين ١٩٠٠ و ٢٠٠٥ في نسبة التهطل في عدّة مناطق واسعة. وسُجِّل إرتفاع في التهطل خاصة في المناطق الشرقية من أميركا الشمالية والجنوبية، وأوروبا الشمالية،

الجدول ٢: التوجّهات الحالية، وتقييم التأثير البشري على التوجّهات والتوقعات للظواهر المناخية المتطرفة التي تتناسب مع توجّهات ملحوظة في أواخر القرن العشرين. (الجدول ٣,٧، ٣,٨، ٩,٤، الفروع ٣,٨، ٥,٥، ٩,٧، ١١,٢، ١١,٩)

| الظاهرة (أ) والتوجّه | أرجحية هذا التوجّه في أواخر القرن العشرين (خاصة بعد العام ١٩٦٠) | أرجحية مساهمة بشرية في التوجّه الملحوظ (ب) | أرجحية التوجّهات المستقبلية المبنية على الإتجاهات للقرن الواحد والعشرين بناءً على سيناريوهات الإنبعث |
|---|---|--|--|
| أيام وليالي دافئة وأقل برودة في معظم الأراضي | مرجح جداً | مرجح | مؤكد إفتراضياً |
| أيام وليالي حارة أكثر دفئاً ووتيرة في معظم الأراضي | مرجح جداً | مرجح (الليالي) | مؤكد إفتراضياً |
| موجات حرّ وتيرة مرتفعة في معظم الأراضي. | مرجح | أكثر ترجحاً من استبعاداً | مرجح جداً |
| تهطل قويّ وتيرة (أو) نسبة مجموع هطول الأمطار من التهطل القوي مرتفعة في معظم الأراضي. | مرجح | أكثر ترجحاً من استبعاداً | مرجح جداً |
| إرتفاع عدد الأراضي المتأثرة بالجفاف | مرجح في معظم المناطق منذ السبعينيات | أكثر ترجحاً من استبعاداً | مرجح |
| تزايد نشاط الأعاصير المدارية القوية | مرجح في معظم المناطق منذ السبعينيات | أكثر ترجحاً من استبعاداً | مرجح |
| إرتفاع وتيرة مستويات مياه البحر العالية جداً (بإستثناء أمواج المدّ العملاقة) ^٣ | مرجح | أكثر ترجحاً من استبعاداً ^٤ | مرجح ^٥ |

^١ انظر الجدول ٣,٧ للمزيد من التفاصيل في ما يتعلق بالتعريف.

^٢ انظر الملخص الفني، الجدول ٤، والملخص الفني، الإطار ٥، والجدول ٩,٤.

^٣ إنخفاض وتيرة الأيام والليالي الباردة (أكثر برودة بنسبة ١٠ بالمئة).

^٤ إحترار أكثر الأيام والليالي شدة في العام.

^٥ إرتفاع وتيرة الأيام والليالي الحارة (أكثر حرارة بنسبة ١٠ في المئة).

^٦ لم يخضع حجم النشاط البشري للتقييم. أسباب هذه الظاهرة مبنية على حكم متخصص بدلاً من الدراسات الرسمية للأسباب.

^٧ يعتمد مستوى مياه البحر العالي جداً على معدل مستوى المياه والأنظمة المناخية الإقليمية. وتعتبر هنا النسبة المئوية الأعلى في معدلات مستوى مياه البحر المسجلة في كل ساعة في منطقة معينة ومرحلة معينة.

^٨ التغير في المستوى العالي لمياه البحر قريب من التغير في معدل مستوى مياه البحر. (٩,٥)

^٩ في جميع السيناريوهات، معدل مستوى مياه البحر المتوقع للعام ٢١٠٠ أكثر إرتفاعاً من المرحلة المرجعية (١٠,٦) تأثير التغير في الأنظمة المناخية الإقليمية على مستوى مياه البحر لم يتم تقييمه بعد.

بعض الأنماط المناخية لم تتغير {٣، ٥، ٤، ٤، ٣، ٨، ٣، ٢}

- أورد تقرير التقييم الثالث إنخفاضاً في نطاق الحرارة خلال النهار DTR، لكن المعلومات المتوفرة الموسعة لاحقاً تشمل فقط الفترة الممتدة بين العام ١٩٥٠ و١٩٩٣. وتُظهر الملاحظات الأخيرة أن نطاق الحرارة خلال النهار لم يتغير من العام ١٩٧٩ حتى العام ٢٠٠٤، فيما ارتفعت الحرارة اليومية الليلية بالمستوى نفسه. وتختلف التوجهات بين منطقة وأخرى. {٣، ٢}
- لا يزال جليد البحر في القطب الجنوبي يُظهر اختلافات تُسجّل خلال السنة، وتغيرات موقعية، غير أنه ما من توجهات إحصائية هامة، متناغمة مع غياب الإحترار، ومنعكسة على معدلات حرارة الجو في المنطقة.
- هناك نقص في الأدلة لتحديد ما إذا كانت التوجهات موجودة في الدوران التقلبي الجنوبي للمحيط، أو في الظواهر ذات النطاق السريع كالأعاصير، والصقيع، والرعد، والعواصف الرملية. {٥، ٣، ٨}

المنظور التاريخي لعلم المناخ

تستخدم دراسات علم المناخ التغير في المؤشرات المناخية الحساسة لاستنتاج التغيرات الماضية في المناخ الإجمالي على نطاق زمني يتراوح بين العقود وملايين السنين. معلومات توكيلية كهذه (مثلاً: عرض دائر شجرة) قد تتأثر بالحرارة المحلية وعوامل أخرى كالتهطال، وهي غالباً ما تعكس التوجه خلال فصول معينة بدلاً من سنوات كاملة. زادت الدراسات منذ تقرير التقييم الثالث الثقة نتيجة إظهار المعلومات الإضافية نتائج مترابطة ومنطقية على مستوى عدّة مؤشرات في مناطق مختلفة حول العالم، غير أن عدم اليقين يزداد مع الرجوع في الزمن نتيجة تغطية معلوماتية ساتلية محدودة.

ووسط آسيا وشمالها. ويختلف التهطال بشكل كبير وفق المكان والزمان، وتبقى المعلومات ذات الصلة محدودة في بعض الأماكن. وسُجّلت توجهات طويلة الأمد في المناطق الواسعة الأخرى التي خضعت للتقييم^{١١}. {٣، ٣، ٩}

- يتأثر التغير في التهطال وتبخر المياه فوق المحيط بإنخفاض درجات حرارة المياه في مناطق خطوط العرض المتوسطة القطبية، ناهيك عن ارتفاع لوحة المياه في مناطق خطوط العرض المنخفضة. {٥، ٢}
- اشتدت الرياح الغربية على مستوى خطوط العرض الوسطى في نصفي الكرة الأرضية منذ الستينيات. {٣، ٥}
- سُجّلت فترات جفاف أشد وأطول على مساحات أوسع منذ السبعينيات، خاصة في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية. وساهم ارتفاع الجفاف المرتبط بدرجات حرارة عالية وإنخفاض التهطال في التأثير على الجفاف، بالإضافة إلى الدور الذي اضطلع فيه التغير في حرارة سطح الماء، ونوعية الرياح، وإنخفاض كثافة الثلوج. {٣، ٣}
- ارتفعت وتيرة التهطال القوي في معظم المناطق، ورافقها ارتفاع في درجات الحرارة وفي نسبة البخار في الجو.
- سُجّل تغيير واسع النطاق في درجات الحرارة القصوى خلال السنوات الـ ٥٠ الماضية. أصبحت الأيام والليالي الباردة والصقيع أقل ندرة، فيما ازدادت الأيام والليالي الحارة وموجات الحر (انظر الجدول ٢). {٣، ٨}
- هناك أدلة شهودية على زيادة قوية في نشاط الأعاصير المدارية في شمال الأطلسي منذ العام ١٩٧٠، وعلى ارتفاع في درجات حرارة سطح الماء في المناطق المدارية. هناك أيضاً نظريات عن زيادة نشاط الأعاصير المدارية قبل الأدلة الساتلية في العام ١٩٧٠ تجعل رصد التوجهات الطويلة الأمد للنشاط الإعصاري الاستوائي أكثر تعقيداً. ما من توجه واضح في الأرقام السنوية المسجلة للأعاصير المدارية. {٣، ٨}

^{١١} المناطق الخاضعة للتقييم هي تلك الواردة في الفصل الخاص بالاتجاهات الإقليمية في تقرير التقييم الثالث، وفي الفصل ١١ من هذا التقرير.

فهم تغيّر المناخ وتحديد أسبابه

يشير هذا التقييم إلى السجلات الأطول والمحسنة، وإلى سلسلة أكبر من الملاحظات والتحسينات الناتجة عن محاكاة العديد من النواحي المناخية وتغيّرها طبقاً لنتائج الدراسات السببية الجديدة، التي قيّمت ما إذا كانت التغيّرات الملحوظة متلائمة كمّاً مع الإستجابة المتوقّعة للتأثيرات الخارجية، ولا تتوافق مع التفسيرات المقبولة فيزيائياً.

من المحتمل جداً أن تُعزى معظم حالات ارتفاع المتوسط العالمي لدرجات الحرارة في منتصف القرن العشرين إلى الارتفاع في تركّز الغازات البشرية والدفينة^{١٢}. يشير ذلك إلى إحراز تقدّم منذ أكدت النتائج التي خلّص إليها تقرير التقييم الثالث «أن معظم حالات الإحترار التي برزت خلال السنوات الخمسين المنصرمة قد نتجت عن تركّز غازات الدفينة». وباتت التأثيرات الإنسانية الملحوظة تشمل نواح مناخية أخرى، بما في ذلك احتراق المحيطات ومتوسط الحرارة القارية، ودرجات الحرارة القصوى وأنماط الرياح (انظر الرسم ٤ والرسم ٢، ٤، ٩، ٥)

• من المرجح أن ارتفاع تركّز غازات الدفينة وحده أحدث احتراقاً أكثر من حالات الإحترار التي كانت الأهباء البركانية والبشرية ستحدثها. {٢،٩، ٧،٥، ٩،٤}

• يدعم إنتشار احتراق الغلاف الجوي والمحيطات، بالإضافة إلى إنحسار الرقعة الجليدية، نتيجة أنه من غير المرجح تفسير التغيّر المناخي العالمي خلال السنوات الخمسين المنصرمة من دون ذكر التأثيرات الخارجية، وأنه من المحتمل جداً ألا يُعزى لأسباب طبيعية معروفة بحتة. (٨،٤، ٥،٢، ٩،٤، ٩،٥، ٩،٧)

• بدأ التغيّر في النظام المناخي يبرز في تغيّر الحرارة السطحية والجوية على علوِّ مئات الأمتار فوق المحيط، وفي ارتفاع مستويات البحار. في هذا الإطار، تُظهر الدراسات السببية ضلوع

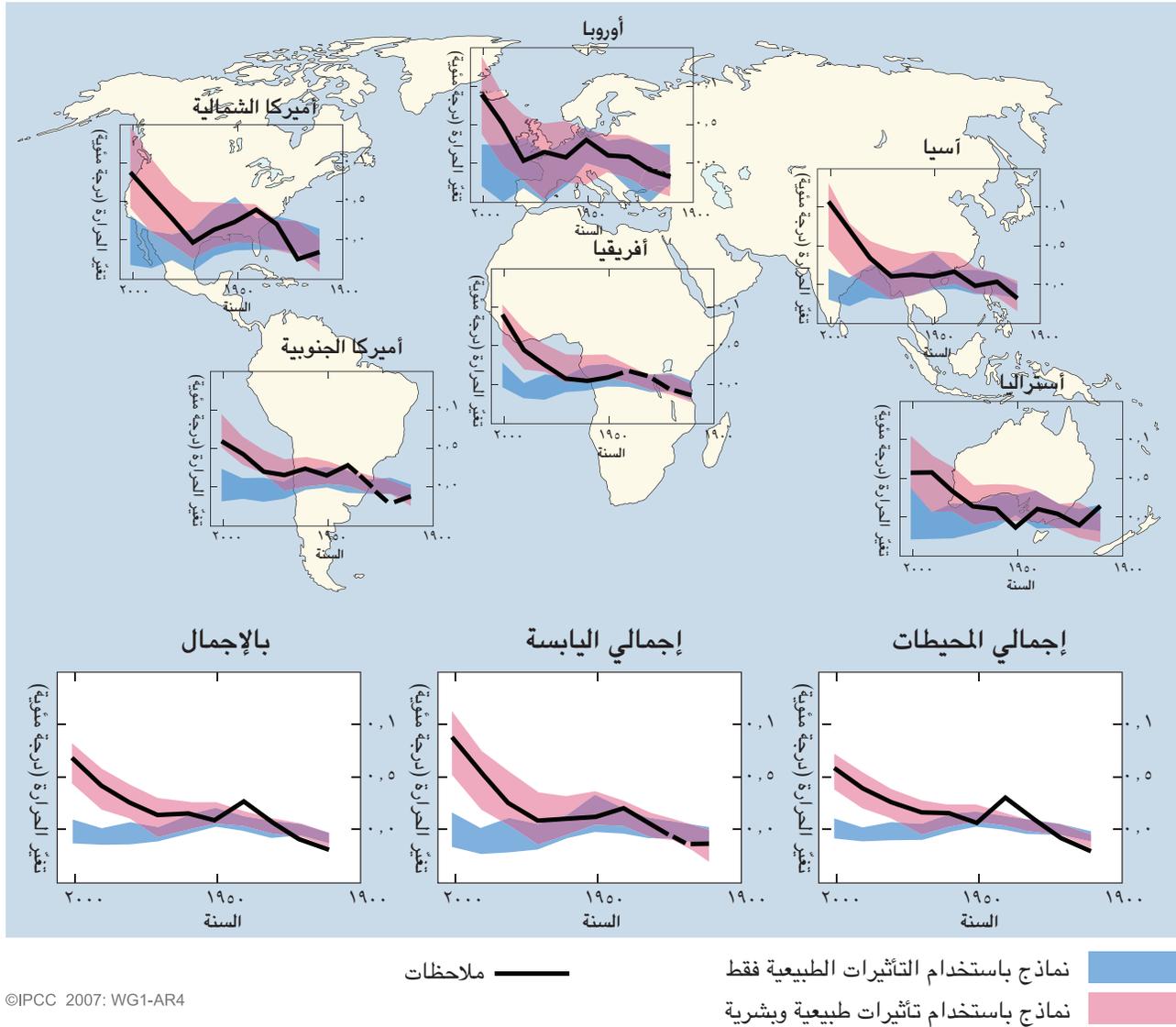
المعلومات المتصلة بعلم المناخ تساند نظرية أن الإحترار خلال نصف القرن الماضي غير اعتيادي، أقله خلال السنوات الـ ١٣٠٠ الماضية. في المرّة الأخيرة التي كانت فيها المناطق القطبية حارّة نوعاً ما أكثر من الآن، وذلك خلال فترة طويلة (منذ حوالي ١٢٥ ألف سنة)، أدى الإنخفاض في حجم الجليد القطبي إلى ارتفاع بمعدّل أربعة إلى ستة أمتار في مستوى مياه البحر. {٦،٦، ٤، ٦}

• من المرجح جداً أن متوسط الحرارة في نصف الكرة الأرضية الشمالي خلال النصف الثاني من القرن العشرين كان أكثر ارتفاعاً منه خلال مرحلة ٥٠ عاماً في السنوات الـ ٥٠٠ الماضية، ومرجح أن يكون الأعلى في السنوات الـ ١٣٠٠ الماضية. تبيّن بعض الدراسات الحديثة تغيّراً أوسع في حرارة نصف الكرة الأرضية الشمالي من ذلك الذي أورده تقرير التقييم الثالث، مع التشديد على أن مراحل التبريد حصلت بين القرنين الثاني عشر والرابع عشر، والقرنين السابع عشر والتاسع عشر. وتندرج المراحل الأكثر دفئاً السابقة للقرن العشرين في نطاق عدم اليقين الوارد في تقرير التقييم الثالث. {٦،٦}

• من المرجح أن متوسط مستوى مياه البحر الإجمالي خلال المرحلة الممتدة بين دورين جليديين (منذ حوالي ١٢ ألف سنة) بلغ أربعة إلى ستة أمتار أكثر من المستويات التي سُجّلت خلال القرن العشرين، خاصة نتيجة ذوبان الجليد القطبي. وتُظهر المعلومات أن متوسط الحرارة القطبية في هذه المرحلة كان أعلى بثلاث إلى خمس درجات من الحرارة الحالية، وذلك بسبب التغيّر الذي طرأ على مدار الأرض. ومن المرجح أن لوح غرينلاند الجليدي وغيره من المناطق الجليدية في القطب الشمالي قد ساهم بمعدّل لا يتخطى الأمتار الأربعة من أصل الإرتفاع الملحوظ في مستوى مياه البحر. وقد يكون لمنطقة القطب الجنوبي أيضاً تأثير في هذا الإطار. {٦،٤}

^{١٢} يركز عدم اليقين المتبقي على المنهجيات المعتمدة حالياً

تغير الحرارة العالمية والقارية



الرسم ٢. مقارنة التغيرات الملحوظة في حرارة السطح على مقياس اليابسة والمحيطات بنتائج محاكاة النماذج المناخية باستخدام التأثيرات الطبيعية والبشرية. تظهر ملاحظات المعدلات العقدية في الفترة الزمنية الممتدة بين ١٩٠٦ و ٢٠٠٥ (الخط الأسود)، مقارنة بمنتصف العقد ونسبة إلى المعدلات المتماثلة بين ١٩٠١ و ١٩٥٠. جرى رسم خطوط متقطعة حيث لا تبلغ تغطية المكان ٥٠٪. وتظهر الخطوط الزرقاء مجال ٥-٩٥٪ لتسع عشرة عملية محاكاة لخمسة نماذج مناخية، باستخدام التأثيرات الطبيعية فقط الناجمة عن النشاط الشمسي والبراكين. أما الخطوط الحمراء فتظهر بدورها مجال ٥-٩٥٪ لعملية محاكاة لأربعة عشر نموذجاً مناخياً يستخدم التأثيرات الطبيعية والبشرية (الاسئلة ٩.٢، الرسم ١).

يسمح تحليل النماذج المناخية بالإضافة إلى القيود التي تفرضها الملاحظات بتقييم المدى المحتمل الذي يحيط بحساسية المناخ للمرة الأولى، ويزيد مجال الثقة في فهم الإستجابة المناخية على التأثيرات الإشعاعية (٦، ٦، ٨، ٦، ٩، ٦، الرسم ٢، ١٠)

• تُعتبر حساسية توازن المناخ مقياساً لاستجابة النظام المناخي إلى التأثيرات الإشعاعية المستدامة. ولا تشكّل توقعاً بل تُحدّد باعتبارها المتوسط الإجمالي لاحتراق اليابسة وفقاً لتضاعف تركيز ثاني أكسيد الكربون. من المحتمل أن تتراوح بين ٢ درجة مئوية و٤,٥ درجة مئوية، وأن تبلغ ٣ درجات مئوية على أفضل تقدير، كما أنه من غير المرجح أن تنخفض دون ١,٥ درجة مئوية. إلى ذلك، لا يمكن إستثناء القيم التي تتخطى ٤,٥ درجة مئوية بكثير، غير أن توافق النماذج لا يناسب هذه القيم. ويمثل تغيير تبخر المياه أهم نتيجة تركيزات تؤثر على حساسية المناخ ويات فهمها اليوم أسهل بكثير مما ورد في تقرير التقييم الثالث. وتبقى تركيزات الغيوم أكبر مصادر عدم اليقين. {٨, ٦, ٩, ٦, الرسم ٢, ١٠}

• من المستبعد أن تُعزى أسباب التغيرات المناخية التي شهدتها سبعة قرون قبل ١٩٥٠ إلى التغيير الناجم عن النظام المناخي فقط. فمن المحتمل جداً أن تعود أقسام هامة من تغيير الحرارة بين العقود في النصف الشمالي من الكرة الأرضية خلال هذه القرون إلى ثورات البراكين والتغيرات في الإشعاعات الشمسية، كما أنه من المحتمل أن تكون التأثيرات البشرية الصنع قد ساهمت في الإحترار الذي شهده مطلع القرن العشرين والملاحظ في هذه السجلات. {٢, ٧, ٢, ٨, ٦, ٦, ٩, ٣}

توقعات التغيرات المناخية المستقبلية

يشكّل عدد تجارب محاكاة سلسلة أكبر من النماذج، التقدّم الرئيسي الذي أحرزه تقييم توقعات التغيير المناخي هذا مقارنة بتقرير التقييم الثالث. فالى جانب معلومات إضافية مستقاة من الملاحظات، توفر هذه التجارب أساساً كميّاً لتقييم احتمالات العديد من النواحي المستقبلية التي سيشهدها تغيير المناخ. إلى ذلك، تغطّي تجارب المحاكاة النموذجية سلسلة واسعة من السيناريوهات

العوامل البشرية المنشأ في كافة هذه التغيرات. ومن المرجح جداً أن يأتي نهج احتراق الغلاف التروبوسفيري وبرودة الغلاف الستراتوسفيري نتيجة تأثير إرتفاع إنبعاث غازات الدفيئة وإستنزاف الغلاف الستراتوسفيري.

• من المرجح أن السنوات الخمسين الأخيرة شهدت احتراقاً بشري الصنع أثر على كل قارة باستثناء القطب الجنوبي (انظر الرسم ٤). ولا تُقارن أنماط الإحترار المشار إليها، والتي تشمل درجة احتراق أكبر فوق اليابسة منها فوق المحيطات وتغيرها مع مرور الزمن، إلا بنماذج تشمل تأثيرات بشرية. وتوفّر قدرة النماذج المناخية على محاكاة إرتفاع الحرارة الملحوظ في القارات الست برهاناً عن آثار الإنسان على المناخ أكثر قوة مما أظهره تقرير التقييم الثالث {٣, ٢, ٩, ٤}

• تبرز المشاكل في القدرة على محاكاة تغيرات الحرارة البارزة وعزو أسبابها على مقياس أصغر. فوفقاً لهذه المقاييس، كبر تغيير المناخ الطبيعي، ما يزيد من صعوبة التمييز بين التغيرات الناتجة عن تأثيرات خارجية. إلى ذلك، يعزّز عدم اليقين في التأثيرات والتركييزات المحلية صعوبة تقدير مساهمة إزدياد إنبعاث غازات الدفيئة في تغيرات الحرارة على المقاييس الصغيرة. {٣, ٨, ٩, ٤}

• من المرجح أن تكون التأثيرات البشرية قد ساعدت في تغيير أنماط الرياح^{١٢}، مؤثرة بالتالي على إتجاهات العواصف فوق المدارية وأنماط الحرارة في نصفي الكرة الأرضية. غير أن التغيرات الملحوظة في الدوران في النصف الشمالي من الكرة الأرضية أهم من نتائج المحاكاة رداً على تغيير التأثيرات في القرن العشرين. {٣, ٥, ٣, ٦, ٩, ٥}

• من المحتمل أن تكون حرارة أكثر الليالي حراً وأكثرها برودة والأيام الباردة قد إرتفعت بسبب التأثيرات البشرية. ومن المرجح كثيراً ألا تكون التأثيرات البشرية الصنع قد سببت تفاقم خطر موجات الحر (انظر الجدول ٢) {٩, ٤}

^{١٢} وخاصة في الأنماط الحلقية الجنوبية والشمالية والتغيرات في التقلبات الشمال أطلسية (٦, ٣, ٩, ٥)

متوسط الحرارة الإجمالية بين ٠,١٥ درجة مئوية و٠,٣ درجة مئوية للعقد بين العامين ١٩٩٠ و٢٠٥٠. وبالإمكان مقارنة هذا الوضع بالقيم الملحوظة ب٠,٢ درجة مئوية للعقد، وتعزيز الثقة في التوقعات القصيرة الأمد. {٣,٢, ١,٢}

- تظهر الإختبارات النموذجية أن، وعلى الرغم من المحافظة على استقرار كافة عوامل التأثير الإشعاعي وفق مستويات العام ٢٠٠٠، نمط الإحترار يتجه نحو الازدياد خلال العقد المقبلين بنسبة تبلغ ٠,١ درجة مئوية للعقد، بسبب إستجابة المحيطات البطيئة. كما يُتوقع تضاعف نسبة الإحترار (أي ٠,٢ درجة مئوية للعقد) في حال بقاء الإنبعاثات ضمن سيناريوهات الإنبعاث (SRES). وتؤكد أفضل توقعات النماذج أن المتوسط العقدي للإحترار في كل قارة مسكونة بحلول ٢٠٣٠ لا يمتّ بصلّة لسيناريو الإنبعاث ومن المحتمل جداً أن يبلغ ضعفَي التغير الطبيعي المقدّر النموذجي خلال القرن العشرين. {٩,٤, ١٠,٣, ١٠,٥, ١١,٢, ١١,٧, الرسم ٢٩}

المستقبلية المحتملة، التي تشمل الإنبعاثات المثلى أو تقديرات التركيز. وتتضمّن هذه التجارب سيناريوهات الإنبعاثات الواردة في التقرير الخاص^٤ (SRES) للفترة الممتدة بين العامين ٢٠٠٠ و٢١٠٠، والإختبارات النموذجية التي تشمل تركيزات غازات الدفيئة والأهباء الجوية المستقرة بعد عام ٢٠٠٠ أو ٢١٠٠.

خلال العقد المقبلين، يتوقع ارتفاع الإحترار بنسبة ٠,٢ درجة مئوية لسلسلة سيناريوهات إنبعاث مختلفة. حتى ولو بقيت مستويات إنبعاثات غازات الدفيئة والأهباء الجوية مستقرة في العام ٢٠٠٠، يتوقع ارتفاع الإحترار بدرجة ٠,١ درجة مئوية في كل عقد (٣, ١٠, ١٠,٧)

- منذ صدور تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) في التسعينيات، أشارت التوقعات التقديرية إلى ازدياد في

الجدول ٣: إحترار متوسط الحرارة السطحية العالمي وارتفاع مستوى البحر المتوقعان في نهاية القرن الواحد والعشرين (١٠,٥, ١٠,٦, ١٠,٧ الجدول ١٠,٧)

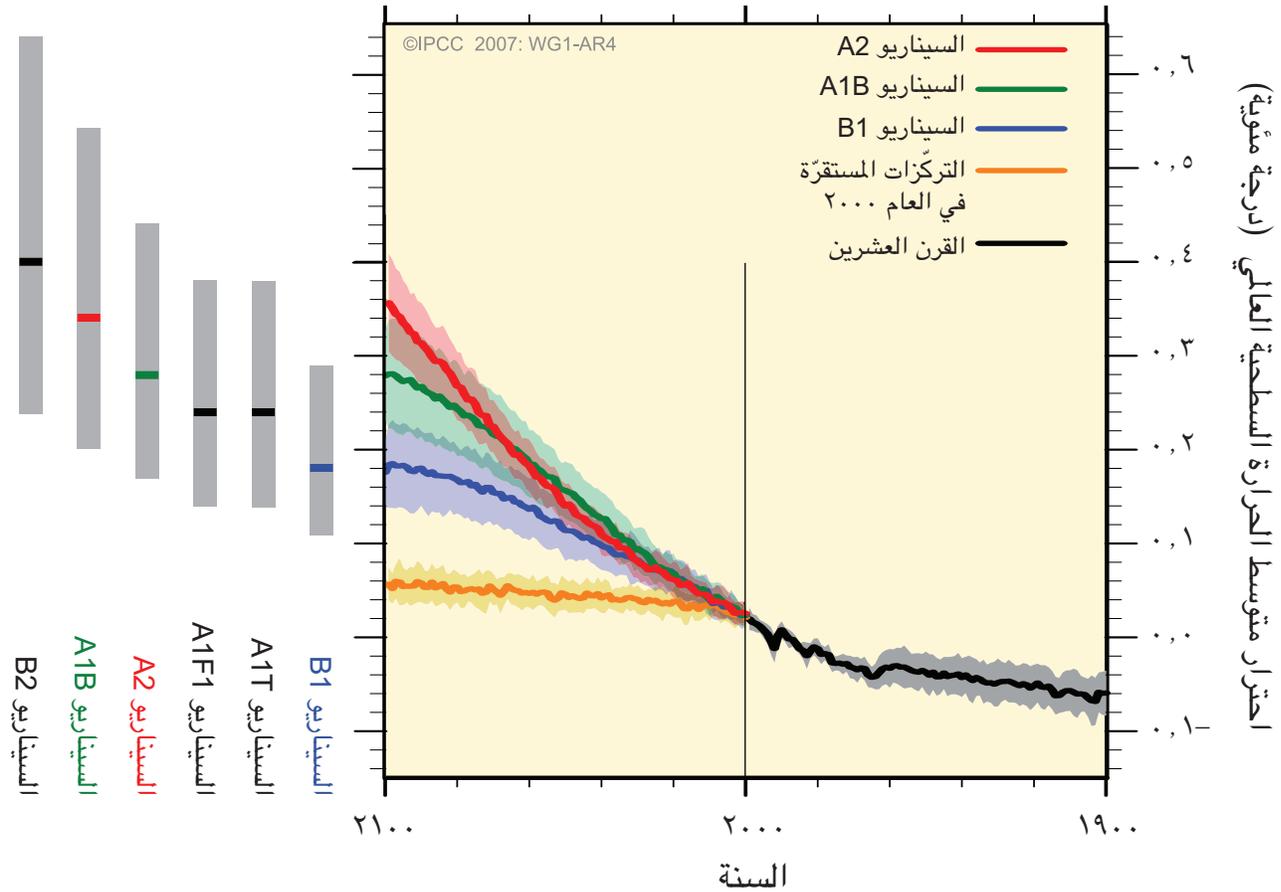
| إرتفاع معدّل البحر (متراً في ٢٠٩٠-٢٠٩٩ مقارنة ب١٩٨٠-١٩٩٩) | تغير الحرارة (درجة مئوية في ٢٠٩٠-٢٠٩٩ مقارنة بالعام ١٩٨٠-١٩٩٩) | | الحالة |
|--|--|------------|----------------------------------|
| | مدى قائم على النماذج، يستثني التغيرات الدينامية السريعة في ذوبان الرقعة الجليدية | أفضل تقدير | |
| - | ٠,٩ - ٠,٣ | ٠,٦ | التركيزات المستقرة في العام ٢٠٠٠ |
| ٠,٢٨ - ٠,١٨ | ٢,٩ - ١,١ | ١,٨ | السيناريو ١ |
| ٠,٤٥ - ٠,٢٠ | ٣,٨ - ١,٤ | ٢,٤ | السيناريو A1 T |
| ٠,٤٣ - ٠,٢٠ | ٣,٨ - ١,٤ | ٢,٤ | السيناريو ٢ |
| ٠,٤٨ - ٠,٢١ | ٤,٤ - ١,٧ | ٢,٨ | السيناريو أ١ |
| ٠,٥١ - ٠,٢٣ | ٥,٤ - ٢,٠ | ٣,٤ | السيناريو أ٢ |
| ٠,٥٩ - ٠,٢٦ | ٦,٤ - ٢,٤ | ٤,٠ | السيناريو A1FI |

ملاحظات الرسم:

- أقيمت هذه التقديرات وفقاً لسلسلة من النماذج التي تشمل النماذج المناخية البسيطة، والعديد من نماذج النظام الأرضي المتوسط التعقيد وعدد كبير من نماذج الدوران العام للغلاف الجوي والمحيطات.
- يتأى تركيب الإستقرار في العام ٢٠٠٠ عن نماذج الدوران العام للغلاف الجوي والمحيطات فقط.

^٤ تشير SRES إلى سيناريوهات الإنبعاث الواردة في تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC للعام ٢٠٠٠. ويلخص الإطار في نهاية تقرير صانعي السياسات زمرة سيناريوهات الإنبعاث (SRES) والحالات التفسيرية التي لم تتضمن مبادرات مناخية إضافية. أما تركيزات ثاني أكسيد الكربون التقريبية المساوية للتأثيرات الإشعاعية الآلية الناجمة عن إنبعاث الغازات والأهباء الدفيئة والبشرية في العام ٢١٠٠ (انظر صفحة ٨٢٣ من تقرير التقييم الثالث) الخاصة بمجموعة سيناريوهات ب١,٨، ب١,٢، أ١، ب٢، أ٢ و A1FI فتبلغ ٦,٠، ٧,٠، ٨,٠، ٨,٥، و١٢,٥ و١٥,٥ جزءاً في المليون. أما السيناريوهات ب١ و أ١ و السيناريو أ٢ فشكّلت محور العديد من دراسات المقارنات وجرى تقييم العديد منها في هذا التقرير.

الرسم ٥: المتوسطات المتعددة النماذج ومدى احترار السطح الذي تم تقييمه



الرسم ٥: يشير المنحنى الأسود إلى متوسطات احترار سطح العالم المتعددة النماذج (نسبة إلى عام ١٩٨٠-١٩٩٩) للسيناريوهات ٢١ و١ب و١، التي تشكل استمرارية لتجارب المحاكاة في القرن العشرين. ويدل اللون الرمادي على مدى تغير معياري ± 1 للمستويات السنوية للنموذج الفردي. أما الخط البرتقالي فيدل على الإختبار الذي يحافظ على التركيزات مستقرة بحسب قيم العام ٢٠٠٠. تشير الخطوط الرمادية لجهة اليمين إلى أفضل التقديرات (الخط الخاص بكل قسم) ومدى الإحتمال الذي جرى تقييمه للسيناريوهات السردية الستة الواردة في تقرير سيناريوهات الإنبعاثات. يشمل تقييم أفضل التقديرات ومدى الإحتمال في الخطوط الرمادية نماذج الدوران العام للغلاف الجوي والمحيطات في ناحية الشكل الشمالية، بالإضافة إلى نتائج النماذج المستقلة وقيود الملاحظات (الرسم ١٠،٤ و١٠،٢٩).

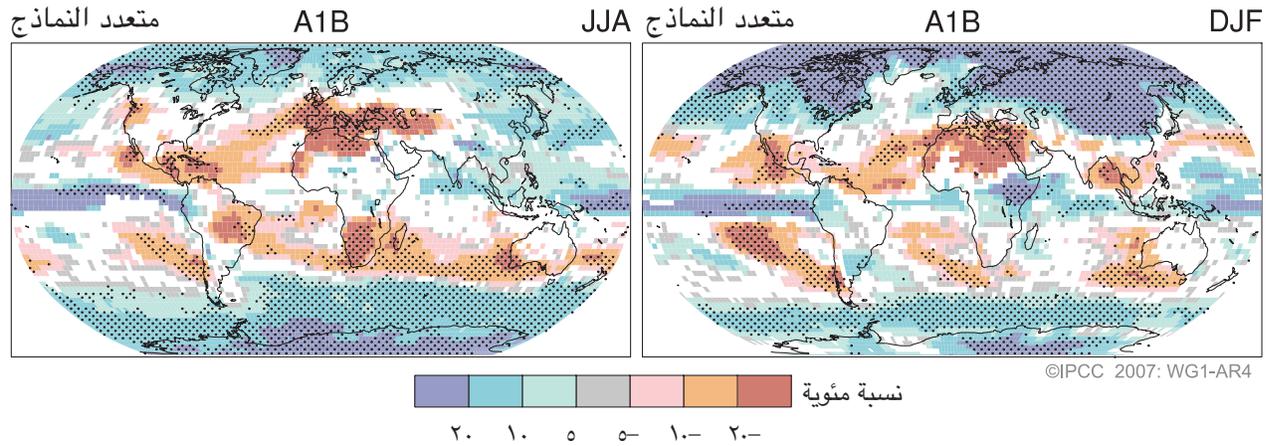
كما يُظهر الرسم ٣ درجات الإحترار السطحية في نهاية القرن الواحد والعشرين (٢٠٩٠-٢٠٩٩) الخاصة خلال الفترة الممتدة بين العامين ١٩٨٠ و١٩٩٩. تشدّد هذه الدرجات على الإختلافات الظاهرة بين سيناريوهات الإنبعاثات الواردة في تقرير SRES الأدنى والأعلى، ودرجات عدم اليقين المتوقعة المرتبطة بهذه السيناريوهات. {١٠،٥}

• يشير هذا التقييم إلى أفضل التقديرات ومدى الإحتمالات للمتوسط العالمي لدرجة حرارة الهواء السطحي لسته سيناريوهات سردية للإنبعاثات ويوضحها الرسم ٣. على سبيل المثال، تمثّل درجة ١،٨

من شأن استمرار إنبعاثات غازات الدفيئة على المستوى الحالي أو بمستوى أعلى أن يتسبب بمزيد من الإحترار ويحدث تغيرات في النظام المناخي العالمي خلال القرن الواحد والعشرين، تغيرات من المرجح جداً أن تتخطى تلك التي شهدتها القرن العشرين. (١٠،٣)

• يسمح التقدّم الذي شهدته إعداد النماذج المناخية بتوفير توقعات أفضل التقديرات ونطاق عدم اليقين لمختلف سيناريوهات الإنبعاثات. ويسلط هذا التقرير الضوء على مختلف سيناريوهات الإنبعاثات متفادياً بالتالي فقدان هذه المعلومات الخاصة بالسياسة.

الأنماط المتوقعة لتغير التهطال



الرسم ٧: التغيرات النسبية في التهطال (نسبة مئوية) لفترة ما بين العامين ٢٠٩٠-٢٠٩٩، نسبة للفترة الممتدة بين العامين ١٩٨٠-١٩٩٩. تشكل القيم مستويات متعددة النماذج قائمة على السيناريو ١١ب من تقرير سيناريوهات الانبعاثات الممتدة بين كانون الأول / ديسمبر وشباط / فبراير (اليسار) وحزيران / يونيو وأب / أغسطس (اليمن). إن المجالات البيضاء هي حيث نسبة أقل من ٦٦٪ من النماذج تتوافق مع علامة التغيير، والمجالات المرقطة هي حيث نسبة أكبر من ٩٠٪ من النماذج تتوافق مع علامة التغيير (الرسم ١٠.٩).

- يؤدي ازدياد تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى ازدياد تحمض المحيطات. إلى ذلك، تشير التوقعات المرتكزة على سيناريوهات الانبعاث (SRES) إلى تقليص المتوسط العالمي لدرجة الحموضة (pH) في المحيطات بين ١٤،٠ و ٣،٥ وحدة خلال القرن الواحد والعشرين، أي إنخفاضاً ب ١،٠ وحدة عن المستوى الحالي منذ العقود ما قبل الصناعية. {٥،٤، الإطار ٧،٣، ١٠،٤}

ارتفع مستوى الثقة في أنماط الإحترار المتوقعة وغيره من الخصائص الإقليمية، بما فيها تغير أنماط الرياح والتهطال وبعض الأحوال الجوية المتطرفة والجليد.
{٢، ٨، ٣، ٨، ٤، ٨، ٥، ٨، ٤، ٩، ٥، ٩، ٣، ١٠، ١، ١١}

- يُظهر الإحترار المتوقَّع للقرن الواحد والعشرين أنماطاً جغرافية مستقلة عن السيناريوهات، تشبه الأنماط التي برزت خلال عدة عقود ماضية. يُتوقع أن يبلغ الإحترار أعلى الدرجات فوق اليابسة وفي خطوط الطول الأكثر ارتفاعاً، وأدناها في المحيط الجنوبي وأقسام المحيط الأطلسي الشمالي (انظر الرسم ٣). {١٠، ٣}

مدى كل سيناريو وارد في الرسم ٣ عند ١٠٪ من معدل نموذج في تقرير التقييم الثالث للفترة الممتدة بين ٢٠٩٠-٢٠٩٩. وبعدها تبلورت معلومات بعض مواطن عدم اليقين في المساهمات^{١٥} المتوقعة. {١٠، ٦}

- لا تشمل النماذج المستخدمة حتى اليوم مواطن عدم اليقين في تركيزات دورة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، ولا تتضمن الآثار الكلية الناجمة عن ذوبان الصفيحة الجليدية لأنها تفتقر إلى مقومات النشر الأدبي. تضم التوقعات مساهمة ناجمة عن ارتفاع ذوبان اللوح الجليدي في غرينلاند والقطب الجنوبي عن المعدلات التي لحظتها الأعوام ١٩٩٣ و ٢٠٠٣، غير أن هذه المعدلات قد ترتفع أو تنخفض في المستقبل. على سبيل المثال، لو كانت هذه المساهمة لتزداد بالتوازن مع المتوسط العالمي لتغير درجة الحرارة، كانت المعدلات العليا لارتفاع مستوى البحر الواردة في سيناريوهات الانبعاث (SRES) في الرسم ٣ لتزداد ب ١،٠ إلى ٢،٠ متراً. وفيما لا يمكن إستثناء القيم الأعلى، يبقى فهم هذه الآثار محدوداً لدرجة تعيق تقييم احتمال حصولها أو توفير أفضل تقدير أو ارتفاع مستوى البحر بسرعة. {١٠، ٦}

^{١٥} حددت توقعات تقرير التقييم الثالث للعام ٢٠٠٧ فيما يشير هذا التقرير إلى الأعوام ما بين ٢٠٩٠-٢٠٩٩. وكان تقرير التقييم الثالث ليحدد مدى مشابهة للمدى الوارد في الرسم ٣ لو أنه تطرق لمواطن عدم اليقين بالأسلوب ذاته.

^{١٦} يساوي إنخفاض درجة الحموضة (pH) تدني نسبة تحمض محلول ما. انظر معجم المصطلحات للمزيد من التفاصيل.

الإنبعاث SRES. يُتوقع أن تشهد درجات الحرارة في منطقة الأطلسي ارتفاعاً على الرغم من أن أسباب هذه التغيرات تُعزى إلى احتراق أكبر يرتبط مباشرة بإزدياد إنبعاث غازات الدفيئة. ومن غير المرجح أن تمرّ خطوط الطول والعرض بمرحلة إنتقالية مفاجئة خلال القرن الحادي والعشرين. إذ يصعب تقييم التغيرات الطويلة الأمد التي ستشهدتها خطوط الطول والعرض. {١٠,٧, ١٠,٣}

من شأن الإحتراق وارتفاع مستوى البحر البشريين أن يستمرا لقرون بسبب الفترات الزمنية الطويلة المرتبطة بالإجراءات والتركيزات المناخية، حتى ولو شهد تركيز إنبعاثات غازات الدفيئة نوعاً من الإستقرار. {١٠,٤, ١٠,٥}

• من المتوقع أن تضيف تركيزات الكربون المناخي ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مع احتراق النظام المناخي، غير أن حجمها ليس أكيداً. يزيد هذا الواقع الشكّ حول المسار الذي ستتسلكه إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون الضرورية لتحقيق نوع من الخطوط الطول والعرض في تركّز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. وفقاً للفهم الحالي لتركيزات دورة ثاني أكسيد الكربون، تقترح الدراسات النمذجية لكي يستقرّ ثاني أكسيد الكربون على ٤٥٠ جزء في المليون، يجب تقليص الإنبعاثات التراكمية خلال القرن الحادي والعشرين من معدل ٦٧٠ (٦٣٠ إلى ٧١٠) جيغا طن من الكربون (٢٤٦٠ [٢٣١٠ إلى ٢٦٠٠] جيغا طن من الكربون O₂) تقريباً، إلى ٤٩٠ (٣٧٥ إلى ٦٠٠) جيغا طن من الكربون (١٨٠٠ [١٣٧٠ إلى ٢٢٠٠] جيغا طن من الكربون O₂). بالتوازي مع ذلك، من أجل ضمان خطوط الطول والعرض ثاني أكسيد الكربون على ١٠٠٠ جزء في المليون، قد تتطلّب هذه التركيزات تخفيض الإنبعاثات التراكمية من معدل نمذجي يقارب ١٤١٥ [١٣٤٠ إلى ١٤٩٠] جيغا طن من الكربون (٥١٩٠ [٤٩١٠ إلى ٥٤٦٠] جيغا طن من الكربون O₂) إلى ١١٠٠ [٩٨٠ إلى ١٢٥٠] جيغا طن من الكربون تقريباً (٤٠٣٠ [٣٥٩٠ إلى ٤٥٨٠] جيغا طن من الكربون O₂). {١٠,٤, ٧,٣}

• كي يستقرّ التأثير الإشعاعي في العام ٢١٠٠ على مستويات السيناريوهات ب١ أو أ١ب، أن يرتفع رغم ذلك المتوسط العام للحرارة بدرجة ٠,٥ درجة مئوية بحلول العام ٢٢٠٠.

• يُتوقع أن تنحسر الرقعة الثلجية. كما من المحتمل أن يؤثر ذوبان الثلج على معظم مناطق التربة الصقيعية. {١٠,٦, ١٠,٣}

• من المتوقع أن تنحسر رقعة الجليد البحري في القطب الشمالي والجنوبي على حد سواء وفقاً لكافة سيناريوهات الإنبعاث (SRES). وتشير بعض التوقعات إلى إختفاء الرقعة الجليدية في نهاية الصيف من القطب الشمالي كلياً في أواخر القرن الواحد والعشرين. {١٠,٣}

• من المحتمل جداً أن تتكرّر الأحوال الجوية المتطرّفة وموجات الحرّ والتهطل الكثيف.

• وفقاً لسلسلة من النماذج، من المحتمل أن تزداد الأعاصير المدارية حدة (التيفون والأعاصير الرعدية)، وستبلغ سرعة الرياح حدوداً قصوى تحمل معها تهطلاً كبيراً يترافق مع ارتفاع في حرارة سطح المياه المدارية. انخفضت الثقة في توقعات الإنخفاض العالمي في أعداد الأعاصير المدارية. فتخطّت حدة العواصف القوية منذ السبعينيات المدى الذي رسمته محاكاة النماذج الحالية المتوفرة لتلك الفترة. {٣,٨, ١٠,٣, ٩,٥}

• من المتوقع أن يتغيّر مسار العواصف فوق المدارية بإتجاه القطب، لتحمل في ثناياها تغيّرات في الرياح والتهطل وأنماط الحرارة، وإستمرار الأنماط العامة الملحوظة خلال نصف القرن المنصرم. {١٠,٣, ٣,٦}

• منذ صدور تقرير التقييم الثالث، شهدت أنماط التهطل المتوقعة تحسناً ملحوظاً. فمن المحتمل جداً أن ترتفع معدلات التهطل في خطوط الطول المرتفعة، فيما من المرجح أن تنخفض في المناطق شبه المدارية (بنسبة ٢٠٪ في السيناريو آ١ب عام ٢١٠٠، انظر الرسم ٧)، وتستمرّ الأنماط الملحوظة في الإتجاهات الأخيرة. {١٠,٣, ٨,٣, ٩,٥, ١١,٢, ١١,٩}

• طبقاً لتجارب محاكاة النماذج الحالية، من المحتمل جداً أن تتراجع سرعة الدوران في خطوط الطول والعرض (MOC) في المحيط الأطلسي خلال القرن الواحد والعشرين. يصل إنخفاض المستوى المتعدد النماذج في العام ٢١٠٠ إلى ٢٥٪ (يتراوح بين صفر و٥٠٪) وفقاً للسيناريو آ١ب للإنبعاثات الواردة في تقرير سيناريوهات

• في حال كان الهدف تثبيت التأثيرات الإشعاعية في العام ٢١٠٠ على مستويات السيناريو آاب، من شأن الزيادة الحرارية أن تؤدي إلى ارتفاع مستوى البحار ب٠,٣ إلى ٠,٨ متراً بحلول العام ٢٣٠٠ (مقارنة ب١٩٨٠-١٩٩٩). وستستمر الزيادة الحرارية لعدة قرون بسبب الوقت الذي يستغرقه نقل الحرارة إلى عمق المحيطات. {١٠,٧}

• من المتوقع أن يستمر انحسار الغطاء الثلجي في غرينلاند ويساهم في ارتفاع مستوى البحار بعد العام ٢١٠٠. تقترح النماذج الحالية أن وتيرة خسارة الغطاء الثلجي تتسارع بسبب ارتفاع الحرارة أكثر مما تزداد بسبب التهطل، كما تشير إلى أن توازن الرقعة على السطح يصبح سلبياً عندما يتخطى المتوسط العالمي للإحترار (نسبة للقيم في الحقبة ما قبل الصناعية) ١,٩ درجات إلى ٤,٦ درجات. في حال استقر توازن الرقعة على السطح خلال الألفية، فمن شأنه أن يقضي على الغطاء الثلجي في غرينلاند ويساهم بالتالي في ارتفاع مستوى البحار بسبعة أمتار. بالتالي، يمكن عقد مقارنة بين درجات الحرارة المستقبلية في غرينلاند وبين تلك التي سُجّلت خلال الفترة الجليدية منذ ١٢٥ ألف سنة مضت، عندما أُكِّدَت المعلومات المتأتية عن المنظور التاريخي لعلم المناخ تقليص رقعة الجليد القطبي وارتفاع مستوى البحار بين ٤ و٦ أمتار. {١٠,٧,٦,٤}

• لا تشمل النماذج الحالية الإجراءات الدينامية المرتبطة بالرقعة الجليدية، غير أن الملاحظات الأخيرة تشير إلى احتمال تفاقم تدهور الرقع الجليدية بسبب الإحترار بشكل يرفع مستوى البحار. ويبقى فهم هذه الإجراءات محدودياً ولا يشكل حجمها محوراً لتوافق في الآراء. {١٠,٧,٤,٦}

• تتوقع دراسات النماذج العالمية الحالية أن الرقعة الجليدية فوق القطب الجنوبي ستبقى في غاية البرودة لدرجة تمنع تأثرها بذوبان الرقعة، ويتوقع أن تزداد حجماً نظراً لحدّة تساقط الثلوج. غير أن خسارة الرقعة الجليدية قد تحصل في حال سيطر إسقاط الجليد الدينامي على توازن حجم الرقعة الجليدية. {١٠,٧}

• ستستمر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون السابقة والمستقبلية وستساهم في الإحترار وارتفاع مستوى البحار لأكثر من ألفية، نظراً للفترة الزمنية الضرورية لإزالة هذا الغاز من الغلاف الجوي. {١٠,٣,٧,٣}

سيناريوهات الإنبعاثات الواردة في التقرير الخاص (SRES)^{١٧}

السيناريو أ١. يصف خط أحداث وأسرة سيناريو أ١ عالماً مستقبلياً ينمو فيه الإقتصاد نمواً سريعاً جداً ويصل فيه عدد سكان العالم إلى ذروته في منتصف القرن ليتراجع بعد ذلك وتعتمد فيه سريعاً وسائل تكنولوجيا جديدة عالية الكفاءة. وتشكّل المواضيع الأساسية التي تنطوي عليها هذه الوقائع المنظورة التقارب بين المناطق وبناء القدرات وإزدياد التفاعلات الثقافية والإجتماعية وتقليص الفوارق الإقليمية في دخل الفرد تقليصاً بالغا. ينقسم السيناريو أ١ إلى ثلاث مجموعات تصنّف إتجاهات بديلة للتغيير التكنولوجي في نظام الطاقة. وتتميز مجموعات الزمرة أ١ الثلاث في التركيز التكنولوجي: الإستخدام الكثيف للوقود الأحفوري (A1FI) أو إستخدام مصادر الطاقة غير الأحفورية، (A1T) أو الإستخدام المتوازن لجميع المصادر (أ١ب) (حيث يُحدّد الإستخدام المتوازن بأنه لا يعتمد بشدة على مصدر واحد من مصادر الطاقة، معتبراً أن معدلات تحسن مماثلة تُطبّق في جميع تكنولوجيات توفير الطاقة وإستخدامها النهائي).

السيناريو أ٢. يصف خط أحداث وأسرة سيناريو أ٢ عالماً مختلفاً للغاية. ويتمحور الموضوع الأساسي حول الإعتماد على الذات والحفاظ على الهوية المحلية. وتتقارب أنماط الخصوبة بين المناطق ببطء شديد على نحو يؤدي إلى إستمرار تزايد سكان العالم. وتتخذ التنمية الاقتصادية منحى إقليميياً ويتسم النمو الاقتصادي للفرد والتغيير التكنولوجي بالبطء والتجزؤ أكثر مما هو الحال في الوقائع المنظورة الأخرى.

السيناريو ب١. يصف خط أحداث وأسرة سيناريو ب١ عالماً متقارباً حيث يبلغ عدد سكان العالم ذروته في منتصف القرن ويتراجع بعد ذلك، على غرار خط أحداث السيناريو أ١، غير أنه يقترن بتغييرات سريعة في الهياكل الإقتصادية نحو إقتصاد قائم على الخدمات والمعلومات وإنخفاض الكثافة المادية واعتماد تكنولوجيات نظيفة وفاعلة في إستخدام الموارد. ويتم تسليط الضوء على إيجاد حلول عالمية للإستدامة الإقتصادية والإجتماعية والبيئية، بما في ذلك زيادة العدالة من دون إتخاذ مبادرات إضافية في مجال المناخ.

السيناريو ب٢. يصف خط أحداث وأسرة السيناريوهات ب٢ عالماً ينصب التركيز فيه على إيجاد حلول محلية للإستدامة الإقتصادية والإجتماعية والبيئية. هو عالم يشهد زيادة مستمرة في عدد السكان بمعدل أدنى مما هو عليه في خط أحداث السيناريو أ٢، كما يشهد مستويات متوسطة من التنمية الإقتصادية، وتغيراً تكنولوجياً أبطأ وأكثر تنوعاً مما هو عليه في خط أحداث ب١ وأ١. بيد أن هذا السيناريو يوجّه أيضاً نحو حماية البيئة وتحقيق العدالة الإجتماعية، فهو يركز على المستويين المحلي والإقليمي.

وقد اختير سيناريو توضيحي لكل مجموعة من مجموعات السيناريوهات الستة A1B و A1FI و A1T والسيناريو أ٢ و ب١ و ب٢. وينبغي إعتبار كل هذه السيناريوهات سليمة من دون تمييز بعضها عن بعض.

لا يتضمن سيناريو التقرير الخاص أي مبادرات مناخية إضافية، ما يعني أنه لم يدرج أي سيناريو يأخذ على عاتقه صراحة تنفيذ إتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيير المناخ أو أهداف الإنبعاثات المنصوص عليها في بروتوكول كيوتو.

^{١٧} لم يتم تقرير الفريق العامل الأول بتقييم سيناريوهات الإنبعاثات. بل أخذت هذه الفقرة من تقرير التقييم الثالث وخضعت لموافقة الهيئة المسبقة.

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

يعني «القبول» بتقارير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ خلال دورة الفريق العامل أو الهيئة أن الوثيقة لم تكن موضوع نقاش مفصل ولم تحظ بالموافقة، لكنها تقدم وجهة نظر شاملة وموضوعية ومتوازنة حول الموضوع.

الملخص الفني

المؤلفون الرئيسيون المنسقون:

سوزان سولومون (الولايات المتحدة الأمريكية)، داهيه كين (الصين)، مارتن مانينغ (الولايات المتحدة الأمريكية، نيوزيلندا)

المؤلفون الرئيسيون:

ريشارد ب. اللي (الولايات المتحدة الأمريكية)، تاري برنستن (النرويج)، ناتانيل ل. بيندوف (أستراليا)، جانلين شان (الصين)، أمنا شيدتايسنغ (تايلندا)، جوناثان م. غريغوري (المملكة المتحدة)، غابرييل ك. هيغيلر (الولايات المتحدة الأمريكية، ألمانيا)، مارتن هايمان (ألمانيا، سويسرا)، بروس هويتسن (جنوب أفريقيا)، برايان ج. هوسكينز (المملكة المتحدة)، فورتونات جويس (سويسرا)، جان جوزال (فرنسا)، فلاديمير كاتسوف (روسيا)، أولريك لومان (سويسرا)، تارو ماتسونو (اليابان)، ماريو مولينا (الولايات المتحدة الأمريكية، المكسيك)، نافيل نيكولز (أستراليا)، جوناثان أوفريك (الولايات المتحدة الأمريكية)، غراسيلا راغا (المكسيك، الأرجنتين)، فينكاتشالام راماسوامي (الولايات المتحدة الأمريكية)، جياوين ران (الصين)، ماتيلد روستيكوشي (الأرجنتين)، ريشارد سوميرفيل (الولايات المتحدة الأمريكية)، توماس ف. ستوكر (سويسرا)، رونالد ج. ستوفر (الولايات المتحدة الأمريكية)، بيني واتين (أستراليا)، ريشارد أ. وود (المملكة المتحدة)، دايقيد رات (نيوزيلندا).

المؤلفون المشاركون:

ج. اربلاستر (الولايات المتحدة الأمريكية، أستراليا)، ج. براسور (الولايات المتحدة الأمريكية، ألمانيا)، ج. ه. كريستنسن (الدانمارك)، ك.ل. دانمان (كندا)، د.و. فاهيه (الولايات المتحدة الأمريكية)، ب. فورستر (المملكة المتحدة)، ج. هايوود (المملكة المتحدة)، إ. جانسن (النرويج)، ب.د. جونسي (المملكة المتحدة)، ر. نوتي (سويسرا)، ه. لوترو (فرنسا)، ب. لامكي (ألمانيا)، ج. ميل (الولايات المتحدة الأمريكية)، د. راندال (الولايات المتحدة الأمريكية)، د.ا. ستون (المملكة المتحدة، كندا)، ك.إ. ترانبيرث (الولايات المتحدة الأمريكية)، ج. ويلبراند (ألمانيا)، ف. زويار (كندا).

المحررون المراجعون:

كانسري يونبراغوب (تايلندا)، فيليبو جيورجي (إيطاليا)، بوبو باتيه جالو (غامبيا).

يجب ذكر هذا التقرير على الشكل التالي:

سولومون، س. د. كين، م. مانينغ، ر.ب. اللي، ت. برنستن، ن.ل. بيندوف، ج. شان، أ. شيدتايسنغ، ج.م. غريغوري، غ.ك. هيغيلر، م. هايمان، ب. هويتسن، ب.ج. هوسكينز، ف. جويس، ج. جوزال، ف. كاتسوف، إ. لومان، ت. ماتسونو، م. مولينا، ن. نيكولز، ج. أوفريك، غ. راغا، ف. راماسوامي، ج. ران، م. روستيكوشي، ر. سوميرفيل، ت. ف. ستوكر، ب. واتين، ر. أ. وود، د. رات، ٢٠٠٠: الملخص الفني. في: التغير المناخي في العام ٢٠٠٧: الأساس العلمي. مساهمة الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الرابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ [سولومون، س. د. كين، م. مانينغ، ج. شان، م. ماركي، ك.ب. أفيريت، م. تينيور، ه.ل. ميلر (محررون)]. مطبعة جامعة كامبريدج، المملكة المتحدة ونيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية.

المحتويات

الملخص الفني ٤: تفهم التغير المناخي وعزوه

الملخص الفني ٤,١: تطور عزو تغير درجات الحرارة العالمية في

فترة استعمال المقاييس: الغلاف الجوي

والمحيطات والجليد

الإطار ٧: تقييم نماذج الدوران العام للغلاف

الجوي - المحيطات

الملخص الفني ٤,٢: عزو التغيرات الزمنية والمكانية لجهة درجات

الحرارة

الملخص الفني ٤,٣: عزو التغيرات في الدوران والمطار وغيرهما من

المتقلبات المناخية

الملخص الفني ٤,٤: دراسات مناخ عصر ما قبل التاريخ للعزو

الملخص الفني ٤,٥: استجابة المناخ للتأثير الإشعاعي

الملخص الفني ٥: الإسقاطات حول التغيرات

المستقبلية في المناخ

الإطار ٨: هرمية النماذج المناخية في العالم

الملخص الفني ٥,١: فهم تغير المناخ على المدى القريب

الإطار ٩: التغير المناخي الملتمزم

الملخص الفني ٥,٢: التنبؤات الواسعة النطاق في القرن الحادي

والعشرين

الملخص الفني ٥,٣: التنبؤات الإقليمية النطاق

الإطار ١٠: الإنخفاض النطاقي

الملخص الفني ٥,٤: الإقتران بين تغير المناخ والتغيرات

في الدورات الكيميائية الأرضية الحيوية

الملخص الفني ٥,٥: تداعيات العمليات المناخية ونطاقاتها

الزمنية بالنسبة إلى التنبؤات الطويلة المدى

الملخص الفني ٦: الإكتشافات الكبرى وأهم الشكوك

الملخص الفني ٦,١: تغير في العناصر الدافعة البشرية والطبيعية

الخاصة بالمناخ

الملخص الفني ٦,٢: مراقبة التغيرات المناخية

الملخص الفني ٦,٣: فهم تغير المناخ وعزوه

الملخص الفني ٦,٤: التنبؤات الخاصة بالتغيرات المستقبلية

في المناخ

الملخص الفني ١: المقدمة

الملخص الفني ٢: التغيرات في المؤثرات البشرية

والطبيعية في تغير المناخ

الإطار ١: معالجة أوجه عدم اليقين في تقييم الفريق العامل الأول

الملخص الفني ٢,١: غازات الدفيئة

الملخص الفني ٢,٢: الأهباء

الملخص الفني ٢,٣: دخان الطائرات والسحب البيضاء الذوابات

وإستخدام الأراضي وتأثيرات أخرى

الملخص الفني ٢,٤: التأثير الإشعاعي الناتج من النشاط الشمسي

والثورات البركانية

الملخص الفني ٢,٥: إجمالي التأثير الإشعاعي الصافي، احتمالات

الإحترار العالمي وأنماط التأثير

الملخص الفني ٢,٥: الدورة الهيدرولوجية

الملخص الفني ٣: مشاهدات التغير في المناخ

الملخص الفني ٣,١: التغيرات في الغلاف الجوي: السجلات الآلية

الملخص الفني ٣,٢: تغيرات في الغلاف الجليدي: السجلات الآلية

الإطار ٣: دينامية الصفائح الجليدية واستقرارها

الملخص الفني ٣,٣: تغيرات في المحيط: السجلات الآلية

الإطار ٤: مستوى البحر

الملخص الفني ٣,٤: التناسق في المشاهدات

الإطار ٥: ظاهرة مناخية متطرفة

الملخص الفني ٣,٥: وجهة النظر في مناخ العصور القديمة

الإطار ٥: التأثير المداري

الملخص الفني ١: المقدمة

عزو تغيير المناخ إلى أسباب محددة، وإجراء تقييم جديد لتأثير المناخ بإزدياد غازات الدفيئة.

- القسم الخامس: نظرة إلى التوقعات بتغيير المناخ على المدى المتوسط والطويل ومن بينها نطاقات الإستجابات الزمنية في التأثير ومعلومات احتمالية على توقعات تغيير المناخ في المستقبل.
- القسم السادس: ملخص لأكثر الإستنتاجات ثباتاً لجهة عدم اليقين الأساسية في الفهم الحالي لعلم تغيير المناخ الفيزيائي.

يتبع كل فقرة في النتائج الهامة لتقرير الملخص الفني مرجع يرد بين هلالين يفيد بالقسم المناسب من فصول التقرير حيث يتوفر تقييم مفصل للكتابات العلمية بالإضافة إلى معلومات إضافية.

الملخص الفني ٢: التغييرات في المؤثرات البشرية والطبيعية في تغيير المناخ

تحدد الطاقة المنبعثة من الشمس وخصائص الأرض والغلاف الجوي، لا سيما انعكاس الطاقة وامتصاصها وإصدارها ضمن الغلاف الجوي وعلى سطح الأرض، مناخ الأرض العام. على الرغم من أن التغييرات في الطاقة الشمسية الواردة (الناجمة عن تغييرات في دوران الأرض حول الشمس مثلاً) تؤثر حتماً على رصيد الأرض من الطاقة، تعتبر خصائص الغلاف الجوي وسطح الأرض هامة أيضاً، وقد تتأثر بالإستجابات المناخية. لقد اتضحت أهمية الإستجابات المناخية نظراً للتغييرات المناخية الماضية كما سجلت في عينات الجليد الأسطوانية التي بلغ عمرها ٦٥٠,٠٠٠ سنة.

طرات التغييرات على عدة أوجه من الغلاف الجوي وسطح الأرض بشكل يؤدي إلى تغيير رصيد الأرض من الطاقة وبالتالي إلى تغيير المناخ. من بين هذه التغييرات: إزدياد في تراكيز غازات الدفيئة التي تزيد أولاً من إمتصاص الغلاف الجوي للإشعاعات المنبعثة من الأرض، وإزدياد الأهباء الجوية (الجزئيات الدقيقة التي يحملها الهواء أو القطيرات) التي تعكس إشعاعات الشمس الواردة وتمتصها وتغير خصائص السحاب الإشعاعية. تؤدي هذه التغييرات إلى التأثير الإشعاعي في النظام المناخي^١. يمكن أن تختلف عوامل التأثير عن بعضها البعض لجهة وطأتها، والخصائص الزمنية والمكانية. تساهم التأثيرات الإيجابية

خلال السنوات الست التي تلت صدور تقرير التقييم الثالث عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيير المناخ، أحرز تقدم جدي في مجال فهم التغيير المناخي الماضي والحالي وتوقع التغييرات في المستقبل. تحقق هذا التقدم بفضل كميات البيانات الجديدة الكبيرة، وتحليلها بدقة أكبر، وتحسين فهم العمليات الفيزيائية في النماذج المناخية ومحاكاتها، واستكشاف أوسع لمجموعات أوجه عدم اليقين في نتائج النماذج. تتضح الثقة المتزايدة بعلم المناخ المستندة إلى هذا التقدم في مساهمة الفريق العامل الأول في تقرير التقييم الرابع الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيير المناخ.

يقدم هذا التقرير معلومات جديدة وهامة تفيد السياسات في الفهم العلمي للتغيير المناخي، لكن النظام المناخي المعقد والتفاعلات العديدة التي تحدهه تحد من قدرتنا على فهم مسار مناخ الأرض في المستقبل بشكل كامل. لم يكتمل حتى اليوم الفهم الفيزيائي لعدة عناصر في النظام المناخي ودورها في التغيير المناخي. من بين نقاط عدم اليقين الهامة: أوجه دور السحاب، والغلاف الجليدي، والمحيطات، وإستخدام الأراضي والعلاقات ما بين المناخ والدورات الإحيائية الجيولوجية الكيميائية. ما زالت ميادين العلم الواردة في هذا التقرير تشهد تقدماً سريعاً، ولا بد من الإعتراف بأن التقييم الحالي يعكس فهماً علمياً يعتمد على كتابات الزملاء المراجعة والمتوفرة في منتصف العام ٢٠٠٦.

يحتوي الملخص لواضعي السياسات الإستنتاجات الأساسية لتقييم الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيير المناخ. يقدم الملخص الفني هذا نظرة أكثر تفصيلية على الأساس العلمي لهذه الإستنتاجات، ويوفر خريطة طريق لفصول التقرير. يركز على الإستنتاجات الأساسية، ويلقي الضوء على المستجدات الطارئة منذ تقرير التقييم الثالث. يتوزع الملخص الفني على الأقسام التالية:

- القسم الثاني: نظرة إلى الفهم العلمي الحالي للعوامل الطبيعية والعوامل البشرية المنشأ المؤثرة على تغيير المناخ.
- القسم الثالث: نظرة إلى التغييرات الملحوظة في النظام المناخي (ومن ضمنها الغلاف الجوي، والمحيطات، والغلاف الجليدي) وعلاقتها بالعمليات الفيزيائية.
- القسم الرابع: نظرة إلى تفسيرات التغييرات المناخية الملحوظة بناءً على نماذج المناخات والفهم الفيزيائي، والنظر إلى أي مدى يمكن

^١ إن «التأثير الإشعاعي» هو مقياس لقدرة العامل على التأثير في ميزان الطاقة الواردة والصادرة ضمن نظام الغلاف الجوي وهو مؤشر لأهمية العامل كآلية تغيير مناخية مرجحة. إن التأثيرات الإيجابية تزيد من دفء سطح الأرض فيما تخفضه التأثيرات السلبية. في هذا التقرير، تشير أرقام التأثير الإشعاعي إلى التغييرات المرتبطة بخلفية ما قبل الثورة الصناعية في العام ١٧٥٠، ووحدة قياسها هي واط في المتر المربع، وإذا لم يذكر خلاف ذلك، فهي تشير إلى معدل سنوي عالمي. راجع معجم المصطلحات لمزيد من التفاصيل.

الإطار ١: معالجة أوجه عدم اليقين في تقييم الفريق العامل الأول

تعترف الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بأهمية معالجة أوجه عدم اليقين بشكل متسق وشفاف، في إعداد تقييمها حول تغير المناخ. يتناول القسم ١,٦ الإنتباه المتزايد المكثف لمعالجة أوجه عدم اليقين رسمياً في التقارير السابقة. بهدف تعزيز التناسق في المعالجة العامة لأوجه عدم اليقين بين الفرق العاملة الثلاثة، طلب من كُتاب تقرير التقييم الرابع إتباع مجموعة مقتضبة من المذكرات التوجيهية حول تحديد أوجه عدم اليقين في إطار التقييم ووصفها^٢. يلخص هذا الإطار طريقة تطبيق هذه التوجيهات ضمن الفريق العامل الأول ويغطي بعضاً من أوجه معالجة عدم اليقين المرتبطة بالمادة الخاضعة للتقييم هنا.

يمكن تقسيم أوجه عدم اليقين إلى أشكال عديدة ومختلفة وفقاً لمصادرها. إن النوعين الأوليين هما «عدم اليقين المرتبط بالأرقام» و«عدم اليقين الهيكلي». يتأتى عدم اليقين المرتبط بالأرقام من التحديد غير المكتمل لأرقام أو نتائج معينة، عندما تكون البيانات غير دقيقة مثلاً أو لا تمثل بشكل كامل الحدث المتناول. يتأتى عدم اليقين الهيكلي من فهم غير مكتمل للعمليات التي تتحكم ببعض الأرقام أو النتائج، عندما لا يتضمن الإطار المفهومي أو النموذج المستخدم في التحليل جميع العمليات أو العلاقات الملائمة. يقدّر عدم اليقين المرتبط بالأرقام عادةً من خلال استخدام تقنيات إحصائية ويعبر عنه على شكل احتمالات. يوصف عدم اليقين الهيكلي عادةً من خلال إعطاء الكُتاب حكمهم الجماعي في ثقتهم بصواب النتيجة. في الحالتين، يقضي تقدير عدم اليقين بوصف حدود المعرفة ولذلك يتضمن حكم خبير حول حالة المعرفة. ينشأ نوع مختلف من عدم اليقين في النظم التي تكون فوضوية أو غير محدودة بطبيعتها ما يحد أيضاً من إمكانياتنا في توقع جميع أوجه التغير المناخي.

تلجأ الكتابات العلمية في موضوع التقييم إلى مجموعة من الطرق العامة من أجل تقسيم أوجه عدم اليقين إلى فئات. تتسم أوجه عدم اليقين المرتبطة «بالأخطاء الإعتباطية» بالتراجع مع تراكم القياسات الإضافية، على خلاف أوجه عدم اليقين المرتبطة «بالأخطاء النظامية». في مجال معالجة البيانات المناخية، أولي إهتمام فائق للتعرف إلى الأخطاء النظامية أو التحيز غير المقصود الوارد في مسائل أخذ عينات البيانات ومنهجيات تحليل البيانات ودمجها. كما تم تطوير منهجيات إحصائية متخصصة تعتمد على التحليل الكمي لرصد التغير المناخي وتحديده ولوضع توقعات احتمالية حول معايير المناخ في المستقبل. تلخص هذه في الفصول المناسبة.

تميز التوجيهات حول أوجه عدم اليقين في تقرير التقييم الرابع للمرة الأولى وبحذر، بين مستويات الثقة في الفهم العلمي وإحتمالات النتائج المحددة. هذا ما يخول المؤلفين التعبير عن ثقة عالية بأن احتمالات حصول حدث ما ضئيلة جداً (رمي النرد والحصول على الرقم ستة في رميتين على سبيل المثال) بالإضافة إلى ثقة عالية بإحتمال حصول أو عدم حصول الحدث بنسب متساوية (عند رمي قطعة نقدية مثلاً). إن مفهوم الثقة ومفهوم الاحتمال مثلما يتم إستخدامهما هنا هما مفهومان منفصلان لكن غالباً ما يتم الربط بينهما في الممارسة.

إن المصطلحات المستخدمة لتحديد مستويات الثقة في هذا التقرير هي نفسها تلك الواردة في مذكرة توجيهات عدم اليقين الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، لا سيما:

| مصطلحات الثقة | درجة الثقة في الصواب |
|-----------------|-------------------------|
| ثقة عالية جداً | ٩ فرص على الأقل من ١٠ |
| ثقة عالية | حوالي ٨ فرص من ١٠ |
| ثقة متوسطة | حوالي ٥ فرص من ١٠ |
| ثقة متدنية | حوالي فرصتين من ١٠ |
| ثقة متدنية جداً | أقل من فرصة واحدة من ١٠ |

ملاحظة: تستخدم «ثقة متدنية» و«ثقة متدنية جداً» فقط في مجالات الإهتمام القصوى وحيث تكون وجهة نظر تعتمد على المخاطر مبررة.

يستخدم الفصل الثاني من هذا التقرير مصطلحاً هو «مستوى الفهم العلمي» عند وصف أوجه عدم اليقين في مساهمات مختلفة في التأثير الإشعاعي. تستخدم هذه المصطلحات للتناسق مع تقرير التقييم الثالث، وتعتمد القاعدة التي انطلق منها المؤلفين في تحديد مستويات معينة من الفهم العلمي على مجموعة من المقاربات تتوافق مع مذكرة التوجيهات حول عدم اليقين كما ورد بالتفصيل في القسم ٢,٩,٢ والجدول ٢,١١

^٢ تتوفر مذكرة التوجيهات حول أوجه عدم اليقين لدى الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ كوثيقة إضافية مع هذا التقرير.

ضمن الغلاف الجوي. في التروبوسفير، يؤدي التأثير البشري على الأوزون أولاً إلى تغيير في الغازات الأسلاف التي تؤدي إلى إنتاجه، فيما في الستراتوسفير، يؤدي التأثير البشري أولاً إلى تغييرات في معدلات إزالة الأوزون بسبب المركبات الكربونية الفلورية الكلورية ومواد أخرى مستنفدة للأوزون.

٢.١.١.١ تغيرات في ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز الموجودة في الغلاف الجوي

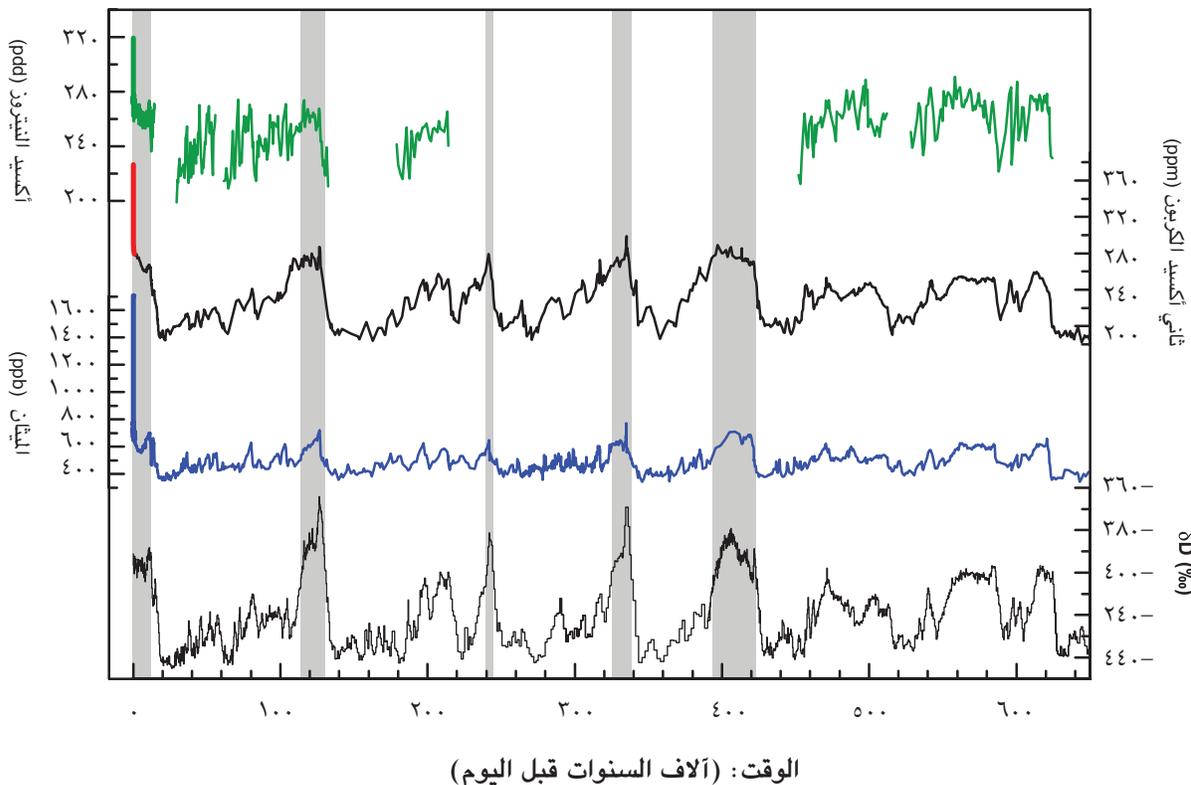
تتخطى التركيزات الحالية لثاني أكسيد الكربون والميثان في الغلاف الجوي كثيراً أرقام المرحلة ما قبل الثورة الصناعية التي حُفظت في سجلات مستقاة من باطن الجليد القطبي حول تركيبة الغلاف الجوي منذ ٦٥٠٠٠٠ عاماً. تؤكد براهين عديدة أن إزدياد هذه الغازات في المرحلة ما بعد الثورة الصناعية لا ينأتى عن آليات طبيعية (انظر الرسم ١ والرسم ٢). {٢،٣، ٦،٣-٦،٥، الأسئلة ٧،١}

معدل الإزالة مع تغير تركيز الغاز أو خصائص الغلاف الجوي (الحرارة أو ظروف الخلفية الكيميائية على سبيل المثال).

تستقر غازات الدفيئة الطويلة العمر كثاني أكسيد الكربون (CO_2) والميثان (CH_4) وأكسيد النيتروز (N_2O) كيميائياً وتبقى في الغلاف الجوي لفترة زمنية تتراوح بين العقد والقرون أو أكثر، فيكون لإنبعاثها تأثير طويل الأمد على المناخ. بما أن عمر هذه الغازات طويل، فهي تمتزج جيداً في الغلاف الجوي بسرعة أكبر من سرعة إزالتها ويمكن تقدير تركيزاتها العالمية بدقة البيانات في مواقع قليلة. ما من عمر محدد لثاني أكسيد الكربون إذ أنه يدور باستمرار بين الغلاف الجوي والمحيطات ومحيط الأرض الحيوي وتتضمن إزالته الصافية من الغلاف الجوي مجموعة من العمليات في نطاقات زمنية مختلفة.

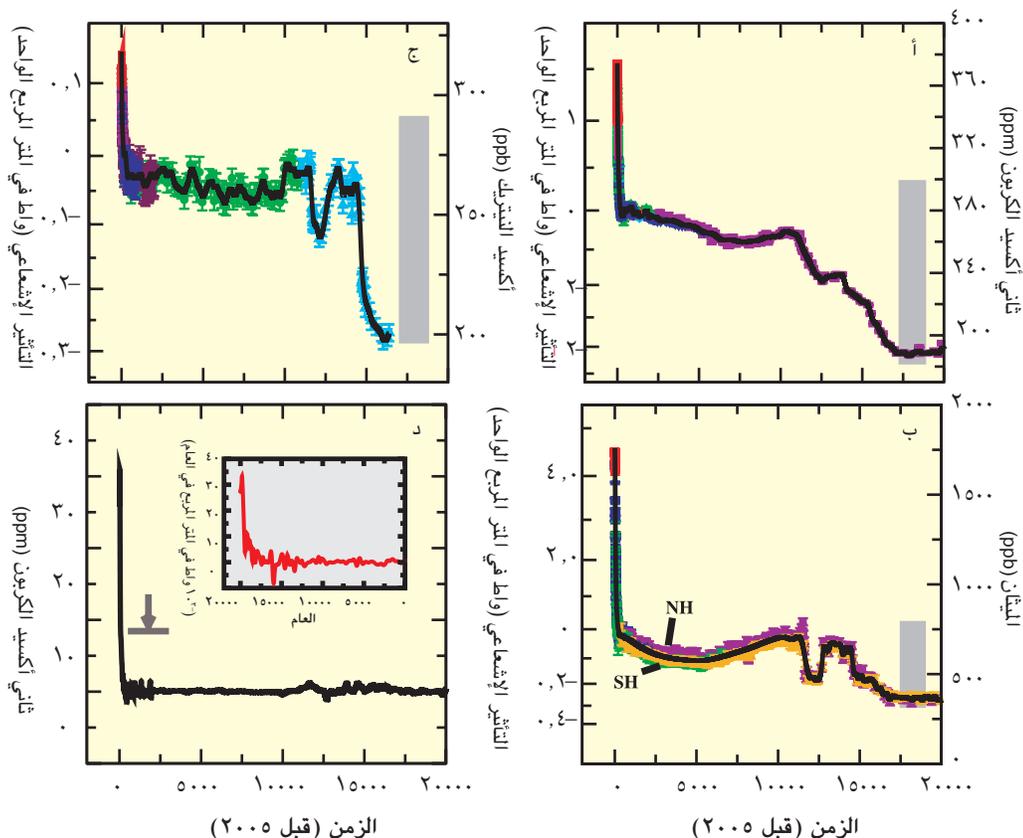
إن الغازات القصيرة العمر (على غرار ثاني أكسيد الكبريت وثنائي أكسيد الكربون) هي غازات متفاعلة كيميائياً وتزيلها عادةً عمليات الأكسدة الطبيعية في الغلاف الجوي أو تزول عن السطح أو في التهطل، لذلك تختلف تركيزاتها كثيراً. إن الأوزون هو غاز دفيئة هام يتشكل ويدمر من خلال تفاعلات كيميائية تتضمن أنواعاً أخرى

بيانات العينة المأخوذة من باطن الجليد القطبي للمراحل الجليدية والمراحل ما بين عشرين جليديين



الرسم ١. التغيرات في الدوتيريوم في الجليد الأنتاركتيكي وهو الوكيل للحرارة المحلية، وتركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي أي ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز في الهواء المحتبس داخل العينة الجليدية ومن القياسات الحديثة في الغلاف الجوي. تغطي البيانات ٦٥٠٠٠٠ عاماً وتشير الخطوط المظللة إلى المراحل الدافئة الحالية والسابقة بين عشرين جليديين. {تم أقلمتها من الرسم ٦،٣}

تَغْيِرَات في غازات الدفيئة المسجلة في بيانات العينة الجليدية وفي البيانات الحديثة



الرسم ٢. التركيزات والتأثير الإشعاعي بفعل ثاني أكسيد الكربون (ب) الميثان (ج) أكسيد النتروز (د) معدّل تغيّر إجمالي تأثيرها الإشعاعي خلال العشرين الف سنة الماضية من إعادة بناء بيانات الجليد والحبيبات من أنتاركتيكا وغرينلاند (الرموز) وقياسات مباشرة في الغلاف الجوي (الخطوط الحمراء، اللوح أ، ب، ج). تظهر الخطوط العريضة الرمادية نطاقات التغيّر الطبيعي التي أعيد بناؤها للأعوام الـ ٦٥٠٠٠ الماضية. تم احتساب معدّل تغيّر التأثير الإشعاعي (اللوحة د، الخط الأسود) من شرائح الخدّة لبيانات التركيز. يتراوح عرض نطاق العمر في البيانات الجليدية من ٢٠ عاماً تقريباً في المواقع التي تشهد تراكمات ثلجية عالية على غرار اللودوم Law Dome وأنتاركتيكا حتى حوالي ٢٠٠ سنة في المواقع التي تشهد تراكمات ثلجية متدنية على غرار Dome C وأنتاركتيكا يظهر السهم أوج في معدّل تغيّر التأثير الإشعاعي الناتج إذا ما خففت إشارات ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النتروز البشرية المنشأ المناسبة للظروف في موقع التراكم المتدني Dome C. ينتج المعدّل السلبي للتغيّر في التأثير حول ١٦٠٠ الظاهر في نتائج اللوح (د) الأعلى وضوحاً من تدنّ في ثاني أكسيد الكربون بمقدار ١٠ أجزاء في المليون في سجلات Law Dome. (رسم ٦،٤)

ارتفع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من ٢٨٠ جزءاً في المليون قبل الثورة الصناعية إلى ٣٧٩ جزءاً في المليون في العام ٢٠٠٥. ارتفع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بمقدار ٢٠ جزءاً في المليون فقط خلال ٨٠٠٠ سنة قبل الثورة الصناعية، تغيّرت بين العقود والقرون بأقل من ١٠ أجزاء في المليون ومن المرجّح أن تكون ناتجة عن العمليات الطبيعية. لكن، منذ العام ١٧٥٠، ارتفع تركيز ثاني أكسيد الكربون بمقدار ١٠٠ جزء في المليون. أما خلال السنوات العشرة الماضية فقد ارتفع تركيز ثاني أكسيد الكربون (معدّل عقد ١٩٩٥-٢٠٠٥: ١,٩ جزءاً في المليون في العام) أكثر مما كان عليه منذ بدأت القياسات المباشرة المستمرة (١٩٦٠-٢٠٠٥: ١,٤ جزءاً في المليون في العام). {٦,٥، ٦,٤، ٢,٣}

إن إجمالي التأثير الإشعاعي لمناخ الأرض بسبب الإزدياد في تركيزات غازات الدفيئة الطويلة العمر كثاني أكسيد الكربون (CO₂) والميثان (CH₄) وأكسيد النتروز، ومعدّل الإزدياد المرجّح جداً في إجمالي التأثير بسبب هذه الغازات منذ العام ١٧٥٠ لا سابق لهما خلال أكثر من ١٠٠٠٠ عاماً (انظر الملخّص الفني، الرسم ٢). ومن المرجّح جداً أن معدّل الإزدياد الدائم في التأثير الإشعاعي المندمج من غازات الدفيئة الذي بلغ +١ واط للمتر المربع الواحد خلال العقود الأربعة الماضية أسرع من أي وقت مضى خلال الألفيتين قبل الثورة الصناعية بست مرات، وهي المرحلة التي عكستها بيانات العينة الجليدية الأسطوانية. بلغ التأثير الإشعاعي بسبب غازات الدفيئة الطويلة العمر هذه أعلى مستوى ثقة من أي عامل تأثير آخر. {٦,٤، ٢,٣}

لآلاف السنين. {٧,٣}

في العقود الأخيرة، ارتفعت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون باستمرار (انظر الرسم ٣). ارتفعت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون^٢ الأحفورية السنوية الإجمالية من معدل $٦,٤ \pm ٠,٤$ جيغا طن من الكربون في السنة في التسعينيات إلى $٧,٢ \pm ٠,٣$ جيغا طن من الكربون في السنة بين العامين ٢٠٠٠ و ٢٠٠٥. بلغت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بتغيير استخدام الأراضي خلال التسعينيات معدل $٠,٥$ إلى $٢,٧$ جيغا طن من الكربون في العام، بتقدير مركزي بلغ $١,٦$ جيغا طن من الكربون في العام. يظهر الجدول ١ مستويات ثاني أكسيد الكربون المقدرة خلال العقود الأخيرة. {٦,٤، ٢,٣، الأستلة ٧,١}

منذ الثمانينيات، أزلت العمليات الطبيعية لامتصاص ثاني أكسيد الكربون من محيط الأرض الحيوي (أي الترسيب في بالوعة الأرض في الجدول ١) ومن المحيطات حوالي ٥٠٪ من الانبعاثات البشرية المنشأ (أي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفورية وتغيير استخدام الأراضي في الجدول ١). تتأثر عمليات الإزالة هذه بتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وبالتغيرات المناخية. كان امتصاص المحيطات ومحيط الأرض الحيوي مشابهاً في الكم إلا أن امتصاص محيط الأرض الحيوي كان أكثر تغيراً وأكثر

إن الإرتفاع في ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي منذ العصور ما قبل الثورة الصناعية مسؤول عن تأثير إشعاعي بلغ $٠,١٧ \pm ١,٦٦+$ واط للمتر المربع الواحد، وهي مساهمة تسيطر على جميع عوامل التأثير الإشعاعي الأخرى الواردة في هذا التقرير. خلال العقد ١٩٩٥-٢٠٠٥، أدى إرتفاع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى إرتفاع ٢٠٪ في تأثيره الإشعاعي. {٦,٤، ٢,٣، ٦,٥}

إن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من استخدام الوقود الأحفوري، ومن تأثيرات التغيير في استخدام الأراضي على الكربون في النبات والتربة، هي المصادر الأولية لزيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. منذ العام ١٧٥٠، من المقدر أن حوالي ٢/٣ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية المنشأ كانت نتيجة إحراق الوقود الأحفوري وحوالي ١/٣ كانت نتيجة تغيير استخدام الأراضي. النسبة المتبقية حوالي ٤٥٪ من ثاني أكسيد الكربون هذا في الغلاف الجوي، فيما امتصت المحيطات ٣٠٪ وامتص المحيط الحيوي الأرضي النسبة المتبقية. تتم إزالة حوالي نصف انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي خلال ٣٠ عاماً، ٢٠٪ خلال بضعة قرون و ٢٠٪ المتبقية تبقى في الغلاف الجوي

الجدول ١. إجمالي رصيد الكربون. كما هو معروف، إن الأرقام الإيجابية هي تدفقات ثاني أكسيد الكربون (جيغا طن من الكربون في العام الواحد) في الغلاف الجوي، وتمثل الأرقام السلبية الإمتصاص من الغلاف الجوي. تعتمد انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفوري للعامين ٢٠٠٤ و ٢٠٠٥ على تقديرات إنتقالية. نظراً لعدد الدراسات المتوفرة المحدود حول صافي التدفقات من الأرض نحو الغلاف الجوي وعناصرها، تُقدّم نطاقات عدم اليقين على شكل نطاقات ثقة تبلغ ٦٥٪ ولا تتضمن التغيرات ما بين السنوات. (انظر القسم ٧,٣) تشير NA إلى عدم توفر البيانات.

| ٢٠٠٥-٢٠٠٠ | التسعينيات | الثمانينيات | |
|----------------|------------------------|-------------------------|--|
| $٠,١ \pm ٤,١$ | $٠,١ \pm ٣,٢$ | $٠,١ \pm ٣,٣$ | الإزدياد في الغلاف الجوي |
| $٠,٣ \pm ٧,٢$ | $٠,٤ \pm ٦,٤$ | $٠,٣ \pm ٥,٤$ | انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفوري |
| $٠,٥ \pm ٢,٢-$ | $٠,٤ \pm ٢,٢-$ | $٠,٨ \pm ١,٨-$ | صافي التدفقات من المحيط نحو الغلاف الجوي |
| $٠,٦ \pm ٠,٩-$ | $٠,٦ \pm ١,٠-$ | $٠,٩ \pm ٠,٣-$ | صافي التدفقات من الأرض نحو الغلاف الجوي |
| | | | مقسّم كما يلي |
| NA | ١,٦ (٠,٥ إلى ٢,٧) | ١,٤ (٠,٤ إلى ٢,٣) | تدفقات في تغيير استخدام الأراضي |
| NA | ١,٧- (٠,٢ إلى ٣,٤-) | ٢,٦- (-٠,٩ إلى ٤,٣-) | بالوعة الترسيبات الأرضية |

^٢ تتضمن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفوري تلك، الناتجة عن إنتاج الوقود الأحفوري وتوزيعه واستهلاكه وإنتاج الإسمنت. يتناسب انبعاثات 1 جيغا طن من الكربون إلى ٣,٦٧ Gt من ثاني أكسيد الكربون.

^٤ وفقاً للقسم ٧,٣، تعطى نطاقات عدم اليقين لانبعاثات التغيير في استخدام الأراضي، ولإجمالي رصيد دورة الكربون، على أنها تبلغ نطاقات ٦٥٪.

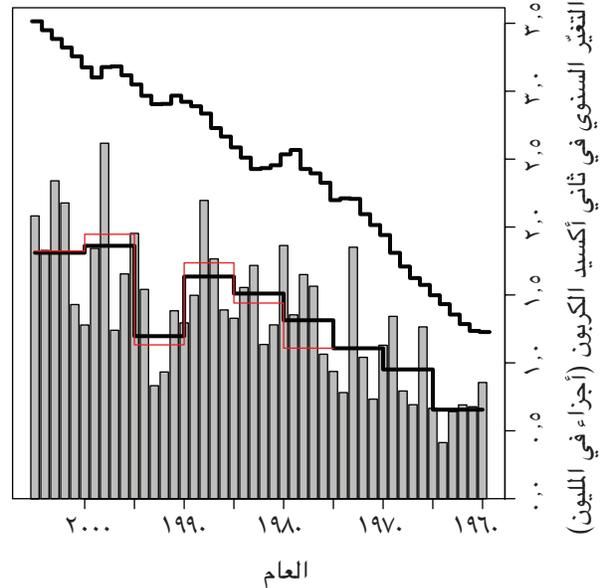
الشمالي، وتقلّبات بين الأرض والغلاف الجوي شبه معدومة في المناطق المدارية، ما يشير إلى أن إزالة الغابات المدارية توازنه تقريباً إعادة نموها. {٧,٣}

تتحكم التغيرات في تدفق ثاني أكسيد الكربون بين الغلاف الجوي ومحيط الأرض الحيوي بشكل أساسي بالتغيرات القصيرة الأمد (بين السنوات) في إزدياد معدل ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، مع جزء أصغر لكن هام يرتبط بتغير تدفق المحيطات (انظر الملخص الفني، الرسم ٣). ترتبط التغيرات في تقلّبات محيط الأرض الحيوي بالتذبذبات المناخية التي تؤثر على امتصاص ثاني أكسيد الكربون في نمو النبات وعودته إلى الغلاف الجوي من خلال انحلال المواد العضوية في التنفس النباتي والحرائق. إن التذبذب الجنوبي/ النينيو هو مصدر أساسي للتغير بين السنوات في معدلات نمو ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، بسبب تأثيره على التقلّبات من خلال درجات حرارة سطح الأرض وسطح المحيطات والتهاطل ونشوب الحرائق. {٧,٣}

لا يمكن قياس كمية التأثيرات المباشرة لإزدياد ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي على امتصاص الكربون في الأرض على نطاق واسع في الوقت الحالي بشكل موثوق. يمكن أن تحفز زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وترسب المغذيات (تأثيرات التخصيب) نمو النبات. لكن معظم التجارب والدراسات تظهر أن ردود أفعال شبيهة لا تدوم طويلاً وترتبط عن قرب بتأثيرات أخرى كتوفر المياه والمغذيات. كما أن التجارب والدراسات حول تأثيرات المناخ (الحرارة والرطوبة) على التنفس النباتي للنفائيات والتربة غير أكيدة. ملاحظة: يتم تناول تأثير تغير المناخ على امتصاص الكربون على حدى في القسم ٥.٤. {٧,٣}

بلغ معدل وفرة الميثان (CH_4) ١٧٧٤ جزءاً في المليار في العام ٢٠٠٥ أي ضعف معدل المرحلة ما قبل الصناعية. تغيرت تركيزات الميثان في الغلاف الجوي ببطء بين ٥٨٠ و ٧٣٠ جزءاً في المليار خلال العشرة آلاف سنة الماضية، لكنها ارتفعت بحوالي ١٠٠٠ جزء في المليار خلال القرنين الماضيين، ما يمثل أسرع تغير في هذا الغاز خلال الثمانين ألف عام الماضية. في أواخر السبعينيات وبداية الثمانينيات، بلغت معدلات نمو الميثان ١٪ في العام كحد أقصى، لكنها انخفضت بحدّة منذ بداية التسعينيات وأصبحت قريبة من الصفر خلال فترة الست سنوات الممتدة من ١٩٩٩ إلى ٢٠٠٥. تزداد وفرة الميثان عندما تتخطى الإنبعاثات كمية الإزالة. يشير التراجع الأخير في معدلات الإزدياد أن الإنبعاثات تتطابق اليوم تقريباً مع الإزالة، وهي نتيجة الأكسدة بفعل

إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون وإزدياده



الرسم ٣. التغيرات السنوية في متوسط إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون (الخطوط العريضة الرمادية) ومعدلاتها على مدى ٥ سنوات من شبكتي قياس مختلفتين (الخطوط الحمراء والسوداء الشبيهة بالدرجات). تدل معدلات الخمس سنوات على إختلالات قصيرة الأمد مرتبطة بأحداث النينيو القوية في ١٩٧٢، ١٩٨٢، ١٩٨٧، و ١٩٩٧. يشير الفرق بين الخطوط الحمراء والخطوط السوداء الدنيا إلى أوجه عدم اليقين في معدلات الخمس سنوات وتبلغ ٠,١٥ جزءاً في المليون. تظهر الخطوط العليا الشبيهة بالدرجات الإرتفاع السنوي المرجح إذا ما بقيت جميع إنبعاثات الوقود الأحفوري في الغلاف الجوي ولم تكن هناك أي إنبعاثات أخرى. {الرسم ٧,٤}

نشاطاً في التسعينيات منه في الثمانينيات بحوالي ١ جيغا طن من الكربون في العام. تظهر المشاهدات أن تركيزات ثاني أكسيد الكربون المذوب في المحيطات (pCO_2) ترتفع في معظم المناطق، وذلك مع إرتفاع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي لكن مع تغييرات إقليمية وزمنية كبيرة. {٧,٣، ٥,٤}

ينتج امتصاص الكربون وتخزينه في محيط الأرض الحيوي من الفارق الصافي بين الامتصاص لنمو النبات، والتغيرات في إعادة التحريج والتخنية، والإنبعاثات الناتجة عن التنفس النباتي، والحصاد وإزالة الغابات والحرائق والضرر بسبب التلوث وعوامل خلل أخرى تؤثر على الكتلة الحيوية والتربة. أثر الإرتفاع والإخفاض في وتيرة الحرائق في مناطق مختلفة على صافي امتصاص الكربون، ويبدو أن الإنبعاثات الناتجة عن حرائق إزادات خلال العقود الأخيرة في المناطق الشمالية. تظهر تقديرات صافي تقلّبات ثاني أكسيد الكربون على السطح المستقاة من دراسات عكسية تستخدم شبكات من بيانات الغلاف الجوي، معدلات هامة لامتصاص الأرض ثاني أكسيد الكربون في منطقة خطوط العرض الوسطى في نصف الكرة

٢٠٠٥، أي أعلى بمقدار بنسبة ١٨٪ من معدل المرحلة ما قبل الثورة الصناعية. إزداد أكسيد النيتروز خطياً تقريباً بمقدار ٠,٨ جزءاً في المليار في العام الواحد خلال العقود القليلة الماضية. تظهر بيانات العينة الجليدية أن تركيز أكسيد النيتروز في الغلاف الجوي تغير بأقل من ١٠ أجزاء في المليار خلال ١١٥٠٠ عاماً قبل بداية المرحلة الصناعية. {٢,٣, ٦,٤, ٧,٤}

يساهم الإزداد في أكسيد النيتروز منذ المرحلة ما قبل الثورة الصناعية اليوم بتأثير إشعاعي مقداره $٠,١٦ \pm ٠,٠٢$ واط للمتر المربع الواحد، وهو بشكل أساسي نتيجة النشاطات البشرية، خاصة الزراعة وتغير استخدام الأراضي. تشير التقديرات الحالية إلى أن حوالي ٤٠٪ من إجمالي انبعاثات أكسيد النيتروز بشرية المنشأ، لكن تقديرات المصادر الفردية تبقى غير أكيدة. {٢,٣, ٧,٤}

٢,١,٣ تغيرات في هالوكربون الغلاف الجوي وأوزون الستراتوسفير وأوزون التروبوسفير وغازات أخرى

إن المركبات الكربونية الفلورية الكلورية (CFC) والمركبات الكربونية الفلورية الهيدروكلورية (HCFC) هي غازات دفيئة من منشأ بشري بحت، وتستخدم في مجموعة واسعة من التطبيقات. تراجعت انبعاثات هذه الغازات بسبب حظرها وفقاً لبروتوكول مونتريال، وتراجع تركيزات CFC-11 و CFC-113 حالياً نتيجة عمليات الإزالة الطبيعية. مددت المشاهدات في عينات الجليد الحبيبي القطبي منذ تقرير التقييم الثالث المعلومات المتوفرة حول التسلسل الزمني لبعض غازات الدفيئة هذه. تؤكد العينات الجليدية والبيانات في الموقع أن المصادر الصناعية هي سبب الإزداد الملحوظ في المركبات الكربونية الفلورية الكلورية والمركبات الكربونية الفلورية الهيدروكلورية في الغلاف الجوي. {٢,٣}

ساهمت غازات بروتوكول مونتريال في التأثير الإشعاعي المباشر بمقدار $٠,٣٢ \pm ٠,٠٣$ واط للمتر المربع الواحد في ٢٠٠٥، وما زال غاز CFC-12 عامل التأثير الإشعاعي الطويل الأمد الثالث لجهة الأهمية. تساهم هذه الغازات مجتمعة بحوالي ١٢٪ من التأثير الإجمالي بسبب غازات الدفيئة الطويلة العمر. {٢,٣}

إن تركيزات الغازات الصناعية مع فليور التي يغطيها بروتوكول كيوتو (مركبات كربونية فلورية هيدروجينية (HFCs)، ومركبات كربونية فلورية مشبعة (PFCs) وسادس فلوريد الكبريت (SF₆)) متدنية نسبياً لكنها تزداد بسرعة. بلغ

شق الهيدروكسيل (OH). منذ تقرير التقييم الثالث، وجدت دراسات جديدة استخدمت عنصرين استشفافيين جديدين (ثلاثي كلورو الإيثان وCO¹⁴) أنه ما من تغير هام على المدى الطويل في الوفرة العالمية لشق الهيدروكسيل (OH). لذلك، من المرجح أن يكون التباطؤ في ارتفاع معدل الميثان في الغلاف الجوي منذ حوالي العام ١٩٩٣ ناتجاً عن إقتراب الغلاف الجوي من التوازن خلال فترة انبعاثات كاملة شبه مستمرة. {٢,٣, ٧,٤, ٧,٤, ٧,٤, ٧,٤}

ساهم الإزداد في تركيزات الميثان في الغلاف الجوي منذ مرحلة ما قبل الثورة الصناعية في تأثير إشعاعي بلغ $٠,٤٨ \pm ٠,٠٠٥$ واط للمتر المربع الواحد. من بين غازات الدفيئة، يعتبر هذا التأثير ثانياً بعد ثاني أكسيد الكربون من ناحية الكم. {٢,٣}

نتجت مستويات الميثان الحالية في الغلاف الجوي من الانبعاثات البشرية المنشأ للميثان وهي تتخطى الانبعاثات الطبيعية. يمكن تحديد إجمالي انبعاثات الميثان انطلاقاً من التركيزات الملحوظة والتقديرات المستقلة لمعدلات الإزالة. لا تقاس الانبعاثات من مصادر الميثان الفردية بالدقة ذاتها التي تقاس بها الانبعاثات الإجمالية، لكنها في معظمها من أصل بيولوجي، وتتضمن الانبعاثات من الأراضي الرطبة، والحيوانات المجتررة، وزراعة الأرز، وإحراق الكتلة الحيوية، بالإضافة إلى مساهمات أصغر من مصادر صناعية تتضمن الانبعاثات المرتبطة بالوقود الأحفوري. ومن المرجح جداً أن تشير معرفة مصادر الميثان هذه، بالإضافة إلى المجموعة الطبيعية الصغيرة لتركيزات الميثان خلال الأعوام الـ ٦٥٠٠٠٠ الماضية (انظر الملخص الفني، الرسم ١) وإزديادها الحاد منذ العام ١٧٥٠ (انظر الملخص الفني، الرسم ٢) إلى أن التغيرات الملحوظة على المدى الطويل في الميثان ناتجة عن نشاط بشري المنشأ. {٢,٣, ٦,٤, ٧,٤}

بالإضافة إلى تباطؤ معدل إزداد الميثان في الغلاف الجوي خلال الأعوام الخمسة عشر الماضية، أظهر المعدل تغيراً هاماً خلال العام الواحد، ولم يتوفر تفسير كامل لذلك. يبدو أن أكبر المساهمات في التغير خلال العام الواحد بين العامين ١٩٩٦ و٢٠٠١ هو التغير في انبعاثات الأراضي الرطبة وإحراق الكتلة الحيوية. تشير عدة دراسات إلى أن انبعاثات الميثان من الأراضي الرطبة حساس جداً تجاه الحرارة ويتأثر بالتغيرات الهيدروكلورية. تشير تقديرات النماذج المتوفرة جميعها إلى إزداد في انبعاثات الأراضي الرطبة نظراً لتغير المناخ في المستقبل لكنها تختلف لجهة حجم تأثير الإستجابة الإيجابي هذا. {٧,٤}

بلغ تركيز أكسيد النيتروز ٣١٩ جزءاً في المليار في العام

الإشعاعي الناتج عن تدمير أوزون الستراتوسفير وأعيد تقييمه بمقدار 0.05 ± 0.10 واط للمتر المربع الواحد، أي أقل مما ورد في تقرير التقييم الثالث، بمستوى متوسط من الفهم العلمي. لم يعد الإتجاه إلى تدمير متزايد لأوزون الستراتوسفير سائداً اليوم كما في الثمانينيات والتسعينيات. لكن إجمالي أوزون الستراتوسفير ما زال دون ٤٪ من أرقام ما قبل الثمانينيات ومن غير الواضح ما إذا بدأت إعادة تشكيل الأوزون. إضافة إلى التدمير الكيميائي للأوزون، قد تكون التغيرات الدينامية قد ساهمت في تخفيض الأوزون في الخطوط العريضة المتوسطة في النصف الشمالي من الأرض. {٢,٣}

تساهم إنبعاثات بخار المياه المباشرة الناتجة عن النشاطات البشرية مساهمة ضئيلة في التأثير الإشعاعي. لكن، يزداد معدل الحرارة العالمية، فتزداد تركيزات بخار المياه وهذا ما يمثل إستجابة أساسية، لكن ليس عاملاً مؤثراً على التغير المناخي. إن انبعاث الماء مباشرة في الغلاف الجوي بفعل النشاطات البشرية المنشأ، لا سيما الري، هو عامل مؤثر مرجح لكن لا يشكل إلا أقل من ١٪ من المصادر الطبيعية لبخار المياه في الغلاف الجوي. كما أن انبعاث بخار المياه المباشر في الغلاف الجوي من إحراق الوقود الأحفوري أقل بكثير من الانبعاث الناتج من النشاط الزراعي. {٢,٥}

بناءً على دراسات نماذج التنقل الكيميائي، قُدر التأثير الإشعاعي الناتج عن إزدياد بخار المياه في الستراتوسفير بسبب أكسدة الميثان 0.07 ± 0.05 واط للمتر المربع الواحد. إن مستوى الفهم العلمي متدنٍ إذ أن مساهمة الميثان في الهيكلية العمودية الملائمة لتغير بخار المياه قرب التروبوبوز غير مؤكد. كما لا يزال فهم الأسباب البشرية الأخرى لإزدياد بخار المياه في الستراتوسفير الذي قد يساهم في التأثير الإشعاعي غير مكتملاً. {٢,٣}

٢,٢ الأهباء الجوية

يقاس اليوم تأثير الهباء الجوي الإشعاعي المباشر أفضل من ذي قبل، ما يشكل تقدماً هاماً في الفهم منذ تقرير التقييم الثالث، حيث كان لعدة عناصر مستوى متدنٍ جداً من الفهم العلمي. يمكن اليوم إعطاء إجمالي قيمة التأثير الإشعاعي المباشر للأهباء الجوية على جميع أنواعه للمرة الأولى -0.5 ± 0.4 واط للمتر المربع الواحد، مع مستوى متوسط-متدنٍ من الفهم العلمي. لقد تحسنت نماذج الغلاف الجوي، ويحوي العديد منها جميع عناصر الأهباء الجوية الهامة. إن ما بين أنواع الأهباء الجوية عدة إختلافات على

تأثيرها الإشعاعي الإجمالي $+0.17$ واط للمتر المربع في ٢٠٠٥. {٢,٣}

إن أوزون التروبوسفير هو غاز دفيئة عمره قصير تنتجها التفاعلات الكيميائية بين أنواع أسلاف في الغلاف الجوي وبتغيرات مكانية وزمنية كبيرة. لقد أدت القياسات المطورة ووضع النماذج إلى تطوير فهم الأسلاف الكيميائية التي تؤدي إلى تشكل الأوزون في التروبوسفير، أي أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين (من بينها المصادر والتوجهات المرجحة الطويلة الأمد في البرق) والفورمالدهيد. تنجح النماذج الحالية في وصف الخصائص الأساسية لتوزع الأوزون الحالي في التروبوسفير وفقاً للعمليات الكامنة. توفر القياسات الساتلية والقياسات على الموقع الجديدة قيوداً عالمية جديدة لهذه النماذج. إلا أن الثقة ضئيلة في إمكانيتها نسخ التغيرات في الأوزون المرتبطة بالتغيرات الهامة في الانبعاثات أو المناخ، وفي محاكاة التوجهات على المدى الطويل في تركيزات الأوزون خلال القرن العشرين. {٧,٤}

تقدّر مساهمة الأوزون في التروبوسفير في التأثير الإشعاعي قد بلغت $+0.35$ إلى $+0.25$ واط للمتر المربع الواحد مع مستوى متوسط للفهم العلمي. لم تتغير أفضل التقديرات لهذا التأثير الإشعاعي منذ تقرير التقييم الثالث. تشير الملاحظات إلى أن التوجهات في أوزون التروبوسفير خلال العقود الماضية تغيرت لجهة المؤشر والكم في عدة مواقع، لكن هناك إشارات بتوجه تصاعدي هام على خطوط العرض الإستوائية. إزدادت الدراسات النموذج للتأثير الإشعاعي الناتج عن إزدياد الأوزون في التروبوسفير منذ المراحل ما قبل الصناعية تعقيداً وشمولاً بالمقارنة مع النماذج المستخدمة في تقرير التقييم الثالث. {٢,٣, ٧,٤}

ترتبط التغيرات في أوزون التروبوسفير بنوعية الهواء وتغير المناخ. أظهر عدد من الدراسات أن تركيزات الأوزون خلال النهار في فصل الصيف ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالحرارة. يبدو أن هذا الارتباط يعكس مساهمات انبعاثات الكربون العضوية المتطايرة من نشوء إحيائي والمرتبطة بالحرارة، والإنحلال الحراري للبيروكسي أسيتيل نترات وهو مخزن لأكاسيد النيتروجين، والعلاقة بين الحرارة العالية والركود الإقليمي. كانت الظروف المناخية الحارة والراكدة بشكل غير طبيعي خلال صيف ١٩٩٨ مسؤولة عن أعلى معدل أوزون على سطح الأرض في السنة في شمال شرق الولايات المتحدة الأميركية. إرتبطت موجة الحر في أوروبا صيف ٢٠٠٣ بمعدل أوزون مرتفع إستثنائياً على سطح الأرض. {الإطار ٧,٤}

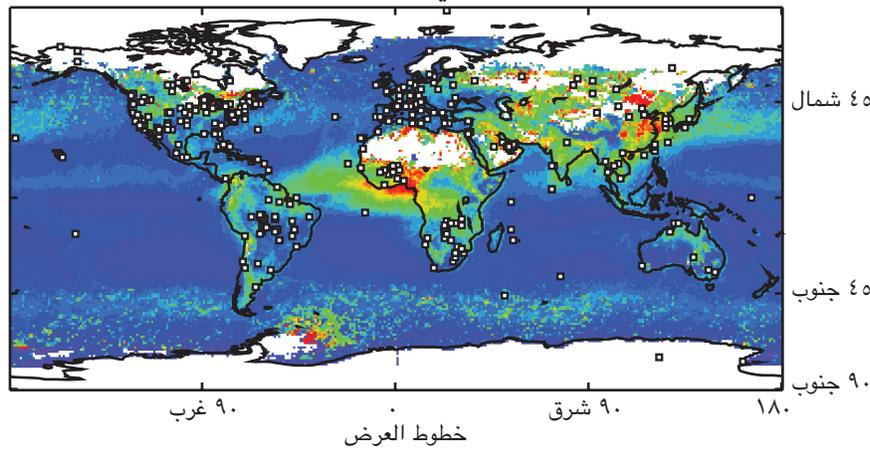
تؤدي الغازات المذكورة في بروتوكول مونتريال إلى التأثير

هام منذ تقرير التقييم الثالث. يبقى التأثير الإشعاعي المباشر للأنواع الفردية أقل توكيداً ومن المقدر من النماذج أن يبلغ -0.4 ± 0.2 واط للمتر المربع الواحد للكبريتات، -0.5 ± 0.05 واط للمتر المربع الواحد للكربون العضوي من الوقود الأحفوري، $+0.2 \pm 0.15$ واط للمتر المربع الواحد لكربون الوقود الأحفوري الأسود، $+0.3 \pm 0.12$ واط للمتر المربع الواحد لإحراق الكتلة الحيوية، -0.1 ± 0.1 واط للمتر المربع الواحد للنترات، و -0.1 ± 0.2 واط للمتر المربع الواحد للغبار المعدني. تؤكد دراستان حديثتان تتناولان حصيلة الإنبعاثات على بيانات العينات الجليدية وتشيران إلى أن إنبعاثات

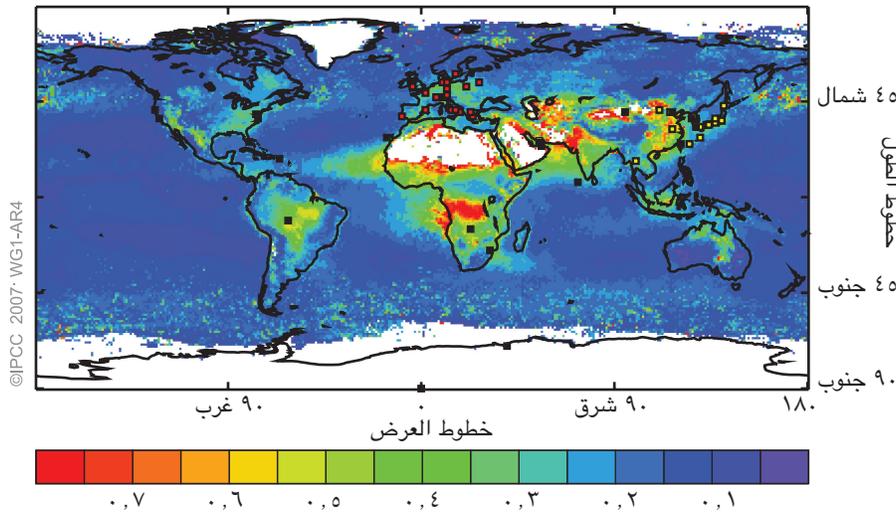
مستوى خصائصها التي تؤثر على امتصاصها الإشعاع أو تبديدها إياه. لذلك، يمكن أن يكون لأنواع الهباء الجوي المختلفة تأثير تدفئة أو تبريد. يمكن ملاحظة الأهباء الصناعي الذي يتألف من مزيج من الكبريتات والكربون العضوي والأسود والنيترات والغبار الصناعي فوق عدة مناطق قارية في النصف الشمالي من الكرة الأرضية. أصبح اليوم ممكناً التأكد من محاكاة نماذج الهباء الجوي في العالم بفضل القياسات المتطورة على المواقع وقياسات الأقمار الصناعية وتلك المعتمدة على السطح (انظر الملخص الفني، الرسم ٤). تسمح هذه التحسينات بقياس إجمالي تأثير الأهباء الإشعاعي المباشر للمرة الأولى، وهو تقدم

إجمالي العمق البصري للأهباء

من كانون الثاني/يناير إلى آذار/مارس ٢٠٠١



من آب/أغسطس إلى تشرين الأول/أكتوبر ٢٠٠١



الرسم ٤. (أعلى) إجمالي العمق البصري للأهباء الجوية (بسبب الأهباء الطبيعية والبشرية المنشأ) على طول موجة شبه منظورة تحده قياسات الأقمار الصناعية من كانون الأول / يناير إلى آذار / مارس ٢٠٠١ و(أدناه) من آب / أغسطس إلى تشرين الأول / أكتوبر، تعبيراً عن التغيرات الموسمية في الأهباء الصناعية وتلك الناتجة عن إحراق الكتلة الإحيائية. إن البيانات مستقاة من قياسات الأقمار الصناعية، بالإضافة إلى نوعين من القياسات من الأرض في مواقع ظاهرة في الرسمين. (انظر القسم ٢.٤.٢ للتفاصيل) {الرسم ٢.١١}

في المتر المربع مع مستوى متدنٍ من الفهم العلمي. إن هذا التقدير أدنى من التقدير الوارد في تقرير التقييم الثالث. ينتج هذا الفرق عن مشاهدات جديدة لغطاء الدخان الأبيض وتقديرات محدودة للعمق البصري للدخان. لا تتوفر تقديرات أفضل لصافي التأثير من الدخان المنتشر. تبقى آثاره على السحاب الأبيض الذوابة وإجمالي تأثير هباء الطيران على السحاب في الخلفية غير معروفة. {٢,٦}

لقد أدت التغيرات البشرية في غطاء اليابسة إلى زيادة إجمالي الهباء الجوي على سطح الأرض، ما أدى إلى تأثير إشعاعي بلغ -0.2 ± 0.2 واط في المتر المربع الواحد، وهو الرقم ذاته الذي ورد في تقرير التقييم الثالث، مع معدل متوسط -متدنٍ من الفهم العلمي. تؤدي أهباء الكربون الأسود على الثلج إلى إخفاض بياض السطح ومن المقدّر أنها تؤدي إلى تأثير إشعاعي بمقدار $+0.1 \pm 0.1$ واط في المتر المربع الواحد، مع مستوى متدنٍ من الفهم العلمي. منذ تقرير التقييم الثالث، وضعت عدة تقديرات حول التأثير الناجم عن استخدام الأراضي، بواسطة تقنيات أفضل نوعية، وإقصاء الإستجابات في التقييم ودمج تحسيني للمشاهدات على النطاق الواسع. من بين أوجه عدم اليقين في التقديرات، وضع الخرائط وتحديد خصائص النبات في عصرنا الحالي وفي الماضي، ووضع معايير عمليات إشعاع السطح وتحيزها في متغيرات النماذج المناخية. يؤدي وجود جزئيات الغبار في الثلج إلى تدنٍ في بياضها وإلى تأثير إشعاعي، وقد يؤثر على ذوبان الثلج. تبقى أوجه عدم اليقين عديدة لجهة إنخراط الغبار في الثلج والخصائص البصرية الناتجة عنه. {٢,٥}

من المتوقع أن تكون تأثيرات تغيير استخدام الأراضي على المناخ هاماً محلياً في بعض المناطق، لكنها تبقى متدنية على المستوى العالمي مقارنة بإحترار غازات الدفيئة. تؤثر التغيرات فوق سطح الأرض (النبات، التربة، المياه) الناتجة عن الأنشطة البشرية على المناخ المحلي من خلال التغيرات في الإشعاع، وفي السحاب وخشونة السطح ودرجات حرارة السطح. كما يمكن أن يكون للتغيرات في الغطاء النباتي أثراً هاماً على طاقة السطح وتوازن المياه على النطاق الإقليمي. تشمل هذه التأثيرات العمليات غير الإشعاعية (أي أنه لا يمكن قياسها بالتأثير الإشعاعي) ولها مستوى متدنٍ جداً من الفهم العلمي. {٢,٥}

{١١,٤، ٩,٣، ٧,٢}

يمكن أن يكون إنبعاث الحرارة عن إنتاج الطاقة البشري المنشأ هاماً فوق المناطق الحضرية لكنه لا يعتبر هاماً على المستوى العالمي. {٢,٥}

الكبريتات البشرية المنشأ في العالم تراجعت بين العامين ١٩٨٠ و ٢٠٠٠ وأن التوزيع الجغرافي لتأثير الكبريتات قد تغير أيضاً. {٦,٦، ٢,٤}

حدثت تغيرات هامة في تقديرات التأثير الإشعاعي المباشر الناتج عن إحراق الكتلة الحيوية، والنترات، وأهباء الغبار المعدني منذ تقرير التقييم الثالث. في ما يخص أهباء الجوية إحراق الكتلة الحيوية، يخضع التأثير الإشعاعي المباشر المقدّر للمراجعة بعدما كان سلبياً وأصبح اليوم قريباً من الصفر، إذ أن التقدير خاضع لتأثير وجود الأهباء الجوية فوق السحاب. للمرة الأولى، يعطى التأثير الإشعاعي الناتج عن أهباء النترات. في ما يخص الغبار المعدني، إنخفض نطاق التأثير الإشعاعي المباشر بسبب تخفيض في تقدير النسبة البشرية المنشأ. {٢,٤}

تؤدي تأثيرات الهباء الجوي البشري المنشأ على سحاب الماء إلى تأثير بياض السحاب غير المباشر (الذي سُمي بالتأثير غير المباشر الأول في تقرير التقييم الثالث)، وللمرة الأولى أُعطي أفضل تقدير وهو -0.7 [من -0.3 إلى -1.8] واط للمتر المربع الواحد. إزداد عدد التقديرات النموذجية العالمية لتأثير البياض في سحاب الماء السائل بشكل كبير منذ تقرير التقييم الثالث، وتم تقييم التقديرات بدقة أكبر. يتأثر تقدير التأثير الإشعاعي هذا من عدة دراسات نموذجية تتضمن عدداً أكبر من أنواع الهباء وتصف عمليات التفاعل ما بين الهباء والسحاب بتفاصيل أكثر. إن الدراسات النموذجية التي تتضمن أنواع هباء الجوي إضافية أو التي تقيدها مشاهدات الأقمار الصناعية تجد تأثير بياض السحاب أضعف نسبياً. على الرغم من التطورات والتقدم منذ تقرير التقييم الثالث والإنخفاض في انتشار تقدير التأثير الإشعاعي، تبقى عدة أوجه عدم يقين كبيرة في قياسات العينات ووضع نماذجها، ما يؤدي إلى مستوى متدنٍ من الفهم العلمي، وهو تقدم بعدما كان المستوى متدنٍ جداً في تقرير التقييم الثالث. {٩,٢، ٧,٥، ٢,٤}

من التأثيرات الأخرى للهباء الجوي، تأثير عمر السحاب وتأثير شبه مباشر وتفاعلات ما بين الهباء الجوي والسحب الجليدية. تعتبر هذه جزءاً من إستجابة المناخ وليس تأثيرات إشعاعية. {٧,٥، ٢,٤}

٢,٣ دخان الطائرات والسحب البيضاء الذوابات وإستخدام الأراضي وتأثيرات أخرى

تساهم خطوط الدخان الأبيض المستمرة الناتجة عن الطيران بتأثير إشعاعي ضئيل يبلغ $[+0.01 \text{ إلى } +0.03]$ واط

٢,٤ التأثير الإشعاعي الناتج عن النشاط الشمسي والثورات البركانية

(عدد القطيران وتركيزها)، ما يؤدي إلى تغيرات في عمليات السحب مشابهة بتأثير البياض غير المباشر للأهباء في التروبوسفير، وبالتالي يؤدي إلى تأثير شمسي غير مباشر في المناخ. أظهرت الدراسات علاقات مختلفة مع السحب في بعض المناطق أو من خلال استخدام أنواع سحب محدودة أو نطاقات زمنية محدودة، لكن السلسلة الزمنية للإشعاعات الفلكية لا يبدو أنها تناسب إجمالي غطاء السحاب بعد العام ١٩٩١ أو إجمالي غطاء السحاب المتدني المستوى بعد ١٩٩٤. تكون إنذاراً الروابط بين التغيرات بفعل الأشعة المجرية الفلكية في الهباء الجوي وتشكيل السحاب مثيرة للجدل بالإضافة إلى الإفتقار إلى آلية فيزيائية مبرهنة ومصداقية عوامل سببية أخرى تؤثر على التغيرات في غطاء السحاب. {٢,٧}

تزيد الثورات البركانية المتفجرة كثيراً تركيز الهباء الجوي الكبريتي في الستراتوسفير. يمكن إذاً أن تؤدي ثورة واحدة إلى تبريد إجمالي المناخ العالمي لبضعة سنوات. تخل الأهباء البركانية برصيد الستراتوسفير وبرصيد السطح/ التروبوسفير من الطاقة الإشعاعية كما تخل بالمناخ بشكل عابر، وتتضح أحداث بركانية ماضية في مشاهدات العينات الجليدية للكبريتات بالإضافة إلى سجلات درجة الحرارة. لم تحدث أي ثورات بركانية متفجرة قادرة على بعث مواد هامة في الغلاف الجوي منذ ثورة جبل بيناتوبو في العام ١٩٩١. إلا أن احتمال حدوث ثورات بركانية أكبر من ثورة جبل بيناتوبو في العام ١٩٩١ تبقى واردة، وقد تؤدي إلى تأثير إشعاعي أهم وتبريد على المدى الأطول للنظام المناخي. {٢,٧، ٦,٤، ٦,٦، ٦,٢، ٩}

٢,٥ إجمالي التأثير الإشعاعي الصافي، احتمالات الإحترار العالمي وأنماط التأثير

لقد تحسّن فهم الإحترار البشري المنشأ وتأثيرات التبريد على المناخ منذ تقرير التقييم الثالث، ما يؤدي إلى ثقة عالية جداً بأن للنشاطات البشرية منذ العام ١٧٥٠ تأثيراً إيجابياً صافياً بمقدار + ١,٦ [٠,٦+ إلى ٢,٤+] واط في المتر المربع الواحد.

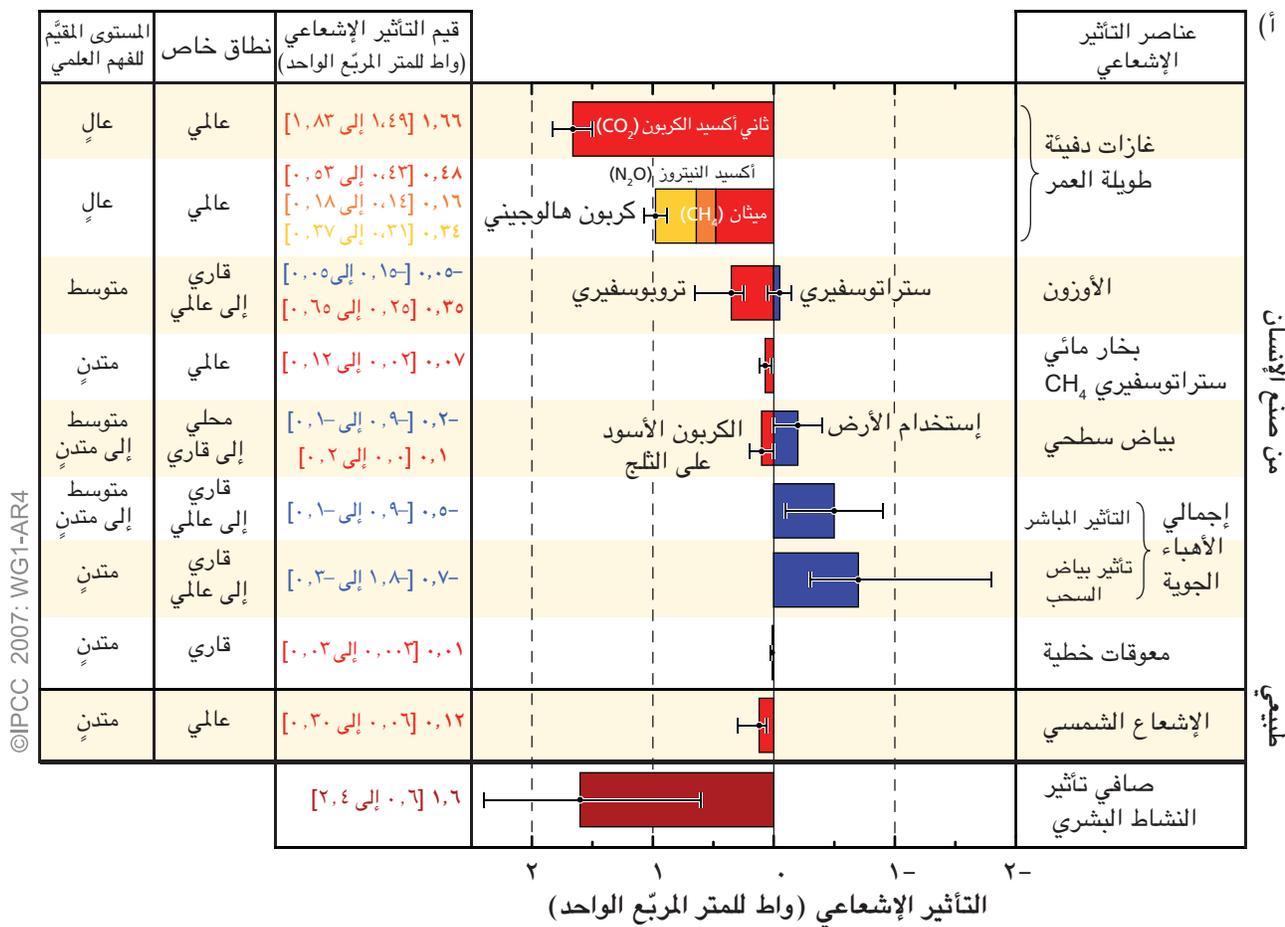
بفضل الفهم المحسّن والقياس الأفضل لآليات التأثير منذ تقرير التقييم الثالث، بات ممكناً إستنتاج تأثير إشعاعي صافي متمزج للمرة الأولى. يؤدي مزج أرقام العناصر الخاصة بكل عامل تأثير وأوجه عدم يقين إلى توزّع احتمالات تقديرات التأثير الإشعاعي البشرية المنشأ الواضحة في الرسم ٥، وتكون القيمة الأكثر احتمالاً أكبر بدرجة واحدة

تغطي المراقبة المستمرة لإجمالي الإشعاع الشمسي الأعوام الـ ٢٨ الماضية. تظهر البيانات دورة إشعاع ثابتة تدوم ١١ سنة وتتغير بمعدل ٠,٠٨٪ من أدنى الدورة الشمسية إلى أقصاها، مع غياب اتجاه هام على المدى الطويل. لقد قاست البيانات الجديدة بدقة أكبر التغيرات في تقلبات الإشعاعات الشمسية على نطاق واسع من طول الموجات المرتبطة بالنشاط الشمسي المتغير. وساهمت أيضاً المعايير المحسّنة التي تستخدم قياسات متداخلة عالية النوعية في تحسين الفهم. يشير الفهم الحالي لفيزياء الشمس ومصادر تغير الإشعاع المعروفة إلى مستويات إشعاع قابلة للمقارنة خلال الدورتين الشمسيتين الماضيتين، ومن بينها مستويات دنيا. إن السبب الأول المعروف لتغير الإشعاع الحديث هو وجود بقع شمسية (ميزات مضغوطة وداكنة حيث يدمر الإشعاع محلياً) و صياخد الشمس (ميزات عريضة و فاتحة حيث يتعزز الإشعاع محلياً) على القرص الشمسي. {٢,٧}

بلغ التأثير الإشعاعي المباشر الناتج عن التغير في الوردات الشمسية منذ العام ١٧٥٠، +١,٢ [٠,٦+ إلى ٠,٣+] واط للمتر المربع الواحد، أي أقل من نصف التقدير الوارد في تقرير التقييم الثالث، مع مستوى متدنٍ من الفهم العلمي. يعود هذا التراجع في تقدير التأثير الإشعاعي إلى إعادة تقييم التغير الطويل الأمد في الإشعاع الشمسي منذ العام ١٦١٠ (the Maunder Minimum) بناءً على: إعادة بناء جديدة تستخدم نموذج تغيرات في التقلبات المغناطيسية الشمسية لا يتضمن الجهات الوكيلية الساتلية أو الجيومغناطيسية أو المولودة في الفلك، فهم محسّن للتغيرات الشمسية الحديثة وعلاقتها بالعمليات الفيزيائية، وإعادة تقييم تغيرات النجوم الشبيهة بالشمس. يؤدي هذا إلى إرتفاع في مستوى الفهم العلمي من «متدنٍ جداً» في تقرير التقييم الثالث إلى «متدنٍ» في هذا التقييم، إذ تبقى نقاط عدم اليقين كثيرة بسبب النقص في المشاهدات المباشرة، والفهم غير المكتمل لآليات التغير الشمسي على فترات زمنية طويلة. {٢,٧، ٦,٦}

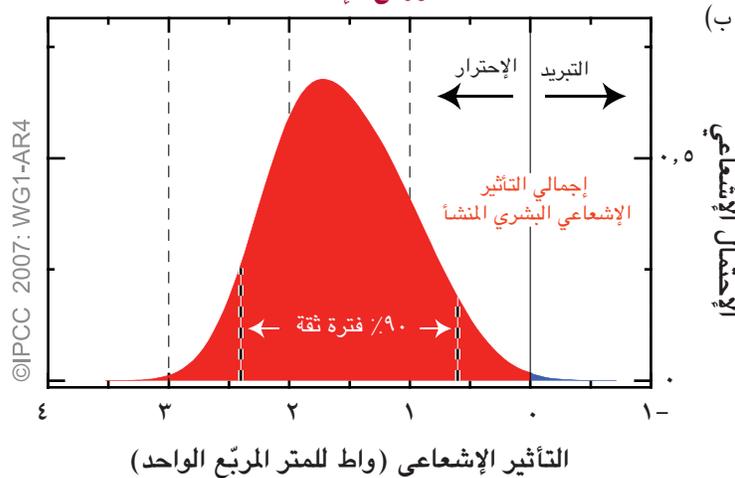
تم الاستفادة من ارتباطات واقعية بين أيونات الإشعاع الفلكي بسبب الشمس في الغلاف الجوي ومعدل عالمي متدنٍ من غطاء السحاب، لكن البراهين حول تأثير شمسي نظامي غير مباشر لا تزال غير واضحة. لقد وردت الفكرة القائلة بأن الإشعاعات الفلكية المجرية التي تحمل طاقة كافية للوصول إلى التروبوسفير قد تغير عدد النوات في تركيز السحاب وبالتالي خصائص السحاب الميكروفيزيائية

معدل التأثيرات الإشعاعية العالمية



التأثير الإشعاعي (واط للمتر المربع الواحد)

توزيع الاحتمالات



الرسم 5. (أ) متوسط التأثير الإشعاعي العالمي ونطاقات الثقة التي بلغت 90% في العام 2005 لعدة عوامل وآليات، تحدد الأعمدة إلى اليمين أفضل التقديرات ونطاقات الثقة (أرقام التأثير الإشعاعي)، الإمتداد الجغرافي المثالي للتأثير (النطاق المكاني)، ومستوي الفهم العلمي ما يشير إلى مستوى الثقة العلمي، كما ورد في القسم 2.9. تم مزج الأخطاء للميثان وأكسيد النيتروز والهالوكربون، كما يظهر صافي التأثير الإشعاعي البشري المنشأ. لا يمكن الحصول على أفضل التقديرات ونطاقات عدم اليقين من خلال إضافة الشروط الفردية بسبب عدم تناسق نطاقات عدم اليقين الخاصة ببعض العوامل، تم الحصول على الأرقام الواردة هنا من تقنية مونت كارلو كما ورد في القسم 2.9. تعتبر عوامل التأثير غير المذكورة هنا ذات مستوى متدنٍ جداً من الفهم العلمي. تساهم الأهباء البركانية في نوع إضافي من التأثير الإشعاعي لكنها غير مذكورة بسبب طبيعتها العرضية. لا يتضمن نطاق دخان الطيران الأبيض تأثيرات الطيران الأخرى على السحاب. (ب) توزيع الاحتمالات للتأثير الإشعاعي العام الكلي من جميع العوامل البشرية المنشأ الواردة في (أ). يتم إحتساب التوزيع بجمع أفضل التقديرات وأوجه عدم اليقين في كل عنصر. يزداد إمتداد التوزيع بسبب شروط التأثير السلبية، ولها أوجه عدم يقين أكثر من الشروط الإيجابية. {2,9,2, 2,9,1} [2,20]

| إحتمال الإحتراق العالمي للفترة المحددة | | | | الفاعلية الإشعاعية (W m ⁻² ppb ⁻¹) | الحياة (السنوات) | التركيبة الكيميائية | التسمية الصناعية أو الإسم المعروف (سنوات) |
|--|---------|--------|------------------|--|---------------------|-------------------------------|---|
| ٥٠٠ سنة | ١٠٠ سنة | ٢٠ سنة | ‡SAR (100-yr) | | | | |
| ١ | ١ | ١ | ١ | ^٣ -١٠×١,٤ | أُنظر أدناه | CO ₂ | ثاني أكسيد الكربون |
| ٧,٦ | ٢٥ | ٧٢ | ٢١ | ^٤ -١٠×٣,٧ | ٥١٢ | CH ₄ | الميثان |
| ١٥٣ | ٢٨٩ | ٢٨٩ | ٣١٠ | ^٢ -١٠×٣,٠٣ | ١١٤ | N ₂ O | أكسيد النيتروز |
| المواد الخاضعة لبروتوكول مونتريال | | | | | | | |
| ١,٦٢٠ | ٤,٧٥٠ | ٦,٧٥٠ | ٣,٨٠٠ | ٠,٢٥ | ٤٥ | CCl3F | CFC-11 |
| ٥,٢٠٠ | ١٠,٩٠٠ | ١١,٠٠٠ | ٨,١٠٠ | ٠,٣٢ | ١٠٠ | CCl2F2 | CFC-12 |
| ١٦,٤٠٠ | ١٤,٤٠٠ | ١٠,٨٠٠ | | ٠,٢٥ | ٦٤٠ | CClF3 | CFC-13 |
| ٢,٧٠٠ | ٦,١٣٠ | ٦,٥٤٠ | ٤,٨٠٠ | ٠,٣ | ٨٥ | CCl2FCIF2 | CFC-113 |
| ٨,٧٣٠ | ١٠,٠٠٠ | ٨,٠٤٠ | | ٠,٣١ | ٣٠٠ | CClF2CClF2 | CFC-114 |
| ٩,٩٩٠ | ٧,٣٧٠ | ٥,٣١٠ | | ٠,١٨ | ١,٧٠٠ | CClF2CF3 | CFC-115 |
| ٢,٧٦٠ | ٧,١٤٠ | ٨,٤٨٠ | ٥,٤٠٠ | ٠,٣٢ | ٦٥ | CBrF ₃ | ١٣٠١ هالون |
| ٥٧٥ | ١,٨٩٠ | ٤,٧٥٠ | | ٠,٣ | ١٦ | CBrClF2 | ١٢١١ هالون |
| ٥٠٣ | ١,٦٤٠ | ٣,٦٨٠ | | ٠,٣٣ | ٢٠ | CBrF2CBrF2 | ٢٤٠٢ هالون |
| ٤٣٥ | ١,٤٠٠ | ٢,٧٠٠ | ١,٤٠٠ | ٠,١٣ | ٢٦ | CCl4 | رباعي كلوريد الكربون |
| ١ | ٥ | ١٧ | | ٠,٠١ | ٠,٧ | CH3Br | بروميد الميثيل |
| ٤٥ | ١٤٦ | ٥٠٦ | | ٠,٠٦ | ٥ | CH3CCl3 | ثلاثي كلورو الإيثان |
| ٥٤٩ | ١,٨١٠ | ٥,١٦٠ | ١,٥٠٠ | ٠,٢ | ١٢ | CHClF2 | HCFC-22 |
| ٢٤ | ٧٧ | ٢٧٣ | ٩٠ | ٠,١٤ | ١,٣ | CHCl2CF3 | HCFC-123 |
| ١٨٥ | ٦٠٩ | ٢,٠٧٠ | ٤٧٠ | ٠,٢٢ | ٥,٨ | CHClFCF3 | HCFC-124 |
| ٢٢٠ | ٧٢٥ | ٢,٢٥٠ | | ٠,١٤ | ٩,٣ | CH3CCl2F | HCFC-141b |
| ٧٠٥ | ٢,٣١٠ | ٥,٤٩٠ | ١,٨٠٠ | ٠,٢ | ١٧,٩ | CH3CClF2 | HCFC-142b |
| ٣٧ | ١٢٢ | ٤٢٩ | | ٠,٢ | ١,٩ | CHCl2CF2CF3 | HCFC-225ca |
| ١٨١ | ٥٩٥ | ٢,٠٣٠ | | ٠,٣٢ | ٥,٨ | CHClFCF2CClF2 | HCFC-225cb |
| هيدرو فلورو كربون | | | | | | | |
| ١٢,٢٠٠ | ١٤,٨٠٠ | ١٢,٠٠٠ | ١١,٧٠٠ | ٠,١٩ | ٢٧٠ | CHF3 | HFC-23 |
| ٢٠٥ | ٦٧٥ | ٢,٣٣٠ | ٦٥٠ | ٠,١١ | ٤,٩ | CH2F2 | HFC-32 |
| ١,١٠٠ | ٣,٥٠٠ | ٦,٣٥٠ | ٢,٨٠٠ | ٠,٢٣ | ٢٩ | CHF2CF3 | HFC-125 |
| ٤٣٥ | ١,٤٣٠ | ٣,٨٣٠ | ١,٣٠٠ | ٠,١٦ | ١٤ | CH2FCF3 | HFC-134a |
| ١,٥٩٠ | ٤,٤٧٠ | ٥,٨٩٠ | ٣,٨٠٠ | ٠,١٣ | ٥٢ | CH3CF3 | HFC-143a |
| ٣٨ | ١٢٤ | ٤٣٧ | ١٤٠ | ٠,٠٩ | ١,٤ | CH3CHF2 | HFC-152a |
| ١,٠٤٠ | ٣,٢٢٠ | ٥,٣١٠ | ٢,٩٠٠ | ٠,٢٦ | ٣٤,٢ | CF3CHFCF3 | HFC-227ea |
| ٧,٦٦٠ | ٩,٨١٠ | ٨,١٠٠ | ٦,٣٠٠ | ٠,٢٨ | ٢٤٠ | CF3CH2CF3 | HFC-236fa |
| ٣١٤ | ١,٠٣٠ | ٣,٣٨٠ | | ٠,٢٨ | ٧,٦ | CHF2CH2CF3 | HFC-245fa |
| ٢٤١ | ٧٩٤ | ٢,٥٢٠ | | ٠,٢١ | ٨,٦ | CH3CF2CH2CF3 | HFC-365mfc |
| ٥٠٠ | ١,٦٤٠ | ٤,١٤٠ | ١,٣٠٠ | ٠,٤ | ١٥,٩ | CF3CHFCHFCF2CF3 | HFC-43-10-mee |
| المكونات المشبعة بالفلور | | | | | | | |
| ٢٢,٦٠٠ | ٢٢,٨٠٠ | ١٦,٣٠٠ | ٢٢,٩٠٠ | ٠,٥٢ | ٣,٢٠٠ | SF ₆ | Sulphur hexafluoride |
| ٢٠,٧٠٠ | ١٧,٢٠٠ | ١٢,٣٠٠ | | ٠,٢١ | ٧٤٠ | NF ₃ | Nitrogen trifluoride |
| ١١,٢٠٠ | ٧,٣٩٠ | ٥,٢١٠ | ٦,٥٠٠ | ٠,١٠ | ٥٠,٠٠٠ | CF ₄ | PFC-14 |
| ١٨,٢٠٠ | ١٢,٢٠٠ | ٨,٦٣٠ | ٩,٢٠٠ | ٠,٢٦ | ١٠,٠٠٠ | C ₂ F ₆ | PFC-116 |

| إحتمال الإحتراق العالمي للفترة المحددة | | | الفاعلية الإشعاعية (W m ⁻² ppb ⁻¹) | الحياة (السنوات) | التركيبية الكيميائية | التسمية الصناعية أو الإسم المعروف (سنوات) |
|--|---------|--------|---|------------------|----------------------|---|
| ٥٠٠ سنة | ١٠٠ سنة | ٢٠ سنة | | | | |
| المكونات المشبعة بالفلور (يتبع) | | | | | | |
| ١٢,٥٠٠ | ٨,٨٣٠ | ٦,٣١٠ | ٧,٠٠٠ | ٠,٢٦ | ٢,٦٠٠ | C ₃ F ₈ PFC-218 |
| ١٤,٧٠٠ | ١٠,٣٠٠ | ٧,٣١٠ | ٨,٧٠٠ | ٠,٣٢ | ٣,٢٠٠ | c-C ₄ F ₈ PFC-318 |
| ١٢,٥٠٠ | ٨,٨٦٠ | ٦,٣٣٠ | ٧,٠٠٠ | ٠,٣٣ | ٢,٦٠٠ | C ₄ F ₁₀ PFC-3-1-10 |
| ١٣,٣٠٠ | ٩,١٦٠ | ٦,٥١٠ | | ٠,٤١ | ٤,١٠٠ | C ₅ F ₁₂ PFC-4-1-12 |
| ١٣,٣٠٠ | ٩,٣٠٠ | ٦,٦٠٠ | ٧,٤٠٠ | ٠,٤٩ | ٣,٢٠٠ | C ₆ F ₁₄ PFC-5-1-14 |
| ٩,٥٠٠< | ٧,٥٠٠< | ٥,٥٠٠< | | ٠,٥٦ | ١,٠٠٠< | C ₁₀ F ₁₈ PFC-9-1-18 |
| ٢١,٢٠٠ | ١٧,٧٠٠ | ١٣,٢٠٠ | | ٠,٥٧ | ٨٠٠ | SF ₅ CF ₃ Trifluoromethyl Sulphur pentafluoride |
| اثير مشبع بالفلور | | | | | | |
| ٨,٤٩٠ | ١٤,٩٠٠ | ١٣,٨٠٠ | | ٠,٤٤ | ١٣٦ | CHF ₂ OCF ₃ HFE-125 |
| ١,٩٦٠ | ٦,٣٢٠ | ١٢,٢٠٠ | | ٠,٤٥ | ٢٦ | CHF ₂ OCHF ₂ HFE-134 |
| ٢٣٠ | ٧٥٦ | ٢,٦٣٠ | | ٠,٢٧ | ٤,٣ | CH ₃ OCF ₃ HFE-143a |
| ١٠٦ | ٣٥٠ | ١,٢٣٠ | | ٠,٢٨ | ٢,٦ | CHF ₂ OCHClCF ₃ HCFE-235da2 |
| ٢١٥ | ٧٠٨ | ٢,٤٤٠ | | ٠,٣٢ | ٥,١ | CH ₃ OCF ₂ CHF ₂ HFE-245cb2 |
| ٢٠٠ | ٦٥٩ | ٢,٢٨٠ | | ٠,٣١ | ٤,٩ | CHF ₂ OCH ₂ CF ₃ HFE-245fa2 |
| ١٠٩ | ٣٥٩ | ١,٢٦٠ | | ٠,٢٨ | ٢,٦ | CH ₃ OCF ₂ CHF ₂ HFE-254cb2 |
| ١٧٥ | ٥٧٥ | ١,٩٨٠ | | ٠,٣٤ | ٥,٢ | CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CF ₃ HFE-347mcc3 |
| ١٧٥ | ٥٨٠ | ١,٩٠٠ | | ٠,٢٥ | ٧,١ | CHF ₂ CF ₂ OCH ₂ CF ₃ HFE-347pcf2 |
| ٣٣ | ١١٠ | ٣٨٦ | | ٠,٩٣ | ٠,٣٣ | CH ₃ OCF ₂ CF ₂ CHF ₂ HFE-356pcc3 |
| ٩٠ | ٢٩٧ | ١,٠٤٠ | | ٠,٣١ | ٣,٨ | C ₄ F ₉ OCH ₃ HFE-449sl (HFE-7100) |
| ١٨ | ٥٩ | ٢٠٧ | | ٠,٣ | ٠,٧٧ | C ₄ F ₉ OC ₂ H ₅ HFE-569sf2 (HFE-7200) |
| ٥٦٩ | ١,٨٧٠ | ٦,٣٢٠ | | ١,٣٧ | ٦,٣ | CHF ₂ OCF ₂ OC ₂ F ₄ OCHF ₂ HFE-43-1 0pccc124 (H-Galden 1040x) |
| ٨٦٠ | ٢,٨٠٠ | ٨,٠٠٠ | | ٠,٦٦ | ١٢,١ | CHF ₂ OCF ₂ OCHF ₂ HFE-236ca12 (HG-10) |
| ٤٦٠ | ١,٥٠٠ | ٥,١٠٠ | | ٠,٨٧ | ٦,٢ | CHF ₂ OCF ₂ CF ₂ OCHF ₂ HFE-338pcc13 (HG-01) |
| بولي اثير مشبع بالفلور | | | | | | |
| ١٢,٤٠٠ | ١٠,٣٠٠ | ٧,٦٢٠ | | ٠,٦٥ | ٨٠٠ | CF ₃ OCF(CF ₃)CF ₂ OCF ₂ OCF ₃ PPFMIE |
| الهيدروكربونات والعناصر الأخرى – التأثيرات المباشرة | | | | | | |
| <<١ | ١ | ١ | | ٠,٠٢ | ٠,٠١٥ | CH ₃ OCH ₃ Dimethylether |
| ٢,٧ | ٨,٧ | ٣١ | | ٠,٠٣ | ٠,٣٨ | CH ₂ Cl ₂ كلوريد الميثيلين |
| ٤ | ١٣ | ٤٥ | | ٠,٠١ | ١,٠ | CH ₃ Cl كلوريد الميثيل |

ملاحظات:

تشير #SAR إلى تقرير التقييم الثاني (١٩٩٥) المستخدم لرفع التقارير بموجب إتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. تعتمد وظيفة إستجابة ثاني أكسيد الكربون في هذا التقرير مع النسخة المراجعة لدورة برن للكربون المستخدمة في الفصل ١٠ من التقرير (Bern2.5CC; Joos et al. 2001) مع إستخدام تركيز ثاني أكسيد الكربون في: الخلفية بمقدار ٣٧٨ جزءاً في المليون. تعطي التركيبية التالية إنحلال هذا الغاز مع الوقت:

$$w_{\text{eff}} = a_1 e^{-t/\tau_1} + a_2 e^{-t/\tau_2} + a_3 e^{-t/\tau_3}, \quad a_1 = 0.259, a_2 = 0.338, a_3 = 0.186, \tau_1 = 172.9 \text{ years}, \tau_2 = 18.51 \text{ years}, \text{ and } \tau_3 = 1.186 \text{ years, for } t < 1,000 \text{ years.}$$

تحتسب الفاعلية الإشعاعية لثاني أكسيد الكربون باستخدام التعبير المبسط (١٩٩٠) للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ كما ورد في تقرير التقييم الثالث مع تركيز محدث بلغ ٣٧٨ جزءاً في المليون وإختلال بلغ ١+ جزء في المليون (انظر القسم ٢,١٠,٢)

يبلغ عمر إختلال الميثان ١٢ عاماً كما ورد في تقرير التقييم الثالث (انظر أيضاً القسم ٧,٤). يتضمن إحتمال الإحتراق العالمي التأثيرات غير المباشرة من زيادة الأوزون وبخار المياه في الستراتوسفير. (انظر القسم ٢,١٠)

إن العمر المفترض المحدد بألف عام هو الحد الأدنى.

تتأثر ببعض التأثيرات مثل الثورات البركانية التي ارتبطت بالتغيرات في النمط الحلقي الشمالي (NAM) وتذبذب شمالي الأطلسي (NAO). (انظر القسم ٣,١ والإطار ٢). تشير المحاكاة إلى أن امتصاص الأهباء خاصة الكربون الأسود يمكن أن يخفض الإشعاعات الشمسية الوافدة على السطح وأن يدفئ الغلاف الجوي على مستويات إقليمية، ما يؤثر على ملامح درجات الحرارة العمودية والدوران الواسع النطاق في الغلاف الجوي. {٢,٨, ٧,٥, ٩,٢}

في الأنماط المكانية للتأثيرات الإشعاعية لأوزون وتأثيرات الهباء الجوي المباشرة والتفاعلات بين الهباء الجوي والسحاب وإستخدام الأراضي، أوجه عدم يقين عديدة. هذا بالتناقض مع الثقة العالية نسبياً في النمط المكاني للتأثير الإشعاعي للغازات الطويلة العمر. من المرجح جداً أن يتخطى صافي التأثير الإشعاعي الإيجابي في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية المعدل في النصف الآخر بسبب تركيزات أدنى للهباء الجوي في النصف الجنوبي. {٢,٩}

٢, ٦ التأثير السطحي والدورة الهيدرولوجية

تشير المشاهدات والنماذج إلى أن التغيرات في التقلبات الإشعاعية على سطح الأرض تؤثر على حرارة السطح والرطوبة، وبالتالي على الدورة الهيدرولوجية. تشير الدراسات الحالية إلى أن بعض العوامل يمكن أن تؤثر على الدورة الهيدرولوجية بشكل مختلف عن الأخرى من خلال تفاعلها مع السحاب. بشكل خاص، قد تكون التغيرات في الهباء الجوي قد أثرت على التهطل وأوجه أخرى من الدورة الهيدرولوجية أكثر من عوامل التأثير البشرية المنشأ. تؤثر الطاقة الموضوعة على السطح مباشرة في التبخر ونقل الحرارة الحساس. إن التغير في التقلبات الإشعاعية الفوري على السطح (التأثير السطحي) هو أداة تشخيص فاعلة لفهم التغيرات في الحرارة ورطوبة السطح. لكن على خلاف التأثير الإشعاعي لا يمكن إستخدامه للقيام بمقارنة كمية لتأثيرات العوامل المختلفة على متوسط تغير حرارة السطح الإجمالي. لصافي التأثير الإشعاعي والتأثير السطحي مقاييس مختلفة بالنسبة إلى خط الإستواء نحو القطب في النصف الشمالي من الأرض وتختلف بين النصفين. {٢,٩, ٧,٥, ٩,٢}

من التأثير الإشعاعي المقدّر من التغير في الإشعاع الشمسي. بما أن النطاق في التقدير بلغ من +٠,٦ إلى +٢,٤ واط للتر المتر المربع الواحد، فإن هناك ثقة عالية جداً في التأثير الإشعاعي الصافي للنظام المناخي بسبب الأنشطة البشرية. تساهم غازات الدفيئة الطويلة العمر في +٢,٦٣ ± ٠,٢٦ واط للتر المتر المربع الواحد، وهو عامل التأثير الإشعاعي المسيطر وصاحب أعلى مستوى من الفهم العلمي. في المقابل، إن إجمالي تأثيرات الهباء الجوي المباشر، وبياض السحب وبياض السطح التي تساهم بالتأثيرات السلبية لها أوجه عدم يقين أكبر. يزداد نطاق صافي التقديرات بسبب شروط التأثير السلبية، ولها أوجه عدم يقين أكثر من التأثيرات الإيجابية. تظهر طبيعة عدم اليقين في تأثير بياض السحاب المقدّر عدم تناسق ملحوظ في التوزيع. تتضمن أوجه عدم اليقين في التوزيع أوجه هيكلية (على مثال تمثيل الأرقام القسوى في العناصر، غياب أي قياس للوزن في آليات التأثير الإشعاعي، احتمال تأثيرات إشعاعية غير محتسبة وغير مقاسة) وأوجه إحصائية (على مثال الافتراضات حول أنواع التوزيع التي تصف عدم يقين حول العناصر) {٢,٧, ٢,٩}

إن احتمال الإحترار العالمي هو قياس مفيد لمقارنة التأثير المرجح لإنبعاثات غازات الدفيئة الطويلة العمر على المناخ. (انظر الجدول ٢) تقارن احتمالات الإحترار العالمي التأثير الإشعاعي المدمج خلال فترة محددة (١٠٠ سنة مثلاً) من إنبعاث وحدة كمية وهي طريقة لمقارنة التغير المناخي المرجح المرتبط بإنبعاث غازات دفيئة مختلفة. لكن الوثائق تظهر أن هذا المفهوم يفشل في عدة مراحل، خاصة عند إستخدامه لتقييم تأثير الغازات القصيرة العمر. {٢,١٠}

في ما يخص قوة التأثيرات الواقعية المدروسة ونطاقها، تقترح البراهين علاقة شبه خطية بين متوسط التأثير الإشعاعي العالمي ومتوسط إستجابة حرارة السطح. تختلف الأنماط المكانية للتأثير الإشعاعي بين عوامل التأثير المختلفة. إلا أنه من غير المتوقع أن يناسب رد الفعل المكاني التأثير. تتحكم العمليات المناخية والإستجابات إلى حد بعيد بالأنماط المكانية لإستجابة المناخ. على سبيل المثال، تميل استجابات بياض جليد المحيطات إلى زيادة الإستجابة في خطوط العرض العليا. كما تتأثر الأنماط المكانية بالفروقات في الركود الحراري بين اليابسة والبحر. {٢,٨, ٩,٢}

يمكن أن يتغير نمط الإستجابة للتأثير الإشعاعي إذا ما كانت هيكلته ملائمة للتأثير على وجه معين من الهيكلية في الغلاف الجوي أو دورانه. تشير دراسات النماذج وبيانات المقارنة إلى أن أنماط الدوران في خطوط العرض الوسطى والعالية من المرجح أن

الملخص الفني ٣: مشاهدات التغيرات في المناخ

والتهطل المرتبط بأنماط تغير المناخ السائدة، أساسياً من أجل فهم عدد من نقاط الخلل المناخية الإقليمية وأسباب اختلافها عن التغيرات العالمية. قد تطرأ التغيرات في مسار العواصف، والتيارات البحرية، ومناطق ضد الأعاصير التفضيلية والتغيرات في الأمطار الموسمية، مع أنماط التغير الأفضلية هذه. {٣,٧-٣,٥}

٣,١,١ معدل درجات الحرارة العالمية

كان العام ٢٠٠٥ والعام ١٩٩٨ العامين الأكثر دفئاً في سجلات حرارة الهواء على سطح الأرض العالمية الآلية منذ العام ١٨٥٠. إرتفعت درجات السطح في العام ١٩٩٨ بسبب النينيو في ١٩٩٧-١٩٩٨ لكن لم يطرأ خلل على هذه القوة في العام ٢٠٠٥. كانت ١١ سنة من الـ ١٢ سنة الماضية (من ١٩٩٥ إلى ٢٠٠٦) - بإستثناء ١٩٩٦ - الأكثر دفئاً منذ العام ١٨٥٠. {٣,٢}

إرتفع معدل حرارة السطح العالمية خاصة منذ العام ١٩٥٠. إن التوجه المحدث لفترة ١٠٠ سنة (١٩٠٦-٢٠٠٥) الذي قدر بـ ٠,٧٤ درجة مئوية $\pm ٠,١٨$ درجة مئوية أعلى من التوجه الإحترار لفترة ١٠٠ سنة عند صدور تقرير التقييم الثالث (١٩٠١-٢٠٠٠) الذي قدر بـ ٠,٦٠ درجة مئوية $\pm ٠,٢$ درجة مئوية بسبب أعوام دافئة إضافية. بلغ إرتفاع الحرارة الإجمالي من فترة ١٨٥٠-١٨٩٩ إلى فترة ٢٠٠١-٢٠٠٥، ٠,٧٦ درجة مئوية $\pm ٠,١٩$ درجة مئوية. كما بلغ معدل الإحترار خلال الأعوام الخمسين الماضية ٠,١٣ درجة مئوية $\pm ٠,٠٣$ درجة مئوية أي حوالي ضعفي معدل المئة سنة الماضية. تظهر ثلاثة تقديرات عالمية مختلفة توجهات إحترار متناغمة. كما أن مجموعات البيانات في كل من مجال اليابسة والمحيط تتناسق مع درجة حرارة سطح البحر ودرجة حرارة هواء البحر خلال الليل (انظر الملخص الفني، الرسم ٦). {٣,٢}

تؤكد الدراسات الحديثة أن تأثيرات التحضر وتغير استخدام الأراضي على سجلات الحرارة العالمية ضئيلة (أقل من ٠,٠٠٦ درجة مئوية في العقد الواحد على اليابسة ومعدومة فوق المحيط) في ما يخص المعدلات القارية والمرتبطة بأحد نصفي القارة. تخضع المشاهدات كلها للتحقق من نوعية البيانات وتناسقها لتصحيح التحيز المرجح. يتم إحتساب التأثيرات الحقيقية لكن المحلية للمناطق الحضرية في بيانات درجة حرارة اليابسة المستخدمة. لا ترتبط تأثيرات التحضر وإستخدام الأراضي بإحترار المحيطات المنتشر الملاحظ. تشير البراهين إلى أن تأثيرات الجزيرة الحرارية الحضرية تؤثر أيضاً على التهطل والسحاب ونطاق الحرارة خلال النهار. {٣,٢}

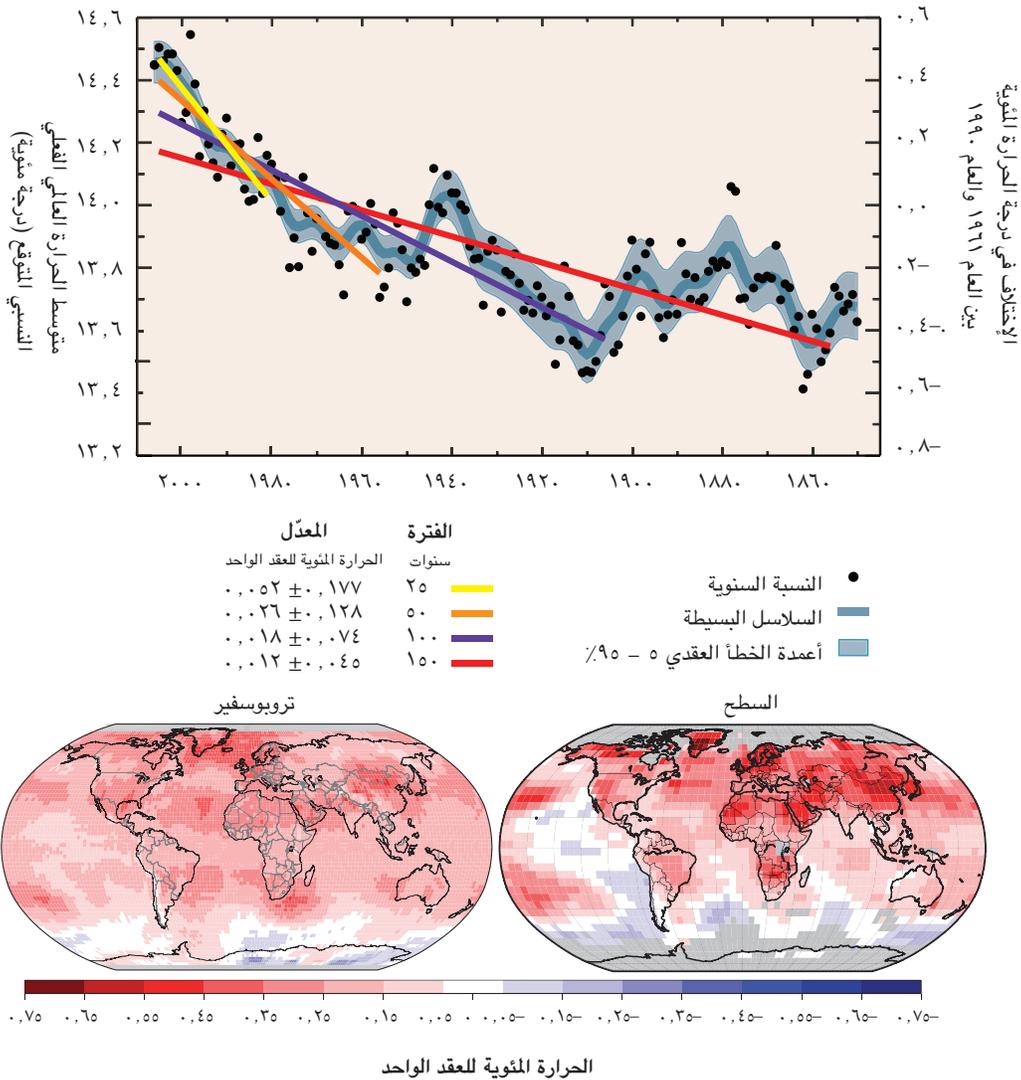
يقيم هذا التقرير التغيرات في نظام الأرض المناخي، ولا يكفي بدراسة الغلاف الجوي بل يتناول المحيطات والغلاف الجليدي والظواهر كالتغيرات في التنقل في الغلاف الجوي، بهدف تعزيز فهم توجهات التغير المناخي، وتغيراته وعملياته على المستويين العالمي والإقليمي. يختلف طول سجلات المشاهدات التي تستخدم منهجيات مباشرة كما يرد أدناه، بالإضافة إلى ذكر تقديرات الحرارة العالمية بدءاً من العام ١٨٥٠. كما تخضع حالات الطقس والمناخ القسوى للنقاش، ويتم وصف التغيرات المشاهدة في الحالات المتطرفة. كما يتم وصف تناسق التغيرات المشاهدة بين متغيرات مناخية مختلفة لرسم صورة أشمل. أخيراً، يتم تقييم المعلومات المناخية الماضية التي تستخدم عادةً وبشكل غير مباشر، الوكلاء لنقل المعلومات حول التغير المناخي على فترات الزمنية أطول (تصل إلى ملايين السنوات).

٣,١ التغيرات في الغلاف الجوي: السجلات الآلية

يتضمن هذا التقييم تحليلاً للمعدلات العالمية ولكل نصف من الكرة الأرضية، والتغيرات على اليابسة وفي المحيطات، وتوزيع التوجهات في خطوط العرض وخطوط الطول والإرتفاع. منذ تقرير التقييم الثالث، تسمح التطورات في المشاهدات وقياسها، والتحليل الأكثر تفصيلاً للمنهجيات والمهل الزمنية الممتدة، بالقيام بتحليلات أعمق للتغيرات، ومن بينها حرارة الغلاف الجوي، والتهطل، والرطوبة، والهواء، والدوران. إن حالات المناخ القسوى هي تعبير أساسي عن تغير المناخ، ويتضمن هذا التقييم بيانات جديدة تسمح بمشاهدات محسنة للتغيرات في عدة أنواع من الأحداث القسوى ومن بينها موجات الحر والجفاف والتهطل الغزير والأعاصير المدارية (تشمل الأعاصير والتيفونات). {٣,٢-٣,٤، ٣,٨}

بالإضافة إلى ذلك، لقد تحقق تقدّم منذ تقرير التقييم الثالث في فهم كيف يمكن وصف عدد من نقاط الخلل الموسمية والطويلة الأمد من خلال أنماط تغير المناخ. تتأثّر هذه الأنماط من التفاعلات الداخلية ومن التأثيرات اليابسة والمحيط والجبال والتغيرات الكبيرة في التدفئة على الغلاف الجوي. فإستجابة هذه العناصر لتأثيرات في مناطق بعيدة عن مصدرها الفيزيائي من خلال الروابط عن بعد في الغلاف الجوي مرتبطة بموجات واسعة النطاق في الغلاف الجوي. يعتبر فهم الخلل في الحرارة

توجهات الحرارة العالمية الحرارة النسبية العالمية

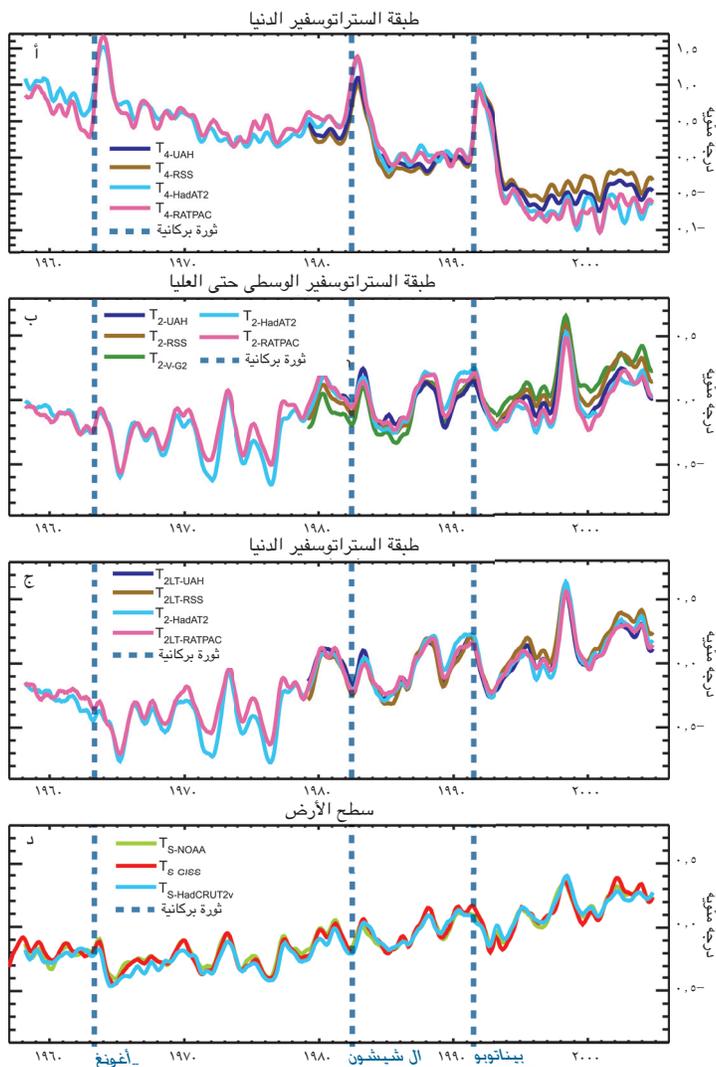


الرسم ٦. (أعلى) أنماط توجهات درجات الحرارة العالمية الخطية بين العامين ١٩٧٩ و ٢٠٠٥ المقدرة على سطح الأرض (يسار)، وللتروبوسفير من سجلات الأقمار الصناعية (يمين). يشير الرمادي إلى المناطق التي لم تكتمل البيانات حولها. (أسفل) متوسط درجات الحرارة السنوية العالمية (النقاط السوداء) مع قياسات خطية في البيانات. يظهر المحور لجهة اليسار إختلالات في الحرارة مرتبطة بمعدّل ١٩٦١-١٩٩٠ ويظهر المحور على اليمين درجات الحرارة المقدرة الحالية، بالدرجة المثوية. تظهر الإتجاهات الخطية للألوان الـ ٢٥ (أصفر) ١٠٠ (برتقالي) ١٥٠ (أحمر) سنة الماضية. تظهر التموجات الزرقاء المتساوية التغيرات العقدية (انظر الوثيقة المضافة A.3) مع نطاق خطأ عقدي يبلغ 90٪ ظاهر على شكل خط عريض بالأزرق الفاتح. بلغ إجمالي ارتفاع درجة الحرارة في فترة ١٨٥٠-١٨٩٩ وحتى فترة ٢٠٠١-٢٠٠٥ مقدار 0.76 ± 0.19 درجة مئوية. (الرسم ١، الأسئلة ٣، ١)

تشير التحليلات الجديدة لقياسات المسبار اللاسلكي والأقمار الصناعية لدرجة الحرارة في أدنى التروبوسفير ووسطه إلى أن معدلات الإحترار متناسقة في ما بينها ومع معدلات درجة حرارة سطح الأرض مع نقاط عدم اليقين لفترة ١٩٥٨ - ٢٠٠٥ وفترة ١٩٧٩ - ٢٠٠٥. يشكّل ذلك حلّاً لخلل ذكره تقرير التقييم الثالث (انظر الملخّص الفني، الرسم ٧). إن سجل المسبار اللاسلكي أقلّ إكتمالاً من ناحية الإتساع من سجل سطح الأرض، وتشير البراهين إلى

توقف متوسط نطاق الحرارة خلال النهار عن التراجع. أفاد تقرير التقييم الثالث عن تراجع في مدى الحرارة خلال النهار بلغ حوالي ٠,١ درجة مئوية في العقد الواحد بين ١٩٥٠ و ١٩٩٤. تظهر المشاهدات المحدثة أن متوسط نطاق الحرارة خلال النهار لم يتغيّر من عام ١٩٧٩ إلى عام ٢٠٠٤ فيما ارتفعت درجات الحرارة خلال الليل ودرجات الحرارة خلال النهار بالمعدّل ذاته. تتغيّر التوجهات كثيراً من منطقة إلى أخرى. {٣,٢}

درجات حرارة الهواء الملحوظة



الرسم ٧. درجات حرارة السطح والهواء العالي في التروبوسفير العليا والستراتوسفير الدنيا، تظهر كإختلالات شهرية مرتبطة بمرحلة ١٩٧٩-١٩٩٧ مع فترة فلتر لسبع سنوات، تشير الخطوط المخرطة إلى أوقات الثورات البركانية الهامة. الرسم {٣، ١٧}

٣، ١، ٢ التوزيع المكاني لتغيرات الحرارة والدوران والمتغيرات ذات الصلة

ارتفعت حرارة سطح الأرض فوق مناطق اليابسة بوتيرة أسرع من فوق المحيطات في النصفين من الكرة الأرضية. تظهر سجلات أطول تتوفر اليوم معدلات إحتراق أسرع فوق اليابسة منها فوق المحيطات خلال العقدين الماضيين (حوالي ٠،٢٧ درجة مئوية مقابل ٠،١٣ درجة مئوية في العقد الواحد). {٣، ٢}

أن عدداً من مجموعات البيانات المسبار اللاسلكي تبقى غير موثوقة خاصة في المناطق المدارية. وتبقى عدة إختلافات بين توجهات درجات حرارة التروبوسفير المختلفة المقدره من وحدة سبر بالموجات المتناهية القصر، وما زالت قياسات الوحدة المتقدمة منذ العام ١٩٧٩ وغيرها تحتوي على أخطاء متبقية. لكن تقديرات التوجهات خضعت لتحسينات هامة وتم تخفيض الإختلافات في مجموعات البيانات منذ تقرير التقييم الثالث، من خلال تصحيح الأقمار الصناعية المتغيرة، والتهايوي المداري والانحراف في وقت التجاوز المحلي (تأثيرات الدورة النهارية). يبدو أن سجلات درجات حرارة التروبوسفير التي أخذتها الأقمار الصناعية متناسقة إلى حد بعيد مع توجهات حرارة سطح الأرض إذا ما تم إحتساب تأثير الستراتوسفير على القناة ٢ من وحدة سبر بالموجات المتناهية القصر. يتراوح نطاق إحتراق سطح الأرض العالمي في مجموعات البيانات المختلفة منذ العام ١٩٧٩، بين ٠،١٦ درجة مئوية و٠،١٨ درجة مئوية في العقد الواحد، مقارنة بالتقديرات المستقاة من وحدة سبر بالموجات المتناهية القصر لحرارات التروبوسفير التي تراوحت بين ٠،١٢ درجة مئوية و٠،١٠ درجة مئوية. من المرجح أن يزداد الإحتراق مع إزدياد الإرتفاع عن سطح الأرض في معظم التروبوسفير في المناطق المدارية، وأن تنخفض الحرارة في الستراتوسفير، بالإضافة إلى توجه نحو تروبوز أعلى. {٣، ٤}

تتوافق تقديرات حرارة الستراتوسفير من المسبار اللاسلكي المصححة ومن الأقمار الصناعية ومن إعادة التحليل جميعها لجهة النوعية مع تبريد تراوح بين ٠،٣ درجة مئوية و٠،٦ درجة مئوية للعقد الواحد

منذ العام ١٩٧٩ (انظر الملخص الفني، رسم ٧). تشير سجلات المسبار اللاسلكي الأطول (منذ ١٩٥٨) إلى تبريد في الستراتوسفير، لكنها خاضعة لنقاط عدم يقين آلية هامة، إرتفع معدل التبريد بعد العام ١٩٧٩ لكنه تباطأ خلال العقد الماضي. من المرجح أن تكون سجلات المسبار اللاسلكي مفرطة في تقدير التبريد في الستراتوسفير بسبب التغيرات في السبر التي لم تؤخذ بعين الإعتبار بعد. التوجهات ليست متشابهة بسبب مراحل الإحتراق في الستراتوسفير بعد الثورات البركانية الكبيرة. {٣، ٤}

الإطار ٢: توجّهات (أنماط) تقلبيّة المناخ

أظهر تحليل تقلبيّة الغلاف الجوي والمناخ أن عنصراً هاماً يمكن أن يكون موضوع وصفٍ من خلال التدفقات في نطاق ومؤشرات الخاصة بعدد محدود نسبياً من أنماط التغيّر التفضيلية. من الأنماط الأكثر شهرة:

- التذبذب الجنوبي/النينيو، وهو تذبذب مزدوج (ENSO) في الغلاف الجوي وفي المحيط الهادئ الإستوائي، مع فترات زمنية تفضيلية تتراوح بين سنتين و٧ سنوات. غالباً ما يتم قياس التذبذب الجنوبي/النينيو من خلال الفرق في شذوذ ضغط السطح بين تاهيتي وداروين و درجات حرارة سطح البحر في منطقة الهادئ الإستوائي الشرقي والمتوسط. والتذبذب الجنوبي/النينيو عالمي النطاق.



- التذبذب الشمال أطلسي (NAO)، وهو قياس قوة متدنٍ في أيسلندا ومرتفع الأزوريس والرياح الغربية بينها بشكل أساسي في الشتاء. كما يرتبط بتدفقات في مسار العواصف والحرارة والتهطل من شمال الأطلسي نحو المنطقة الأوروبية الآسيوية. (الإطار ٢، الرسم ١)

- النمط الحلقي الشمالي (NAM)، وهو تقلبيّة شتائية في نطاق نمطٍ يتميز بضغط سطحٍ متدنٍ في القطب الشمالي ورياحٍ غربية قوية عند خطوط العرض الوسطى. يرتبط بالدوامة القطبية الشمالية وبالتالي بالستراتوسفير.

- النمط الحلقي الجنوبي (SAM)، وهو تقلبيّة نمطٍ يتميز بضغط سطحٍ متدنٍ في القطب الجنوبي ورياحٍ غربية قوية في خطوط العرض الوسطى، وهو شبيه بالنمط الحلقي الشمالي لكنه موجود على مدار السنة.

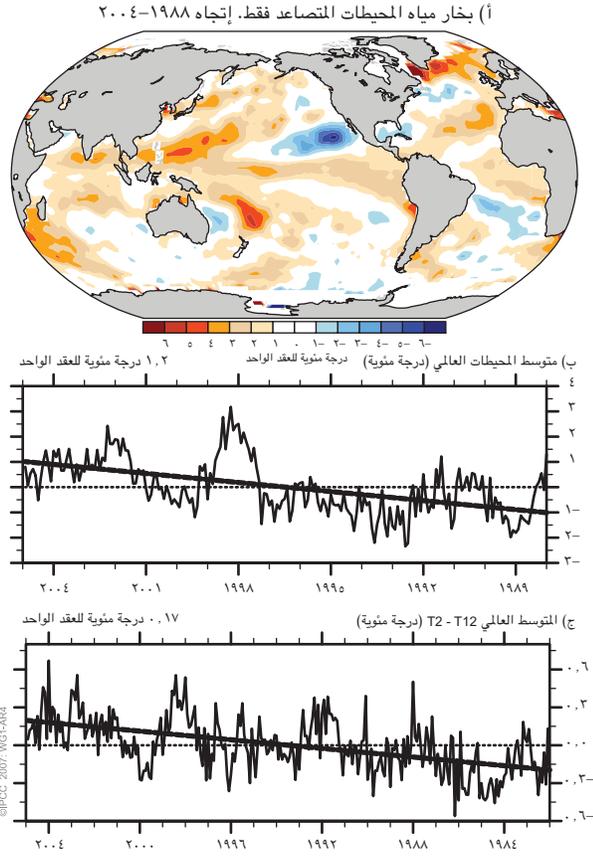
- نمط الهادئ - أميركا الشمالية (PNA)، نمط موجة واسعة النطاق في الغلاف الجوي، تتميز بسلسلة من الخلل العالي والامتدني الضغط يمتد من غربي الهادئ شبه المداري إلى الشاطئ الشرقي لأميركا الشمالية.

الإطار ٢. الرسم ١. رسم للتغيّرات المرتبطة بالمرحلة الإيجابية من التذبذب الشمالي الأطلسي والنمط الحلقي الشمالي. تظهر التغيّرات في الضغط الجوي والهواء، بالإضافة إلى التغيّرات في التهطل. تشير الألوان الدافئة إلى المناطق الأكثر دفئاً من العادة والأزرق إلى المناطق الأكثر برداً من العادة.

- التذبذب العقدي في الهادئ (PDO)، وهو قياس درجات حرارة سطح البحر في شمال الهادئ، ذو ارتباط شديد بقياس مؤشر شمال الهادئ لعمق منخفض الجزر الألوية Aleutian Low. لكنه يمتلك تأثيراً في معظم أرجاء الهادئ.

يسعى بحث اليوم إلى تحديد إلى أي مدى يمكن اعتبار التقلبية توجّهات التفضيلية هذه كأنماط حقيقية في النظام المناخي. لكن تظهر براهين أن وجودها يمكن أن يؤدي إلى إستجابات إقليمية أوسع نطاقاً لتأثير يفوق التوقعات. يمكن النظر إلى عدد من التغيّرات المناخية الملحوظة في القرن العشرين بالتحديد من خلال التغيّرات في هذه الأنماط. من الهام إذاً إختبار قدرة النماذج المناخية لمحاكاتها (القسم ٤، الإطار ٧) والنظر في مدى ارتباط التغيّرات الملحوظة المرتبطة بهذه الأنماط بالتقلبية الداخلية أو بتغيّر المناخ البشري المنشأ. {٨، ٤، ٣، ٦}

بخار المياه في الغلاف الجوي



الرسم ٨. (أ) التوجهات الخطية في مياه التهطل (إجمالي بخار المياه العمودي) بين العامين ١٩٨٨ و ٢٠٠٤ (في % في العقد) و (ب) السلسلة الزمنية الشهرية للاختلافات المرتبطة بالفترة الظاهرة، على المحيط العالمي مع توجه خطي. (ج) يعطى متوسط الإشعاع العالمي (من خط 80°N إلى 80°S) للربطية في أعلى التروبوسفير من خلال سلسلات زمنية شهرية لمجموعات من إختلافات الحرارة مأخوذة من سطوع الأقمار الصناعية (بالدرجة المئوية) لفترة ١٩٨٢-٢٠٠٤. وتظهر الخطوط المرقطة الإتجاه الخطي لحرارات السطوع الأساسية بالدرجة المئوية في العقد. {٣، ٤}، الرسم ٣، ٢٠

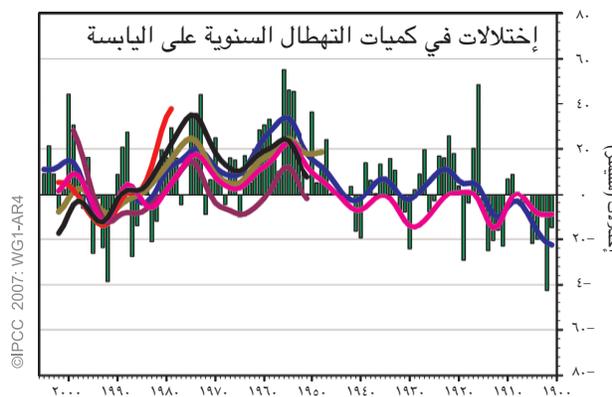
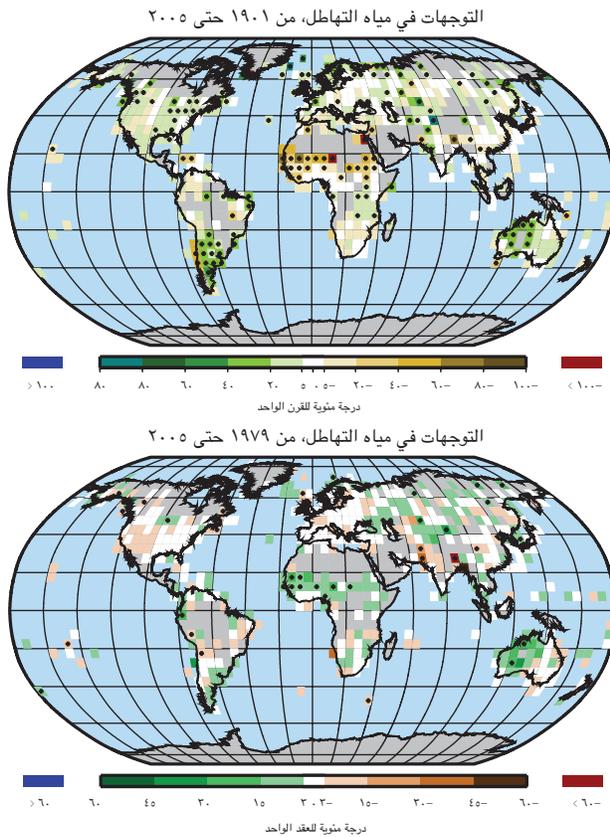
التذبذب الشمال أطلسي (انظر الإطار ٢ لمزيد من الشرح حول هذا الموضوع والأنماط الأفضلية الأخرى). وُصفت خصائص التقلبات في الرياح الغربية المتوسطة في النصفين من الكرة الأرضية مؤخراً من خلال «أنماطها الحلقية»، النمط الحلقي الشمالي (NAM) والنمط الحلقي الجنوبي (SAM). يمكن اعتبار التغيرات الملحوظة على أنها نقلة الدوران نحو الهيكلية المرتبطة بمؤشر واحد من هذه الأنماط التفضيلية. يمكن الإعتبار أن إلى الرياح الغربية المتزايدة عند خطوط العرض المتوسطة في شمال الأطلسي تعكس تغيرات التذبذب الشمال الأطلسي (NAO) أو النمط الحلقي الشمالي. كما تتضح التقلبية خلال العقود العديدة في

انتشر الإحترار خلال الأعوام الثلاثين الماضية في الكرة الأرضية كلها وبلغ أعلى المستويات في خطوط العرض الشمالية. حدث أهم إحترار في شتاء النصف الشمالي من الكرة الأرضية (DJF) والربيع (MAM). إرتفع معدل درجات الحرارة في القطب الشمالي بضعف وتيرة إرتفاعه في بقية أنحاء الكرة الأرضية خلال المئة سنة الماضية. لكن درجات الحرارة في القطب الشمالي تتغير كثيراً. شهد القطب الشمالي فترة إحترار أطول من العادة بشكل ضئيل مشابهة للإحترار الحالي بين العامين ١٩٢٥ و ١٩٤٥، لكن يبدو أن توزيعها الجغرافي يختلف منذ الإحترار الأخير بما أنها لم تكن عالمية الإتساع. {٣، ٢}

تشير البراهين إلى تغيرات على المدى الطويل في الدوران الواسع النطاق في الغلاف الجوي على غرار الإنتقال نحو القطب وإزدياد قوة الرياح الغربية. يمكن أن تختلف التوجهات المناخية الإقليمية كثيراً عن المعدل العالمي، ما يعكس التغيرات في حركات الدوران والتفاعلات للغلاف الجوي والمحيطات وعناصر النظام المناخي الأخرى. بلغت قوة الرياح الغربية في منطقة خطوط العرض الوسطى ذروتها في النصفين من الكرة الأرضية في معظم المواسم بدءاً من العام ١٩٧٩ على أقل تقدير وصولاً حتى نهاية التسعينيات، وتم توثيق إنتقالات نحو القطب للتيارات البحرية الأطلسية والقطبية الجنوبية الأمامية. إزدادت الرياح الغربية في النصف الشمالي من الكرة الأرضية بين الستينيات والتسعينيات، لكنها عادت وبلغت مستويات قريبة من المعدل الطويل الأمد. تغير قوة الرياح الغربية المتزايدة في النصف الشمالي للكرة الأرضية التدفق من المحيطات نحو القارات، وهي عامل أساسي في التغيرات الملحوظة في مسارات العواصف في الشتاء وأنماط توجهات التهطل والحرارة ذات الصلة في خطوط العرض الوسطى والعليا. تؤكد تحليلات الهواء ومعدلات الحر المرتفعة الهامة البراهين التي تعتمد على إعادة التقييم للتغيرات في العواصف خارج المدارية في النصف الشمالي للكرة الأرضية بدءاً من سجلات إعادة التقييم في أواخر السبعينيات حتى نهاية التسعينيات. يصاحب هذه التغيرات توجه نحو دوامات شتوية قطبية أقوى في التروبوسفير والاستراتوسفير الدنيا. {٣، ٥، ٣، ٢}

يمكن وصف عدد من التغيرات المناخية الإقليمية من خلال أنماط أفضلية لتقلبية المناخ، أي على أنها تغيرات في ورود المؤشرات التي تميز قوة هذه الأنماط ومراحلها. غالباً ما تم رصد أهمية التقلبات في الرياح الغربية ومسارات العواصف في الشمالي الأطلسي على مر الفترات الزمنية، ويتم وصف تلك التقلبات من خلال

معدّل التهطال العالمي



الرسم ٩. (أعلى) توزيع التوجهات الخطية في كميات التهطال السنوية على اليابسة خلال فترة ١٩٠١-٢٠٠٥ (% في القرن). ما من بيانات كافية للمناطق الرمامدية لتحديد الإتجاهات الملائمة. تعتمد النسبة المئوية على فترة ١٩٦١-١٩٩٠. (أسفل) السلسلات الزمنية للإختلالات في معدّلات التهطال السنوية على اليابسة للفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٦١-١٩٩٠ القاعدة من ١٩٠٠ حتى ٢٠٠٥. تظهر التوجهات التقلبية العقدية البسيطة (انظر الوثيقة الإضافية A.3) لمجموعات بيانات مختلفة. {٣,٢}، {٣,١٢} والرسم {٣,١٢}

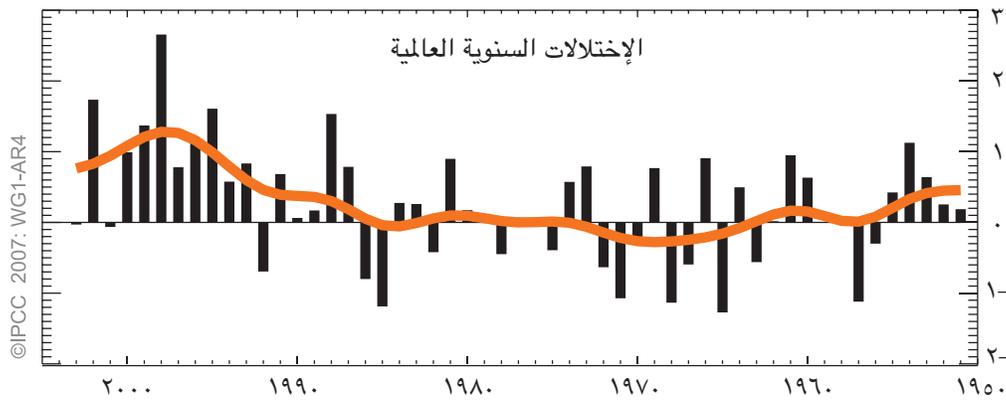
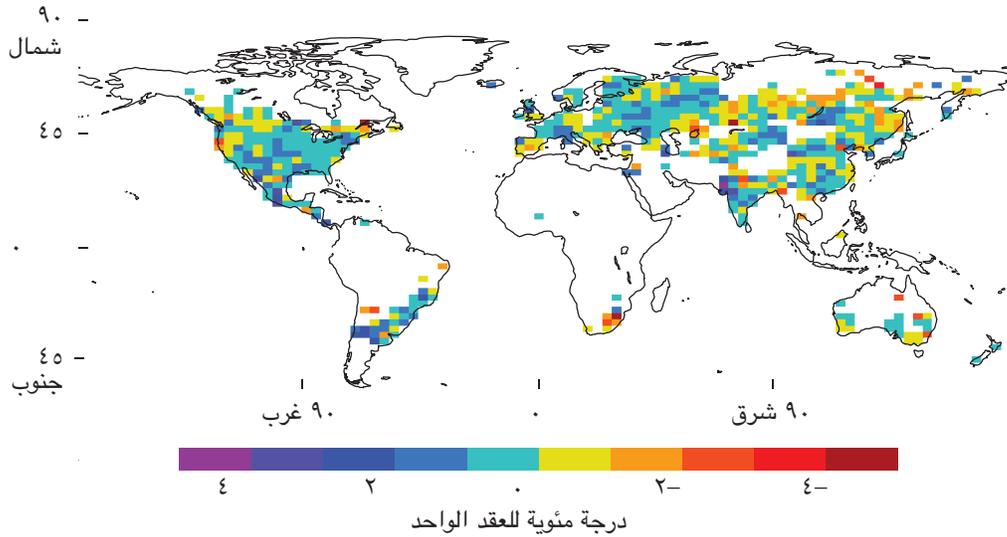
الأطلسي وفي الغلاف الجوي وفي المحيط على حد سواء. أما في النصف الجنوبي للكرة الأرضية فترتبط التغيرات في الدوران المتعلقة بزيادة النمط الحلقي الجنوبي من الستينيات حتى اليوم بإحتراق قوي فوق شبه الجزيرة الأطلسية، وإلى مدى محدود، بالتبريد فوق مناطق من أنتاركتيكا القارية. شوهدت تغيرات أيضاً في التفاعلات ما بين المحيط والغلاف الجوي في الهادئ. إن التذبذب الجنوبي / النينو هو النمط الطاعي بين أنماط التقلبية العالمية النطاق، وذلك على نطاقات زمنية سنوية بينية، على الرغم من أنه لم يظهر في بعض الأوقات. حدثت نقلة في المناخ في العام ١٩٧٦-١٩٧٧ مرتبطة بتغير المراحل في تذبذب الهادئ العقدي (PDO) نحو مزيد من أحداث النينو وتغيرات في تطور التذبذب الجنوبي / النينو، وأثرت على عدة مناطق، ومن بينها معظم الرياح الموسمية المدارية. على سبيل المثال، يبدو أن تغيرات التذبذب الجنوبي / النينو والتغيرات في الهادئ - أميركا الشمالية المرتبطة بالعلاقات عن بعد قد أدت إلى تغيرات متناقضة فوق أميركا الشمالية، فيما شهد الجزء الغربي إحتراقاً أعلى من الجزء الشرقي الذي أصبح أكثر رطوبة وأكثر سحاباً. هناك تغير هام بوتيرة متدنية في الغلاف الجوي في قطاع الهادئ خلال القرن العشرين، مع فترات مطولة من الدوران الضعيف (١٩٠٠-١٩٢٤، ١٩٤٧-١٩٧٦) والقوي (١٩٢٥-١٩٤٦، ١٩٧٧-٢٠٠٣). {٣,٦، ٣,٥، ٣,٢}

تتماشى التغيرات في أقصى درجات الحرارة مع الإحتراق. تُظهر المشاهدات إنخفاضاً منتشرأ لعدد أيام الجليد في مناطق خطوط العرض الوسطى، وإرتفاعاً في عدد درجات الحر القصوى (١٠٪ الأكثر حرأ من الأيام والليالي)، وتراجعاً في عدد درجات البرد القصوى خلال النهار (١٠٪ الأكثر برداً من الأيام والليالي) (انظر الإطار ٥). طرأت أكثر التغيرات اللافتة في تراجع عدد الليالي الباردة بين العامين ١٩٥١ و٢٠٠٣ لكل المناطق التي تتوفر عنها البيانات (٧٦٪ من اليابسة). {٣,٨}

إزدادت فترة موجات الحر بدءاً من النصف الثاني للقرن العشرين. إن موجة الحر القياسية فوق غرب أوروبا وأوروبا الوسطى خلال صيف ٢٠٠٣ هي مثال عن حالة قصوى إستثنائية حديثة. كان ذلك الصيف (JJA) الأكثر حرأ منذ بدء التسجيلات الآلية للمقارنة في حوالي العام ١٧٨٠ (١,٤ درجة مئوية فوق أقصى درجة حرسجلت في ١٨٠٧). كان جفاف سطح الأرض خلال الربيع في أوروبا عاملاً هاماً في إحداث الدرجات القصوى في العام ٢٠٠٣. تشير البراهين إلى إزدياد وتيرة موجات الحر أيضاً وطول مدتها في أمكنة أخرى. تؤكد العلاقة الوثيقة جداً بين الجفاف الملحوظ ودرجات الحرارة المرتفعة فوق اليابسة في

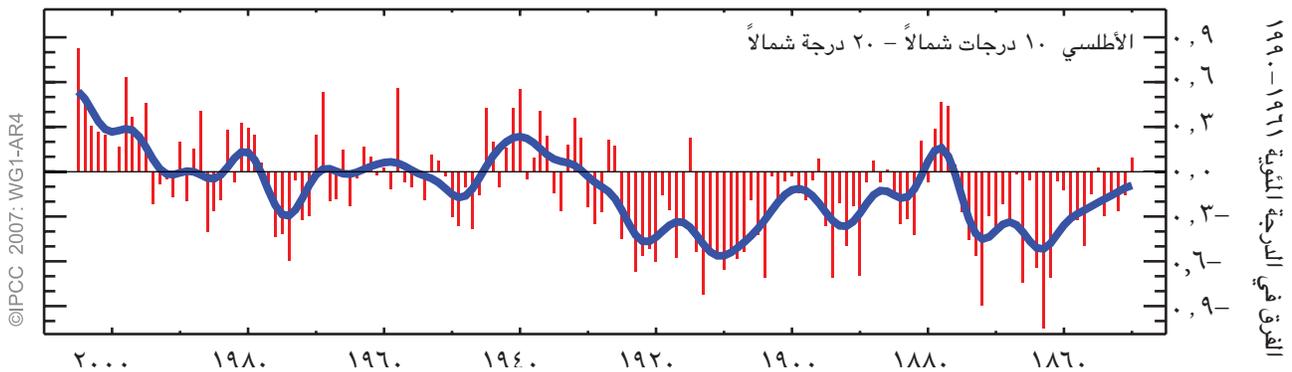
توجهات التهطل السنوية

نسبة التوجه المئوية للعقد الواحد بين العامين ١٩٥١ و ٢٠٠٣ لمساهمة الأيام الرطبة جداً



الرسم ١٠. (أعلى) التوجهات الملحوظة (% للعقد) خلال فترة ١٩٥١-٢٠٠٣ في المساهمة في التهطل السنوي الإجمالي خلال الأيام الرطبة جداً (أي ٩٥% وما فوق). ما من بيانات كافية حول المناطق البيضاء من اليابسة لتحديد التوجهات. (أسفل) الإختلالات (% للسلسلة الزمنية السنوية العالمية) المناطق التي تظهر بياناتها في اللوح الأعلى) للأيام الرطبة جداً (الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٦١-٢٠٠٣) تحدد كالتغير المئوي من متوسط الفترة القاعدة (٢٢,٥%). تظهر التوجهات البرتقالية البسيطة التقبلية العقدية (انظر الوثيقة الإضافية A.3). (لرسم ٣,٣٩)

الخلل السنوي في درجات حرارة سطح البحر



الرسم ١١. الإختلالات السنوية في درجات حرارة سطح البحر الأطلسية المدارية (10°N-20°N) بالدرجة المئوية في منطقة تشكّل الأعاصير الأطلسية المرتبطة بمتوسط ١٩٦١-١٩٩٠. (الرسم ٣,٣)

المناطق المدارية خلال الصيف دور الرطوبة الهام في تعديل المناخ. {٣,٨}،
{٣,٩}

ما من براهين كافية لتحديد ما إذا كانت التوجهات موجودة في أحداث كالأعاصير والبرد والبرق وعواصف الغبار التي تحدث على نطاق مكاني صغير. {٣,٨}

٣,١,٣: تغيّرات في دورة المياه: بخار المياه والسحاب والتهطال والعواصف المدارية

يزداد بخار المياه في التروبوسفير (انظر الملخص الفني، الرسم ٨). إزدادات رطوبة السطح بشكل عام منذ العام ١٩٧٦ بسبب الارتباط الوثيق بين درجات الحرارة المرتفعة فوق اليابسة والمحيط. إزداد إجمالي بخار المياه العمودي فوق المحيطات العالمية بمقدار $1,2 \pm$ ٠,٣٪ في العقد الواحد (٩٥٪ حدود الثقة) بين العامين ١٩٨٨ و٢٠٠٤. تتماشى التغيّرات الإقليمية الملحوظة من ناحية النمط والكم مع التغيّرات في درجة حرارة سطح البحر ومع الافتراض بإزدياد الرطوبة نسبياً بشكل شبه مستمر في نسبة إختلاط بخار المياه. يؤدي بخار المياه المتزايد في الغلاف الجوي إلى مزيد من توفر الرطوبة للتهطال. {٣,٤}

يزداد أيضاً بخار المياه في أعلى التروبوسفير. من الصعب اليوم تقييم التغيّرات على المدى الطويل في بخار المياه في أعلى التروبوسفير، حيث تمتلك أهمية إشعاعية وذلك بسبب محدودية الآليات المتوفرة. لكن البيانات المتوفرة اليوم تقدّم براهين على الإزدياد العالمي في الرطوبة الخاصة بأعلى التروبوسفير خلال العقدين الماضيين (انظر الملخص الفني، الرسم ٨). تتماشى هذه المشاهدات مع الإرتفاع الملحوظ في درجات الحرارة وتمثل تقدماً هاماً منذ تقرير التقييم الثالث. {٣,٤}

يتحكم التذبذب الجنوبي/النينيو بالتغيّرات في السحاب. صادف التراجع المنتشر (لكن غير موجود في كل مكان) في DTR القاري مع إزدياد كمية السحاب. لا تتفق المشاهدات على السطح مع مشاهدات الأقمار الصناعية حول التغيّرات بشكل عام وحول تغيّرات السحاب المتدنية المستوى فوق المحيط. لكن يبدو أن تغيّرات الإشعاع في أعلى الغلاف الجوي منذ الثمانينيات وحتى التسعينيات (من المرجح أن تكون مرتبطة جزئياً بظاهرة النينيو) ترتبط بتراجع غطاء السحاب المداري الأعلى مستوى، وتتماشى مع التغيّرات في رصيد الطاقة في محتوى المحيط الحراري. {٣,٤}

إن «الإظلام العالمي» ليس عالمياً في اتساعه ولم يستمر بعد

العام ١٩٩٠. للإنخفاض المذكور في الإشعاع الشمسي على سطح الأرض بين العامين ١٩٧٠ و١٩٩٠ تحيّر حضري. بالعكس تماماً، فقد شهدت إزدياداً منذ العام ١٩٩٠، تقريباً. يؤدي حمل الهباء الجوي المتزايد بسبب الأنشطة البشرية إلى تراجع نوعية الهواء الإقليمي وكمية الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض. في بعض المناطق مثل أوروبا الشرقية، يقيم الرصد الأخير للعملية العكسية لمؤشر هذا التأثير رابطاً ما بين التغيّرات في الإشعاع الشمسي وبين تحسين نوعية الهواء بالتوازي. {٣,٤}

شوهدت توجهات طويلة الأمد في كميات التهطال بين العامين ١٩٠٠ و٢٠٠٥ في عدة مناطق كبيرة (انظر الملخص الفني، الرسم ٩). كما شوهد إزدياد هام في التهطال في المناطق الشرقية من أميركا الشمالية والجنوبية، وأوروبا الشمالية، وآسيا الشمالية والوسطى. وشوهد الجفاف في الساحل، ومنطقة المتوسط، وأفريقيا الجنوبية وفي مناطق من آسيا الجنوبية. يتغيّر التهطال لجهة الزمان والمكان، ولم تُلاحظ توجهات صلبة على المدى الطويل لمناطق كبرى أخرى. {٣,٣}

شوهد إرتفاع هام في أحداث التهطال العنيفة. ومن المرجح أن تكون أحداث التهطال العنيفة قد إزدادت (فوق ٩٥٪ على سبيل المثال) في عدة مناطق من اليابسة منذ العام ١٩٥٠ تقريباً، حتى في تلك المناطق التي شهدت إنخفاضاً في إجمالي كم التهطال. أفيد أيضاً عن إزدياد في أحداث التهطال النادرة (١ كل ٥٠ عاماً)، لكن البيانات المتوفرة لا تضم إلا مناطق معدودة فلا تكفي لتقييم هذه التوجهات على نحو موثّق (انظر الملخص الفني، الرسم ١٠). {٣,٨}

تتوفر براهين بعد المشاهدة على إزدياد في نشاط الأعاصير المداري الكثيف في شمال الأطلسي منذ العام ١٩٧٠ تقريباً، ترتبط بإزدياد في درجات حرارة سطح البحر المدارية. وتشير البراهين أيضاً إلى إزدياد في نشاط الأعاصير المداري الكثيف في مناطق أخرى حيث تولي أهمية أكبر لنوعية البيانات. إن التغيّر خلال عدة عقود ونوعية سجلات الأعاصير المدارية قبل رصد الأقمار الصناعية الروتينية منذ العام ١٩٧٠ تقريباً تعدّد رصد التوجهات طويلة الأمد في نشاط الأعاصير المداري، وما من توجه واضح في الأعداد السنوية للأعاصير المدارية. تشير تقديرات قوة التدمير المرجحة للأعاصير المدارية إلى توجه تصاعدي مرجح منذ منتصف السبعينيات، مع اتجاه نحو تمديد حياتها وإزدياد قوتها. كما تظهر التوجهات في درجات حرارة سطح المياه، وهي متغيّرة هامة تؤثر على تطور الأعاصير المدارية (انظر الملخص الفني، الرسم ١١). تنتج التغيّرات في عدد للأعاصير

^٥ إن المناطق الخاضعة للتقييم هي تلك الواردة في فصل التوقعات الإقليمية من تقرير التقييم الثالث وفي الفصل ١١ من هذا التقرير.

الإطار ٣: دينامية الصفائح الجليدية وإستقرارها

إن الصفائح الجليدية هي كتل جليد سميكة وواسعة تتألف بشكل أساسي من الثلج المضغوط. تنتشر بفعل ثقلها وتنقل الثقل نحو هوامشها، حيث تزول بشكل أساسي بفعل ذوبان سطحها أو بتحول الجبال الجليدية إلى بحار أو بحيرات هامشية. تطوف الصفائح الجليدية بفعل التحول في داخل الجليد أو بفعل إنزلاقها على المياه الذائبة تحتها. تتطلب حركة القاعدة السريعة إرتفاع حرارة القاعدة إلى نقطة الذوبان بفعل الحرارة من داخل الأرض، تنقلها المياه الذائبة، أو بفعل الإحتكاك في حركة الجليد. يمكن أن تختلف سرعات الإنزلاق بفعل ضغط الدوران على عدة درجات من القوة، بناء على وجود أو غياب الترسبات القابلة للتحويل، خشونة المادة التحتية، وتوفر المياه وتوزيعها. يتم وصف شروط القاعدة بشكل غير كامل عادةً، ما يؤدي إلى نقاط عدم يقين هامة في فهم إستقرار الصفائح الجليدية. {٤, ٦}

غالباً ما يتم توجيه تدفق الجليد في تيارات جليدية سريعة التحرك (تندفق بين جدران جليدية أبطأ) أو في الأنهر جليدية الخارجة (مع جدران صخرية). يتأني التدفق المحسن في شكل تيارات جليدية من ضغط الدوران الأعلى المرتبط بجليد أسمك في أغوار صخر الأساس أو من إنزلاق أكبر عند القاعدة. {٤, ٦}

يبقى الجليد الخارج عن الشاطئ معلقاً بالصفحة الجليدية فيصبح رفاً جليدياً عائماً. يتحرك الرف الجليدي نحو الأمام ويترقق بفعل وزنه، وهطول الثلوج على سطحه، وورود الجليد من الصفحة الجليدية. يؤدي الإحتكاك على جوانب الرف الجليدي وحول المرتفعات المغمورة إلى تباطؤ تدفق الرف الجليدي وخروجه عن الصفحة الجليدية. يخسر الرف الجليدي من وزنه من خلال إخراج الجبال الجليدية وذوبان القاعدة في المحيط تحتها. تظهر الدراسات أن إحتراق المحيط بمقدار ١ درجة مئوية قد يزيد من ذوبان القاعدة الجليدية بمقدار ١٠ أمتار في السنة، لكن المعرفة غير الملائمة لتجويفات الرف الثلجي غير المنفوذ إليها تحد من دقة هذه التقديرات. {٤, ٦}

تشير السجلات الماضية المحفوظة عن العصور السابقة إلى أن الصفائح الجليدية تتقلص رداً على الإحتراق ويزداد حجمها رداً على التبريد، ويمكن أن تكون وتيرة التقلص أسرع من إزدياد الحجم. يبلغ حجم صفحة غرينلاند الجليدية ٧ أمتار وصفحة أنتاركتيكا ٥٧ متراً تقريباً من إرتفاع مستوى البحر. تشير البيانات عن العصور القديمة إلى أن ذوبان إحدى الصفحتين أو الإثنتين معاً بشكل هام من المرجح أن يكون قد حدث في الماضي. إلا أن بيانات المأخوذة من العينات الجليدية تشير إلى أن أي من الصفائح الجليدية لم يخطف كلياً خلال الفترات الدافئة في السنوات المليون الماضية. يمكن أن تستجيب الصفائح الجليدية إلى التأثير البيئي على فترات زمنية طويلة جداً، أي أن الإلتزامات بالتغيرات في المستقبل قد تكون ناتجة عن الإحتراق الحالي. على سبيل المثال، قد تمضي أكثر من ١٠ آلاف سنة لكي يدخل إحتراق السطح إلى داخل الأرض ويحول الحرارة فيه. تتغير سرعة الجليد فوق معظم الصفحة الجليدية رداً على التغيرات في شكل الصفحة الجليدية أو حرارة السطح، لكن قد تطراً تغيرات السرعة الكبيرة بسرعة في التيارات الجليدية والأنهر جليدية رداً على ظروف القاعدة المتغيرة، دخول المياه الذائبة على السطح إلى داخل الأرض أو تغيرات في الرفوف الجليدية التي تندفق فيها. {٦, ٤, ٤, ٦}

تبقى النماذج الموضوعية حالياً للإندماجات الطويلة أكثر موثوقية في معالجتها لتراكم السطح وانتزاعه، كما في تقرير التقييم الثالث، لكنها لا تتضمن معالجة لديناميات الجليد، لذلك قد تقوم تحليلات التغيرات السابقة أو التوقعات المستقبلية بإستخدام هذه النماذج بسوء تقدير مساهمات التدفقات الجليدية في إرتفاع مستوى البحر لكن وطأة هذا الحدث غير معروفة. {٨, ٢}

شوهدت حالات جفاف أشد وأطول في مناطق أوسع، خاصة في المناطق المدارية وشبه المدارية منذ السبعينيات. فيما تتعدد القياسات المختلفة للجفاف، تستخدم عدة دراسات تغيرات التهطل بالإضافة إلى الحرارة^٦. ساهم في هذه التغيرات جفاف متزايد بسبب درجات الحرارة المرتفعة وتهطل متراجع على اليابسة. {٣, ٣}

المدارية من النينو ومن التغيرات على مر العقود، التي تؤدي أيضاً إلى إعادة توزيع عدد العواصف المدارية ومساراتها. لقد تحطى عدد الأعاصير في شمال الأطلسي المعدل (في فترة ما بين العامين ١٩٨١-٢٠٠٠) خلال تسع سنوات من العام ١٩٩٥ إلى العام ٢٠٠٥. {٣, ٨}

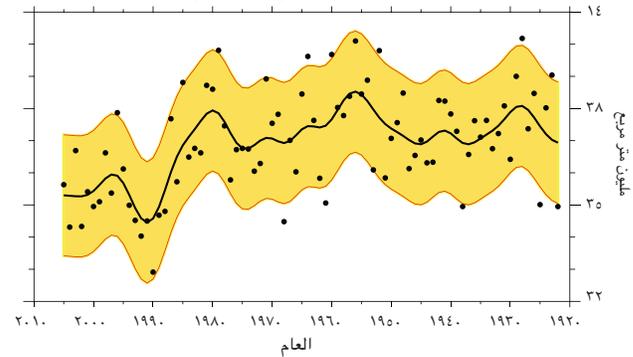
^٦ تجمع الحرارة والتهطل في مؤشر بالمر لشدة الجفاف ويعتبر في هذا التقرير قياساً للجفاف. لا يتضمن هذا المؤشر متغيرات كسرعة الرياح والإشعاع الشمسي والسحاب وبخار المياه لكنه قياس هام للتهطل وحده.

٣,٢ التغيرات في الغلاف الجليدي: السجلات الآلية

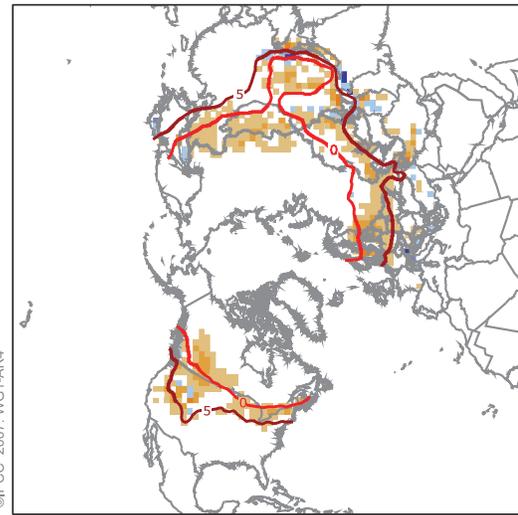
يغطي الجليد حالياً ١٠٪ من مساحة اليابسة، منه جزء ضئيل جداً خارج أنتاركتيكا وغرينلاند. كما يغطي ٧٪ تقريباً من المحيطات في المعدل السنوي. في منتصف الشتاء، تغطي الثلوج ٤٩٪ تقريباً من مساحة

التغيرات في الغطاء الثلجي

المناطق المغطاة بالثلوج في القطب الشمالي
خلال آذار / مارس ونيسان / أبريل



جلاء الثلوج في آذار / مارس ونيسان / أبريل
(من ١٩٨٨ حتى ٢٠٠٤) - (من ١٩٦٧ حتى ١٩٨٧)



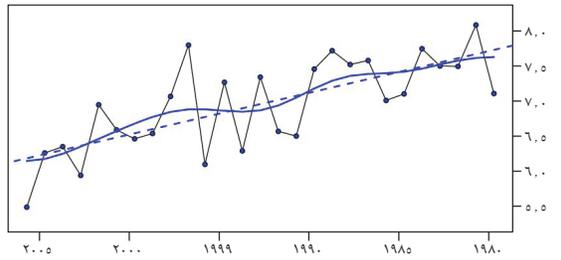
٢٨-٢٦ ٢٥-٢٦ ١٥-٢٦ ٥-١٥ ٢٥-٢٦ ٢٦-٣٨

الرسم ١٢. (أعلى) المنطقة المغطاة بالثلج في النصف الشمالي لآذار / مارس - نيسان / أبريل من مؤشر غطاء الثلج (قبل ١٩٧٢) من المواقع وبيانات الأقمار الصناعية (خلال العام ١٩٧٢ وبعده). تظهر التغيرات في توزيع الغطاء الثلجي في آذار / مارس - نيسان / أبريل بين فترات ماضية (١٩٦٧ - ١٩٨٧) ولاحقة (١٩٨٨ - ٢٠٠٤) من قياسات الأقمار الصناعية (في نسبة التغطية). تظهر الألوان الداكنة المناطق حيث تراجع الغطاء الثلجي. تظهر التموجات الحالية خطوط تساوي درجة الحرارة لآذار / مارس - نيسان / أبريل بلغت ٥ و ٥ درجة مئوية من العام ١٩٦٧ إلى العام ٢٠٠٤، من بيانات وحدة الأبحاث المناخية. يرصد التدني الأكبر خطوط تساوي درجات الحرارة البالغة ٥ و ٥ درجة، ما يعكس الإستجابة القوية بين الثلوج والحرارة. {الرسم ٢,٤,٣}

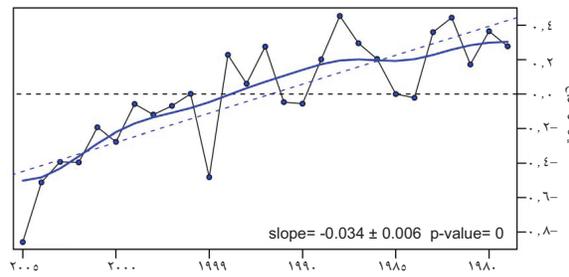
اليابسة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية. من ميزات الثلج والجليد المهمة بياض سطحها. بما أن سطوح الثلوج والجليد تعكس ٩٠٪ من إشعاع الشمس الوافد، فيما يعكس المحيط المفتوح أو الأراضي الحرجية حوالي ١٠٪ فحسب منها، تكون التغيرات في غطاء الثلج والجليد آليات إستجابة هامة في التغير المناخي. بالإضافة إلى ذلك، إن الثلج والجليد

التغيرات في إمتداد البحر

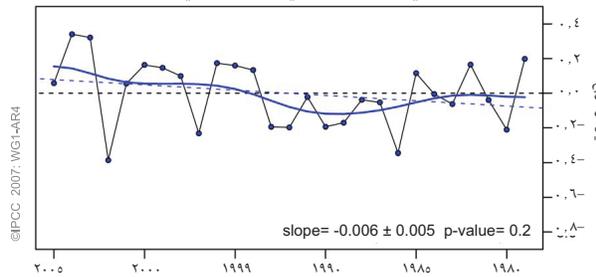
(أ) المدى الأدنى في إختلالات الجليد البحري في القطب الشمالي (١٩٧٩ - ٢٠٠٥)



(ب) مدى الإختلالات في الجليد البحري في القطب الشمالي (١٩٧٩ - ٢٠٠٥)



(ج) مدى الإختلالات في الجليد البحري في القطب الجنوبي (١٩٧٩ - ٢٠٠٥)



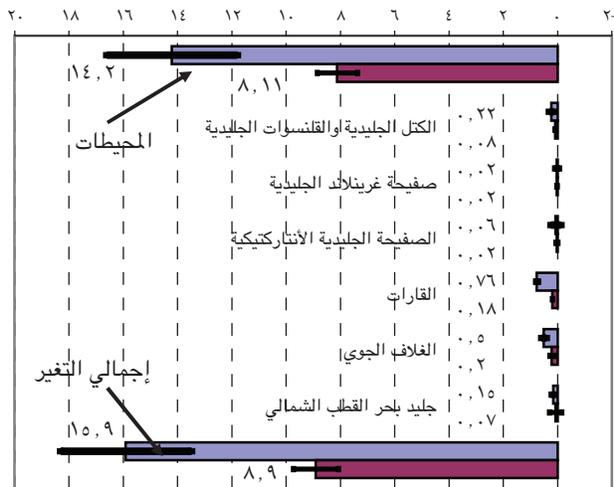
الرسم ١٣. (أ) مدّ الجليد البحري الأدنى في القطب الشمالي (ب) الإختلالات في مدّ الجليد البحري الأدنى في القطب الشمالي (ج) الإختلالات في مدّ الجليد البحري الأدنى في أنتاركتيكا خلال الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٧٩-٢٠٠٥. تشير الرموز إلى الأرقام السنوية فيما تظهر التموجات الزرقاء التغيرات العقدية (انظر الوثيقة A.3) تشير الخطوط المخرطة إلى اتجاه خطي. (أ) تظهر النتائج اتجاهًا خطيًا بلغ $10.2 \times 20 \pm 60$ كيلومتراً مربعاً في السنة، أو حوالي 7.4% للعقد. (ب) بلغ التوجه الخطي $33 \pm 37.4 \times 10.2$ كيلومتراً مربعاً في العام (موازية لحوالي 2.7% في العقد) وهو هام في نطاق الثقة ب 9.5% . (ج) تظهر النتائج في أنتاركتيكا توجهاً إيجابياً صغيراً بلغ $9.2 \times 10.2 \pm 5.6$ كيلومتراً مربعاً في العام وهو غير هام إحصائياً. {الرسم ٤,٨,٤,٩}

كمعدّل، إلى أن تاريخ التجليد بلغ لاحقاً معدّل $1,9 \pm 0,8$ يوماً في القرن الواحد، فيما حدث تاريخ الانفصال في وقت سابق بمعدّل $6,5 \pm 1,4$ يوماً في القرن الواحد. وقد تم رصد تغيّر مكاني هام أيضاً، وأظهرت بعض المناطق توجّهاً معاكساً. {٤,٣}

تقلّص معدّل إمتداد جليد بحر القطب الشمالي السنوي بحوالي $2,7 \pm 0,6\%$ في العقد الواحد منذ العام ١٩٧٨ بناءً على مشاهدات القمر الصناعي (انظر الملخّص الفني، الرسم ١٣). يكون تراجع الإمتداد في الصيف أكبر منه في الشتاء. يبلغ التراجع في الصيف معدّلاً أدنى وقدره $7,4 \pm 2,4\%$ في العقد الواحد. تشير البيانات الأخرى إلى أن التراجع في الصيف بدأ في العام ١٩٧٠ تقريباً. تشير مشاهدات مشابهة في أنتاركتيكا إلى تغيّر أكبر خلال السنة الواحدة، لكن لا تلحظ توجهات متناقضة خلال فترة المشاهدات الساتلية. على عكس التغيّرات في الجليد القاري كالصفائح الجليدية والأنهر جليدية، لا تساهم التغيّرات في الجليد البحري مباشرةً في تغيّر مستوى البحر (بما أن هذا الجليد يطوف أصلاً)، لكن يمكنه أن يساهم في التغيّرات في الملوحة من خلال توفير المياه العذبة. {٤,٤}

محتوى الطاقة في النظام المناخي

التغير في المحتوى الحراري (10^{22} J)



الرسم ١٥. تغيّر في محتوى الطاقة في عدة عناصر من نظام الأرض خلال فترتين (١٩٦١-٢٠٠٣ و ١٩٩٣-٢٠٠٣). تشير الخطوط الزرقاء إلى الفترة الممتدة بين العام ١٩٦١ و ٢٠٠٣، والخطوط الأخرى إلى الفترة الممتدة بين العام ١٩٩٣ و ٢٠٠٣. يعني التغيّر الإيجابي في الطاقة إزدياداً في الطاقة المخزنة (أي محتوى الحرارة في المحيطات، والحرارة الكامنة من حجم الجليد والبحر المتراجع، والمحتوى الحراري في المحيطات باستثناء المحتوى الكامن من تغيّرات التربة الصقيعية والحرارة الكامنة والطاقة المرّجحة في الغلاف الجوي). كل تقديرات الخطأ هي نطاقات الثقة ب ٩٠٪. لا تتوفر تقديرات للفترة لجهة ربح الحرارة القارية. لقد قيست بعض النتائج من النتائج المنشورة عن الفترتين. {الرسم ٥,٤}

الماضية أو أكثر. يرتبط إمتداد الغطاء الثلجي في النصف الشمالي من الكرة الأرضية خلال نسيان / أبريل بدرجات الحرارة في الشهر نفسه التي تتراوح ما بين 40°N و 60°N ما يعكس الإستجابة بين الثلج ودرجات الحرارة. {٤,٢}

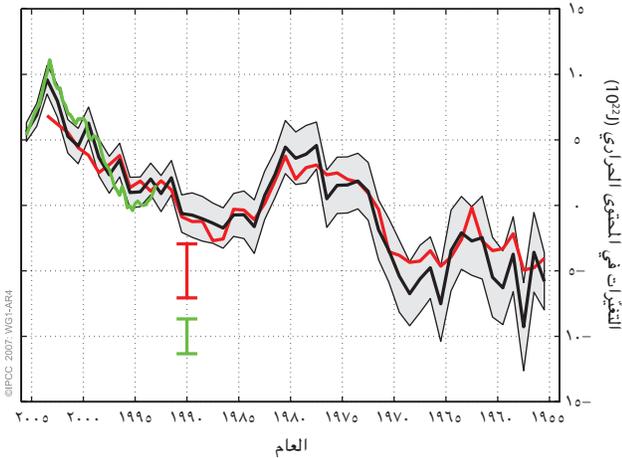
تم توثيق تراجع في الكتلة الثلجية في عدة مناطق في العالم بناءً على سلسلات زمنية سنوية من مقابل المياه من الثلج الجليبي وعمق الثلوج. يمكن أن تكون الثلوج الجليبية حساسة تجاه التغيّرات البسيطة في الحرارة خاصة في مناطق المناخ المعتدل، حيث يرتبط الإنتقال من المطر إلى الثلج عامة وعن كثب بإرتفاع مستوى التجليد. يزداد التراجع في الكتلة الثلجية الجليبية في غرب أميركا الشمالية وفي جبال الألب السويسرية في الإرتفاعات الأدنى والأكثر دفئاً. تراجع مقابل الثلوج الجليبية من المياه منذ العام ١٩٥٠ في ٧٥٪ من محطات الرصد في غرب شمال أميركا. كما تراجع عمق الثلوج الجليبية في الألب وجنوب شرق أستراليا. لكن المشاهدات المباشرة لعمق الثلج تبقى محدودة جداً لتحديد التغيّرات في الأنديز، إلا أن قياسات درجات الحرارة تشير إلى أن إرتفاع تساقط الثلوج (فوق خط الثلوج) قد إزداد في المناطق الجليبية في أميركا الجنوبية. {٤,٢}

تظهر التربة الصقيعية والأرض المجلدة موسمياً في معظم الأراضي تغيّرات كثيرة في العقود الماضية. يمكن أن تؤثر التغيّرات في ظروف التربة الصقيعية في سيلان الأنهار، ووفرة المياه، وتبادل الكربون وإستقرار المناظر الطبيعية، وأن تسبب ضرراً للبنى التحتية. تم الإفادة عن إرتفاع في درجات الحرارة على أعلى طبقة التربة الصقيعية بمقدار ٣ درجات مئوية منذ الثمانينيات. كما تمت مشاهدة إحتراق التربة الصقيعية مع نطاق متغيّر في المحيط القطب الشمالي، وسيبيريا، وهضبة التيببت، وأوروبا. تتراجع قاعدة التربة الصقيعية بمعدّل يتراوح بين ٠,٠٤ متراً في العام الواحد في الأسكا إلى ٠,٠٢ متراً في العام في هضبة التيببت. {٤,٧}

تراجعت المنطقة القصوى التي تغطيها الأرض المتجلدة موسمياً بمقدار ٧٪ تقريباً في النصف الشمالي من الكرة الأرضية خلال النصف الثاني من القرن العشرين، مع تراجع بلغ ١٥٪ في الربيع. تراجع عمقها الأقصى بحوالي ٠,٣ متراً في منطقة أوروبا وآسيا منذ منتصف القرن العشرين. بالإضافة إلى ذلك، إزداد عمق الأتربة الموسمية القصوى بحوالي ٠,٢ متراً في القطب الشمالي الروسي بين العام ١٩٥٦ و ١٩٩٠. {٤,٧}

يشير التوجه العام في جليد الأنهار والبحيرات في النصف الشمالي من الكرة الأرضية خلال الأعوام المئة والخمسين الماضية

محتوى المحيطات الحراري العالمي (٠ - ٧٠٠ م)



الرسم ١٦. سلسلات زمنية للمحتوى الحراري في المحيطات (10^{21} J) لطبقة ٠ حتى ٧٠٠ متر. إن الخطوط المختلفة الألوان هي تحليلات مستقلة للبيانات المحيطية. تشير التموجات السوداء والحمراء إلى التحول من معدل ١٩٦١-١٩٩٠ وتشير التموجات الخضراء الأصغر إلى تحول عن معدل التموجات السوداء للفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٩٣-٢٠٠٣. تشير الظلال الرمادية إلى نطاق عدم اليقين ب ٩٠٪ للتموج الأسود وتشير خطوط الخطأ إلى التمرجين الأخيرين. {الرسم ٥،١}

أيضاً في التغيرات المناخية في الفترات الموسمية وبين السنين، على غرار النينيو. كما للتغيرات في انتقال الحرارة ودرجات حرارة سطح البحر تأثيرات هامة في عدد من المناخات الإقليمية في العالم. تعتمد الحياة في البحر على الحالة الحيوية الجيولوجية الكيميائية للمحيط وتؤثر عليه التغيرات في حالته الفيزيائية ودورانه. كما يمكن أن تؤثر التغيرات في كيمياء المحيط الجيولوجية الحيوية على النظام المناخي، على سبيل المثال، من خلال التغيرات في امتصاص الغازات النشطة إشعاعياً كثاني أكسيد الكربون أو إنبعاثها. {٧،٣، ٥، ١}

تحدث التغيرات في معدل مستوى البحر العالمي جزئياً بسبب التغيرات في الكثافة، من خلال التوسع الحراري أو التقلص الحراري لحجم المحيط. كما للتغيرات المحلية في مستوى البحر عنصر مرتبط بالكثافة بسبب تغيرات الحرارة والملوحة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يقوم تبادل المياه بين المحيطات والخزانات الأخرى (على مثال الصفائح الجليدية، والأنهر جليدية الجبلية، وخزانات المياه الجوفية والغلاف الجوي) بتغيير كتلة المحيط وتساهم بالتالي في تغيرات مستوى المحيط. لا تحدث التغيرات في مستوى البحر بشكل متناغم جغرافياً إذ أن العمليات على غرار التغيرات في دوران المحيط غير متناسقة على الكرة الأرضية (انظر الملخص الفني، الرسم ٤). {٥، ٥}

يمكن أن تكون المتغيرات المحيطية مفيدة لرصد التغير المناخي،

خلال القرن العشرين، عرفت الأنهر جليدية والقلنسوات الجليدية خسارات واسعة النطاق في كتلتها وساهمت في ارتفاع مستوى البحر. قدرت خسارة الأنهر جليدية والقلنسوات الجليدية (باستثناء تلك الموجودة حول صفائح غرينلاند وأنتاركتيكا الجليدية) ب $0,50 \pm 0,18$ ملم في العام الواحد في مقابل مستوى البحر بين العامين ١٩٦١ و ٢٠٠٣، $0,77 \pm 0,22$ ملم في العام الواحد في مقابل مستوى البحر بين العامين ١٩٩١ و ٢٠٠٣. ومن المرجح أن تكون خسارة الأنهر جليدية في أواخر القرن العشرين إستجابة لإحترار ما بعد العام ١٩٧٠. {٤، ٥}

تظهر المشاهدات الأخيرة تغيرات سريعة في تدفق الجليد في بعض المناطق، ما يساهم في ارتفاع مستوى البحر ويشير إلى أن دينامية حركة الجليد قد تكون عاملاً أساسياً في إستجابات الرفوف الثلجية، والأنهر جليدية الشاطئية والصفائح الجليدية للتغيرات المناخية. إرتبط ترقق الرفوف الجليدية أو فقدانها في بعض المناطق القريبة من الشاطئ في غرينلاند وشبه الجزيرة الأنتاركتيكية وغرب أنتاركتيكا بالتدفق المتسارع للأنهر جليدية القريبة والتيارات الجليدية ما يشير إلى أن الرفوف الجليدية (ومن بينها الرفوف الجليدية القصيرة البالغة مساحتها كيلومترات أو عشرات الكيلومترات) قد تؤدي أدواراً أكبر في تحقيق إستقرار الحركة الجليدية والحد منها. كما يبدو أن درجات الحرارة في الغلاف الجوي والمحيطات تساهم في التغيرات الملحوظة. من المرجح جداً أن يكون لإحترار الصيفي الواسع في منطقة شبه جزيرة أنتاركتيكا دوراً في إنفصال رف لارسن الجليدي the Larsen B Ice Shelf السريع المتأني في العام ٢٠٠٢ بسبب الذوبان المتسارع في الصيف الذي حفر أثلاماً. لا تلتقط النماذج بدقة كل العمليات الفيزيائية التي يبدو أنها مرتبطة بإنشقاق الجبال الجليدية (كما في حالة إنشقاق لارسن ب). {٤، ٦}

٣، ٣ تغيرات في المحيط: السجلات الآلية

يظلم المحيط بدور هام في المناخ والتغير المناخي. يتأثر المحيط بتبادلات الكتلة والطاقة والزخم مع الغلاف الجوي. تبلغ قدرته الحرارية ١٠٠٠ مرة قدرة الغلاف الجوي، لذلك يكون امتصاص المحيط الصافي للحرارة أكبر بعدة أضعاف من الغلاف الجوي (انظر الملخص الفني، الرسم ١٥). يمكن اعتماد المشاهدات العالمية للحرارة التي تمتصها المحيطات على أنها إختبار نهائي للتغيرات في رصيد الطاقة العالمي. للتغيرات في رصيد الطاقة التي تمتصها الطبقات العليا للمحيط دور هام

المدارية (المتوسط وبحر اليابان / شرق الصين) إحتراراً. فيما يتوجه العالم نحو الإحترار، شوهدت تغيّرات هامة بين العقود في التسلسلات الزمنية العالمية، وتشهد مناطق كبيرة تبريداً في المحيطات. بردت أجزاء من شمال الأطلسي وشمال الهادئ والهادئ الإستوائي خلال الأعوام الخمسين الماضية. تظهر التغيّرات في المحيط الهادئ أنماطاً مكانية مشابهة للنينو مرتبطة جزئياً بالتذبذب العقدي في الهادئ. {٥,٣, ٥,٢} تظهر أجزاء من التقلبي الأطلسي الطولي تغيّرات عقدية هامة، لكن البيانات لا تدعم توجهاً متناسقاً في الدوران. {٥,٣}

٣,٣,٢ التغيّرات في ملوحة المحيطات وكيميائها الجيولوجية الإحيائية

أدى امتصاص الكربون البشري المنشأ منذ العام ١٧٥٠ إلى إزدياد حموضة المحيط، وتدني في درجة حموضة سطحه بلغ ٠,١ وحدة^٧. يغير إمتصاص المحيط لثاني أكسيد الكربون من توازنه الكيميائي. يشكّل ثاني أكسيد الكربون المذوّب حمضاً ضعيفاً، فتتخفّف درجة الحموضة فيما يرتفع ثاني أكسيد الكربون المذوّب (أي أن المحيط يصبح أكثر حموضة). يتم إحتساب إجمالي درجة الحموضة من تقديرات إمتصاص الكربون البشري المنشأ ونماذج بسيطة للمحيطات. تظهر المشاهدات المباشرة لدرجة الحموضة في المحطات المتوفرة خلال الأعوام العشرين الماضية توجهات في تدني مستوى الحموضة، بمعدّل ٠,٠٢ وحدة في العقد الواحد. يؤدي إنخفاض درجة حموضة المحيطات إلى إنخفاض العمق الذي يذوب فيه كربونات الكالسيوم وإلى إرتفاع حجم المحيط غير المشبع بشكل كافٍ في ما يخص معدن الأراغونيت (وهو نوع شبه مستقر من كربونات الكالسيوم) والكالسيت، وتستخدمها المخلوقات البحرية لتكوين صفتها. كما يؤدي إنخفاض درجة حموضة سطح المحيط وإرتفاع حرارة السطح إلى تخفيض قدرة المحيط على عزل ثاني أكسيد الكربون ومعدّل إمتصاص المحيطات فائض ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. {٧,٣, ٥,٤}

إنخفاض تركيز الأوكسيجين في الثيرموكلاين الخاضع للتهوئة (بين ١٠٠ و ١٠٠٠م) في معظم أحواض المحيطات بين العامين ١٩٧٠ و ١٩٩٥. قد تعكس هذه التغيّرات معدلاً محدوداً من التهوئة مرتبط بإحترار الطبقات العليا و/أو التغيّرات في النشاط الإحيائي. {٥,٤}

لا سيما تغيّرات الحرارة والملوحة تحت طبقة السطح حيث تكون التغيّرات أصغر ونسبة الضجة - الدليل أعلى. قدمت المشاهدات المحلّة منذ تقرير التقييم الثالث براهين جديدة للتغيّرات في محتوى المحيط الحراري العالمي والملوحة، ومستوى البحر، ومساهمات التوسع الحراري في إرتفاع مستوى البحر، وتطور الكتلة المائية والدورات الحيوية الجيولوجية الكيميائية. {٥,٥}

٣,٣,١ التغيّرات في محتوى المحيط الحراري والدوران

يشهد المحيط إحتراراً في العالم منذ العام ١٩٥٥، وشكّل خلال هذه المرحلة أكثر من ٨٠٪ من التغيّرات في محتوى الطاقة لنظام الأرض المناخي. يسمح إجمالي ٧,٩ مليون أسلوب عمودي ببناء سلسلات زمنية عالمية محسّنة (انظر الملخص الفني، الرسم ١٦). قام عدد من المحللين المستقلين بمحاكاة تحليلات رصيد المحيطات الحراري العالمي وهي تتماشى مع المنهجية المستخدمة، وتتطلب تحديدات تغطية البيانات.

إلا أن عدم ملاءمة توزيع البيانات (خاصة التغطية في المحيط الجنوبي وجنوب الهادئ) قد تساهم في التغيّرات الواضحة بين العقود في المحتوى الحراري. بين العامين ١٩٦١ و ٢٠٠٣، إمتصت طبقة المحيط التي تتراوح بين ٠ و ٣٠٠٠ م حوالي ١٤,١ ١٠٢٢ × جول، ما يوازي معدّل إحترار يبلغ ٠,٢ واط في المتر المربع الواحد (لكل وحدة مساحة من سطح الأرض). بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣، كان معدّل الإحترار المناسب في طبقة المحيط الأعلى أي بين ٠ و ٧٠٠ م أعلى وبلغ حوالي ٠,٥ ± ٠,١٨ واط للمتر المربع الواحد. مقارنة بالفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٦١ - ٢٠٠٣، شهدت الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٩٣ - ٢٠٠٣ معدّلات إحترار عالية، لكن في فترة ٢٠٠٤ و ٢٠٠٥، شهدت تبريداً مقارنة بالعام ٢٠٠٣. {٥,٣, ٥,١}

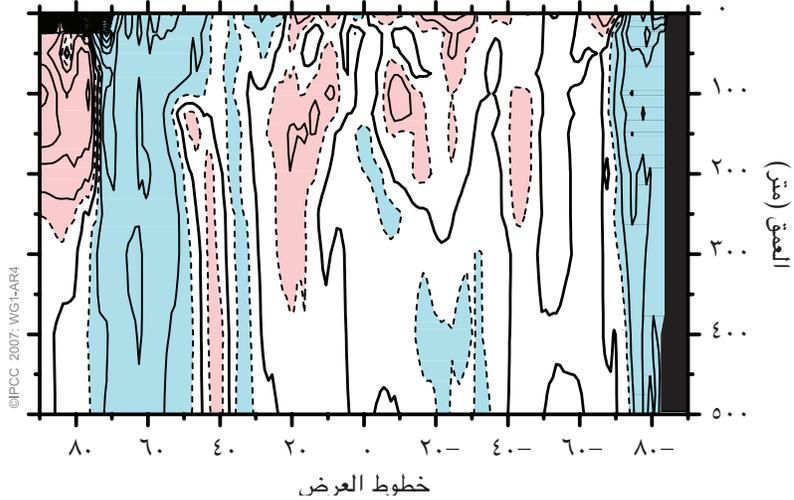
ينتشر الإحترار فوق الطبقة ال ٧٠٠ م من المحيط في العالم. يشهد المحيط الأطلسي إحتراراً جنوب خط 45°N. ويزداد الإحترار في حوض المحيط الأطلسي أكثر منه في المحيط الهادئ والمحيط الهندي والمحيطات الجنوبية، بسبب خلية الدوران العميقة في شمال الأطلسي. لم يُظهر الدوران العميق في النصف الجنوبي إشارات على التغيّر بناءً على البيانات المتوفرة. إلا أن الطبقات العليا للمحيط الجنوبي تساهم كثيراً في الإحترار العالمي. يشهد بحران على الأقل في خطوط العرض شبه

^٧ الملوحة هي قياس تركيز أيونات الهيدروجين ووحدها pH حيث $pH = -\log(H^+)$ يساوي إنخفاض درجة واحدة في pH (درجة الحموضة) إرتفاعاً بعشرة أضعاف في تركيز الهيدروجين أو الحموضة.

التوجهات الخطية لمتوسط الملوحة وفقاً للمناطق (١٩٥٥ - ١٩٩٨)

٣,٣,٣ تغيرات في مستوى البحر

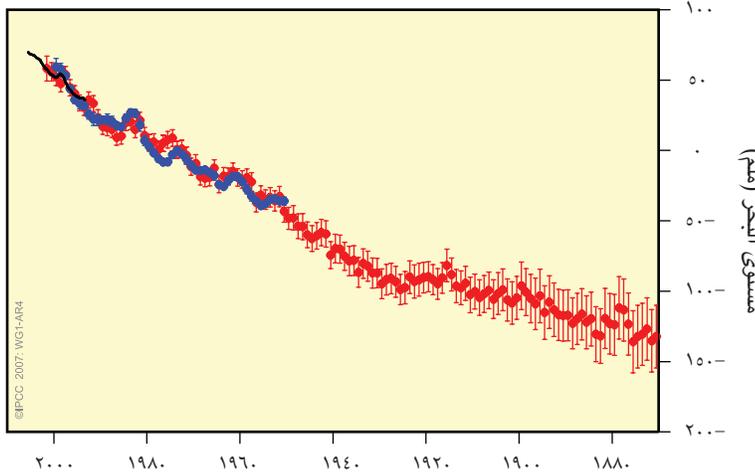
بين العامين ١٩٦١ و٢٠٠٣، قَدَّر معدَّل ارتفاع مستوى البحر العالمي من بيانات مقياس المد والجزر بمقدار $١,٨ \pm ٠,٥$ ملم في العام الواحد (انظر الملخص الفني، الرسم ١٨). بهدف النظر في رصيد مستوى البحر، تتوفر أفضل التقديرات ويتراوح نطاق الثقة ما بين ٥ و٩٥٪ لجميع مساهمات جليد اليابسة. بلغ معدَّل مساهمة التوسع الحراري في ارتفاع مستوى البحر خلال هذه المرحلة $٠,٤٢ \pm ٠,١٢$ ملم في العام الواحد، مع تغيرات عقدية هامة، فيما تقدر مساهمة الأنهر جليدية والقلنسوات الجليدية والصفائح الجليدية بمقدار $٠,٧ \pm ٠,٥$ ملم في العام الواحد (انظر الملخص الفني، الجدول ٣). تبلغ إذاً القيمة الإجمالية لهذه المساهمات المقدرة المرتبطة بالمناخ خلال العقود الأربعة الماضية $١,١ \pm ٠,٥$ ملم في العام الواحد، أي أقل من أفضل تقدير من مشاهدات مقياس المد



الرسم ١٧. توجهات خطية (١٩٥٥-١٩٩٨) للملوحة المتوسطة (مقياس الملوحة العملي) للمحيط العالمي. إن نطاق الحدود السوداء هو $٠,٠١$ للعقد والخطوط المخترطة $٠,٠٠٥ \pm$ في العقد. إن الخط الداكن والسميك هو حدود الصفر. تشير الظلال الحمراء إلى أرقام تساوي أو تتخطى $٠,٠٠٥$ في العمق والظلال الزرقاء إلى أرقام تتساوى مع أو تكون أدنى من $٠,٠٠٥$ في العقد. (الرسم {٥,٥})

وتنتشر البراهين على التغيرات في ملوحة المحيطات على مستوى الحركات الحلزونية والحوض خلال نصف القرن الماضي (انظر الملخص الفني، الرسم ١٧)، بالإضافة إلى إزدياد ملوحة المياه القريبة من السطح في المناطق الأكثر عرضة للتبخر في جميع الأحواض المحيطية. تؤدي هذه التغيرات في الملوحة إلى تغيرات في دورة المياه في المحيطات. في مناطق خطوط العرض العليا في كل من نصفي الكرة الأرضية، تظهر مياه السطح إنتعاشاً إجمالياً يتماشى مع بلوغ التهطل في هذه المناطق معدلاً أعلى، على الرغم من إمكانية مساهمة أكبر في الجريان، وذوبان الجليد، والتدفق والتغيرات في الدوران الجنوبي. تتميز خطوط العرض شبه المدارية في النصفين من الكرة الأرضية بإزدياد في ملوحة طبقة الـ ٥٠٠ م العليا. كما تتناسق الأنماط مع تغير في دورة المياه على الأرض، خاصة تغيرات التهطل وانتقال أكبر للمياه في الغلاف الجوي من خطوط العرض الدنيا نحو خطوط العرض العليا ومن الأطلسي نحو الهادئ. {٥,٢}

متوسط مستوى البحر العالمي



الرسم ١٨. المعدلات السنوية لمتوسط مستوى البحر العالمي بناءً على إعادة بناء مستوى البحر منذ العام ١٨٧٠ (الأحمر)، وقياسات المد والجزر منذ العام ١٩٥٠ (أزرق) وقياس الارتفاع بالأقمار الصناعية منذ العام ١٩٩٢ (الأسود). تذكر الوحدات بالميليمتر نسبة لمتوسط ١٩٦١ حتى ١٩٩٠. تعطى خطوط الأخطاء على شكل نطاق ثقة بمقدار ٩٠٪. (الرسم {٥,١٣})

الجدول ٣. مساهمات في إرتفاع مستوى البحر بناءً على مشاهدات (الأعمدة لجهة اليسار) مقارنة بالنماذج المستخدمة في هذا التقييم (الأعمدة لجهة اليمين) (انظر القسم ٩.٥ والمرفقات ١٠.١ لمزيد من التفاصيل). تمثل الأرقام الممتدة ما بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣ والعقود الأربعة الماضية، ومن بينها الإجمالي الملحوظ.

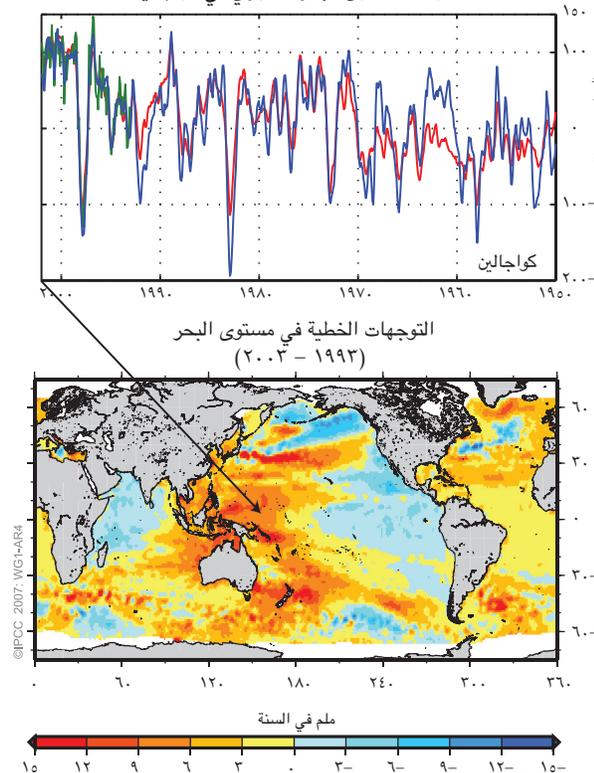
| إرتفاع مستوى مشروع البحر (mm yr ⁻¹) | | | | |
|---|-----------------------------------|-------------|---------------------|---|
| ١٩٩٣-٢٠٠٣ | | ١٩٦١-٢٠٠٣ | | مصادر إرتفاع مستوى البحر |
| النماذج | المشاهدات | النماذج | المشاهدات | |
| ٠,٧ ± ١,٥ | ٠,٥ ± ١,٦ | ٠,٢ ± ٠,٥ | ٠,١٢ ± ٠,٤٢ | التوسع الحراري |
| ٠,٣ ± ٠,٧ | ٠,٢٢ ± ٠,٧٧ | ٠,٢ ± ٠,٥ | ٠,١٨ ± ٠,٥٠ | الأنهر جليدية والقلنسوات الجليدية |
| ١,٠٧ ± ٠,٢١ | | ١,١٢ ± ٠,٠٥ | | صفيحة غرينلاند الجليدية |
| ١,٣٥ ± ٠,٢١ | | ١,٤١ ± ٠,١٤ | | صفيحة أنتاركتيكا الجليدية |
| ٠,٨ ± ٢,٦ | ٠,٧ ± ٢,٨ | ٠,٥ ± ١,٢ | ٠,٥ ± ١,١ | مجموع المساهمات المناخية الفردية في إرتفاع مستوى البحر |
| | ٠,٧ ± ٣,١ | | ٠,٥ ± ١,٨ | إرتفاع مستوى البحر الملحوظ |
| | (قياس الإرتفاع بالأقمار الصناعية) | | (مقياس المد والجزر) | |
| | ١,٠ ± ٠,٣ | ١,٠ ± ٠,٣ | ٠,٧ ± ٠,٧ | تزايد نشاط الأعاصير المدارية القوية |
| ٠,٥٩ - ٠,٢٦ | | ٦,٤ - ٢,٤ | ٤,٠ | إرتفاع وتيرة مستويات مياه البحر العالية جداً (باستثناء أمواج المد العملاقة) (ج) |

ملاحظات:

تعتمد على الملاحظات (انظر القسم ٩.٥)

أنماط تغير مستوى البحر

متوسط مستوى البحر الشهري في كوجالين



الرسم ١٩. (أعلى) تموج متوسط مستوى البحر الشهري (مليمتراً) من العام ١٩٥٠ حتى العام ٢٠٠٠ في كوجالين (N, 167°44'E 8°44). يظهر مستوى البحر الملحوظ (من قياسات المد والجزر) بالأزرق، مستوى البحر بعد إعادة البناء بالأحمر، وقياسات الإرتفاع بالأقمار الصناعية بالأخضر. لقد أزيلت المؤشرات السنوية وشبه السنوية من كل نطاق زمني وتمت مساواة قياسات المد والجزر. (أسفل) التوزيع الجغرافي للتوجهات الخطية القصيرة الأمد في متوسط مستوى البحر من العام ١٩٩٣ حتى العام ٢٠٠٣ (مليمتراً في السنة الواحدة) بناءً على قياس الإرتفاع TOPEX/Poseidon. {الرسم ٥,١٨,٥,١٥}

والجزر (شبيهة بالإختلافات المذكورة في تقرير التقييم الثالث). لذلك لم يحسم رصيد مستوى البحر بين العامين ١٩٦١ و ٢٠٠٣ بشكل مرضٍ. {٥,٥, ٤,٨}

بلغ المعدل العالمي لإرتفاع مستوى البحر وفقاً لقياس الإرتفاع بالقمرة الصناعي TOPEX/Poseidon بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣ مقدار $٠,٧ \pm ٣,١$ ملم في العام الواحد. إن هذا المعدل الملحوظ للفترة الحديثة يقترب من الإجمالي المقدّر البالغ $٠,٧ \pm ٢,٨$ ملم في العام الواحد لمساهمات المرتبطة بالمناخ بسبب التوسع الحراري ($١,٦ \pm ٠,٥$ ملم في العام الواحد) والتغيرات في جليد اليابسة ($١,٢ \pm ٠,٤$ ملم في العام الواحد). لذلك، تحسّن فهم الرصيد بشكل ملحوظ خلال هذه الفترة، وتشكل مساهمات المناخ الأهم في رصيد مستوى البحر (الذي حسم ضمن الأخطاء المعروفة). ما زال غير واضح إذا ما كان المعدل المتسارع بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣ مقارنة بما بين العامين ١٩٦١ و ٢٠٠٣ يعكس التغيرات العقدية أو إرتفاعاً في التوجه على المدى الأطول. تشير سجلات قياس المد والجزر إلى معدلات أسرع شبيهة بتلك الملحوظة بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣ قد حدثت في عقود أخرى منذ العام ١٩٥٠. {٩,٥, ٥,٥}

ومن الثقة العالية أن معدل إرتفاع مستوى البحر أصبح أسرع بين منتصف القرن التاسع عشر ومنتصف القرن العشرين وفقاً لبيانات قياس المد والجزر والبيانات الجيولوجية. توفر إعادة

الإطار ٤: مستوى البحر

تحدّد عدة عناصر تعمل على نطاق واسع من الفترات الزمنية مستوى البحر على الشاطئ: الساعات والأيام (المدّ والطقس)، الأعوام والألفيات (المناخ) وأطول. يمكن لليابسة أن ترتفع وتنخفض ويجدر أخذ حركات اليابسة الإقليمية هذه بعين الاعتبار عند استخدام قياسات المد والجزر لتقييم تأثير تغيير مناخ المحيطات على مستوى البحر على الشاطئ. تشير قياسات المد والجزر على الشاطئ إلى ارتفاع معدّل مستوى البحر العالمي خلال القرن العشرين. منذ بداية التسعينيات، راقبت الأقمار الصناعية باستمرار وتغطية شبه عالمية مستوى البحر. تتلاقى بيانات الأقمار الصناعية وبيانات المد والجزر على نطاق واسع من الأمكنة وتظهر أن معدّل مستوى البحر ارتفع باستمرار خلال هذه الفترة. تظهر تغيّرات في مستوى المحيط فروقات جغرافية بسبب عدة عوامل، ومنها توزع التغيّرات في حرارة المحيطات، والملوحة، ودوران الرياح والمحيطات. يتأثر مستوى البحر الإقليمي بفروقات المناخية على فترات زمنية أقصر ومرتبطة مثلاً بالنيونيو والتذبذب الشمال الأطلسي، ما يؤدي إلى تغيّرات إقليمية سنوية قد تفوق التوجه العالمي وقد يفوقها.

بناءً على مشاهدات درجات حرارة المحيطات، ساهم التوسع الحراري لمياه البحر في ارتفاع مستوى البحر خلال العقود الأخيرة بشكل هام. تتماشى النماذج المناخية مع مشاهدات المحيطات وتشير إلى أن التوسع الحراري من المفترض أن يستمر في المساهمة في ارتفاع مستوى البحر خلال الأعوام المئة المقبلة. بما أن درجات حرارة المحيطات العميقة تتغيّر ببطء، سوف يستمر التوسع الحراري لقرون عدة حتى ولو تم التوصل إلى إستقرار تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي.

كما يرتفع معدّل مستوى البحر العالمي وينخفض عندما تنتقل المياه من اليابسة إلى المحيط أو من المحيط إلى اليابسة. قد تساهم بعض الأنشطة البشرية بتغيير في مستوى البحر، خاصة من خلال إستخراج المياه الجوفية وبناء الخزانات. إلا أن خزان المياه العذبة الأهم على اليابسة هو المياه المخزنة في الجبال الجليدية والقلنسوات الجليدية والصفائح الجليدية. إنخفض مستوى البحر أكثر من ١٠٠ م خلال الفترات الجليدية إذ أن الصفائح الجليدية غطت أجزاء كبيرة من قارات النصف الشمالي من الكرة الأرضية. يساهم التراجع الحالي في الجبال الجليدية والقلنسوات الجليدية مساهمة هامة في ارتفاع مستوى البحر. ومن المتوقع أن يستمر خلال الأعوام المئة المقبلة. ومن المتوقع أن تتراجع مساهمتها في القرون التالية فيما يتقلص حجمها كخزان مياه عذبة.

تحتوي صفيحة غرينلاند الجليدية وصفيحة أنتاركتيكا الجليدية على كمية أكبر من الجليد، وقد تساهم مساهمات كثيرة خلال قرون عديدة. خلال السنوات الماضية، شهدت صفيحة غرينلاند الجليدية ذوباناً أكبر، ومن المتوقع أن يستمر. في المناخ الأكثر دفئاً، تشير النماذج إلى أن الصفائح الجليدية قد تجمع ثلوجاً أكثر، ما يؤدي إلى مستوى بحر أكثر إنخفاضاً. لكن، في الأعوام الأخيرة، تفوّق على هذا الإتجاه تدفق الجليد المتسارع الملحوظ في بعض المناطق الهامشية من الصفائح الجليدية. ما زالت عمليات تدفق الجليد المتسارع غير مفهومة كلياً، لكن قد تؤدي إلى ارتفاع إجمالي لمستوى البحر من الصفائح الجليدية في المستقبل.

تعود أهم تأثيرات مستوى البحر المرتبطة بالمناخ وبالطقس إلى حالات قصوى على فترات زمنية تتراوح بين الأيام والساعات، مرتبطة بالأعاصير المدارية وعواصف خطوط العرض الوسطى. يؤدي الضغط الجوي المتدني والرياح العالية إلى ارتفاع المد بسبب العواصف، أو المد العاصفي، وهي خطيرة عندما تصادف المد العالي. تتأثر التغيّرات في وتيرة حدوث مستويات البحر القصوى هذه بالتغيّرات في معدّل مستوى البحر وبالظواهر المناخية التي تسبب الحالات المتطرّفة. {٥,٥}

ويشير إلى أن التذبذبات في مستوى البحر من السنة ١ إلى السنة ١٩٠٠ قبل المسيح لم تتخط ± ٢٥ ، ملم. تشير البراهين المتوفرة إلى أن ارتفاع مستوى البحر الحديث بدأ بين منتصف القرن التاسع عشر ومنتصف القرن العشرين. {٥,٥}

توفّر قياسات الأقمار الصناعية الدقيقة منذ العام ١٩٩٣ براهين قاطعة على التغيّر الإقليمي في تغيّر مستوى البحر. في بعض

تركيب حديثة لتغيّر مستوى البحر في العام ١٨٧٠ باستخدام أفضل سجلات المد المتوفرة، ثقة عالية بأن معدّل ارتفاع مستوى البحر أصبح أسرع بين العامين ١٨٧٠ و ٢٠٠٠. تشير المشاهدات الجيولوجية إلى أن مستوى البحر لم يتغيّر كثيراً خلال السنوات الألفين الماضية، بمعدلات تراوحت بين ٠,٠ و ٠,٢ ملم في العام الواحد. يروج استخدام البيانات غير المباشرة والمستندة إلى مصادر لدراسة مستوى البحر في المتوسط

الشمال الأطلسي. إن نمط تغير مستوى البحر الملحوظ منذ العام ١٩٩٢ يشابه التوسع الحراري المحتسب من تغير درجات حرارة المحيط، لكنه يختلف عن نمط التوسع الحراري للسنوات الخمسين الماضية، ما يشير إلى أهمية التغير الإقليمي بحسب العقود. {٥,٥}

تشير المشاهدات إلى ارتفاع في المياه العالية القصوى على نطاق واسع منذ العام ١٩٧٥. إن السجلات الأطول محدودة في المكان وعيانتها غير كافية في الزمان، لذلك من غير الممكن إجراء تحليل شامل لكامل القرن العشرين. في عدة مواقع، كانت التغيرات في الحالات

المناطق، بلغ معدل ارتفاع مستوى البحر في هذه الفترة ٧ أضعاف المعدل العالمي، فيما تراجع في مناطق أخرى. حدث أكبر ارتفاع في مستوى البحر منذ العام ١٩٩٢ في غربي المحيط الهادئ وشرق المحيط الهندي (انظر الملخص الفني، الرسم ١٩). شهد كل المحيط الأطلسي تقريباً ارتفاعاً في مستوى البحر خلال العقد الماضي، فيما إنخفض مستوى البحر في شرق المحيط الهادئ وغرب المحيط الهندي. تتأثر هذه التغيرات المكانية والزمنية في ارتفاع مستوى البحر الإقليمي جزئياً بأنماط تغير المحيط والغلاف الجوي ومن بينها النينو والتذبذب

الجدول ٤. التوجهات الحديثة، تقييم التأثير البشري على التوجهات، وإسقاطات لأحداث المناخ وحالات الطقس المتطرفة التي يظهر فيها توجه ما من توجهات القرن العشرين الملحوظة. تشير النجمة في عنوان العمود D إلى استخدام دراسات رصد ونسبة رسمية، مع حكم الخبراء لتقييم احتمال تأثير بشري واضح. عندما لا تتوفر هذه، تعتمد تقييمات احتمال التأثير البشري على نتائج النسبة للتغيرات في متوسط المتغيرات أو التغيرات في المتغيرات المرتبطة فيزيائياً و/ أو على التشابه النوعي للتغيرات الملحوظة والمحاكاة، مع حكم خبير. {٣,٨، ٥,٥، ٩,٧، ١١,٢، ١١,٩، ١٣,٧، ٣,٨، ٩,٤}

| الظاهرة وتوجه النزعة | إحتمال حدوث هذا التوجه في أواخر القرن العشرين (خاصة بعد ١٩٦٠) | إحتمال المساهمة البشرية في هذا التوجه | D | إحتمال التوجه في المستقبل بناءً على ظهور التوقعات للقرن العشرين باستخدام التقرير الخاص عن سيناريوهات الإنبعثات ^٣ |
|---|---|--|---|---|
| أيام وليالي أكثر دفئاً وعدد الأيام والليالي الحارة يرتفع فوق معظم مناطق اليابسة | مرجح جداً ^٤ | مرجح ^٥ | * | مؤكد إفتراضياً ^٦ |
| موجات حرّ. وتيرة مرتفعة في معظم الأراضي | مرجح جداً ^٤ | مرجح (الليالي) ^٥ | * | مؤكد إفتراضياً ^٦ |
| موجات الحرّ: إزدياد فوق معظم مناطق اليابسة | مرجح | أكثر أرجحية منه إستبعاداً | | مرجح جداً |
| أحداث تهطال غزير. إزديادها (أو) نسبتها من إجمالي التهطال من الهطول الغزير) فوق معظم المناطق | مرجح | أكثر أرجحية منه إستبعاداً | | مرجح جداً |
| إزدياد عدد المناطق التي يصيبها الجفاف | مرجح في معظم المناطق منذ السبعينيات | أكثر أرجحية منه إستبعاداً | * | مرجح |
| إزدياد في نشاط الأعاصير المدارية العنيفة | محمّل في معظم المناطق منذ السبعينيات | أكثر أرجحية منه إستبعاداً | | مرجح |
| إزدياد ارتفاع مستوى البحر الأقصى (باستثناء التسونامي) ^٣ | مرجح | أكثر أرجحية منه إستبعاداً ^٧ | | مرجح ^٨ |

الملاحظات:

^١ راجع الجدول ٣,٧ للتفاصيل حول التحديد.

^٢ إن التقرير الخاص عن سيناريوهات الإنبعثات ملخص في إطار في نهاية الملخص لوضعي السياسات.

^٣ إنخفاض في عدد الأيام والليالي الباردة (١٠٪ الأكثر برداً).

^٤ إزدياد في عدد الأيام والليالي الحارة (١٠٪ الأكثر حراً).

^٥ إحترار الليالي / الأيام الأقصى في كل سنة.

^٦ يعتمد مستوى البحر المرتفع إلى حد أقصى على مستوى البحر المتوسط والأنظمة المناخية الإقليمية، ويحدد هنا على أنه ١٪ من الأرقام في كل ساعة من مستوى البحر في موقع لفترة مرجعية.

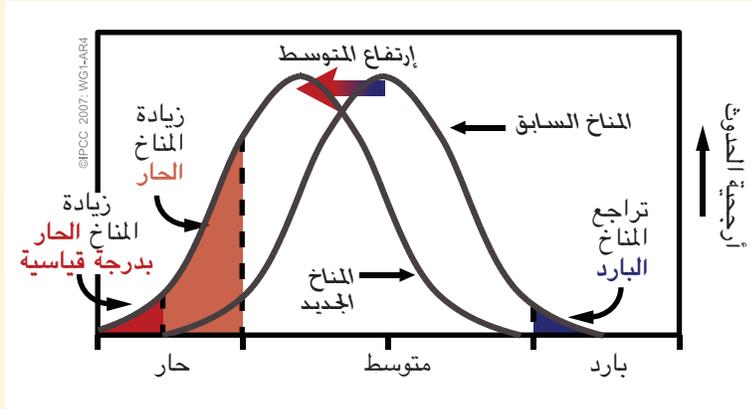
^٧ تتبع التغيرات في أقصى ارتفاع مستوى البحر التغيرات في متوسط مستوى البحر {٥,٥,٢,٦}. من المرجح جداً أن تكون الأنشطة البشرية قد ساهمت في ارتفاع مستوى البحر. {٩,٥,٢}

^٨ في كل السيناريوهات، يكون متوسط مستوى البحر العالمي المتوقع أكثر ب ٢١١ من الفترة المرجع. {٠,٦,١}. لم يتم تقييم تأثير التغيرات في الأنظمة المناخية الإقليمية على مستويات البحر القصوى.

الإطار ٥: ظاهرة مناخية متطرفة

غالباً ما يسأل الأفراد المتأثرون بظاهرة مناخية متطرفة (على غرار الصيف الحار في أوروبا في ٢٠٠٣ أو هطول الأمطار الغزيرة في مومباي الهند في تموز / يوليو ٢٠٠٥) ما إذا كانت التأثيرات البشرية مسؤولة عن الحدث. من المتوقع حصول مجموعة واسعة من الظواهر المناخية المتطرفة في معظم المناطق حتى ولو لم يتغير المناخ، لذلك يصعب نسب أي حدث فردي لتغير مناخي. في معظم المناطق، لا تغطي سجلات التغير الآلية إلا حوالي ١٥٠ عاماً، فلا تكفي المعلومات لتحديد خصائص الأحداث المناخية القصوى النادرة. إضافة إلى ذلك، يجب أن تجتمع عدة عناصر عادةً لإنتاج حدث متطرف، لذلك من الخطأ ربط حدث متطرف معين بسبب وحيد ومحدد. في بعض الحالات، قد يكون مرجحاً تقدير المساهمة البشرية المنشأ في هذه التغيرات في احتمال حدوث حالات متطرفة.

لكن المنطق الإحصائي البسيط يشير إلى أن التغيرات الهامة في تكرار هذه الأحداث القصوى (وفي الحالة القصوى الممكنة، أي احتمال هطول الأمطار خلال ٢٤ ساعة فوق موقع معين على سبيل المثال) يمكن أن تكون نتيجة تغير صغير نسبياً في توزع الطقس أو متغيرة مناخية.



الإطار ٥ الرسم ١. رسم يظهر التأثير على درجات الحرارة القصوى عندما ترتفع معدلات الحرارة لتوزيع حراري عادي.

إن الحالات المتطرفة هي الأحداث غير المتكررة في أعلى وأدنى نطاق الأرقام التي تعود لمتغيرة معينة. يسمى احتمال حدوث الأرقام في هذا النطاق وظيفية توزيع الاحتمال، وشكلها شبيه بمنحنى عادي أو قوسي لبعض المتغيرات (منحنى الجرس المؤلف). يظهر الرسم ١ في الإطار ٥ رسماً لهذه الوظيفة ويبين تأثير نقلة صغيرة (تغير صغير في متوسط أو مركز التوزيع) على تواتر الحالات المتطرفة في كل من طرفي التوزيع. غالباً ما يترافق إزدياد في تواتر إحدى الحالات المتطرفة (مثلاً عدد الأيام الحارة) بتراجع في الحالة القصوى المعاكسة (في هذه الحالة عد

الأيام الباردة كأيام الجليد). يمكن أن تعقد التغيرات في المتغيرات أو شكل التوزيع هذه الفكرة.

ذكر تقرير التقييم الثاني أن بيانات وتحليلات الحالات المتطرفة المرتبطة بالمناخ كانت متباعدة. عند تقرير التقييم الثالث، توفرت المراقبة المحسنة وبيانات التغيرات في الحالات المتطرفة وتم تحليل النماذج المناخية لتحديد توقعات الحالات المتطرفة. منذ تقرير التقييم الثالث، إزدادت قاعدة الملاحظات لتحليلات الحالات المتطرفة، ولقد تم النظر في بعض الحالات القصوى فوق معظم مناطق اليابسة (مثلاً أقصى درجات الحرارة اليومية والتهطال). استخدمت نماذج إضافية في محاكاة وتوقع الحالات المتطرفة وتوفر حالات دمج عديدة لنماذج ذات نقاط بداية مختلفة معلومات أكثر موثوقية حول الوظائف والحالات المتطرفة. منذ تقرير التقييم الثالث، أصبحت بعض الدراسات حول رصد التغير المناخي والنسبة التي تركز على التغيرات في الإحصائيات العالمية للحالات القصوى متوفرة (الجدول ٤). في بعض الحالات المتطرفة (قوة الأعاصير المدارية مثلاً)، هناك مشاكل في البيانات و/أو نماذج غير مناسبة. ما زالت بعض التقييمات تعتمد على المنطق البسيط في توقعات بتغير الحالات المتطرفة مع الاحترار العالمي (من المتوقع أن يؤدي إلى مزيد من موجات الحر). تعتمد دراسات أخرى على التشابه النوعي بين التغيرات الملحوظة والمحاكاة. إن الاحتمال المقيم للمساهمات البشرية في التوجهات أدنى للمتغيرات حيث يعتمد التقييم على براهين غير مباشرة.

العالمي الملحوظ للغلاف الجليدي. وكان التراجع في النهر الجليدي الجلي والجلي وإتساعه منتشراً. كما يشير التراجع في الغطاء الثلجي، وعمق الثلج واتساع جليد بحر القطب الشمالي، وسماكة التربة الصقيعية حرارتها، واتساع اليابسة المجمدة موسمياً، وطول موسم تجلد الأنهار والبحيرات إلى أن التغيرات المناخية متناسقة مع الإحترار. {٣,٩، ٣,٢، ٤,٢-٤,٥، ٤,٧}

إن مشاهدات إرتفاع مستوى البحر منذ العام ٢٠٠٣ متناسقة مع التغيرات الملحوظة في محتوى المحيطات الحراري والغلاف الجليدي. إرتفع مستوى البحر بمقدار $٣,١ \pm ٠,٧$ ملم في العام الواحد بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣، وهي فترة توفر قياسات الإرتفاع العالمية. خلال هذه الفترة، لوحظ شبه توازن بين إرتفاع مستوى البحر الإجمالي ومساهمات تقلص الأنهر جليدية والقلنسوات الجليدية والصفائح الجليدية مع إرتفاع محتوى المحيطات الحراري وتوسع المحيطات ذو الصلة. يؤدي هذا التوازن إلى إزداد الثقة بأن إرتفاع مستوى البحر الملحوظ هو خير مؤشر على الإحترار. لكن رصيد مستوى البحر غير متوازن خلال فترة ١٩٦١-٢٠٠٣. {٣,٩، ٥,٥}

تتماشى المشاهدات مع فهم فيزيائي لجهة الرابط المتوقع بين بخار المياه والحرارة، ومع إشتداد أحداث التهطل في عالم أكثر دفئاً. إزداد بخار المياه العمودي في الطبقة العليا من التروبوسفير، ما يشكل دعماً هاماً لفرضية النماذج الفيزيائية البسيطة التي تحدد الرطوبة المتزايدة في عالم يعرف إحتراراً وتشكلاً مصدر معلومات إيجابي وهام للتغير المناخي. تماشياً مع إزداد كميات بخار المياه في الغلاف الجوي، ينتشر أيضاً الإزداد في عدد أحداث التهطل الشديد وإحتمال متزايد بحدوث فياضانات في عدة مناطق من اليابسة، حتى في المناطق التي شهدت إنخفاضاً في إجمالي التهطل. تدعم التغيرات الملحوظة في ملوحة المحيطات بشكل مستقل النظرية بأن دورة المياه قد تغيرت، بشكل يتماشى مع المشاهدات التي تظهر إزداد في التهطل وهدر الأنهار خارج المناطق المدارية وشبه المدارية، وإزداد في إنتقال المياه العذبة من المحيط إلى الغلاف الجوي في خطوط العرض الدنيا. {٣,٣، ٣,٤، ٣,٩، ٥,٢}

على الرغم من أن التهطل قد إزداد في عدة مناطق من الكرة الأرضية، إزدادت المناطق الخاضعة للجفاف. كما إزدادت مدة الجفاف وشدته. وبينما شهدت المناطق في الماضي جفافاً، فإن الإتساع المكاني المنتشر للجفاف الحالي يتماشى مع التغيرات المتوقعة في دورة الماء الخاضعة للإحترار. إزداد بخار المياه مع إرتفاع درجات الحرارة العالمية، بسبب إزداد التبخر حيث تتوفر رطوبة السطح، ما يزيد من

القصوى شبيهة بتغيرات معدل مستوى البحر. في مواقع أخرى، كانت للتغيرات في ظروف الغلاف الجوي على غرار العواصف أهمية أكبر في تحديد التوجهات الطويلة المدى. ارتبط التغير السنوي ما بين السنوات بالمياه العالية القصوى بشكل إيجابي بمعدل مستوى البحر الإقليمي، بالإضافة إلى مؤشرات المناخ الإقليمي على غرار النينيو في المحيط الهادئ والتذبذب الشمال الأطلسي في المحيط الأطلسي. {٥,٥}

٣,٤ التناسق في المشاهدات

في هذا القسم، تتم دراسة التغيرات والتوجهات ضمن الفروقات المناخية المختلفة وعبرها، ومن بينها الغلاف الجوي والغلاف الجليدي والمحيطات بهدف التناسق بناءً على فهم مفهومي العلاقات الفيزيائية بين الفروقات. على سبيل المثال، سيحسن الإرتفاع في درجات الحرارة قدرة الغلاف الجوي على الإحتفاظ بالرطوبة. من المفترض أن تكون التغيرات في درجة الحرارة و/أو التهطل متناسقة مع التغيرات في الأنهر جليدية. يشكل التناسق بين المشاهدات المستقلة التي تستخدم عدة تقنيات والمتغيرات إختباراً أساسياً للفهم، وبالتالي تعزز الثقة. {٣,٩}

تشير التغيرات في الغلاف الجوي والغلاف الجليدي والمحيطات بطريقة لا تحتل الشك، إلى إحترار العالم. {٣,٢، ٣,٩، ٤,٢، ٤,٤-٤,٨، ٥,٢، ٥,٥}

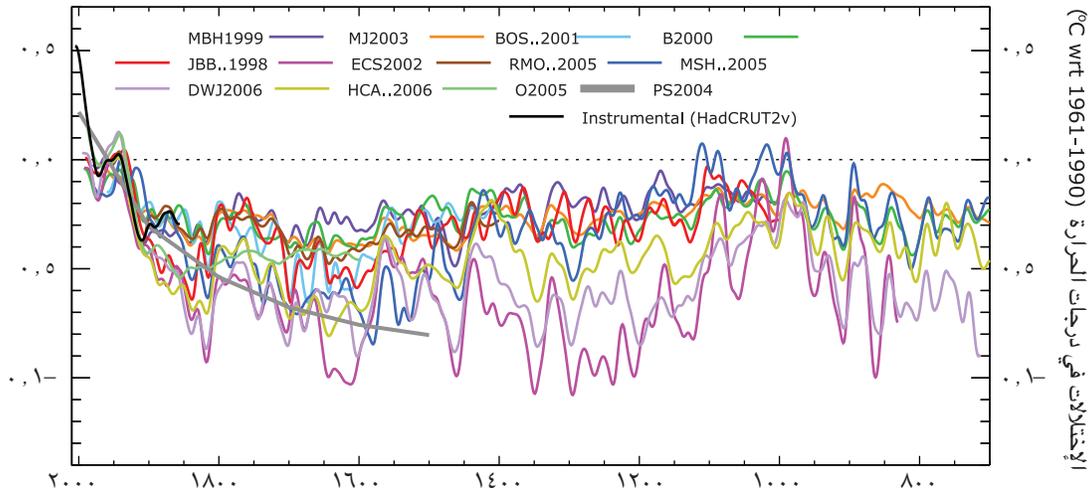
تظهر درجات حرارة سطح الأرض ودرجة حرارة سطح البحر أدلة إحترار. لقد عرفت مناطق اليابسة في النصفين من الكرة الأرضية إحتراراً بوتيرة أسرع من وتيرة إحترار المحيطات في العقود القليلة الماضية، ما يتماشى مع الجمود الحراري الأكبر في المحيطات. {٣,٢}

يتماشى إحترار المناخ مع الإرتفاع الملحوظ في عدد أيام درجات الحرارة المرتفعة القصوى، والإنخفاض في عدد أيام درجات الحرارة المتدنية القصوى والإنخفاض في عدد أيام الجليد في خطوط العرض الوسطى. {٣,٢، ٣,٨}

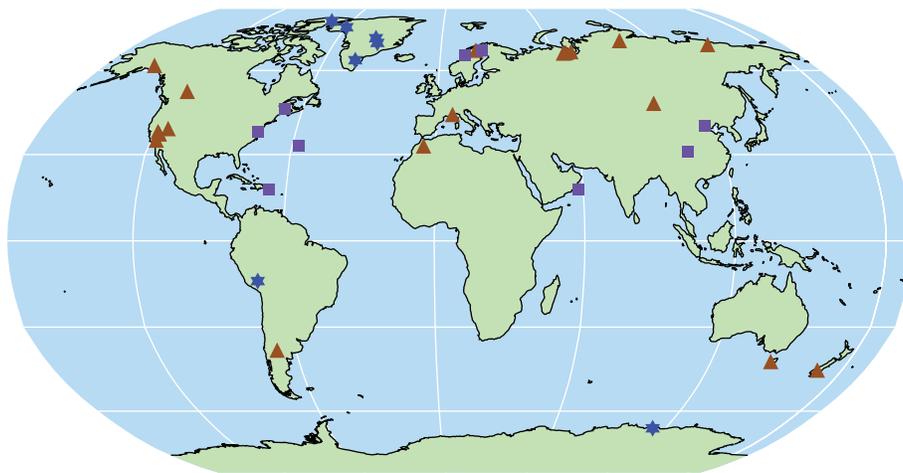
أصبحت توجهات درجات حرارة الهواء على سطح الأرض منذ العام ١٩٧٩ متناسقة مع درجات الحرارة في المرتفعات الأعلى. ومن المرجح أن يكون الإحترار أعلى بنسبة ضئيلة في التروبوسفير منه على سطح الأرض، وتروبوبوز أعلى، ما يتماشى مع توقعات من عمليات فيزيائية أساسية وإزداد ملحوظ في غازات الدفيئة مع إنحلال أوزون الستراتوسفير. {٣,٤، ٩,٤}

تتماشى التغيرات في الحرارة إلى حد بعيد مع التقلص شبه

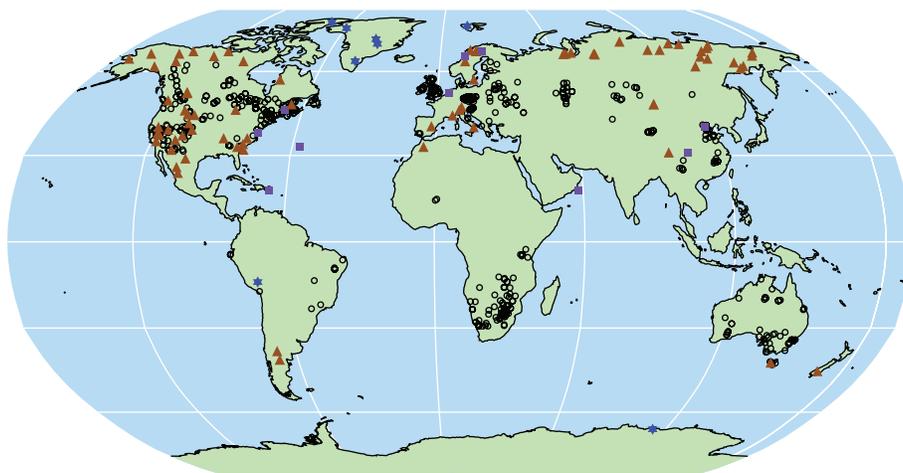
إعادة بناء درجات الحرارة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية



مواقع السجلات الوكيلية: عام ١٠٠٠ قبل المسيح



مواقع السجلات الوكيلية: عام ١٥٠٠ قبل المسيح



©IPCC 2007: WG1-AR4

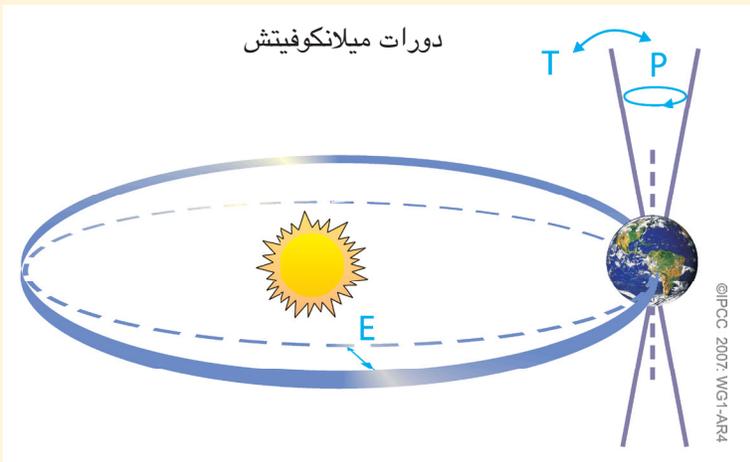
الرسم ٢٠. (أعلى) سجلات تغيرات درجة الحرارة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية خلال السنوات الـ ١٢٠٠ الماضي، مع ١٢ عملية إعادة بناء لإستخدام عدد من السجلات المناخية غير المباشرة ظاهرة بالألوان والسجلات الآلية الظاهرة بالأسود. (الوسط والأسفل) مواقع السجلات الوكيلية الحساسة تجاه الحرارة مع بيانات تعود إلى عام ١٠٠٠ وعام ١٥٠٠ قبل المسيح (حلقات الشجر: المثثلات البنّية، مواقع السبر: الدوائر السوداء، باطن الجليد/ انقواب الإستطلاع، النجوم الزرقاء، سجلات أخرى تتضمن سجلات متدنية التحديد: مربعات أرجوانية). تعطي مصادر البيانات في الجدول ٦.١، الرسم ٦.١٠ وتناقش في الفصل ٦. (الرسم ٦.١٠ و ٦.١١)

الإطار ٦: التأثير المداري

وتبين الحسابات الفلكية بوضوح تام أن التغيرات الدورية في شكل مدار الأرض حول الشمس تتحكم بتوزيع إشعاعات الشمس الوافدة في أعلى الغلاف الجوي عبر الفصول وخطوط العرض (وتسمى من الآن فصاعداً الإشماس). ويمكن إحصاء التغيرات الماضية والمستقبلية لجهة الإشماس على مدى ملايين السنين، والحصول على نتائج موثوقة إلى أعلى درجة. {٦,٤}

ويدل مصطلح الحركة المدارية على التغيرات الطارئة على تلك الفترة من السنة عندما تكون الأرض أقرب ما يمكن من الشمس، ضمن شبه فترات زمنية تتراوح بين ١٩٠٠٠ و ٢٣٠٠٠ سنة. ونتيجة لذلك، تؤدي التغيرات لجهة موقع الفصول ومدتها على المدار إلى تعديل توزيع الإشماس على الفصول وخطوط العرض تغييراً شديداً. وتعد التغيرات الفصلية الطارئة على الإشماس أكبر بكثير من وسطي التغيرات السنوية، وقد تصل إلى ٦٠ واط في المتر المكعب الواحد (انظر الملخص الفني، الإطار ٦ الرسم ١).

ويتراوح ميل (إنحدار) محور الأرض بين ٢٢ درجة و ٢٤,٥ درجة ضمن شبه دوريات تمتد على ما يقارب ٤١٠٠٠ سنة. وتؤدي التغيرات التي تطرأ على ميل الأرض إلى تعديل التناقضات الفصلية، كما يتغير الإشماس السنوي النسبي ذو الآثار المضادة لجهة خطوط العرض المنخفضة مقابل خطوط العرض المرتفعة (وبالتالي، ما من أثر على معدل الإشماس العالمي). {٦,٤}



الإطار ٦ الرسم ١. رسم التغيرات المدارية للأرض (أو دورات ميلانكوفيتش) التي تؤدي إلى دورات الفترات الجليدية. يشير الحرف T إلى التغيرات التي حصلت على مستوى الميل أو الإنحدار لجهة محور الأرض، ويشير الحرف E إلى إختلاف المدار المركزي، أما الحرف P فيشير إلى التنبؤات، بمعنى آخر، التغيرات باتجاه إنحدار المحور في نقطة معينة من المدار. {الأسئلة ٦,١ - الرسم ١}

الكبير. (انظر الملخص الفني، الإطار ٦ الرسم ١). {٦,٤}

وصلت نظرية ميلانكوفيتش أو «النظرية المدارية» المتصلة بالعصور الجليدية إلى مراحل متطورة للغاية الآن. فغالباً ما تنجم العصور الجليدية عن الحدود الدنيا للإشماس الصيفي على خط العرض المرتفع للقطب الشمالي، ما يسمح باستمرار تساقط الثلوج على مدار السنة وبالتالي تراكم الثلوج حتى تشكل صفائح جليدية في نصف الكرة الشمالي. ويُقال أيضاً إن الفترات التي تتسم بإشماس صيفي قوي يقع على المناطق المرتفعة من خطوط العرض في نصف الكرة الشمالي، والتي تتميز في الوقت نفسه بتغيرات مدارية واضحة، تؤدي إلى ذوبان سريع للجليد، بالإضافة إلى التغيرات المناخية وإرتفاع مستوى سطح البحر. وتحدد هذه التغيرات المدارية وتيرة التغيرات المناخية، فيما يبدو أن عمليات التأثير التفاعلي القوي التي تضخم التغيرات المدارية وتسمح بحدوث إجابات شاملة. وتؤثر التغيرات المدارية أيضاً على مرآف السنين بشكل كبير على الأنظمة المناخية الأساسية مثل أهم الرياح الموسمية في الأرض ودوران المحيطات العالمي ومحتوى الغلاف الجوي من غازات الدفيئة. {٦,٤}

وتبين الدلائل المتوفرة أن نزعة التبريد الطبيعية الآلية إلى التجلد لن تخفف من التسخين الراهن. ويشير فهم تجاوب الأرض مع التغيرات المدارية إلى أن كوكبنا لن يدخل من تلقاء نفسه في عصر جليدي جديد يمتد على ما لا يقل عن ٣٠٠٠٠ سنة. {٦,٤}

- الأسئلة ٦,١

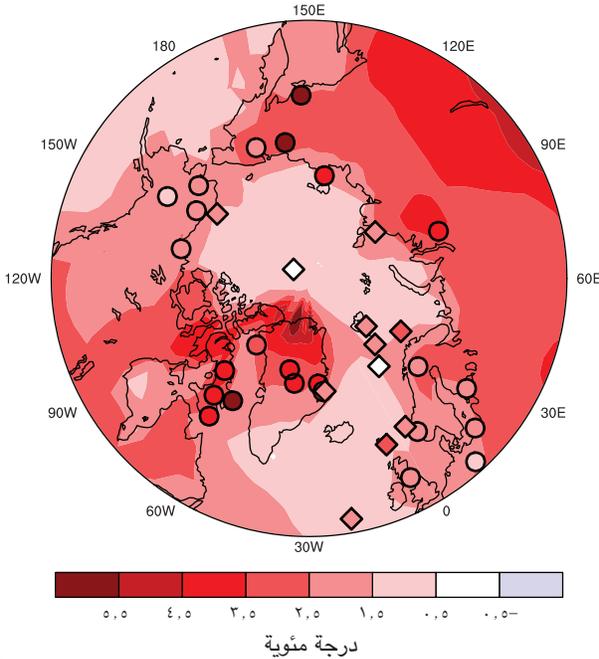
٣,٥ من منظر مناخ عصر ما قبل التاريخ

تستخدم دراسات مناخ عصر ما قبل التاريخ قياسات التغيرات الماضية المستقاة من درجات حرارة السبر، والتغير في ترسبات المحيطات، والتغيرات في إتساع الأنهر جليدية إضافة إلى قياسات غير مباشرة تتضمن التغيرات في الخصائص الكيميائية والفيزيائية والإحيائية التي تعكس التغيرات الماضية في بيئة تواجدت فيها البيانات غير المباشرة أو نمت. تعتمد هذه الدراسات على عدد من الوكلاء للتحقق من النتائج المختلفة وتحسين فهم نقاط عدم اليقين. أصبح اليوم مقبولاً ومبرراً أن عدد من المخلوقات الإحيائية (على مثال الأشجار، والمرجان والعوالق، والحيوانات) تغير نموها و/ أو دينامياتها إستجابة للمناخ المتغير، وأن هذه التغيرات بسبب المناخ سجّلت نمواً جيداً مقارنة بالمستوى السابق

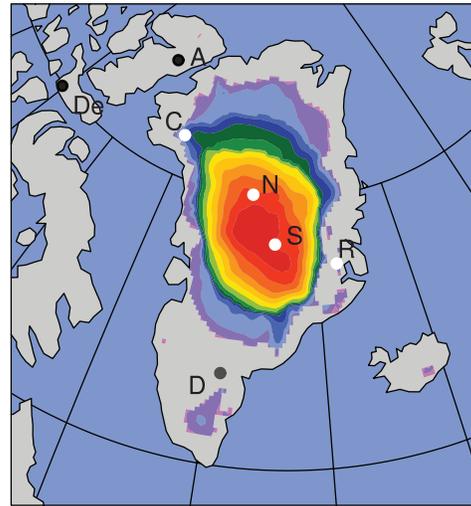
التهطل. لكن من المتوقع أن تؤدي درجات الحرارة القارية المرتفعة إلى مزيد من التبخر والجفاف، ويكون هاماً في المناطق الجافة حيث تكون رطوبة السطح محدودة. كما يمكن أن تؤدي التغيرات في الكتلة الثلجية والغطاء الثلجي وأنماط الدوران في الغلاف الجوي ومسارات العواصف إلى تخفيض الرطوبة الموسمية، ما يساهم بدوره في زيادة الجفاف. ساهمت التغيرات في درجات حرارة سطح البحر والتغيرات ذات الصلة في دوران الغلاف الجوي والتهطل في إحداث تغيرات في الجفاف خاصة عند خطوط العرض الدنيا. نتيجة لذلك، أصبح الجفاف أكثر شيوعاً، خاصة في المناطق المدارية وشبه المدارية منذ السبعينيات. في أستراليا وأوروبا، تم إستنتاج العلاقات المباشرة للإحترار العالمي من خلال بلوغ درجات الحرارة العالية حدّاً أقصى وموجات الحر المرافقة للجفاف الحديث. {٣,٣، ٣,٨، ٩,٥}

المحيط المتجمّد الشمالي والفترات الجليدية البينية

تغير درجات حرارة سطح الجو في المحيط المتجمّد الشمالي خلال فصل



سماكة الثلوج السنوية وإمتدادها في الفترة الجليدية البينية الأخيرة



©PCC 2007: WG1-AR4

الرسم ٢١: تغيّر حرارة سطح الجو في الصيف بحسب حرارة المحيط المتجمّد الشمالي (الرسم لجهة اليسار) وسماكة الثلوج وإمتداد جزيرة غرينلاند والأغطية الجليدية الموجودة في المحيط المتجمّد الشمالي (الرسم لجهة اليمين). وتشير دراسة محلية متعددة النماذج ومتعلقة بإرتفاع درجات الحرارة في فصل الصيف خلال الفترات الجليدية البينية، إلى أن أعلى درجات الحرارة مصدرها المواقع الأرضية (الدوائر) والبحرية (المعينات) (الرسم لجهة اليمين). إن امتداد وسماكة الغطاء الجليدي في غرينلاند والأنهر جليدية في غربي كندا وأيسلاند، لم يتعد الحد الأدنى من إمتدادها خلال الفترة الجليدية البينية الأخيرة، ظاهرة بشكل نموذج متعدد الأشكال يتألف من ٣ نماذج جليدية. وتشير دراسة معمقة إلى تكوّن نماذج جليدية في مواقع (البقع البيضاء اللون) عدة خلال الفترة الجليدية البينية، مثل رينلاند R ومشروع شمالي غرينلاند حول القلنسوة الجليدية N وموقع القمة (Summit S) بالإضافة إلى مشروع القلنسوة الجليدية في غرينلاند GRIP ومشروع الغطاء الجليدي في غرينلاند GISP2. ومن الممكن في كامب سنتر C، كما تشير إلى عدم وجود ثلوج في المواقع التالية (المشار إليها بالبقع السوداء اللون): ديفون De وأغاسيس A. وتبقى الدلائل حول إمكانية تجمّع الثلوج من الفترة الجليدية البينية الأخيرة LIG في القلنسوة الجليدية Dye-3 (البقعة الرمادية اللون، D) غير مؤكدة. {الرسم ٢١,٦}

بسبب الثورات البركانية و/أو النشاط الشمسي. على سبيل المثال، تشير إعادات البناء إلى تراجع في النشاط الشمسي وتزايد في النشاط البركاني في القرن السابع عشر مقارنةً بالظروف الحالية. وتشير إعادة بناء واحدة إلى ظروف مناخية أكثر دفئاً بقليل في القرن الحادي عشر من تلك الواردة في تقرير التقييم الثالث، لكن مع أوجه عدم يقين واردة في تقرير التقييم الثالث. {٦,٦}

توفر سجلات ثاني أكسيد الكربون من العينة الجليدية خلال الألفية الماضية حدوداً إضافية حول التغيرات الطبيعية للمناخ. تتماشى قيمة تغيرات درجات الحرارة في مرحلة ما قبل الثورة الصناعية وعلى نطاق عقدي في النصف الشمالي من الكرة الأرضية من إعادات البناء التي تعتمد على بيانات غير مباشرة ($> 1^{\circ}\text{C}$) إلى حد بعيد مع سجلات ثاني أكسيد الكربون من العينة الجليدية وفهم إستجابة المناخ ودورة الكربون. تغيرت نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بالتزامن مع تغير الحرارة في القطب الجنوبي خلال الـ ٦٥٠٠٠٠ سنة الماضية. وتشير البيانات المتوفرة إلى قيام ثاني أكسيد الكربون بدور المحفز. {٦,٦,٦,٤}

تظهر بيانات الهولوسين تغيرات واضحة في الأنهر جليدية، إلا أن هذه التغيرات أتت كنتيجة لعمليات متعددة، إلى جانب الإرتداد الذي حصل أواخر القرن العشرين. وقد عرفت الأنهر جليدية الموجودة في مناطق جبلية عدة من القطب الشمالي إرتداداً من جراء التأثير المداري على درجات الحرارة الإقليمية منذ ١١٠٠٠ إلى ٥٠٠٠ سنة، ومنذ ٥٠٠٠ سنة وأكثر، كانت هذه الأنهر جليدية أصغر من تلك التي تكوّنت في نهاية القرن العشرين (أو حتى غائبة بالمقارنة معها). ولا يمكن أن يُعزى الإرتداد الحالي شبه العالمي للأنهر جليدية في الجبال للأسباب عينها، ذلك أن انخفاض الإشعاس الصيفي الذي شهده القطب الشمالي خلال الألفية الماضية قد يكون مؤثراً لتنامي الأنهر جليدية. {٦,٥}

وتظهر البيانات المتعلقة بالمناخ البدائي مدى تغير المناخات الإقليمية على إختلافها. وفي المناخات القديمة، اختلفت قوة ظواهر النينو وتيرتها. ومن الواضح أن قوة الرياح الموسمية الآسيوية وبالتالي كمية الأمطار، قد تتغير بسرعة. وتشير سجلات مناخ عصر ما قبل التاريخ في شمال وشرق أفريقيا من جهة وشمال أميركا من جهة أخرى، إلى أن فترات الجفاف التي تمتد لعقود وقرون تشكل نمطاً مناخياً يتكرر في هذه المناطق، وبالتالي فإن فترات الجفاف الحديثة ليست سابقةً في شمال أميركا وشمال أفريقيا. وتعزز مجموعة البيانات المناخية القديمة العقدية الفردية وجود تقليدية مناخية إقليمية

في الأنواع الحية والميتة (الأحافير) أو في مجموعات من المخلوقات الحية. تستخدم شبكات من عرض حلقات الشجر وكثافتها لإكتشاف التغيرات في درجات الحرارة في الماضي بناءً على القياسات مع بيانات آلية متداخلة في الزمن. فيما تستخدم هذه المنهجيات بشكل مكثف، هناك قلق لجهة توزع القياسات، وإلى أي مدى تمثل الكرة الأرضية، ومسائل مشابهة، كمعرفة مثلاً إلى أي درجة تمتلك هذه المنهجيات تحيزات موسمية ومكانية أو تحديد الإختلاف الواضح في العلاقة مع التغير المناخي الحديث. {٦,٢}

ومن المرجح جداً أن معدل درجات الحرارة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية خلال النصف الثاني من القرن العشرين كان أكثر دفئاً من أي فترة خمسين سنة خلال السنوات الخمسمائة الماضية ومن المرجح أن تكون الأكثر دفئاً في السنوات الألف وثلاثمائة الماضية. تغطي البيانات الداعمة لهذه الإستنتاجات مناطق اليابسة خارج المنطقة المدارية في الصيف (خاصة للفترات الزمنية الأطول، راجع الرسم ٢٠). تعتمد هذه الإستنتاجات على البيانات غير المباشرة مثل حلقة شجرة وكثافتها، التركيب النظائري لعناصر عديدة في الجليد أو التركيب الكيميائية لنطاق نمو المرجان، ما يتطلب تحليلاً لإستقاء معلومات عن درجات الحرارة ونقاط عدم اليقين المرتبطة بها. من بين نقاط عدم اليقين الأساسية، صعوبة الفصل ما بين درجة الحرارة والتهدال في بعض الحالات، وما إذا كانت تمثل موسماً معيناً بدلاً من أعوام كاملة. تحسنت البيانات وتوسعت منذ تقرير التقييم الثالث، ومن بينها على سبيل المثال قياسات في عدد أكبر من المواقع، تحليل محسّن لبيانات درجات حرارة السبر، وتحليلات موسعة للترسبات في الأنهر جليدية والمرجان. إلا أن البيانات المناخية القديمة محدودة أكثر من السجلات الآلية منذ العام ١٨٥٠ لجهة المكان والزمان، وتستخدم المنهجيات الإحصائية لبناء معدلات عالمية، وهي خاضعة لنقاط عدم يقين أيضاً. إن البيانات الحالية محدودة جداً فلا تسمح بإجراء تقييم مشابه لدرجات الحرارة في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية قبل مرحلة البيانات الآلية. {٦,٦,٦,٧}

تشير بعض الدراسات بعد تقرير التقييم الثالث إلى تغير في النصف الشمالي من الكرة الأرضية أكبر على مرّ القرون مما ذكره تقرير التقييم الثالث، بسبب البيانات غير المباشرة المستخدمة، ومنهجيات الإحصاء المحددة للمعالجة أو/و القياس لتمثل درجات الحرارة الماضية. يشير التغير الإضافي إلى ظروف أبرد خاصة من القرن الثاني عشر حتى الرابع عشر، والقرن السابع عشر والقرن التاسع عشر، ومن المرجح أن تكون مرتبطة بالتأثيرات الطبيعية

إلى أن معدل درجات الحرارة القطبية في تلك الفترة كانت أعلى بـ ٣ إلى ٥ درجات مئوية بالمقارنة مع القرن العشرين، بسبب التفاوتات لجهة مدار الأرض. وعلى الأرجح، لم يساهم الغلاف الجليدي في غرينلاند وغيره من المناطق الثلجية في المحيط المتجمد الشمالي، في ارتفاع مستوى البحر بأكثر من ٤ أمتار، ما يعني أيضاً أن إمكانية مساهمة أنتاركتيكا قائمة. {٦,٤}

الملخص الفني ٤: فهم تغير المناخ وعزوه

يسمح العزو بتقييم ما إذا كانت التغيرات الملحوظة تتناسب مع الاستجابات النوعية لمختلف التأثيرات، وقد تمّ التوصل إليها بعد اختبار نماذج متعددة، وليست لها تفسيرات فيزيائية ممكنة أخرى. وقد أشار تقرير التقييم الأول للهيئة الدولية المعنية بتغيير المناخ إلى وجود بعض الإثباتات الملحوظة حول تأثير بشري المنشأ على المناخ. وبعد ٦ سنوات، خلص تقرير التقييم الثاني للهيئة الدولية المعنية بتغيير المناخ إلى أن توازن البراهين يشير إلى تأثير بشري المنشأ واضح على المناخ في القرن العشرين. أما تقرير التقييم الثالث فقد خلص إلى قول إن «معظم الإحترار الملحوظ في السنوات الخمسين الفائتة قد يكون نتيجة زيادة تركيز غازات الدفيئة». وبعد تقرير التقييم الثالث، بات التأكد من تقييم تورط الإنسان في التغيرات المناخية الحديثة أقوى، وأحد الأسباب هو الحصول على إشارات أقوى من سجلات أطول، بالإضافة إلى سلسلة واسعة ومتطورة من الملاحظات التي سمحت بعزو الإحترار، وأنواع أخرى من التغيرات التي طرأت على النظام المناخي وأوجدت حلول. وتم إيجاد حلول ملموسة لبعض التناقضات الواضحة في سجل الملاحظات (مثلاً، في ما يتعلق بالشكل العمودي لتغير درجات الحرارة). وحصلت تطورات على مستوى محاكاة نواح متعددة من المناخ النسبي الحالي وتقليبته بحسب جداول زمنية عقدية بينية أو جداول زمنية موسمية، على الرغم من بعض الشكوك التي لا تزال قائمة (انظر الملخص الفني، الإطار ٧). واليوم، تستخدم النماذج أمثلة مفصلة عن عمليات تتعلق بالأهباء الجوية وغيرها من التأثيرات. واعتمدت محاكاة تغير المناخ في القرن العشرين نماذج إضافية وتأثيرات طبيعية وبشرية المنشأ كاملة، لم تكن جميعها متوفرة عند صدور تقرير التقييم الثالث. وتسمح المجموعات المتعددة النماذج المتوفرة بتعزيز الثقة في عزو النتائج، من خلال تأمين مثال مطور عن شكوك النماذج. والآن، تبلورت إحدى الإشارات والبشرية المنشأ في دراسات العزو الرسمية الخاصة بنواح النظام المناخي، إلى جانب درجات الحرارة الجوية العالمية النطاق،

شبه دورية، ولكن من المستبعد أن تكون هذه البوادر الإقليمية متناسقة على النطاق العالمي. {٦,٥، ٦,٦}

تشير معلومات موثوقة تستند إلى رواسب المحيط والنمذجة، إلى وجود علاقة بين التغيرات المناخية السريعة التي حصلت في الفترة الجليدية الأخيرة والفترة الإنتقالية الجليدية – الجليدية البينية، والتغيرات التي حصلت على مستوى دوران المحيط الأطلسي. ويشير الفهم الحالي إلى أن الدوران المحيطي قد يصبح غير مستقر ويتغير بسرعة عند مواجهة عتبات خطيرة. وقد أثرت هذه الظواهر على درجات الحرارة التي وصلت إلى ١٦ درجة مئوية في غرينلاند، وأثرت على أنماط تساقط الأمطار الإستوائية. والأرجح، هي تتعلق بإعادة توزيع الحرارة بين القطبين الشمالي والجنوبي، وليس بالتغيرات الكبيرة لجهة درجات الحرارة النسبية في العالم. ولم تُلحظ مثل هذه الظواهر منذ ما يقارب ٨٠٠٠ سنة. {٦,٤}

تعزز القدرة المطورة للنماذج الحالية لمحاكاة ظروف عصر ما قبل التاريخ، الثقة في فهم تغير مناخ عصر ما قبل التاريخ والتغيرات على مستوى التأثير المداري. ويختلف الحد الأقصى للغمر الجليدي الأخير (حصلت الفترة الجليدية الأخيرة منذ ما يقارب ٢١٠٠٠ سنة) ومنتصف الهولوسين (منذ ٦٠٠٠ سنة) عن المناخ الحالي، ليس بسبب التقلبية العشوائية، وإنما بسبب التأثير العالمي والموسمي المختلف والمتصل بفروقات معروفة على مستوى مدار الأرض (انظر الملخص الفني، الإطار ٦). وقد عزز التأثير التفاعلي الكيمائي الأرضي الإحيائي والفيزيائي الإستجابة إلى التأثيرات المدارية. وتظهر المقارنات بين الظروف التي خضعت للمحاكاة وإعادة التوليد في الحد الأقصى للغمر الجليدي الأخير أن النماذج تلتقط الأنماط الواسعة للتغيرات المستنتجة في أنماط درجات الحرارة والأمطار. وبالنسبة إلى منتصف الهولوسين، إن نماذج المناخ المقرونة قادرة على محاكاة الإحترار في مناطق خطوط العرض الوسطى والرياح الموسمية القوية، مع تغير بسيط في درجات الحرارة النسبية في العالم (< ٠,٤ درجة مئوية)، ما يتماشى مع فهمنا للتأثير المداري. {٦,٢، ٦,٤، ٦,٥، ٩,٣}

كان المعدل العالمي لارتفاع مستوى سطح البحر يتراوح بين ٤ و٦ أمتار خلال الفترة الجليدية البينية الأخيرة، منذ ما يقارب ١٢٥٠٠٠ ألف سنة، أي أعلى من معدل القرن العشرين، لا سيما بسبب إرتداد الجليد القطبي (انظر الملخص الفني، الرسم ٢١). وتشير البيانات المرتبطة بالقلنسوة الجليدية إلى أن الثلوج غطت منطقة قمة غرينلاند في تلك الفترة، إلا أن بعض المناطق في جنوب غرينلاند تشهد إنخفاضاً في مد الغلاف الجليدي. كما تشير البيانات المتعلقة بالقلنسوة الجليدية

الإطار ٧: تقييم نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات

تشكل نماذج الدوران العام في الغلاف الجوي-المحيطات الأداة الأولية المستخدمة في فهم تقلبات المناخ الماضية وعزوها، ولفهم الإسقاطات المستقبلية. وبما أن التأثير الإشعاعي لم يواجه اضطرابات في الماضي مشابهة تماماً لتلك التي من المتوقع أن يتسبب بها الإنسان خلال القرن الحادي والعشرين، فإنه ينبغي بناء الثقة بالنماذج من خلال استخدام عددٍ من الطرق غير المباشرة والوارد وصفها فيما يلي. وفي كلٍ من تلك المجالات، وقد تحققت إنجازات كبيرة منذ تقرير التقييم الثالث، مما يزيد الثقة بكافة النماذج بشكل عام. {٨، ١}

وبات التدقيق والتحليل المحسن لسلوك النماذج أكثر سهولةً بفضل الجهود المنسقة دولياً بغية تجميع ونشر نتائج تجارب النماذج التي أجريت في ظل أوضاع مشتركة. الأمر الذي شجّع على وضع تقييم أكثر انفتاحاً وشموليةً للنماذج، بطريقة تتضمن سلسلة من الآفاق المتنوعة. {٨، ١}

تطوّرت الإسقاطات المتعلقة بنطاقات مختلفة وفترات زمنية مختلفة من خلال استخدام نماذج مناخية عالمية: وتُظهر النماذج المناخية المستقبلية على مدى عقودٍ وبما أنه لا يجري تتبع تفاصيل نظم الأحوال الجوية الفردية ولا التنبؤ بها، فإن الظروف الجوية الأولية تصبح أقل أهميةً بكثير بالنسبة إلى نماذج التنبؤ بالطقس. وتزداد أهمية الإسقاطات المناخية ازدياداً كبيراً. وتتضمن التأثيرات كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى الأرض، وكمية الجسيمات الناتجة عن الثوران البركاني في الغلاف الجوي، وتركيز الغازات والجزيئات البشرية المنشأ في الغلاف الجوي. وفيما يتحول مجال الاهتمام من النطاق العالمي إلى الإقليمي إلى المحلي، أو يقصر النطاق الزمني موضع الاهتمام، يزداد حجم التقلبية المتعلقة بالطقس نسبةً إلى إشارة تغيير المناخ على المدى الطويل. فيصعب الكشف عن إشارة تغيير المناخ على نطاقات أصغر. كما تشكل الأحوال في المحيطات نقطة هامة، لا سيما بالنسبة إلى النطاقات الزمنية السنوية البيئية أو العقدية. {الأسئلة ١، ٢، ٤، ٩، ١١، ١}

إعداد النموذج. تطور إعداد نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات من خلال تحسين الاستبانة المكانية واستخدام المخططات العددية وتعيين البارامترات (مثل الجليد البحري والطبقة المتاخمة للغلاف الجوي والمياه السطحية في المحيطات). وأدرجت عمليات إضافية في نماذج عدة، بما في ذلك عمليات ضرورية بالنسبة إلى التأثير (مثلاً: باتت الأهباء الجوية منمذجة بطريقة تفاعلية في نماذج عدة). واليوم، باتت معظم النماذج تحافظ على مناخ مستقر من دون استخدام عمليات تكييف التدفقات، على الرغم من أن بعض الاتجاهات الطويلة الأمد لا تزال ضمن نطاق مراقبة نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات، مثلاً، نظراً إلى بطء العمليات التي تجري في المحيطات. {٨، ٣، ٨، ٣}

محاكاة المناخ الحالي. تم نتيجة تحسين صيغة النماذج تحسين محاكاة نواحي عديدة من المناخ الحالي العادي. وبشكل عام، تحسنت محاكاة التهطال وضغط مستوى سطح البحر وحرارة السطح بصورة إجمالية، لكن الثغرات لا تزال موجودة لا سيما في المناطق المدارية. وفي ظل وجود ثغرات هامة على مستوى محاكاة السحب (والتأثير التفاعلي المناظر الذي يؤثر على حساسية المناخ)، أظهرت بعض النماذج حدوث تحسينات لجهة محاكاة بعض أنظمة السحاب (وخاصةً السحاب الركامي الطباقية البحري). وتحسنت محاكاة الظواهر المتطرفة (وخاصةً درجات الحرارة المتطرفة)، ولكن غالباً ما تظهر النماذج في إطار الظواهر الأكثر تطرفاً. كما تحسنت محاكاة الأعاصير خارج المنطقة المدارية. وتستطيع بعض النماذج المستخدمة للتنبؤ بالتغيرات على مستوى الأعاصير المدارية، أن تقوم بمحاكاة الوتيرة والتوزيع الملحوظين للأعاصير المدارية. وقد أنجزت محاكاة تركيبية حجم مياه المحيطات والدوران التقلبي الجنوبي ونقل حرارة المحيطات. غير أن معظم النماذج تظهر بعض الانحرافات في محاكاتها للمحيط الجنوبي، مما يؤدي إلى عدم اليقين إزاء امتصاص حرارة المحيطات المنمذجة عندما يتغير المناخ. {٨، ٣، ٨، ٥، ٨، ٦}

محاكاة نماذج تقلبية المناخ. تقوم النماذج بمحاكاة أهم أنماط تقلبية المناخ خارج المنطقة المدارية، وهي تشبه تلك الملحوظة (النمط الحلقي الشمالي / النمط الحلقي الجنوبي ونمط المحيط الهادئ - أميركا الشمالية والتذبذب العقدي في المحيط الهادئ). إلا أنها لا تزال تواجه المشاكل في عرض بعض نواحيها. وباتت الآن بعض النماذج قادرة على محاكاة نواحي هامة من التذبذب الجنوبي، فيما يبقى تذبذب مادن-جوليان غير مرضٍ بصورة عامة. {٨، ٤}

محاكاة تقلبات مناخ عصر ما قبل التاريخ. حصلت بعض التطورات على مستوى محاكاة تقلبات المناخ في الماضي. وبعيداً عن أي عزوٍ لتلك التغيرات، فإن قدرة النماذج المناخية إكانية تقديم تفسيرٍ متماسكٍ على الصعيد الفيزيائي حول التقلبات

المناخية الملحوظة على نطاقات زمنية مختلفة، تعزيز الثقة في أن النماذج تستقطب عمليات أساسية لجهة تطور المناخ في القرن الحادي والعشرين. وتتضمن أوجه التقدم المحرز مؤخراً نمذجة ناجحة للتغيرات المرصودة في نطاقات أوسع من المتغيرات المناخية خلال القرن العشرين (مثل درجات الحرارة والظواهر المتطرفة القارية النطاق ومدى الجليد البحري واتجاهات محتوى حرارة المحيطات والأمطار الأرضية). كما حصل تقدم في القدرة على نمذجة عدة ملامح عامة من الماضي، وحالات مناخية مختلفة للغاية كمنتصف الحقبة الهالوسينية والحد الأقصى للغمر الجليدي الأخير من خلال استخدام نماذج شبيهة أو على علاقة بتلك المستخدمة لدراسة المناخ الحالي. وتتضمن المعلومات حول العوامل المطروحة كالأوضاع الحدودية في الحسابات الخاصة بمناخ عصر ما قبل التاريخ مختلف أحوال الصفائح الجليدية في تلك الفترات. وأيدت الملاحظات ما سبقها من تنبؤات واسعة حول النماذج المناخية السابقة، مثل إزدياد درجات الحرارة في العالم إستجابةً لإزدياد غازات الدفيئة. ما يعزز الثقة بتنبؤ المناخ على المدى القصير وفهم التزامات تغير المناخ ذات الصلة. {٦,٤, ٦,٥, ٨,١, ٩,٣-٩,٥}

التنبؤ بحالة الطقس والتنبؤات الفصلية باستخدام نماذج المناخ. اختُبرت بعض النماذج المناخية وأثبتت من حيث قدرتها على التنبؤ بالقيم الأولية، على نطاقات زمنية تتراوح ما بين التنبؤات بالأحوال الجوية (بضعة أيام قليلة) وتقلبات المناخ الفصلية، عندما بدأ العمل بها مشفوعة بالرصدات المناسبة. وبينما لا تعني على التنبؤ بالنماذج في أسلوب العمل هذا أنها ستظهر بالضرورة الإستجابة الصحيحة للتغيرات في عوامل التأثير المناخي كغازات الدفيئة، فإنها تعزز الثقة بأن تمثل هذه النماذج بعض العمليات الأساسية والالتزامات ذات الصلة بتغير المناخ. {٨,٤}

التدابير المرتبطة بدقة الإسقاطات المتعلقة بالنماذج. تم للمرة الأولى، تم استخدام مجموعات النماذج لاكتشاف إمكانية تطوير مقاييس قدرة النماذج («القياس»)، إستناداً إلى أساليب التقييم المذكورة آنفاً، والتي يمكن استخدامها لتضييق نطاق حالة عدم اليقين من خلال وضع قيود كمية على نموذج الإسقاطات المناخية. على الرغم من أن هذه الأساليب تبدو وكأنها تبشر بالخير، إلا أنه لا يزال من الضروري إرساء سلسلة من التدابير على الإسقاطات المناخية الموثوقة لهذا الغرض. {١٠,٥, ٩,٦, ٨,١}

نطاقات مكانية واسعة قد خضعت بقوة للتأثيرات الخارجية. لكن، لا تزال الشكوك قائمة في ما يتعلق بالحجم والتطور الزمني للتقديرات المتعلقة بمساهمة التأثيرات الفردية المتعددة، غير غازات الدفيئة المختلطة، وذلك بسبب الشك في إستجابة النماذج للتأثير، على سبيل المثال. وحتى الآن، لم تدخل بعض التأثيرات الهامة كأهباء الكربون الأسود في معظم دراسات الكشف والعزو الرسمية. ولا تزال التقديرات حول تقلبية المناخ الداخلية الطبيعية غير مؤكدة. مثلاً، هناك تضارب بين النماذج والمراقبة لجهة التقديرات المتعلقة بتقلبية المحتوى الحراري للمحيطات، على الرغم من أن المعاينة الضعيفة لأجزاء من محيطات العالم تفسر هذا التضارب. بالإضافة إلى ذلك، يصعب تقدير التقلبية الداخلية بواسطة سجلات المراقبة المتوفرة، فهذه السجلات تخضع للتأثير الخارجي، ولأن السجلات المتوفرة ليست مفصلة بما فيه الكفاية في ما يتعلق بالبيانات التي تعود إلى فترة إستعمال القياسات، أو دقيقة بما فيه الكفاية في ما يتعلق بإعادة التوليد غير المباشرة، كي تتقدم بوصفٍ شاملٍ لتقلبية بحسب جداول زمنية عقدية أو أكثر (انظر الملخص الفني، الرسم ٢٢ والإطار ٧). {٨,٢, ٨,٤, ٨,٦, ٩,٢, ٩,٤}

من المستبعد للغاية (>٥٪) أن يُفسر النمط العالمي لإحترار الملحوظ في النصف الثاني من القرن الماضي، من دون

نواحٍ تتضمن تغيرات المحتوى الحراري العالمي للمحيطات والميول القارية النطاق لدرجات الحرارة والظواهر الحرارية المتطرفة والدوران وامتداد الثلوج البحرية في المنطقة القطبية الشمالية. {٩,١}

٤,١. تطورات في عزو تغير درجات الحرارة في العالم خلال حقبة إستعمال القياسات: الغلاف الجوي والمحيط والجليد

يعرف الإحترار البشري المنشأ للنظام المناخي إنتشاراً واسعاً ويمكن كشفه من خلال مراقبة درجات الحرارة على السطح والغلاف الجوي الحر والمحيطات. {٣,٢, ٣,٤, ٩,٤}

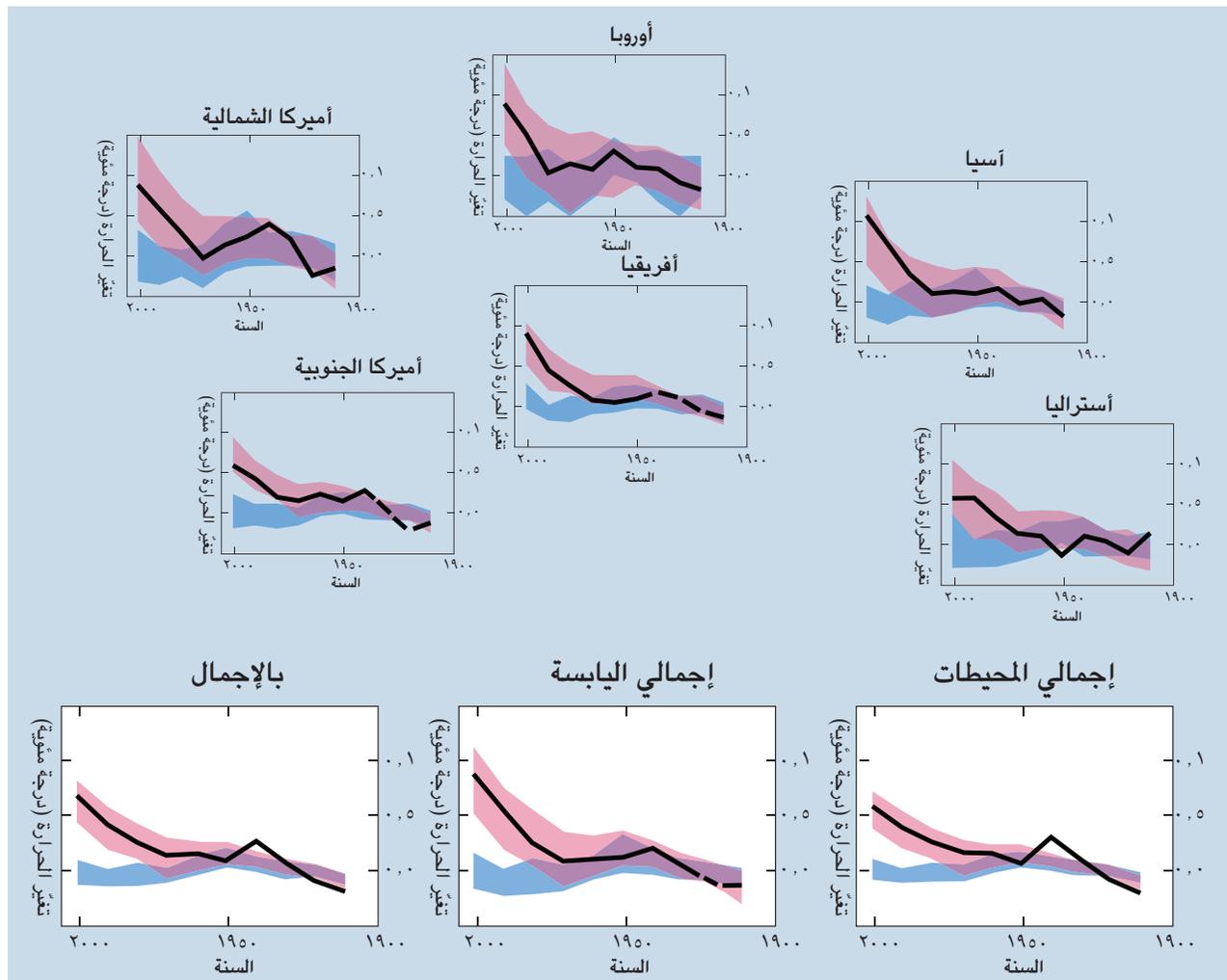
ولم تتوقف الدلائل المرتبطة بتأثير عوامل خارجية، بشرية المنشأ وطبيعية، على النظام المناخي، عن الإزدياد منذ صدور تقرير التقييم الثالث. وأدى تطوير النماذج والبيانات، والمحاكاة وتمثيل الهباء الجوي وغازات مفعول الدفيئة وغيرها من التأثيرات، إلى تعزيز الثقة بأن معظم النماذج الحالية تعيد توليد تقلبية الغلاف الجوي الواسعة النطاق والخاضعة للتأثير، على جداول زمنية عقدية وعقدية بينية. وتؤكد هذه التطورات أن تقلبية مناخ عصر ما قبل التاريخ على

الطبيعية لا يمكن أن تكون السبب وراء التغيرات الملحوظة، نظراً إلى الدراسات المطورة التي تبين أن الإحترار حصل على مستوى المحيطات والغلاف الجوي معاً، إلى جانب خسارة الأنهر الجليدية من حجمها الأساسي. {٢,٩، ٣,٢، ٥,٢، ٩,٤، ٩,٥، ٩,٧، ٩,٧}

ومن المرجح جداً أن يكون إزدياد غازات الدفيئة البشرية المنشأ هو الكامن وراء معظم حالات إرتفاع معدل درجات الحرارة

ذكر التأثير الخارجي. وقد حصلت هذه التغيرات في وقت كان من المرجح فيه أن تولد عوامل التأثير غير البشري المنشأ (مثل كمية التأثير البركاني والشمسي) التبريد، وليس الإحترار (انظر الملخص الفني، الرسم ٢٣). وتشير دراسات العزو إلى أنه من المرجح جداً أن عوامل التأثير الطبيعية هذه ليست وحدها وراء الإحترار الملحوظ (انظر الملخص الفني، الرسم ٢٣). وتم التأكد من أن التقلبية الداخلية

التغير الحراري القاري والعالمي



©IPCC 2007: WG1-AR4

ملاحظات —————

نماذج باستخدام التأثيرات الطبيعية فقط
نماذج باستخدام تأثيرات طبيعية وبشرية

الرسم ٢٢: مقارنة التغيرات القارية والعالمية النطاق لجهة درجات حرارة السطح مع النتائج التي خضعت لمحاكاة النماذج المناخية عبر استخدام التأثيرات الطبيعية والبشرية المنشأ. وفي الرسم، تبدو المعدلات العقدية للملاحظات بالنسبة إلى الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٠٦ - ٢٠٠٥ (الخط الأسود)، ضد وسط العقد ونسبة للمعدل المناسب لها في الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٠١ - ١٩٥٠. تكون الخطوط متقطعة عندما تقل التغطية المكانية عن ٥٠٪. وتظهر الأشرطة الزرقاء اللون النسب المتراوحة بين ٥٪ و ٩٥٪ الخاصة بـ ١٩٥٠ حالة محاكاة من أصل ٥ نماذج مناخية تستخدم التأثيرات الطبيعية فقط نظراً إلى النشاط الشمسي والبراكين. أما الأشرطة الحمراء اللون فتظهر النسب المتراوحة بين ٥٪ و ٩٥٪ الخاصة بـ ٥٨ حالة محاكاة من أصل ١٤ نموذجاً مناخياً يستخدم التأثيرات الطبيعية والبشرية المنشأ معاً. ويفصل القسم ٩,٤ والنقطة ٩,٢ من الأسئلة والجدول ٨,١ والمعلومات الإضافية من الفصل التاسع مصادر البيانات والنماذج المستخدمة. {الأسئلة ٩,٢، الرسم ١}

{٩,٤، ٩,٢، ٩,١}

تمّ الكشف عن إحترار واسع الإنتشار في حرارة مياه المحيطات. وبحسب دراسات العزو الرسمية، من المرجح أن يكون التأثير البشري المنشأ قد شارك في الإحترار المحوظ على مستوى مئات الأمتار السطحية من المحيط العالمي، خلال النصف الأخير من القرن العشرين. {٩,٥، ٥,٢}

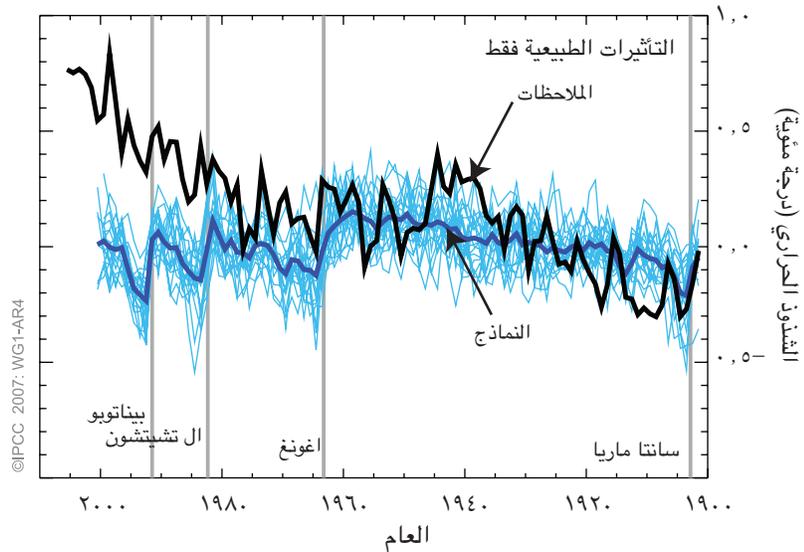
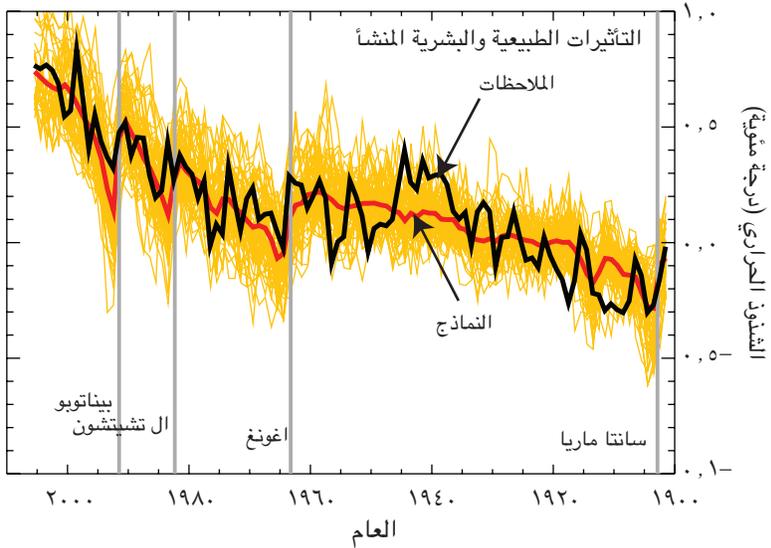
ومن المرجح أن يكون التأثير البشري المنشأ قد ساهم في الإنخفاض الحديث لنسبة مد الجليد البحري في المنطقة القطبية الشمالية. ومن المتوقع حدوث بعض التغيرات في الجليد البحري للمنطقة القطبية الشمالية، نظراً إلى تزايد الإحترار في القطب الشمالي. وتعرض دراسات العزو وتطور التمثيل المنمذ للجليد البحري ونقل حرارة مياه المحيطات، الإقتناع بهذه الخلاصة. {٩,٥، ٨,٣، ٨,٢، ٤,٤، ٣,٣}

المحوظ في العالم منذ منتصف القرن العشرين. ومن دون التبريد الناتج عن الأهباء الجوية، من المرجح أن تكون غازات الدفيئة وحدها التي تسبب إرتفاعاً نسبياً في درجات الحرارة في العالم، يفوق ذلك الذي شهدناه خلال السنوات الخمسين الأخيرة. ويشكّل تغيّر درجات الحرارة عبر الزمن (انظر الملخص الفني، الرسم ٢٣)، بالإضافة إلى تناقد وجود إحترار في نصف الكرة الغربي، عنصراً حيوياً في تحديد بصمة الأهباء الجوية، وبالتالي كمية التبريد المضاد للإحترار الذي تسببه غازات الدفيئة. واستنتاج فكرة تقول بأن تأثير غاز الدفيئة كان طاغياً، يأخذ بعين الإعتبار بعض الشكوك حول التأثيرات والمراقبة، ويشكّل نقطة قوة لإستخدام نماذج مناخية مختلفة، وسبل متعددة لتقدير الإستجابة للتأثير الخارجي وتقنيات تحليلية متعددة. كما يسمح بإمكانية تعزيز الإستجابة للتأثير الشمسي. {٦,٦، ٢,٩}

الرسم ٢٣:

أشود درجات حرارة السطح النسبية في العالم، خلال الفترة المتراوحة بين العامين ١٩٠١ و١٩٥٠، كما يبين الرسم (الخط الأسود) وكما تشير حالات المحاكاة لجهة التأثيرات الطبيعية والبشرية المنشأ. يشير المنحنى السميك الأحمر اللون إلى المجموعة المتعددة النماذج، فيما تشير المنحنيات الرفيعة الحمراء اللون إلى حالات المحاكاة الفردية. وترمز الخطوط العمودية الرمادية اللون إلى توقيت أهم الأحداث البركانية.

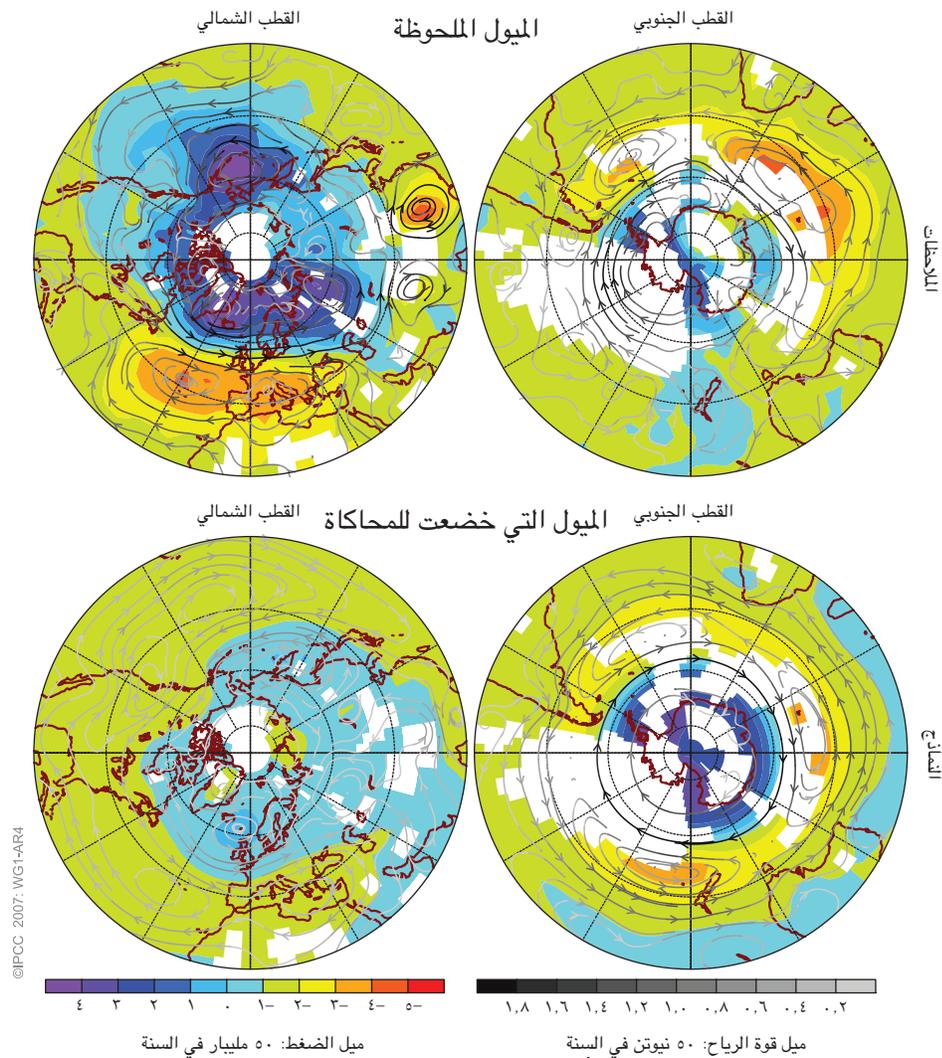
الامر سيان بالنسبة إلى هذا الرسم البياني الثاني، باستثناء أن أشود درجات الحرارة النسبية العالمية التي خضعت للمحاكاة تتعلق بالتأثيرات الطبيعية فقط. يرمز المنحنى السميك الأزرق اللون إلى المجموعة المتعددة النماذج، بينما ترمز المنحنيات الرفيعة الزرقاء اللون إلى حالات المحاكاة الفردية. واختبرت كل محاكاة بطريقة تجعل التغطية تتناسب مع تغطية الملاحظات. {الرسم ٩,٥}



أشارت التوقعات الفيزيائية (انظر المخّص الفني، الجدول ٣). وقد يكون لتفوق نسبة إرتفاع مستوى سطح البحر في الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣ على نسبة إرتفاعه الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٦١ و ٢٠٠٣، علاقة مع التأثير البشري المنشأ المتزايد، الذي ساهم على الأرجح في إحتراق سطح المحيط وإرتداد الأنهر جليدية المنتشر. من جهة أخرى، يكشف سجل مقاييس المد والجزر لمستوى سطح البحر النسبي في العالم أن نسباً مرتفعة أيضاً قد تحققت في فترات عقدية سابقة بدءاً من العام ١٩٥٠، ما يعني أن التقلبية الداخلية الطبيعية قد تكون إحدى العوامل التي ساهمت في إحداث نسب مرتفعة في الفترة

من المرجح جداً أن تكون الإستجابة للتأثير البشري المنشأ قد ساهمت في إرتفاع مستوى سطح البحر خلال النصف الثاني من القرن العشرين، غير أن التقلبية العقدية التي عرفها إرتفاع مستوى سطح البحر لا تزال مبهمة. وتلتقي التقديرات المنمجة لمساهمة المد الحراري في إرتفاع مستوى سطح البحر مع تقديرات أخرى تستند إلى ملاحظات تعود إلى الفترة الممتدة بين العامين ١٩٦١ و ٢٠٠٣، على الرغم من أن الميزانية المخصصة لهذا الشأن لم تكن كافية في تلك الفترة. ويتناسب الإرتفاع الملحوظ في حجم الكتل التي تخسرهما الأنهار والأغطية الجليدية، مع المعدل العالمي لإرتفاع درجات الحرارة، حسبما

ميول ضغط مستوى سطح البحر من كانون الأول / ديسمبر إلى شباط/فبراير



الرسم ٢٤: ميول ضغط مستوى سطح البحر من كانون الأول / ديسمبر إلى شباط / فبراير إستناداً إلى معدّلات عقدية خاصة بالفترة المتراوحة ما بين ١٩٥٥ و ٢٠٠٥. (في الأعلى) الميول المقدره بحسب سلسلة من البيانات الملحوظة والمعروضة في مناطق تحظى بتغطية للمراقبة. (في الأسفل) الميول النسبية التي خضعت للمحاكاة إستجابة لتغيرات التأثير الطبيعي والتأثير البشري المنشأ في ٨ نماذج مقرونة. ولا تنشر الميول الخاصة لمحاكاة النماذج إلا حيث تنشر الميول المستندة إلى المراقبة. إن الخطوط الإنسيابية غير المقنعة تظهر وجهة الميول في قوة الرياح الآتية من الميول الخاصة بضغط مستوى سطح البحر. أما تظليل الخطوط الإنسيابية فيشير إلى حجم التغير، فيما تشير الخطوط الداكنة اللون إلى تغيرات أكبر لجهة قوة الرياح. ترد مصادر البيانات والنماذج مفصلة في الفصل التاسع ومواده الإضافية ويعطي الجدول ٨,١ تفاصيل أكثر عن النماذج. (الرسم ٩,١٦)

على نطاقات أضيق من القارات وعلى فترات زمنية لا تتعدى الخمسين سنة. ولم تحدد نتائج العزو على هذه النطاقات، باستثناء بعض النتائج المحدودة. ويقلل تنبؤ المعدلات على مستويات إقليمية أصغر التقلبية الطبيعية، أكثر من التنبؤ على مساحات واسعة، مما يصعب التمييز بين التغيرات المتوقعة من التأثير الخارجي والتقلبية. أضف إلى ذلك أن التغيرات الحرارية بالإضافة إلى بعض أنماط التقلبية لا تلقى المحاكاة المناسبة من قبل النماذج في بعض المناطق والفصول. كما أن تفاصيل التأثير الخارجي الصغيرة النطاق ومحاكاة النماذج للإستجابة لا تتمتع بالمصادقية التي تعكسها الخصائص الواسعة النطاق. {٩,٤، ٨,٣}

٤,٢ من المرجح أن التأثير البشري المنشأ أثر على الظواهر المتطرفة لدرجات حرارة السطح. يبين العديد من المؤشرات المتعلقة بالظواهر المتطرفة، بما في ذلك الأرقام السنوية والقيم المتطرفة للأيام والليالي الحارة والباردة، بالإضافة إلى أرقام تتعلق بأيام الصقيع، التغيرات التي تترافق مع الإحترار. وقد تمّ الكشف عن التأثير البشري المنشأ في بعض هذه المؤشرات، وتبين أن التأثير البشري المنشأ قد ساهم بشكل كبير في زيادة خطر حصول ارتفاع شديد لدرجات الحرارة الصيفية في بعض المناطق، على غرار موجة الحر التي ألهمت أوروبا في صيف العام ٢٠٠٣. {٩,٤}

٤,٣ عزو التغيرات في الدوران وتساقط الأمطار وغيرها من المتغيرات المناخية

من المرجح أن بعض الميول في الأنماط الحلقية الشمالية والجنوبية التي شهدتها العقود الأخيرة، والتي تتناسب مع انخفاض ضغط مستوى سطح البحر في القطبين والتغيرات ذات الصلة في الدوران الجوي، ترتبط جزئياً بنشاطات الإنسان (انظر الملخص الفني، الرسم ٢٤). تعيد النماذج توليد إشارة ميل النمط الحلقي الشمالي، إلا أن الإجابة التي خضعت للمحاكاة كانت أصغر مما شوهد. وتقوم النماذج التي تتضمن تغيرات تتعلق بغاز الدفيئة وأوزون الغلاف الزمهريري بمحاكاة ميل فعلي في النمط الحلقي الجنوبي، ما يؤدي إلى تأثير الإنسان على ضغط مستوى سطح البحر في العالم الذي يتناسب بدوره مع نزعة التبريد الملحوظة على مستوى المناخ السطحي في بعض الأجزاء من أنتاركتيكا. وتؤدي تغيرات الدوران في نصف الكرة الغربي وعزوها للنشاط إلى ما يلي: من المرجح أن التأثير البشري المنشأ ساهم في تغيير أنماط الدوران ودرجات الحرارة في

المتدة ما بين العامين ١٩٩٣ و٢٠٠٣. وتفق التقلبية العقدية الملحوظة على مستوى سجل مقاييس المد والجزر تفسيرات التقلبية المأخوذة عن تقديرات تغير المد الحراري والجليد القاري، المستخلصة من حالات المراقبة. أضف إلى ذلك أن التقلبية العقدية الملحوظة في المد الحراري تتعدى نماذج المحاكاة الخاصة بالقرن العشرين. وبالتالي، فإن الأسباب الفيزيائية للتقلبية الملحوظة على مستوى سجل مقاييس المد والجزر غير مؤكدة. ولا تساهم تلك المسائل العالقة الخاصة بتغير مستوى سطح البحر وتقلبيته العقدية الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٦١ و٢٠٠٣، في تحديد كم من الأسباب التي أدت إلى ارتفاع مستوى سطح البحر (من العام ١٩٩٣ إلى العام ٢٠٠٣) تعود إلى التقلبية الداخلية الطبيعية، وكم آخر منها يعود إلى التغير المناخي البشري المنشأ. {٩,٥، ٥,٥}

٤,٢ عزو التغير المكاني والزمني في درجات الحرارة

من المرجح جداً أن الأنماط الملحوظة لإحترار التروبوسفير وتبريد الستراتوسفير هي إحدى نتائج التأثير البشري المنشأ، لا سيما في ما يتعلق بزيادة غاز الدفيئة وإستنفاد الأوزون الستراتوسفيري. وتشير التحاليل الجديدة التي تلت تقرير التقييم الثالث إلى أن هذا النمط يتماشى مع ارتفاع التروبوبوز الناتج على الأرجح عن تعديل غاز الدفيئة وأوزون الغلاف الزمهريري. ولا تزال تقديرات هامة حول تقدير أنماط درجات الحرارة في التروبوسفير، وخاصة من قبل سجل المسبار اللاسلكي. {٩,٤، ٣,٤، ٣,٢}

ومن المرجح أن منتصف القرن العشرين شهد مساهمة بشرية المنشأ وحيوية في زيادة معدلات درجات الحرارة على سطح كل قارة باستثناء أنتاركتيكا. ولا تملك أنتاركتيكا ما يكفي من التغطية والرصد للإدلاء بأي تقييم. كما لمست بواحد عن الإحترار البشري المنشأ في بعض المناطق الأرضية شبه القارية. وتمنح قدرة النماذج المناخية المقرونة على محاكاة تطور درجات الحرارة في كل من القارات الست، دلائل أقوى على دور الإنسان في تغير المناخ، وأكثر من تلك التي كانت متوفرة في تقرير التقييم الثالث. ما من نموذج مناخي عالمي مقرون استخدم التأثير الطبيعي فقط تمكّن من إعادة توليد نمط الإحترار النسبي الملحوظ في العالم، أو ميول الإحترار النسبية القارية في كل قارة على حدى (باستثناء أنتاركتيكا) خلال النصف الثاني من القرن العشرين. {٩,٤}

ولا تزال الصعوبات قائمة في عزو التغيرات الحرارية

ولو جزئياً، بالتغيرات الملحوظة على مستوى درجات حرارة سطح البحر. ومن المتوقع أن تتأثر تغيرات درجات الحرارة على سطح البحر في العالم بالعوامل البشرية المنشأ إلا أنه لم يتم تحديد الرابط بين تغير درجات حرارة سطح البحر على الصعيد الإقليمي والتأثير حتى الآن. ولا يتوقف تغير تساقط الأمطار على درجات حرارة سطح البحر وحدها، بل يتوقف أيضاً على التغيرات الإقليمية للدوران الجوي، ما يصعب عزو الأمر إلى التأثير البشري المنشأ. {٣، ٣، ٩، ٥، ١٠، ٣، ١١، ٢}

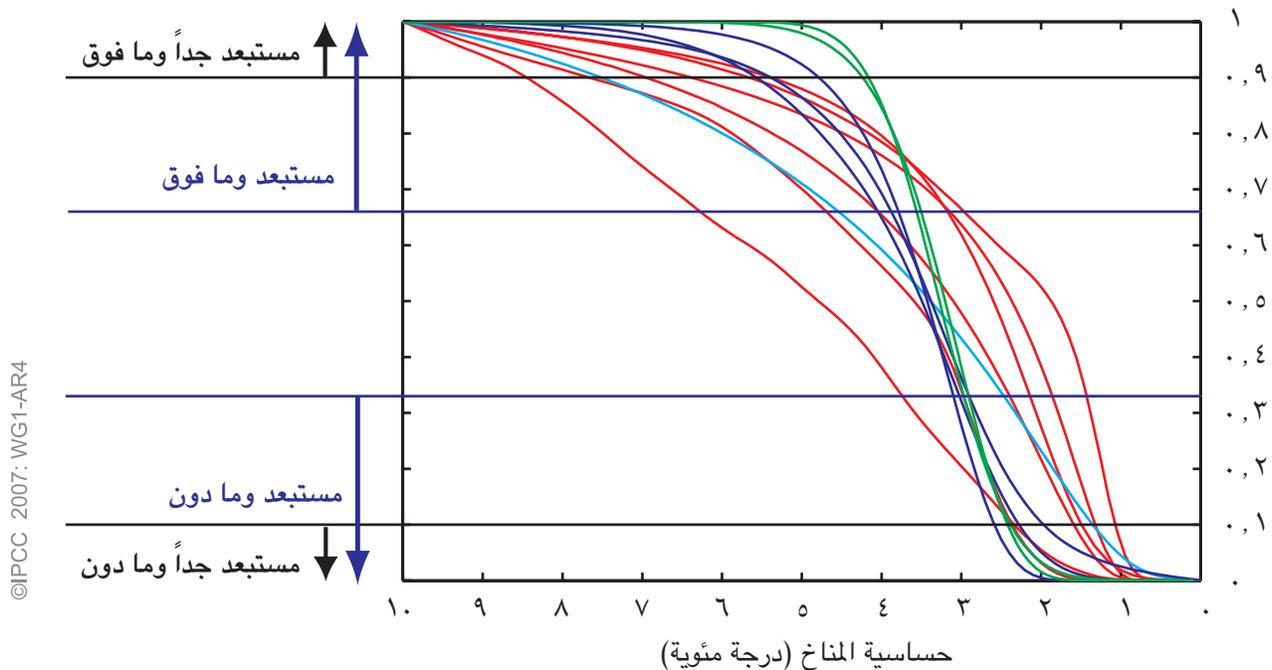
٤، ٤. دراسة العزو في مناخ عصر ما قبل التاريخ

من المرجح جداً ألا تكون التغيرات المناخية التي تعود إلى ٧ قرونٍ سبقت العام ١٩٥٠ غير مرتبطة بالتقلبية التي لا تخضع للتأثير فقط. وتشير دراسات العزو والكشف إلى أنه من المرجح جداً أن يكون جزء هام من تقلبية درجات الحرارة العقدية البينية في منطقة القطب الشمالي التي تعود إلى فترة ما قبل التصنيع والتي تدخل في حالات إعادة التوليد الخاصة بهذه الفترة، ناتجة عن

منطقتي خطوط العرض الوسطى والعليا، بالإضافة إلى التغيرات التي طرأت على الرياح ومسار العواصف. لكن، تبقى الآثار الكمية غير أكيدة، لأن الإجابات الخاضعة للمحاكاة على التأثير الذي أدى إلى تغير القطب الشمالي في القرن العشرين، تتناسب مع ملاحظات تلك التقلبات من الناحية النوعية فقط وليس من الناحية الكمية. {٣، ٦، ٩، ٥، ١٠، ٣}

ظهرت بعض الدلائل حول تأثير العوامل الخارجية على الدورة الهيدرولوجية. ويتناسب النمط النطاقي الواسع الملحوظ للتغيرات المتعلقة بتساقط الأمطار القارية في القرن العشرين، مع نماذج المحاكاة من الناحية النوعية، التي تشير إلى دور بشري. وتمت نمذجة ميل عالمي ملحوظ نحو إزدياد نسبة الجفاف خلال النصف الثاني من القرن العشرين، وأخذت التأثيرات البشرية المنشأ والطبيعية بعين الاعتبار. بحسب بعض الدراسات، من المستبعد أن تكون التغيرات في استخدام الأراضي، نتيجة الري المفرط وتحويل الأحراج إلى أراضٍ زراعية على سبيل المثال، من أسباب الجفاف الأولى على الساحل وفي أستراليا. وتبين المقارنة بين الملاحظات والنماذج أن التغيرات التي حصلت على مستوى الرياح الموسمية وقوة العواصف وتساقط الأمطار في الساحل، ترتبط،

التوزيع التراكمي لحساسية المناخ



الرسم ٢٥: التوزيع التراكمي لحساسية المناخ بحسب الإحترار (باللون الأحمر) الملحوظ في القرن العشرين ونموذج علم المناخ (باللون الأزرق) والدلائل غير المباشرة (باللون الأزرق الداكن) وحساسية المناخ في نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات (باللون الأخضر). وتدل الخطوط الأفقية والأسهم على حدود التقديرات المرجحة والمحددة في المذكرة التوجيهية الرابعة من أجل التقييم الصادرة عن الهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ (انظر الملخص الفني، الإطار ١). {الإطار ١٠، ٢ - الرسم ١ و ٢}

الحالي تكتسي قيمة أكبر عند تقييد حساسية المناخ. {١,٨, ٦,٨, ٦,٩} – الإطار ٢,١٠

يشير تحليل النماذج، بالإضافة إلى القيود التي تتبع الملاحظات، إلى أن حساسية المناخ المتوازنة ستراوح على الأرجح بين درجتين مئويتين إثنتين و٤,٥ درجات مئوية، وتساوي ٣ درجات مئوية بالتحديد. ومن المستبعد جداً أن تقل عن معدل ١,٥ درجة مئوية. ولا يمكن تهميش القيم التي تتعدى الـ ٤,٥ درجات، إلا أنها لن تتناسب مع الملاحظات. وغالباً ما تميل وظائف الكثافة المستخلصة من عدة مقاربات ومعلومات إلى الإقتراب من قيم مرتفعة تتعدى الـ ٤,٥ درجة مئوية. ولا تصف تحليلات تطوّر المناخ والتأثيرات الخاصة بالقرون السابقة ودراسات مجموعة النماذج، حساسية المناخ بأنها تساوي ٦ درجات مئوية وما فوق. وتشكل فاعلية التأثير الإشعاعي على نطاقات صغيرة خلال القرن العشرين، في حال بلغت قدرات التبريد غير المباشرة للأهباء الجوية الحد الأقصى من تراوح شوكها، أحد العناصر في هذا الإطار، ما يلغي معظم التأثير الإيجابي الناتج عن غازات الدفيئة. لكن، ما من طريقة معيّنة لوظيفة توزيع ممكنة وصادرة عن نتائج فردية، تأخذ الفرضيات المختلفة لكل دراسة بعين الاعتبار. ويمنع الإفتقار إلى قيود قوية تحد حساسيات المناخ العالية، تحديد حساسية المناخ عند حد المئين الخامس والتسعين أو ما يقاربه. {الإطار ٢,١٠}

اليوم، بات من الأسهل تفهّم العمليات المناخية الأساسية والهامة بالنسبة إلى حساسية المناخ، وذلك بسبب تطوّر تحاليل ومقارنات النماذج في ما بينها ومع الملاحظات. وتسيطر تغييرات

الجدول ٥. أفضل تقدير، نطاقات مرجحة والحدود الأدنى المرجحة جداً لزيادة المتوسط العالمي لدرجات الحرارة السطحية (درجة مئوية). لدرجات الحرارة من المرحلة ما قبل الصناعية، لمستويات مختلفة من ثاني أكسيد الكربون والتأثير الإشعاعي المكافئ، الناتجة عن حساسية المناخ.

| التوازن | زيادة في درجات الحرارة (درجة مئوية) | أفضل تقدير | مرجح جداً فوق مرجح ضمن النطاق | مرجح جداً فوق مرجح ضمن النطاق |
|---------|-------------------------------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|
| ٣٥٠ | ١,٠ | ٠,٥ | ١,٤-٠,٦ | |
| ٤٥٠ | ٢,١ | ١,٠ | ٣,١-١,٤ | |
| ٥٥٠ | ٢,٩ | ١,٥ | ٤,٤-١,٩ | |
| ٦٥٠ | ٣,٦ | ١,٨ | ٥,٥-٢,٤ | |
| ٧٥٠ | ٤,٣ | ٢,١ | ٦,٤-٢,٨ | |
| ١٠٠٠ | ٥,٥ | ٢,٨ | ٨,٣-٣,٧ | |
| ١٢٠٠ | ٦,٣ | ٣,١ | ٩,٤-٤,٢ | |

التأثير الخارجي الطبيعي. ويتضمن مثل هذا التأثير موجات تبريد مرحلية تُعزى إلى حالات معروفة من الثوران البركاني، كان عددٌ منها أهم من تلك التي حصلت في القرن العشرين (وذلك بالاستناد إلى دلائل عدة كالقلسوات الجليدية)، وإلى تقلبات طويلة الأمد في الإشعاعات الشمسية، مثل الإشعاعات المنخفضة خلال الحد الأدنى من حقبة «موندرو». أضف إلى ذلك أنه من المرجح أن التأثير البشري المنشأ شارك في الإحترار الذي حصل في بدايات القرن العشرين، والذي يبدو واضحاً في السجلات. ومن المستبعد أن تؤدي الشوك إلى اتفاق زائف بين إعادة توليد درجات الحرارة وإعادة توليد التأثيرات، كما ورد في بيانات غير مباشرة. ولا تكفي البيانات المتوفرة لإجراء تقييم مماثل حول القطب الجنوبي. {٦,٦, ٣,٩}

٤,٥. استجابة المناخ للتأثير الإشعاعي

يمثل تحديد هذا التقرير لنطاق محتمل وقيمة أكثر احتمالاً لجهة الحساسية المناخية المتوازنة، خطوةً معنوية هامة في تحديد كمية استجابة النظام المناخي للتأثير الإشعاعي منذ صدور تقرير التقييم الثالث، كما يُعتبر تطوراً على مستوى التحديات المطروحة لفهم الأمور والتي استمرت على مدى ٣٠ سنة وأكثر. وأشار تقرير التقييم الثالث إلى نطاق حساسية المناخ المتوازنة - أي معدل الإحترار العالمي المتوازن والمتوقع إذا تمت مضاعفة تركيزات ثاني أكسيد الكربون التي كانت موجودة في فترة ما قبل الثورة الصناعية (حوالي ٥٥٠ جزءاً بالمليون) - وحدده بين ١,٥ و٤,٥ درجة مئوية. في السابق، لم يكن ممكناً التوصل إلى تقدير أفضل أو التنبؤ بإحتمال خروج حساسية المناخ عن النطاق المذكور. ويعتمد هذا التقييم مقاربات مختلفة لتقييد حساسية المناخ، مثل استخدام نماذج الدوران العام للغلاف الجوي- المحيطات ودراسة تطور درجات الحرارة المؤقت (السطح والغلاف الجوي العلوي والمحيطات) خلال السنوات الـ ١٥٠ الماضية، ودراسة استجابة النظام المناخي العالمي السريعة لتغييرات التأثير الناتجة عن الثوران البركاني (انظر الملخص الفني، الرسم ٢٥). إلى ذلك، تُضاف تقديرات تستند إلى دراسات عن مناخ عصر ما قبل التاريخ كإعادة توليد درجات الحرارة في القطب الشمالي للألفية الماضية والحد الأقصى للغمر الجليدي الأخير. وأظهرت مجموعات كبرى من حالات محاكاة النماذج المناخية أن قدرة النماذج على محاكاة المناخ

٨ لتحديد الحساسية للمناخ على نحو مفصل، راجع معجم المصطلحات.

الرطوبة وحرارة السطح، إلى جانب الثوران البركاني. ويبقى التأثير التفاعلي في السحب (وخاصةً السحب المتدنية الإرتفاع) مصدر الشك الأكبر. واطهر التأثير التفاعلي في الغلاف، كالتغير في الغطاء الجليدي، أنه لم يساهم في إنتشار تقديرات النماذج حول حساسية المناخ، بقدر التأثير التفاعلي للسحب وبخار الماء، على الرغم من أهميته بالنسبة إلى تجاوب المناخ الإقليمي في مناطق خطوط العرض الوسطى والعليا. وتشير مقارنة جديدة بين النماذج إلى أن فوارق في أعداد النقل الإشعاعي تساهم أيضاً في تحديد النطاق. {٣,٤، ٨,٦، ٩,٣، ٩,٤، ٩,٦، ١٠,٢} – الإطار ١٠,٢

بخار الماء على التأثير التفاعلي الذي يؤثر على حساسية المناخ، وباتت اليوم مفهومة بشكل أفضل. وتؤيد الأدلة المرتبطة بالملاحظات والنمذجة، التأثير التفاعلي لمعدل بخار الماء - التفاوت الحراري^٩ المشترك والذي يتساوى مع قوة نماذج الدوران العام، أي إزدياد درجات الحرارة بحوالي ١ واط بالمتر المكعب لكل درجة إرتفاع من درجات الحرارة في العالم، ما يتناسب مع إحتراق نسبي عالمي يصل إلى ٥٠٪. وبرهنت نماذج الدوران العام هذه قدرتها على محاكاة تقلبات الرطوبة الموسمية والعقدية البيئية، في الطبقة العليا من التروبوسفير الموجودة فوق الأرض والمحيط، كما نجحت في محاكاة التغيرات الملحوظة لجهة

الإطار ٨: هرمية نماذج المناخ العالمية

يمكن القيام بتقديرات حول تغير درجات الحرارة النسبية في العالم وإرتفاع مستوى سطح البحر الناتج عن المد الحراري، من خلال إستخدام نماذج المناخ البسيطة التي تمثل نظام الغلاف الجوي - المحيطات من خلال مجموعة من الإطارات حول العالم أو نصف الكرة الغربي، وتتنبأ بدرجات حرارة السطح في العالم من خلال إستخدام معادلة لتوازن الطاقة وقيمة محددة لحساسية المناخ وتمثيل أساسي لإمتصاص حرارة المحيطات. ويمكن أيضاً أن تقترن هذه النماذج بنماذج مبسطة للدورات الكيميائية الأرضية الأحيائية وتسمح بتقدير سريع لإستجابة المناخ إلى سلسلة واسعة من سيناريوهات الإنبعاثات. {٨,٨، ١٠,٥} تتضمن نماذج نظام الأرض المتوسطة الصعوبة بعض الديناميات الخاصة بالدوران المحيطي والجوي أو تعيين البارامترات، وغالباً ما تتضمن تمثيلاً للدورات الكيميائية الأرضية الأحيائية، إلا أن كافة تلك النماذج تملك قدرة ضئيلة على الاستبانة المكانية. ويمكن إستخدام هذه النماذج للتحقيق في تغير المناخ القاري النطاق والآثار الطويلة المدى والواسعة النطاق للإقتران بين مكونات نظام الأرض من خلال إستخدام مجموعات واسعة من تشغيل / تطبيق النماذج أو التطبيق على مدى عقود. وبالنسبة إلى نماذج المناخ البسيطة ونماذج نظام الأرض المتوسطة الصعوبة، يمكن إحتساب تعيين أماكن البارامترات بكل سهولة، مع الأخذ بعدم اليقين حول البارامتر الناتج عن الإهتمام بنماذج مناخية أكثر شمولية والملاحظات المناسبة واللجوء إلى حكم الخبراء. وبالتالي، يوائم نوعا النموذج القيام بتنبؤات محتملة عن المناخ المستقبلي، ويسمحان بالقيام بمقارنة بين «الإستجابة غير الأكيدة» الناتجة عن الشك في بارامترات نموذج المناخ من جهة، و«نطاق السيناريو» الناتج عن بعض سيناريوهات الإنبعاثات التي أخذت بعين الإعتبار. وقد تم تقييم نماذج نظام الأرض المتوسطة الصعوبة بعمق أكبر من ذي قبل وأظهرت المقارنات البيئية أنها مفيدة لدراسة المسائل التي تمتد على نطاقات زمنية طويلة وتتطلب مجموعات واسعة من المحاكاة. {٨,٨، ١٠,٥، ١٠,٧} تشكل نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات نماذج المناخ الأكثر شمولية. فهي تتضمن مكونات دينامية تصف العمليات الجوية والمحيطية والخاصة بسطح الأرض، كما الجليد البحري ومكونات أخرى. أحرز تقدم كبير منذ تقرير التقييم الثالث (انظر الملخص الفني، الإطار ٧)، وهناك أكثر من ٢٠ نموذجاً متوفراً حول محاكاة المناخ صادراً عن مراكز مختلفة. على الرغم من أن الديناميات الواسعة النطاق لهذه النماذج شاملة، لا يزال تعيين البارامترات مستخدماً للإشارة إلى العمليات الفيزيائية غير المحلولة مثل تكوّن السحب والأمطار والإختلاط المحيطي الناتج عن عمليات الأمواج وتكون الكتل المائية وغيرها... يشكل عدم اليقين لجهة تعيين البارامترات السبب الأول لتباين التنبؤات المناخية بين مختلف نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات. وفيما تتطور دراسة هذه النماذج، لا تزال غير كافية للإحاطة ببنية المتغيرات المناخية الضيقة النطاق في مناطق مختلفة. وفي مثل هذه الحالات، يمكن إستخدام النتائج التي توصلت إليها نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات لإرشاد نماذج محدودة النطاق (أو مناخات إقليمية) تجمع ما بين شمولية تمثيل العمليات الشبيهة بنماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات، ودراسة مكانية على نطاقات أوسع بكثير. {٨,٢}

^٩ معدل تدني درجة حرارة الهواء مع الارتفاع.

الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات من ١٠ بلدان مختلفة، مستخدماً ٢٣ نموذجاً، سلسلة من التجارب المعيارية المنسقة. وتشكل قاعدة البيانات المتعددة النماذج التي تم التوصل إليها، والتي خضعت لتحليل مئات الباحثين من كافة أنحاء العالم، قاعدة أساسية لتقييم نتائج هذا النموذج. وقد تم التوصل إلى تطورات عديدة من جراء استخدام نماذج فردية ومجموعات متعددة النماذج للمجموعات المتعددة الأعضاء (مثلاً: لاختبار حساسية الإستجابة للشروط الأساسية). ويسمح هذان النوعان من المجموعات القيام بدراسات أكثر متانة عن تراوح نتائج النموذج والقيام بتقييم عدد أكبر من النماذج بدلاً من الملاحظات، كما يؤمنان معلومات جديدة حول التقلبية الاحصائية الخاضعة للمحاكاة.

{١٠,١, ٩,٥, ٩,٤, ٨,٣, ٨,١}

يركز هذا التقرير على عددٍ من الطرق الهادفة إلى تقديم إسقاطات محتملة حول تغيير المناخ، لجهة المعدلات العالمية والصور الجغرافية المفصلة التي برزت منذ تقرير التقييم الثالث. وهي تتضمن طرقاً تستند إلى نتائج مجموعات نموذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات، من دون تطبيق القيود المحفوظة بشكل رسمي، كما تتضمن طرقاً تستند إلى الكشف بالطرق الحسابية، وإلى مجموعات كبرى من النماذج توفر إسقاطات تتماشى مع الملاحظات المتعلقة بتغيير المناخ والشكوك ذات الصلة. وباتت بعض الطرق تُعتبر مصادر غير موثوقة على الإطلاق، ومنها التأثير التفاعلي للمناخ وامتصاص حرارة المحيطات والتأثير الإشعاعي ودورة الكربون. وتعيق ميولٌ حديثة لوحظت بالمراقبة بعض الإسقاطات القصيرة الأمد. وطرحت بعض الدراسات احتمالات إضافية، مثل أرجحية التغييرات المستقبلية في الظواهر المتطرفة كموجات الحر التي يمكن أن تحصل نتيجة التأثيرات البشرية. وحصلت أيضاً بعض التطورات منذ تقرير التقييم الثالث، وذلك من خلال دراسات أكثر شمولية تناولت التغييرات المناخية المترتبة والتأثير التفاعلي في الكربون على المناخ. {١٠,١, ٩,٦, ٨,٦, ١٠,١, ١٠,٣, ١٠,٥}

توفّر التطورات التي شهدتها علم نمذجة تغيير المناخ قاعدةً احتمالات تمييز الإسقاطات المتعلقة بتغيير المناخ، بالنسبة إلى عدة سيناريوهات من التقرير الخاص عن سيناريوهات الإنبعاثات. ويتعارض ذلك مع تقرير التقييم الثالث. عجزت سيناريوهات دليلية مختلفة عن تحديد تراوحات للإحتمالات. وبالنتيجة، يحدد هذا التقييم ويحدد اختلاف الطابع بين الشكوك التي تحيط بنمذجة المناخ، وتلك التي تتعلق بالافتقار إلى المعرفة المسبقة بالقرارات التي ستؤثر على إنبعاثات غاز الدفيئة. وقد يُعزى نقص المعلومات ذات الصلة بالسياسات إلى جمع الإسقاطات المحتملة.

يسمح تطور تقدير حساسية المناخ بتحديد أفضل التوقعات لجهة درجات الحرارة المتوازنة، والتنبؤ بالتراوح المحتمل في حال ثبت تركيز ثاني أكسيد الكربون على مستويات مختلفة، استناداً إلى تقديرات عالمية حول توازن الطاقة (الجدول ٥). وكما في تقدير حساسية المناخ، لا يمكن تحديد المستوى الفعلي للطبقة العليا. ومن الضروري الأخذ بحدود مفهوم التأثير الإشعاعي وحساسية المناخ. ولم تقم سوى قلة قليلة من نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات بتناول مسألة التوازن بحسب تركيز قوي لثاني أكسيد الكربون، وأظهرت بعض النتائج أن التأثير التفاعلي في المناخ قد يتغير مع مرور الوقت، ما يؤدي إلى انحراف واضح عن تقدير الإحترار المستند إلى حساسية المناخ المتوازنة، الناتجة عن نماذج طبقة المحيطات المختلطة وتغيير مناخ عصر ما قبل التاريخ. {١٠,٧}

تطور إتفاق النماذج بخصوص تغييرات المناخ المؤقتة المتوقعة منذ تقرير التقييم الثالث. ويتعدى تراوح حساسية المناخ المتوازنة نطاق تجاوب المناخ المؤقت (المحدد كالمعدل العالمي لحرارة سطح الجو المحتسب على مدى عقدين من الزمن وبالإستناد إلى الفترة التي شهدت إزدياد كمية ثاني أكسيد الكربون بضعفين، وذلك بنسبة ١٪ في السنة الواحدة حسبما برهنت التجربة) المعروض بين النماذج. واليوم، باتت المجموعات المتعددة النماذج والمقارنات مع الملاحظات تقيد ذلك المعيار بطريقة أفضل. ومن المرجح جداً أن يتعدى الدرجة المئوية الواحدة ومن المستبعد جداً أن يتخطى الثلاث درجات مئوية. وتتعلق إستجابة المناخ المؤقتة بالحساسية على نحو لا خطي، فتلك الحساسيات لا تترجم مباشرة في الإستجابة القصيرة الأمد. وتتأثر إستجابة المناخ المؤقتة كثيراً بنسبة امتصاص حرارة المحيطات. وعلى الرغم من تطور نماذج المحيطات، يؤثر انحراف النماذج المنتظم والبيانات المحدودة المستخدمة لتقييم امتصاص حرارة المحيطات المؤقت، على دقة التقديرات الحالية. {٨,٣, ٨,٦, ٩,٤, ٩,٦, ١٠,٥}

الملخص الفني ٥: التنبؤ بالتغيرات المستقبلية في المناخ

منذ تقرير التقييم الثالث، حصلت تطورات هامة في علم تنبؤ تغيير المناخ. وقد بذلت جهود فريدة من نوعها من أجل توفير نماذج جديدة ودقيقة ووضعها في خدمة الباحثين الموجودين خارج مراكز النمذجة. وقد طوّر فريق يتألف من ١٤ مجموعة متخصصة في وضع نماذج

بعض نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات ونماذج نظام الأرض المتوسطة التعقيد، مكونات محتملة من دورة الكربون، ما سمح بتقدير الآثار المتوقعة والشكوك ذات الصلة لجهة التغذية المرتدة في دورة الكربون. {١٠،١}

٥،١. فهم التغير المناخي القريب الأمد

تؤكد معرفة النظام المناخي ومحاكاة النماذج أن التغيرات الماضية التي طرأت على تركيز غاز الدفيئة ستؤدي إلى حصول إحترار ملتزم (انظر الإطار ٩، لمعرفة التعريف) وتغير المناخ في المستقبل. وتقدم نتائج النموذج الجديد للتجارب التي حافظت فيها كافة عوامل التأثير على ثباتها، تقديرات أفضل حول التغيرات الملتزمة على مستوى التقلبات الجوية التي قد تتبعها جراء تجاوب النظام المناخي البعيد الأمد، ولا سيما المحيطات. {١٠،٣، ١٠،٧}

وبات من الممكن اليوم مقارنة الإسقاطات السابقة للهئية الدولية المعنية بتغير المناخ حول التغيرات المناخية المستقبلية، بالملاحظات الحديثة، ما يعزز الثقة في الإسقاطات القصيرة الأمد وما تتضمنه من فهم فيزيائي لتغير المناخ الملتزم على مدى عقود قليلة من الزمن. وبحسب إسقاطات تقرير التقييم الأول والثاني، فإن خلال الفترة الممتدة بين العامين ١٩٩٠ و ٢٠٠٥، عرفت درجات الحرارة في العالم ارتفاعاً يساوي ٠,٣ درجة مئوية (بالنسبة إلى التقرير

ولهذه الأسباب، لم تُدرج الإسقاطات المتعلقة بمختلف سيناريوهات الإنبعث في هذا التقرير.

وتعتبر محاكاة النماذج المستخدمة هنا إستجابة النظام المناخي الفيزيائي لسلسلة من الشروط المستقبلية المحتملة، عبر إستخدام فرضيات مثالية حول الإنبعثات أو التركيز. وهي تتضمن تجارب تظهر غازات الدفيئة والأهباء الجوية مستقرة على مستويات العام ٢٠٠٠، وتجارب تتعلق بإزدياد كميات ثاني أكسيد الكربون بضعفين وأربعة أضعاف، والسيناريوهات الدليلية المضمونة في التقرير الخاص بالفترة المتراوحة بين العامين ٢٠٠٠ و ٢١٠٠، بالإضافة إلى تجارب خاصة بغازات الدفيئة والأهباء الجوية التي حافظت على استقرارها بعد العام ٢١٠٠، مضيقةً معلومات جديدة عن النواحي الفيزيائية للتغير والاستقرار المناخي الطويل المدى. ولم تتضمن سيناريوهات التقرير الخاص بمبادرات مناخية. فهذا التقييم الذي تقدم به الفريق العامل الأول لا يدرس إمكانية أو أرجحية سيناريو معين من سيناريوهات الإنبعثات. {١٠،٣، ١٠،١}

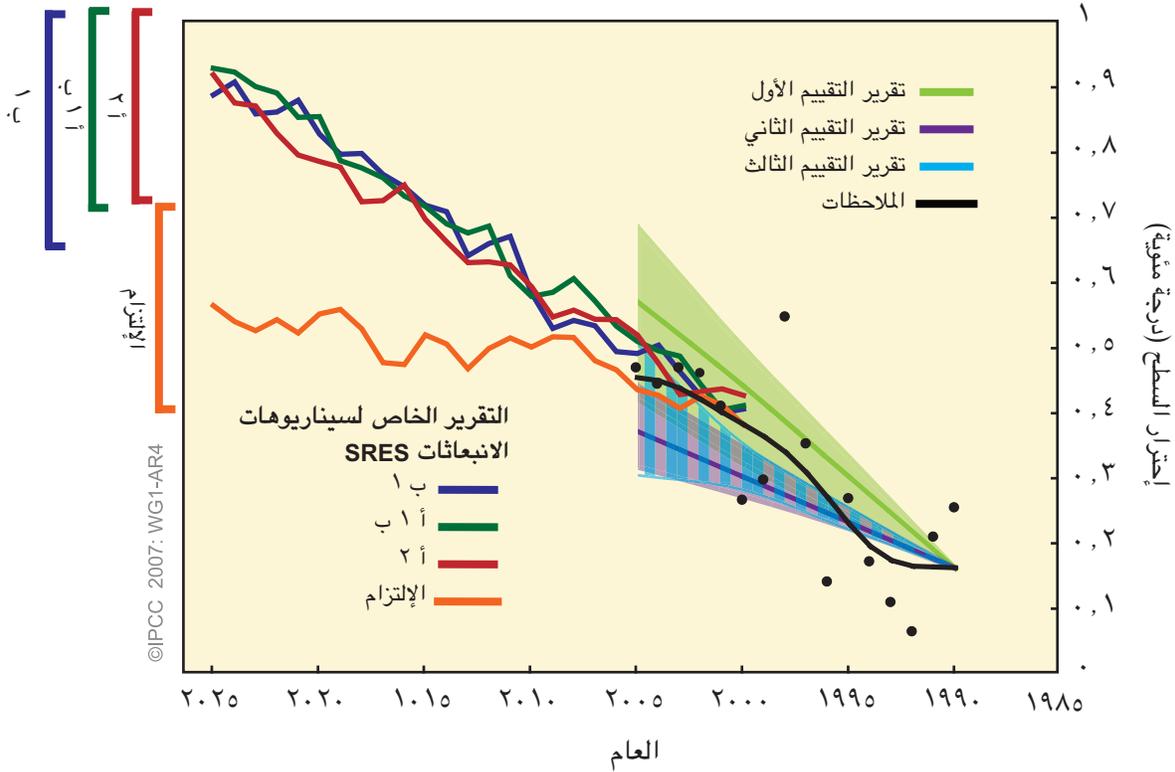
وتكمل سلسلة جديدة من البيانات المتعددة النماذج، التي تستخدم نماذج نظام الأرض المتوسطة التعقيد، تجارب نموذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات بهدف تمديد أفق الوقت لقرنٍ إضافية في المستقبل. ما يقدم سلسلة أشمل من بالفترة النماذج في هذا التقييم، بالإضافة إلى معلومات جديدة حول تغير المناخ على فترات طويلة من الزمن يكون فيها تركيز غاز الدفيئة والأهباء الجوي مستقراً. وتضمن

الإطار ٩: تغير المناخ الملتزم

إذا بقي تركيز غازات الدفيئة والأهباء الجوية ثابتاً بعد فترةٍ من التغير، سيستمر النظام المناخي بالإستجابة، نظراً إلى القصور الذاتي الحراري للمحيطات والصفائح الجليدية والوقت الطويل الذي تستغرقه للتكيف. هنا، يمكن تحديد الإحترار الملتزم بالتغير الإضافي الذي يطرأ على درجات الحرارة النسبية في العالم بعد بقاء التكوّن الجوي، وبالتالي التأثير الإشعاعي، مستقراً. كما يتضمن التغير الملتزم نواحٍ أخرى من النظام المناخي، ولا سيما مستوى سطح البحر. وتجدر الإشارة إلى أن المحافظة على استقرار تركيز الأنواع الفاعلة شعاعياً قد تؤدي إلى لقاء الإنبعثات الجارية بنسب غسل طبيعية، ما يعني حدوث انخفاضٍ قوي في الإنبعثات بالنسبة إلى معظم الأنواع، على الرغم من أن تجارب النموذج المناسبة لم توضع كأحد سيناريوهات الإنبعثات. {الاسئلة ٣، ١٠}

إن التروبوسفير يتكيف مع التغيرات التي تطرأ على حدوده خلال نطاقات زمنية لا تتعدى الشهر الواحد. وتستجيب الطبقة السطحية للبحار ضمن نطاقات زمنية تتراوح بين السنين والعقود، فيما تمتد إستجابة المحيط العميق والغلاف الجوي على مئات وآلاف السنين، عندما يتغير التأثير الشعاعي، تميل خصائص الغلاف الجوي الداخلية إلى التكيف معه بسرعة. لكن، بسبب الإقتران الوثيق بين الغلاف الجوي وطبقة المياه المحيطية السطحية، المقرونة بدورها بالطبقة العميقة من المحيط، تستغرق المتغيرات الجوية وقتاً طويلاً قبل التوصل إلى التوازن. وخلال الفترات الطويلة التي يتغير فيها مناخ السطح ببطءٍ شديد، يمكن للمرء أن يلاحظ أن الغلاف الجوي في حالة شبه توازنٍ وأن المحيط يستوعب معظم الطاقة. لذا، يشكل إمتصاص حرارة المحيط مفتاحاً أساسياً في تغير المناخ. {١٠،٧}

الإحترار النسبي العالمي: مقارنة تنبؤات النماذج مع الملاحظات



الرسم ٢٦: مقارنة بين إسقاطات النموذج حول الإحترار النسبي العالمي والإحترار الملحوظ. وتبدو شذوذ درجات الحرارة الملحوظة، كما في الرسم ٦ من الملخص الفني، كمعدلات سنوية (النقاط السوداء) وعقدية (الخطوط السوداء). وتشير الخطوط المتينة / السمكية الأرجوانية والخضراء إلى الميول المتوقعة وتراوحاتها منذ إصدار الهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ تقرير التقييم الأول وتقرير التقييم الثاني، أما الخطوط العمودية الزرقاء فهي ترمز إلى التراوح المتوقع بعد تقرير التقييم الثالث. وقد تم تكييف هذه التنبؤات للبدء عند قيمة المعدل العكدي الملحوظة في العام ١٩٩٠. وتتعلق التنبؤات النسبية المتعددة النماذج في هذا التقرير والخاصة بسيناريوهات التقرير ب ١ وأ ١ ب وأ ٢، كما في الرسم ٣٢ من الملخص الفني، بالفترة المتراوحة بين العامين ٢٠٠٠ و٢٠٢٥، مثلما تظهر المنحنيات الزرقاء والخضراء والحمراء اللون، فيما يرمز المحور الموجود من الناحية اليمينية إلى تراوحات عدم اليقين. ويبين المنحنى البرتقالي تنبؤات نموذج الإحترار في حال بقي تركيز غاز الدفيئة والهباء الجوي مستقرًا، بدءًا من العام ٢٠٠٠ - هذا هو الإحترار الملترزم. (الرسم ١٠،٤ و ١٠،١).

سنتين، وهو إحترار سيحصل خلال العقدين المقبلين، من دون حصول تغيرات جوهرية في التأثير البركاني والشمسي. ومن المتوقع أن يزداد هذا الإحترار بضعفين (٠,٢ درجة مئوية في العقد الواحد) في حال كانت الإنبعاثات تتراوح ضمن نطاق السيناريوهات الدليلية المدرجة في التقرير الخاص عن سيناريوهات الإنبعاثات. ولا يأخذ هذا التجاوب أحد السيناريوهات الدليلية المضمونة في التقرير الخاص عن سيناريوهات الإنبعاثات التي لم تتطرق إلى المبادرات المناخية. وبحلول العام ٢٠٥٠، يظهر تراوح الإحترار المتوقع حساسية محدودة لاختيار أحد سيناريوهات التقرير الخاص (من ١,٣ إلى ١,٧ درجة مئوية بالنسبة إلى الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٨٠ - ١٩٩٩). وفي هذا الإطار، تعود نسبة ٢٥٪ من الإحترار إلى تغير المناخ الملترزم في حال استقرت

الأول) و ٠,١٥ درجة مئوية (بالنسبة إلى التقرير الثاني)^{١٠}. ويعود الفرق بين التقريرين في الدرجة الأولى إلى إدراج آثار تبريد الأهباء الجوية في تقرير التقييم الثاني، فيما خلا تقرير التقييم الأول من قاعدة كمية حول هذه المسألة. والتقى تقرير التقييم الثاني وتقرير التقييم الثالث عند الإسقاطات. وتمكن مقارنة تلك النتائج بالملاحظات المذكورة، أي ٠,٢ درجة مئوية في كل عقد كما يبدو في الرسم ٢٦ من الملخص الفني، ما يعزز الثقة في تلك الإسقاطات القصيرة الأمد. وإحدى نتائج هذا الإحترار هو الأثر الملترزم لهذه التغيرات التي حصلت على مستوى تركيز غازات الدفيئة في وقت يسبق هذه التقييمات. {١,٢، ٣,٢}

إن تغير المناخ الملترزم (انظر الملخص الفني، الإطار ٩) الناتج عن التركيبة الجوية في العام ٢٠٠٠، يتناسب مع ميل إلى الإحترار يساوي ٠,١ درجة مئوية في كل ١٠

^{١٠} راجع تقرير التقييم الأول الذي قدمته الهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ، وملخص صانعي السياسات وتقرير التقييم الثاني والملخص الفني والرسم ١٠.

الجدول ٦: معدّل إحترار السطح وإرتفاع مستوى سطح البحر المتوقع في العالم. {١٠,٥ - ١٠,٦ - الجدول ١٠,٧}

| إرتفاع مستوى سطح البحر (متر خلال ٢٠٩٠ - ٢٠٩٩ نسبة إلى ١٩٨٠ - ١٩٩٩) | تغيّر درجات الحرارة | | الحالة |
|---|---------------------|--------------------|---------------------------|
| | أفضل توقّع | الترّاح المربّح | |
| الترّاح المستند إلى النموذج باستثناء التغيّرات الدينامية السريعة المستقبلية في التدفق الثلجي | ٠,٦ | ٠,٣ - ٠,٩ | التركيز الثابت للعام ٢٠٠٠ |
| ٠,٣٨ - ٠,١٨ | ١,٨ | ١,١ - ٢,٩ | السيناريو ب ١ |
| ٠,٤٥ - ٠,٢٠ | ٢,٤ | ١,٤ - ٣,٨ | السيناريو A1T |
| ٠,٤٣ - ٠,٢٠ | ٢,٤ | ١,٤ - ٣,٨ | السيناريو ب ٢ |
| ٠,٤٨ - ٠,٢١ | ٢,٨ | ١,٧ - ٤,٤ | السيناريو أ ١ ب |
| ٠,٥١ - ٠,٢٣ | ٣,٤ | ٢,٠ - ٥,٤ | السيناريو أ ٢ |
| ٠,٥٩ - ٠,٢٦ | ٤ | ٢,٤ - ٦,٤ | السيناريو A1FI |

الملاحظات:

أ خضعت هذه التقديرات لتقييم هرمي من النماذج التي تتخطى مجرد النموذج المناخي ونماذج الأرض المتوسطة التعقيد وعدداً كبيراً من نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات.
 ب إن المصدر الوحيد للتركيبية المستقرة في العام ٢٠٠٠ هي نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات.

العالمية والعمليات التي ستؤثر على أنماطها الواسعة النطاق في القرن الحادي والعشرين. وسيطرّق القسم التالي، أي الملخص الفني ٥,٣، إلى تفاصيل التغيّرات على المستوى الإقليمي.

يرتبط معدّل إحترار السطح العالمي المتوقع في نهاية القرن الحادي والعشرين (٢٠٩٠ - ٢٠٩٩) بالسيناريوهات، وستؤثر الإنبعثات الحالية على الإحترار بشكل كبير. وترد حالات الإحترار، بالمقارنة مع الحالات المذكورة في ٦ من سيناريوهات التقرير الخاص للفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٨٠ - ١٩٩٩، ومع معدّل التركيز المستقر للعام ٢٠٠٠، وما يتعلق بحالات الإحترار هذه من تقديرات ونطاقات يُرجح أنها تناسبها، في الجدول ٦ من الملخص الفني. وتستند هذه النتائج إلى نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات والقيود الملحوظة وغيرها من السبل المعتمدة لتحديد تراوح إستجابة النموذج (انظر الملخص الفني، الرسم ٢٧). ويسمح تداخل خيوط الإثباتات المتعددة بنسب الترجيحات إلى النطاقات المستخلصة، ما يشكّل تطوراً هاماً منذ تقرير التقييم الثالث. {١٠,٥}

تفوق نطاقات الشكوك التي تمّ تقييمها النطاقات التي ترد في تقرير التقييم الثالث، لأنها تأخذ سلسلة أشمل من النماذج والتأثير

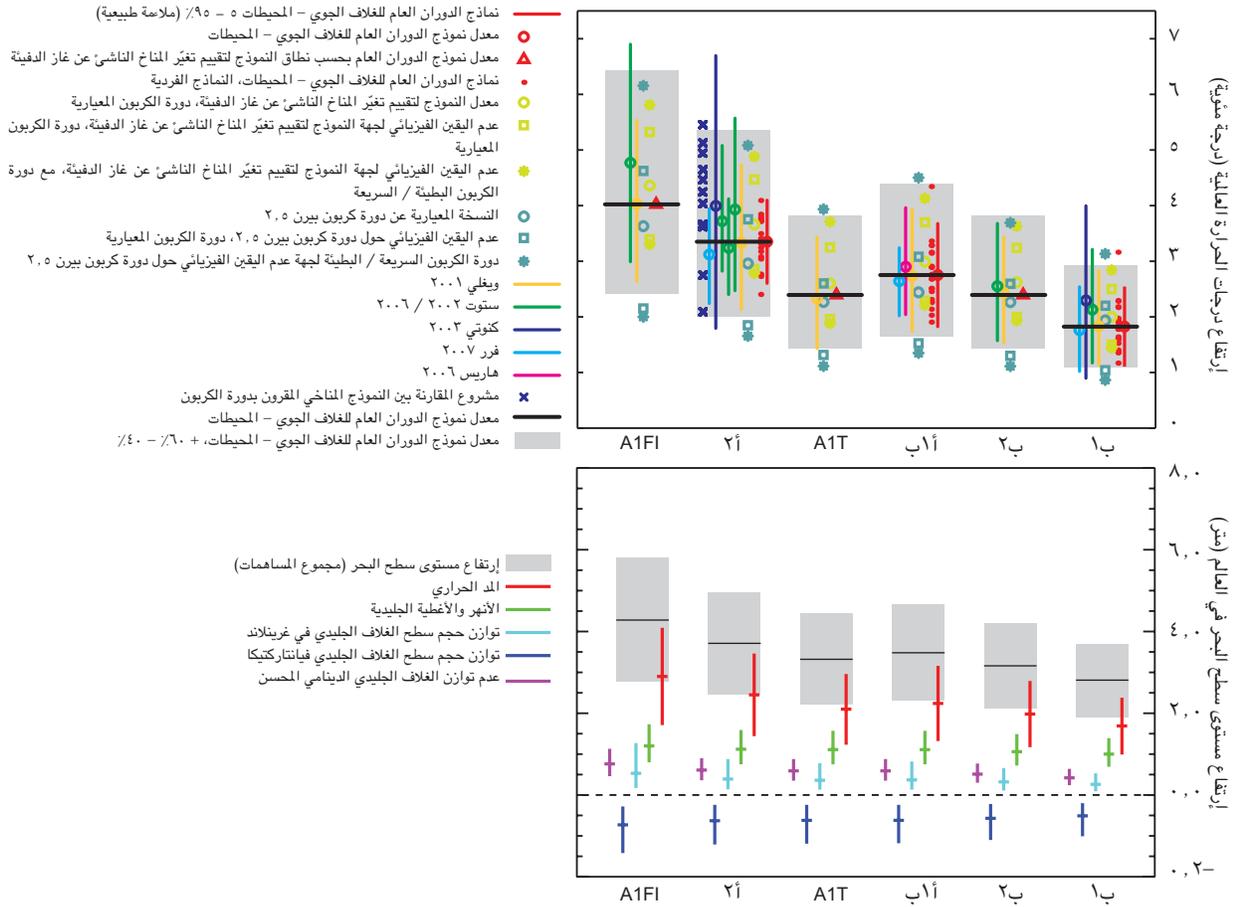
كافة عناصر التأثير الإشعاعي. {١٠,٣، ١٠,٥، ١٠,٧}

ومن المتوقع أن يستمر مستوى سطح البحر في الإرتفاع خلال العقود المقبلة. وخلال العامين ٢٠٠٠ و ٢٠٢٠، وبموجب السيناريو أ ب من التقرير الخاص عن سيناريوهات الإنبعثات في إطار مجموعة نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات، من المتوقع أن يصل معدّل المد الحراري إلى $1,3 \pm 0,7$ ميليمتراً سنوياً. والأمر لا يختلف كثيراً في السيناريوهين أ ٢ وب ١. أن هذه النسب المتوقعة تدخل في إطار الشكوك حول مساهمة المد الحراري الملحوظة ما بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣، هذا المد الذي يساوي $1,6 \pm 0,6$ ميليمتراً سنوياً. إن نسبة المد الحراري الملتزم من جراء التركيبية الجوية المستقرة بحسب أرقام العام ٢٠٠٠ بالنسبة إلى إجمالي المد الحراري (وهي نسبة المد الذي جرى بعد العام ٢٠٠٠، بالنسبة إلى المد الذي جرى قبل / بعد هذا العام)، تتعدى النسبة الموائمة لجهة معدّل درجات حرارة السطح في العالم.

٥,٢. إسقاطات واسعة النطاق بخصوص القرن الحادي والعشرين

يغطي هذا القسم التطورات المتعلقة بفهم الإسقاطات المناخية

الإحترار المتوقع بين ٢٠٩٠ - ٢٠٩٩



الرسم ٢٧: (في الأعلى) تغيّر درجات الحرارة النسبي المتوقع في العالم خلال الفترة الممتدة ما بين العامين ٢٠٩٠ - ٢٠٩٩ نسبةً إلى ما بين العامين ١٩٨٠ - ١٩٩٩، بخصوص ٦ سيناريوهات دلالية من التقرير الخاص، إستناداً إلى نتائج نماذج مستقلة ومختلفة. ترمز الخطوط الصلبة الأفقية السوداء إلى معدّل نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات المتعدد النماذج، فيما ترمز القضبان الرمادية اللون إلى تراوح المعدّل ناقص ٤٠٪ وزائد ٦٠٪. تقدّر الشكوك حول دورة الكربون في السيناريو ٢١ المستند إلى نماذج مشروع المقارنة بين النموذج المناخي المقرون بدورة الكربون (الصلبان باللون الزرق الداكن)، وفي كافة السيناريوهات الدلالية التي تستخدم نماذج نظام الأرض المتوسطة الصعوبة (الرموز باللون الأزرق الفاتح). وتمثل الرموز الأخرى الدراسات الفردية (لمزيد من التفاصيل حول نموذج معين، راجع الرسم ٢٩، ١٠). (في الأسفل) معدّل ارتفاع مستوى سطح البحر المتوقع على الصعيد العالمي ومكوناته للفترة الممتدة ما بين العامين ٢٠٩٠ - ٢٠٩٩ (نسبةً إلى ١٩٨٠ - ١٩٩٩) بالنسبة إلى ٦ سيناريوهات دلالية من التقرير الخاص. وتبرز الشكوك تراوحت من ٥ إلى ٩٥٪، استناداً إلى نتائج النموذج المنشورة التي تخلو من الشكوك المرتبطة بدورة الكربون. وتأتي المساهمات من نتائج نموذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات النطاقية، وتغيّرات الجليد الأرضي المتوقعة من تغيّر درجات الحرارة (لمزيد من التفاصيل، راجع المرفق ١٠، ١). تُضاف المساهمات الفردية من أجل الإدلاء بمجمّل ارتفاع مستوى سطح البحر الذي لا يتضمن مساهمة عدم توازن الغلاف الجوي الدينامي المطروحة، الذي يساعد تفهم مستواه الحالي على القيام بتقديرات أفضل. (الرسم ٢٩، ١٠، ٣٣)

الحادي والعشرين (٢٠٩٠ - ٢٠٩٩)، نسبةً إلى الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٨٠ - ١٩٩٩، بحسب ٦ سيناريوهات دلالية من التقرير الخاص، يتراوح بين نسبتي ٥٠٪ و ٩٥٪، وهو نطاق يستند إلى إنتشار نتائج النماذج ويرد في الجدول السادس من الملخّص الفني. ويساهم المد الحراري بنسبة ٧٠ إلى ٧٥٪ في أفضل التقديرات لكل سيناريو. ويُعتبر استخدام نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات بغية تقييم امتصاص حرارة المحيطات والمد الحراري خطوةً أمامية

التفاعلي لدورة الكربون في المناخ، في عين الاعتبار. ويميل الإحترار إلى تقليص امتصاص الأرض والمحيطات لثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي، ما يزيد نسبة الإنبعاثات البشرية المنشأ التي تبقى في الجو. فبالنسبة إلى السيناريو ٢١ مثلاً، تزيد التأثير التفاعلي في ثاني أكسيد الكربون من معدّل الإحترار العالمي المناسب لها بأكثر من درجة مئوية واحدة، بحلول العام ٢١٠٠. {١٠، ٧، ٣} إن معدّل ارتفاع مستوى سطح البحر في العالم في نهاية القرن

حالتها في الوقت الذي تطورت فيه محاكاة النماذج كافة، ما عزز الثقة في متانتها (انظر الملخص الفني، الإطار ٧)، وأكد أن هذه الأنماط تعكس القيود الفيزيائية الأساسية المفروضة على النظام المناخي حين يزداد إحتراراً. {٨,٣-٨,٥، ١٠,٣، ١١,٢-١١,٩}

إن تغيّر درجات الحرارة المتوقع للقرن الحادي والعشرين إيجابي في كافة أرجاء العالم. وهو يزداد فوق الأراضي، ولا سيما في مناطق خطوط العرض العليا من القطب الشمالي خلال فصل الشتاء، ويزداد أيضاً بدءاً من الشواطئ وتوجهاً نحو الداخل القاري. أما في المناطق الأخرى الشبيهة من الناحية الجغرافية فيتعدى إحترار المناطق القاحلة الإحترار الذي تشهده المناطق الرطبة. {١٠,٣، ١١,٢-١١,٩}

في المقابل، تتدنى نسبة الإحترار في المحيطات الجنوبية وأجزاء من شمال المحيط الأطلسي. ومن المتوقع أن تزداد درجات الحرارة في مناطق مختلفة، ومنها شمال الأطلسي وأوروبا، على الرغم من تباطؤ متوقع الدوران الانقلابي الجنوبي في معظم النماذج، بسبب تأثير تزايد غازات الدفيئة الكبير. ويكشف النمط المتوقع للتغيّر درجات الحرارة النسبي المناطقي في الغلاف الجوي عن وصول الإحترار إلى حده الأقصى في الطبقة الإستوائية العليا من التروبوسفير، وعن تبريد في الستراتوسفير. ومن المتوقع أن تشهد المحيطات مزيداً من الإحترار النسبي المناطقي، بالقرب من السطح وفي المناطق الشمالية من خطوط العرض الوسطى، قبل وصول الإحترار تدريجياً إلى عمق المحيطات، وبروزه في مناطق خطوط العرض العليا حيث الاختلاط العمودي أكثر أهمية. إن نمط التغيّر المتوقع شبه مشترك بين الحالات التي جرت في نهاية القرن، بصرف النظر عن السيناريو. كما أن نطاقات المعدّلات المناطقيّة، متشابهة جداً في نظر السيناريوهات المدروسة (انظر الملخص الفني، الرسم ٢٨). {١٠,٣}

ومن المرجح جداً أن يتباطأ الدوران الانقلابي الجنوبي في الأطلسي خلال القرن الحادي والعشرين. وسينخفض المعدّل المتعدد النماذج بنسبة ٢٥٪ بحلول العام ٢١٠٠ (التراوح يبدأ من الصفر وينتهي عند ٥٠٪ تقريباً) بالنسبة إلى سيناريو الانبعاثات ١ ب المضمّن في التقرير الخاص. ومن المتوقع أن تزداد درجات الحرارة في منطقة الأطلسي على الرغم من أن مثل هذه التغيّرات تعود إلى الإحترار الحاصل على نطاق أوسع، بالإضافة إلى الإزداد المتوقع في غازات الدفيئة. ويُعزى الإنخفاض المتوقع للدوران الانقلابي الجنوبي في الأطلسي إلى كافة آثار ارتفاع الأمطار ودرجات الحرارة في مناطق خطوط العرض العليا، ما يقلص كثافة المياه السطحية في شمالي الأطلسي. وقد

هذا التقرير لجهة الإسقاطات الخاصة بمستوى سطح البحر لو عالج الشكوك بالطريقة نفسها. {١٠,٦-١٠,٧}

وسيستمر تغيّر الغلاف الجليدي في التأثير على ارتفاع مستوى

سطح البحر في القرن الحادي والعشرين. ومن المتوقع أن تخسر الأنهر جليدية والأغطية الجليدية والغلاف الجليدي في غرينلاند جزءاً من حجمها في القرن الحادي والعشرين، لأن نسبة الذوبان المتزايدة ستتعدي نسبة تساقط الثلوج المتزايدة. وتشير النماذج الحالية إلى أن الغلاف الجليدي في أنتاركتيكا سيحافظ على درجة عالية من البرودة تمنع إنتشار الذوبان، وقد يزداد حجماً في المستقبل، نظراً إلى تزايد نسبة تساقط الثلوج، ما يساهم في تخفيض مستوى سطح البحر. لكن، قد تزيد التغيّرات في الدينامية الجليدية من مشاركة غرينلاند وأنتاركتيكا معاً في ارتفاع مستوى سطح البحر خلال القرن الحادي والعشرين. وتشكل الملاحظات الحديثة حول مخارج الأنهر جليدية في غرينلاند دليلاً قوياً على التدفق المتزايد عند إزالة الرفوف الجليدية. وتشير الملاحظات الخاصة بالمنطقة الشرق أوسطية من غرينلاند، حول التقلبات الموسمية لمعدّل التدفق الجليدي والعلاقة مع تقلبية درجات الحرارة في الصيف، إلى أن المياه السطحية الذائبة قد تشكل جزءاً من نظام صرف شبه جليدي يجعل التدفق الجليدي زلجاً. ومن خلال هاتين الآليتين، قد يتسبب إزداد الذوبان السطحي في القرن الحادي والعشرين بتسريع الدفع والتصريف الجليدي ويعزز نسبة المشاركة في رفع مستوى سطح البحر. ومؤخراً، شهدت بعض المناطق في غرب أنتاركتيكا تسريعاً ملحوظاً للدفق الثلجي، من المحتمل أن يكون قد نتج عن انخفاض حجم الغلاف الجليدي بسبب إحترار المحيطات. وعلى الرغم من أن الدراسة لم تحدد فعلياً وقوف الإنسان وراء تغيّر المناخ نتيجة غازات الدفيئة، إلا أنها تشير إلى إمكانية أن يكون الإحترار السبب في تسريع انخفاض الأنهر جليدية من حجمها وإرتفاع مستوى سطح البحر. ولا يمكن الإدلاء بإسقاطات كمية وموثوقة حول هذا التأثير. وإذا كانت الإرتفاعات الملحوظة مؤخراً لجهة نسب تصريف الثلوج من الأغطية الجليدية في غرينلاند وأنتاركتيكا ستزداد خطياً مع تغيّر المعدّلات الحرارية في العالم، فإن ذلك سيؤدي إلى زيادة ١,١ إلى ٠,٢ متراً على طبقة البحر السطحية. إن فهم هذه الآثار محدود لدرجة تمنع تقييم أرجحيتها أو إعطاء أفضل التقديرات. {٤,٦، ١٠,٦}

ويبقى جزء كبير من الأنماط العالمية والإقليمية لدرجات الحرارة والأمطار، المذكورة في إسقاطات تقرير التقييم الثالث، مصنفاً في خانة النماذج والنتائج الحديثة العهد (انظر الملخص الفني، الرسم ٢٨). وبصورة عامة، بقيت هذه الأنماط على

يمكن تحديد كلمة «متطرف» كظاهرة تتعدى نسبة ٩٥ المئوية من توزيع درجات الحرارة الذي خضع للمحاكاة في القرن العشرين. ومع انتهاء القرن الحادي والعشرين، يتعدى إحتمال مواسم الحر المتطرفة نسبة ٩٠٪ في العديد من المناطق الإستوائية، مقابل ٤٠٪ في المناطق الأخرى. وأثارت دراسات حديثة إمكانية حدوث تغيرات مستقبلية في موجات الحر، ورأت أنه من المتوقع أن تزداد هذه الموجات كثافةً وطولاً وتكراراً في المناخات المستقبلية. واستناداً إلى مجموعة متعددة النماذج تتألف من ٨ أعضاء، خضعت موجات الحر للمحاكاة وإزدادت خلال النصف الثاني من القرن العشرين، ومن المتوقع أن تستمر في الإزدياد على صعيد العالم ومعظم المناطق. {١٠،٣، ٨،٥}

لمناخ مستقبلي أكثر إحتراراً، تتوقع النماذج إنخفاضاً يتراوح بين ٥٠ و ١٠٠٪ لجهة وتيرة إنتشار الهواء البارد حالياً خلال مواسم الشتاء في معظم مناطق القطب الشمالي. وتظهر نتائج مجموعة متعددة النماذج تتألف من ٩ أعضاء تراجعاً خضع للمحاكاة في أيام درجة التبريد، بدأ في القرن العشرين واستمر في القرن الحادي والعشرين على مستوى العالم ومعظم المناطق. وترتبط إطالة المواسم المتزايدة بأيام درجة التبريد، ومن المتوقع أن تتكاثر في المناخات المستقبلية. {١٠،٣ - الأسئلة ١،١}

يتوقع أن يتدنى الغطاء الثلجي وأن تشهد مناطق التربة الصقيعية ذوباناً متزايداً للثلوج غير السطحية، الموجودة في الأعماق. {٣، ١٠}

وبحسب سيناريوهات مختلفة من التقرير الخاص (أ ب و ١ أ ب ٢ و ب ١)، لن تحظى أجزاء كبيرة من المحيط المتجمد الشمالي بغطاء ثلجي على مدار السنة بدءاً من نهاية القرن الحادي والعشرين. فحساسية جليد المحيط المتجمد الشمالي للإحترار عالية جداً. وفيما تتسم التغيرات المتوقعة على مستوى إمتداد الجليد البحري في فصل الشتاء بالإعتدال، يحتمل أن يختفي الجليد البحري الذي يتكون في أواخر الصيف بشكل شبه كلي مع الإقتراب من نهاية القرن الحادي والعشرين، وذلك بموجب بعض النماذج الواردة في السيناريو أ ٢. ويساهم عدد من حالات التأثير التفاعلي الإيجابية في النظام المناخي في تسريع هذا التراجع. وتسمح التأثير التفاعلي للثلوج - البيدو للمياه المفتوحة بإستقبال المزيد من حرارة الشمس خلال فصل الصيف، كما يخف أثر الجليد البحري العازل وتعزز زيادة نقل حرارة المحيط نحو المحيط المتجمد الشمالي، في التقليل من حجم الغطاء الثلجي. وتشير محاكاة النماذج إلى أن الغطاء الجليدي البحري الذي يتكون في أواخر الصيف يفقد نسبة هامة من حجمه، وغالباً ما يتطور بالتزامن مع

يؤدي ذلك إلى إنخفاضٍ خطيرٍ في تكوّن مياه بحر لا برادور. وتضمن عدد لا يُذكر من دراسات نموذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات أثر الماء العذبة الناتجة عن ذوبان الغلاف الجليدي في غرينلاند. لكن الدراسات التي تحدثت عن هذا الأثر لا تذكر أنه سيؤدي إلى توقف كلي للدوران التقلبي الجنوبي. ومن المرجح جداً أن ينخفض الدوران التقلبي الجنوبي، ومن المستبعد جداً أن يمر الدوران التقلبي الجنوبي بفترة إنتقالية طويلة ومفاجئة خلال القرن الحادي والعشرين. ولا يمكن تقييم التغيرات الطويلة الأمد التي طرأت على الدوران التقلبي الجنوبي مثلما ينبغي. {١٠،٣، ٨،٧}

تشير النماذج إلى أن إرتفاع مستوى سطح البحر في القرن الحادي والعشرين لن يكون موحداً من الناحية الجغرافية. وبحسب السيناريو ١ أ ب للفترة الممتدة ما بين العامين ٢٠٧٠ و ٢٠٩٩، تشير نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات إلى أن معدّل معيار الإنحراف المكاني وصل إلى ٠،٠٨ متراً، أي حوالي ٢٥٪ من التقديرات المركزية لمعدّل إرتفاع مستوى سطح البحر في العالم. وفي معظم الأحيان، تنتج الأنماط الجغرافية لتغير مستوى سطح البحر في المستقبل عن تغيرات في توزيع الحرارة والملوحة في المحيط وما يتبعه من تغيرات في الدوران المحيطي. وتكشف الأنماط المتوقعة تشابهاً أكبر بين النماذج يفوق التشابه الذي يحلّه تقرير التقييم الثالث. إن الأنماط المشتركة أدنى من معدّل إرتفاع مستوى سطح البحر في المحيط الجنوبي، وأعلى من معدّل إرتفاع مستوى سطح البحر في القطب الشمالي وفي جزءٍ محددٍ من المحيط، يشهد إرتفاعاً ملحوظاً لمستوى سطح البحر، ويمتد من جنوب الأطلسي إلى المحيط الهندي. {١٠،٦}

وتُعدّد التوقعات التغيرات في الظواهر المتطرفة، مثل وتيرة موجات الحر، بدقة أكبر من تقرير التقييم الثالث، وذلك بفضل تطوّر النماذج وتحسّن تقييم إنتشار النموذج إستناداً إلى مجموعات متعددة النماذج. وخلص تقرير التقييم الثالث إلى الإشارة إلى خطر تزايد الظواهر المتطرفة لجهة درجات الحرارة، مع حدوث مزيدٍ من حلقات الحر المتطرف في المناخ المستقبلي. وقد أكدت دراسات حديثة هذه النتائج وساهمت في إنتشارها. ومن المتوقع أن يتبع إرتفاع الظواهر الحرارية المتطرفة في المستقبل إرتفاع درجات الحرارة النسبية في معظم أرجاء العالم باستثناء الأماكن التي تتغير فيها الخصائص السطحية (كالغطاء الثلجي أو رطوبة التربة). ودرس تحليل متعدد النماذج يستند إلى محاكاة ١٤ نموذجاً لثلاثة سيناريوهات، تغير درجات الحرارة خلال المواسم المتطرفة (من كانون الأول / ديسمبر إلى شباط / فبراير، ومن حزيران / يونيو إلى آب / أغسطس)، حيث

تغيرات في وجهة العواصف ودورانها. {١٠,٣,٦} في معظم النماذج، تزداد درجات حرارة سطح البحر في الجزء الأوسط والشرقي من الناحية الإستوائية للهادئ أكثر مما تزداد في الجزء الغربي الإستوائي منه، ويتوافق هذا الارتفاع مع ميل شرقي نسبي للأمطار. ومن المتوقع أن تستمر تقلبية النينو السنوية البنية على مستوى كافة النماذج، على الرغم من أن التغيرات تختلف من نموذج إلى آخر. وتسبق اختلافات نموذجية بينية كبرى لجهة التغيرات المتوقعة بخصوص حجم النينو، بالإضافة إلى تقلبية النينو المثوية من الناحية الزمنية، أي تقدير نهائي بشأن ميول تقلبية النينو. {١٠,٣} إن الدراسات الحديثة التي أجريت بواسطة نماذج عالمية متطورة، والتي تتراوح بين ١٠٠ و٢٠٠ كيلومتراً، تتنبأ بتغير مستقبلي في عدد الأعاصير وقوتها (إعصار حلزوني وإعصار مصحوب بالأمطار وتيفون).

وتشير خلاصة نتائج النماذج التي تم التوصل إليها حتى الساعة في ما يتعلق بمناخ مستقبلي أكثر احتراراً، إلى إزداد قوة الرياح القصوى وقوة الأمطار القصوى والنسبية في إطار الأعاصير الإستوائية المستقبلية، بالإضافة إلى إمكانية تراجع

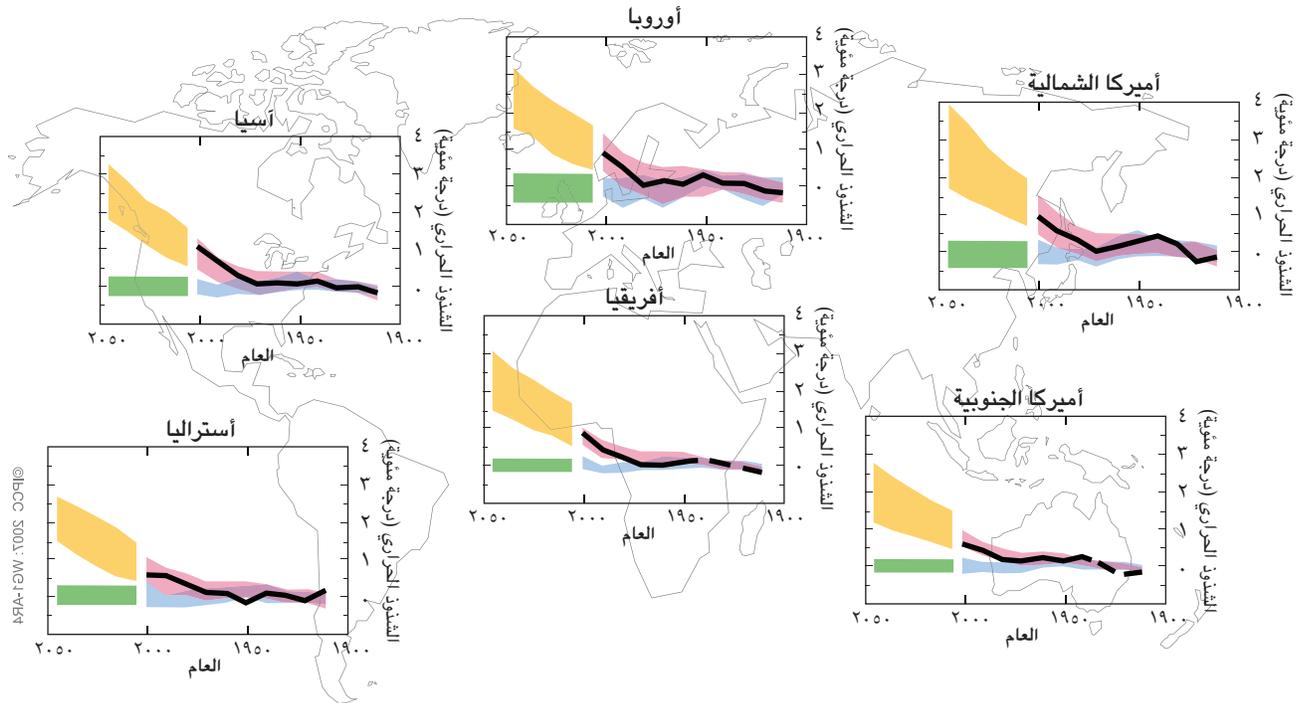
الإحترار العالمي. كما يتوقع أن يتراجع مد الجليد البحري في أنتاركتيكا خلال القرن الحادي والعشرين. {١٠,٣,٨,٦} - الإطار ١٠,١ ويحتمل أن يزداد ضغط مستوى سطح البحر فوق المناطق شبه الإستوائية ومناطق خطوط العرض الوسطى، وأن ينخفض في مناطق خطوط العرض العليا، بالتزامن مع إنتشار دوران هادي وتغير النمط الحلقي (النمط الحلقي الشمالي / التذبذب الأطلنطي الشمالي والنمط الحلقي الجنوبي، راجع الملخص الفني، الإطار ٢). وتتنبأ نماذج عدة بحدوث ميل إيجابي لجهة الأنماط الحلقيّة الشماليّة / التذبذب الأطلسي الشمالي ومؤشر الأنماط الحلقيّة الجنوبيّة. وغالباً ما يكون حجم الإزداد المتوقع أكبر بالنسبة إلى الأنماط الحلقيّة الجنوبيّة. ويستعمل المؤشر في العديد من النماذج. وبنتيجه لتلك التغيرات، من المتوقع أن تتجه العواصف نحو الأقطاب، ملحقةً تغيراً في أنماط الهواء والأمطار ودرجات الحرارة خارج المناطق الإستوائية، ومكملةً النمط الواسع للميول الملحوظة في النصف الثاني من القرن الماضي. وتشير بعض الدراسات إلى هبوب عدد أقل من العواصف في مناطق خطوط العرض الوسطى، كما تظهر بعض المؤشرات بوادر تغيرات في ارتفاع حاد للأمواج، ترافقها

الإطار ١٠: الإنخفاض النطاقي الإقليمي

تطورت محاكاة المناخات الإقليمية في نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات، وبالتالي تحسنت النماذج المناخية الإقليمية المتمركزة وتقنيات الإنخفاض النطاقي التجريبي. وتشير منهجيات الإنخفاض النطاقي التجريبي والدينامي معاً إلى مهارة مطورة في محاكاة النمط المحلية داخل المناخات الحالية عندما يُستخدم وضع الغلاف الجوي المدروس على نطاقات حلتها نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات، على شكل مدخلات. إن توفر الإنخفاض النطاقي وغيره من الدراسات الإقليمية يبقى غير عادل من الناحية الجغرافية، ما يتسبب بتفاوت التقييمات التي يمكن تقديمها، ولاسيما لجهة ظواهر الطقس المتطرفة. وتبرهن دراسات الإنخفاض النطاقي أن تغيرات الأمطار المحلية قد تختلف كثيراً عن تلك المتوقعة من نمط الإستجابة الهيدرولوجي الواسع النطاق، خاصةً في مناطق الطبوغرافيا المعقدة. {١١,١٠}

وهنا، يبقى عددٌ من مصادر الشك الهامة التي تحدّ من القدرة على التنبؤ بالتغير المناخي الإقليمي. وفيما تأتي الإجابات الهيدرولوجية متينةً نسبياً في بعض المناطق شبه الإستوائية وشبه القارية، لا يزال الشك قائماً حول الموقع الفعلي لهذه الحدود بين الأمطار المتزايدة والمتراجعة. وهناك بعض العمليات المناخية الهامة التي تؤثر حقاً على المناخ الإقليمي على الرغم من أنها تلقى إجابات ضعيفة من قبل إستجابة تغير المناخ. ومن بين هذه العمليات، التذبذب الجنوبي والتذبذب الطلسي الشمالي والتكتل والدوران المدفوع بالتباين الحراري والملحي في المحيط وتغير توزيع الأعاصير الإستوائية. بالنسبة إلى المناطق التي تتمتع بسيطرة طبوغرافية قوية على أنماطها المناخية، غالباً ما تكون المعلومات حول المناخ غير كافية لجهة الحل المكاني الدقيق للطبوغرافيا. ولم تحظ بعض المناطق إلا بأبحاث محدودة للغاية حول ظواهر الطقس المتطرفة. بالإضافة إلى ذلك، تصبح إشارة التغير المناخي المتوقع قابلة للمقارنة مع تقلبية داخلية أوسع على نطاقات زمنية ومكانية أصغر، ما يصعب إستعمال الميول الحديثة لتقييم أداء النموذج. {الإطار ١١,١, ١١,٢, ١١,٩}

شذوذ درجات حرارة السطح القارية: الملاحظات والإسقاطات



الرسم ٢٩: شذوذ درجات حرارة السطح القارية النسبية العقدية (درجة مئوية) في الملاحظات والمحاكاة الخاصة بالفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٠٦ و ٢٠٠٥، والتنبؤات الخاصة بالفترة الممتدة ما بين العامين ٢٠٠٦ و ٢٠٥٠. ويُحتسب الشذوذ إستناداً إلى المعدل الخاص بالفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٥٠ - ١٩٠٦. وترمز الخطوط السوداء إلى الملاحظات، والشريطان الأزرق والزهرى إلى معدل شذوذ درجات الحرارة التي خُضعت للمحاكاة كما رأينا في الرسم ٢٢ من الملخص الفني للقرن العشرين (مثلاً: يتضمن الشريط الزهري التأثيرات الطبيعية والبشرية المنشأ، والأزرق التأثيرات الطبيعية). ويرمز الشريط الأصفر إلى التراوح النسبية المتوقعة (٥ - ٩٥) الخاصة بالتغيرات المتوقعة بحسب سيناريو الإنبعاثات ١ ب من التقرير الخاص. ويشير الخط العمودي الأخضر إلى التراوح من ٥ إلى ٩٥ نسبة مئوية الخاص بالشذوذ العقدية النسبية بحسب محاكاة القرن العشرين بالتأثيرات الطبيعية فقط (مثل قياس الانقلابية الطبيعية العقدية). وبالنسبة إلى الجزء الملحوظ من الرسوم البيانية، تركز المعدلات العقدية على حدود زمنية عقدية (مثلاً: في الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٩٦ و ٢٠٠٥، يشكل العام ٢٠٠٠ النقطة الأخيرة). فيما تستند هذه المعدلات في المستقبل إلى فترات زمنية نصف عقدية (مثلاً: من ٢٠٠١ إلى ٢٠١٠، يشكل العام ٢٠٠٥ النقطة الأولى). ومن أجل بناء التراوحات، تم النظر في محاكاة مجموعة النماذج المعنية كل واحدة على حدى، واعتبرت إنجازاً مستقلاً لتطور المناخ الممكن نظراً إلى التأثيرات الملحوظة. ما أدى إلى القيام بـ ٥٨ حلة محاكاة من ١٤ نموذجاً حول المنحنى الأحمر ١٩ حالة محاكاة من ٥ نماذج (مجموعة فرعية من النماذج الـ ١٤) بالنسبة إلى المنحنى الأزرق والشريط الأفقي الأخضر، بالإضافة إلى ٤٧ حالة محاكاة لـ ١٨ نموذجاً في ما يتعلق بالمنحنى الأصفر. {الأسئلة ٩، ٢، ١ - الرسم ١، الإطار ١١، ١ - الرسم ١}

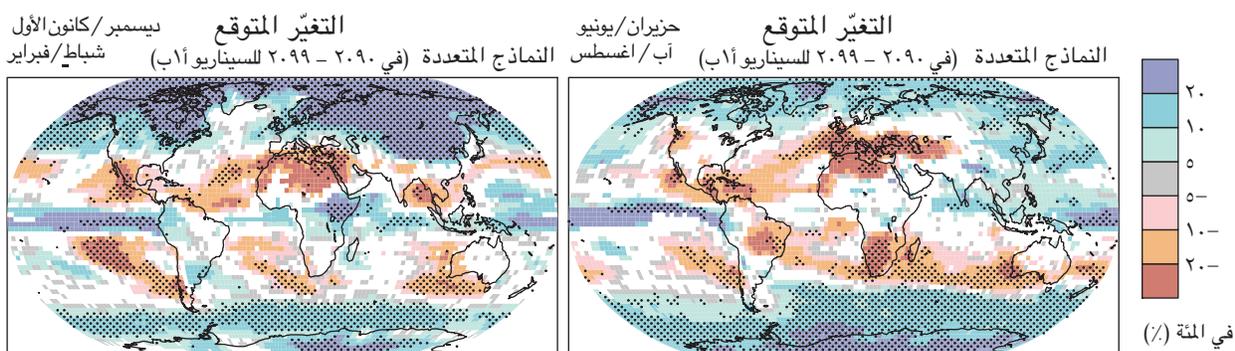
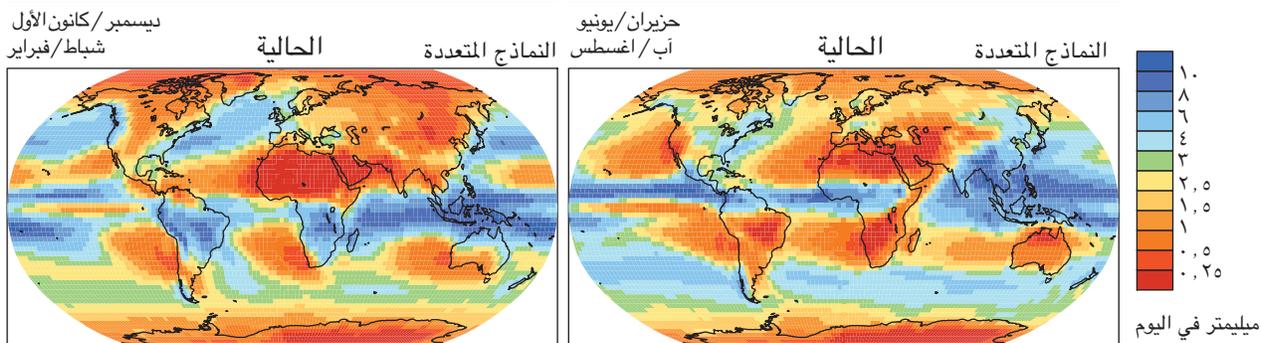
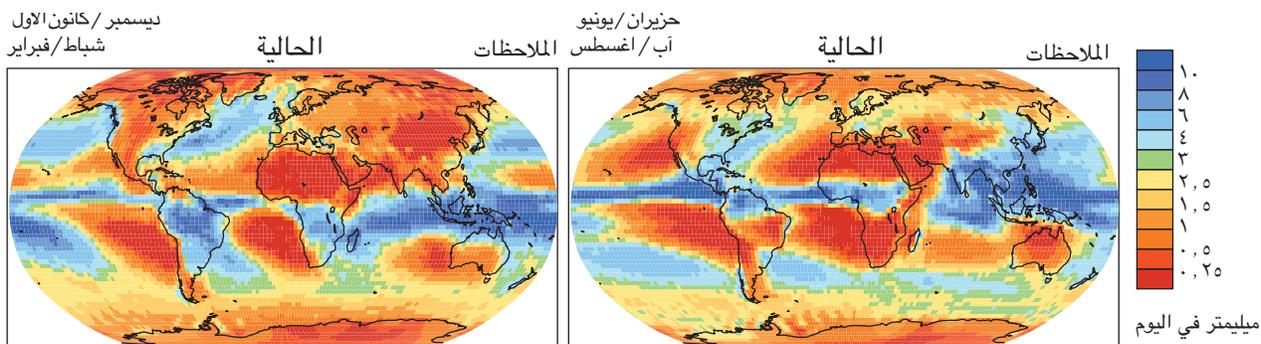
الرسم ٢٩: شذوذ درجات حرارة السطح القارية النسبية العقدية (درجة مئوية) في الملاحظات والمحاكاة الخاصة بالفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٠٦ و ٢٠٠٥، والتنبؤات الخاصة بالفترة الممتدة ما بين العامين ٢٠٠٦ و ٢٠٥٠. ويُحتسب الشذوذ إستناداً إلى المعدل الخاص بالفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٥٠ - ١٩٠٦. وترمز الخطوط السوداء إلى الملاحظات، والشريطان الأزرق والزهرى إلى معدل شذوذ درجات الحرارة التي خُضعت للمحاكاة كما رأينا في الرسم ٢٢ من الملخص الفني للقرن العشرين (مثلاً: يتضمن الشريط الزهري التأثيرات الطبيعية والبشرية المنشأ، والأزرق التأثيرات الطبيعية). ويرمز الشريط الأصفر إلى التراوح من ٥ إلى ٩٥ نسبة مئوية الخاص بالشذوذ العقدية النسبية بحسب محاكاة القرن العشرين بالتأثيرات الطبيعية فقط (مثل قياس الانقلابية الطبيعية العقدية). وبالنسبة إلى الجزء الملحوظ من الرسوم البيانية، تركز المعدلات العقدية على حدود زمنية عقدية (مثلاً: في الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٩٦ و ٢٠٠٥، يشكل العام ٢٠٠٠ النقطة الأخيرة). فيما تستند هذه المعدلات في المستقبل إلى فترات زمنية نصف عقدية (مثلاً: من ٢٠٠١ إلى ٢٠١٠، يشكل العام ٢٠٠٥ النقطة الأولى). ومن أجل بناء التراوحات، تم النظر في محاكاة مجموعة النماذج المعنية كل واحدة على حدى، واعتبرت إنجازاً مستقلاً لتطور المناخ الممكن نظراً إلى التأثيرات الملحوظة. ما أدى إلى القيام بـ ٥٨ حلة محاكاة من ١٤ نموذجاً حول المنحنى الأحمر ١٩ حالة محاكاة من ٥ نماذج (مجموعة فرعية من النماذج الـ ١٤) بالنسبة إلى المنحنى الأزرق والشريط الأفقي الأخضر، بالإضافة إلى ٤٧ حالة محاكاة لـ ١٨ نموذجاً في ما يتعلق بالمنحنى الأصفر. {الأسئلة ٩، ٢، ١ - الرسم ١، الإطار ١١، ١ - الرسم ١}

العرض المرتفعة، بينما من المرجح أن تنخفض في معظم المناطق القارية شبه الإستوائية (بنسبة ٢٠٪ تقريباً للعام ٢١٠٠، بحسب السيناريو أ ١ ب). وهي تتجه نحو الأقطاب بمعدل ٥٠ درجة، ويحتمل أن تزداد الأمطار النسبية بسبب تكاثر بخار الماء في الغلاف الجوي وما يتبعه من إزدياد نقل البخار من خطوط العرض الإستوائية. أما في اتجاه خط الإستواء فتمر نسبة الأمطار المتراجعة في غالبيتها بمرحلة إنتقالية في المناطق شبه الإستوائية (٢٠ - ٤٠ درجة على خط العرض). ونظراً إلى

عدد الأعاصير الضعيفة نسبياً وإرتفاع عدد الأعاصير القوية. لكن، يتوقع أن ينخفض العدد الإجمالي للأعاصير الحلزونية الإستوائية على صعيد العالم. ولا تزال نسبة الأعاصير المصحوبة بالأمطار القوية للغاية تزداد منذ العام ١٩٧٠ في بعض المناطق، لكن بوتيرة تفوق توقعات النماذج النظرية. {٣، ٨، ١٠، ١، ٨، ٥، ٣، ٨}

منذ تقرير التقييم الثالث، هناك تفهم ملحوظ لأنماط الأمطار المتوقعة. فمن المرجح جداً أن تزداد كمية الأمطار في المنطقة القطبية

نسب الأمطار النسبية الموسمية



الرسم ٣٠: الأنماط المكانية لنسب الأمطار النسبية (مليمتر في اليوم الواحد) الموسمية النسبية المتعددة النماذج (الصف المتوسط) الملحوظة (الصف الأول). خلال الفترة المتراوحة ما بين العامين ١٩٧٩ و ١٩٩٣. والمعدل المتعدد النماذج حول التغيرات ضمن الفترة المتراوحة ما بين العامين ٢٠٩٠ و ٢٠٩٩ نسبة إلى الفترة المتراوحة ما بين العامين ١٩٨٠ و ١٩٩٩ (%). إستناداً إلى السيناريو ١١ ب الوارد في التقرير الخاص (الصف الأسفل). إن معدلات الفترة المتراوحة بين ديسمبر | كانون الأول وشباط | فبراير مدرجة في العمود إلى اليسار. ومعدلات الفترة المتراوحة بين حزيران | يونيو وأب | أغسطس مدرجة في العمود إلى اليمين. وفي المجموعة الموجودة في الأسفل، تتواجد التغيرات فقط حيث توافق أكثر من ٦٦٪ من النماذج على إشارة التغير. وتشير المساحات المنقطة إلى المناطق التي تشهد بوادر تغيرات توافق عليها ٩٠٪ من النماذج. (بالإستناد إلى البيانات نفسها التي اعتمدت في الرسمين ٨,٥ و ١٠,٩)

إشارة درجات الحرارة. {١٠,٣,١١,٢} تنبئ الأبحاث المتوفرة بميل لإرتفاع ظواهر تساقط الأمطار اليومية الغزيرة في بعض المناطق، بما فيها تلك التي يتوقع أن تشهد تراجعاً لتساقط الأمطار النسبية. وفي الحالة الأخيرة، غالباً ما يعزى تراجع تساقط الأمطار إلى إنخفاض عدد الأيام

المطرة بدلاً من تراجع قوة الأمطار. {١١,٩, ١١,٢}

إرتفاع نسبة نقل بخار الماء خارج المناطق شبه الإستوائية، وإنتشار الأنظمة التي تقع في مناطق الضغط المرتفع شبه الإستوائية، تكشف أطراف المناطق شبه الإستوائية التي تقع على خطوط العرض العليا، عن ميل واضح نحو الجفاف (انظر الملخص الفني، الرسم ٣٠). {٨,٣, ١١,٩}

تشير النماذج إلى أن التغيرات في كمية الأمطار النسبية، على الرغم من غزارتها، ستتعدى التقليدية الطبيعية ببطء أكبر من

٣, ٥. الإسقاطات الإقليمية

في القطب الجنوبي، نجد عدداً من الأراضي داخل نطاق الرطوبة شبه القارية المتوقعة للقرن الحادي والعشرين، التي تترافق مع احتمال واضح للجفاف شبه الإستوائي (الملخّص الفني، الرسم ٣٠). وتقع جزيرة نيوزيلندا الجنوبية وتيارا ديل فويغو ضمن نطاق إزدياد الأمطار شبه القطبية، الذي يضم جزءاً كبيراً من جنوب أفريقيا وجنوب الآند في أميركا الجنوبية وجنوب أستراليا، ويمكلاً نحو الجفاف الخاص بالمناطق شبه الإستوائية. {١١,٦، ١١,٧، ١١,٢}

إن توقّع تساقط الأمطار في المناطق القارية الإستوائية أكبر من توقّع تساقط الأمطار في مناطق خطوط العرض العليا. ولكن، على الرغم من وجود تفاوتات بارزة لجهة نمذجة الحمل الحراري الإستوائي والتفاعلات الجوية المحيطية، بالإضافة إلى الشك المرتبط بالأعاصير الإستوائية، تبرز بعض الميزات القوية في النماذج. ويزداد تساقط الأمطار في موسم الرياح الصيفية الخاص بجنوبي وجنوب شرق آسيا، في معظم النماذج، على غرار تساقط الأمطار في شرق أفريقيا. وليست إشارة إستجابة الأمطار أكيدة في الأمازون والساحل الأفريقي، بما فيه الكفاية. فهذه المناطق تشكل مصدر شكٍ إضافي، نظراً إلى احتمال وجود روابط بين النباتات والمناخ. كما أن النماذج تعتبر قوة أقل في ما بينها، حتى في ظل غياب التأثير التفاعلي للنباتات. {١١,٢، ٨,٢، ١١,٤، ١١,٦، ١١,٧}

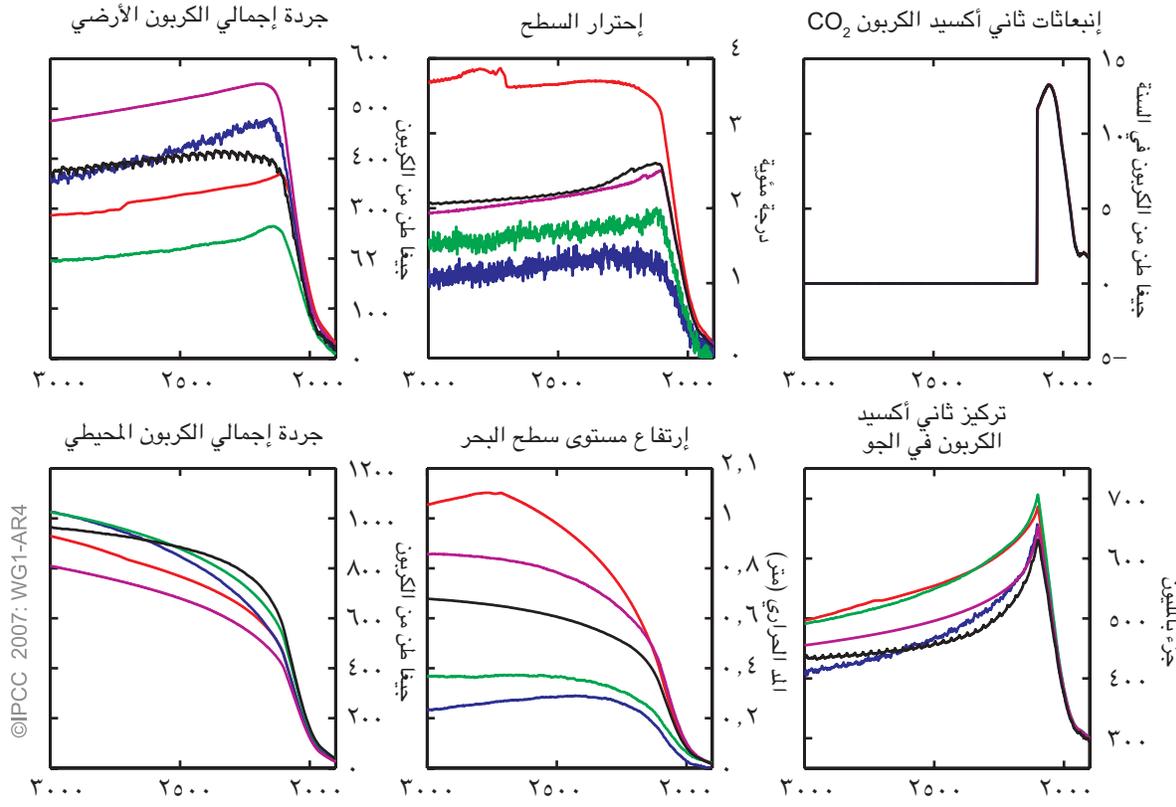
٤, ٥. إقتران تغيّر المناخ بتغيّر الدورات الكيميائية الأرضية الحيوية

إن كافة النماذج التي تعالج اقتران دورة الكربون بتغيّر المناخ تشير إلى أثر إيجابي للتأثير التفاعلي، مع الإحترار الذي يعمل على القضاء على إمتصاص الأرض والمحيط لثاني أكسيد الكربون، ما يؤدي إلى إزدياد نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وتعزيز تغيّر المناخ نسبة إلى أحد سيناريوهات الإنبعثات، إلا أن قوة أثر التأثير التفاعلي هذا يختلف كلياً بين النماذج. ومنذ تقرير التقييم الثالث، تم تطوير ومقارنة العديد من الإسقاطات الجديدة التي تستند إلى نماذج إرتباط تام بين دورة الكربون والمناخ. وبالنسبة إلى السيناريو ٢أ من التقرير الخاص لسيناريوهات الإنبعثات، واستناداً إلى سلسلة من نتائج النموذج، من المرجح أن يتعدى الإرتفاع المتوقع لجهة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في القرن الحادي والعشرين، الإسقاطات من دون التأثير التفاعلي ذلك بنسب تتراوح بين ١٠ و ٢٥٪، مضيفاً أكثر من

في كلٍ من المناطق القارية، تتوقع نتائج سيناريوهات الإنبعثات المدرجة في التقرير الخاص للفترة الممتدة ما بين العامين ٢٠٠٠-٢٠٥٠ أن يتعدى الإحترار المعدل العالمي والإحترار الملحوظ في القرن الماضي. وقد يتعدى الإحترار المتوقع للعقود الأولى من القرن الحادي والعشرين، بعد احتساب معدلاته في كل قارة على حدى، توقعات القرن العشرين لجهة التقلبية الخاضعة للتأثير الطبيعي والتقلبية غير الخاضعة له في كافة الحالات بإستثناء أنتاركتيكا (انظر الملخّص الفني، الرسم ٢٩). وتشير تقديرات النماذج الأحسن إلى أنه من المرجح جداً أن يساوي معدل الإحترار العقدي لكل قارة بإستثناء أنتاركتيكا، بحلول العام ٢٠٣٠، ضعفي التقلبية الطبيعية المتوقعة من قبل النماذج والتي تناسبه في القرن العشرين. إن الإحترار الخاضع للمحاكاة في الفترة نفسها ليس حساساً جداً لخيارات سيناريوهات التقرير الخاص، كما يظهر الرسم ٣٢ من الملخّص الفني. ويشير الرسم ٢٨ من الملخّص الفني إلى أن خيار السيناريو يكون أكثر أهمية على نطاقات زمنية أطول. ويتخطى الإحترار المتوقع في التقرير الخاص لسيناريوهات الإنبعثات للفترة الممتدة ما بين العامين ٢٠٠٠-٢٠٥٠ التقديرات المتعلقة بالتقلبية الطبيعية ومعدلاتها في معظم المناطق شبه القارية. {١١,١}

في القطب الشمالي، يسيطر نمط قوي لإرتفاع نسبة تساقط الأمطار شبه القطبية وإنخفاض نسبة تساقط الأمطار شبه الإستوائية على نمط الأمطار المتوقع للقرن الحادي والعشرين في شمال أميركا وأوروبا، فيما ليس من المؤكد بعد أن تمر آسيا بمرحلة من الجفاف شبه الإستوائي (انظر الملخّص الفني، الرسم ٣٠). وتتنبأ كافة النماذج تقريباً بتزايد الأمطار فوق معظم المناطق الشمالية من شمال أميركا وإنخفاض الأمطار فوق أميركا الوسطى، مع مرور معظم المناطق في الولايات المتحدة وشمال المكسيك في نطاق إنتقالي غير مؤكد تنتقل شمالاً وجنوباً بحسب المواسم. من المحتمل جداً أن تنخفض الأمطار في جنوبي أوروبا والمنطقة المتوسطة من أفريقيا، تزامناً مع نقلة نحو تزايد الأمطار شمالي أوروبا. وسيشمل الجفاف الصيفي كلتي القارتين، نظراً إلى سلك هذا النطاق الإنتقالي ووجهة قطبية في الصيف، وإلى زيادة التبخر. ويحتمل أن ترتفع كمية الأمطار شبه القطبية فوق معظم شمال آسيا وأن تترافق في الوقت نفسه مع انتقال الجفاف شبه الإستوائي من المتوسط، جراء بواذر واضحة تنبئ بريح موسمية، انطلاقاً من آسيا الوسطى باتجاه الشرق. {١١,٢، ١١,٥}

الالتزام بتغيير المناخ



الرسم ٣١: إن إحتساب إلتزام تغيير المناخ الناتج عن الإنبعاثات الماضية الخاصة بخمسة نماذج متوسطة الصعوبة من نظام الأرض، بالإضافة إلى سيناريو مثالي حيث تلي الإنبعاثات خطأ يؤدي إلى إستقرار ثاني أكسيد الكربون في الجو على مستوى ٧٥٠ جزءاً بالمليون. لكن، قبل الوصول إلى هذا الهدف، تُخفض الإنبعاثات إلى الصفر تلقائياً في العام ٢١٠٠. (إلى اليسار) إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. (في الوسط) إحتراق السطح وإرتفاع مستوى سطح البحر بسبب المد الحراري. (إلى اليمين) تغيير في جردة إجمالي الكربون الأرضي والمحيطي منذ فترة ما قبل التصنيع. (الرسم ١٠،٣٥)

المحيط إلى حل رواسب الكاربونات الموجودة في المياه السطحية. ويتوقع أن تُظهر المياه السطحية جنوبي المحيط حالة عدم تشبّع نظراً إلى كمية كربونات الكالسيوم مقابل تركيز ثاني أكسيد الكربون، أي أكثر من ٦٠٠ جزء بالمليون، وهو مستوى تم تخطيه خلال النصف الثاني من القرن الحادي والعشرين في معظم سيناريوهات التقرير الخاص. كما ستتأثر مناطق خطوط العرض المتدنية وأعماق المحيط. وقد تؤثر هذه التغيرات على الكائنات البحرية التي تتغذى من كربونات الكالسيوم لتنمّي هيكلها الخارجي، غير أن الأثر الفعلي الذي سينعكس على دورة الكربون البيولوجية في المحيطات لم يتبلور بعد. (الإطار ٧،٣، ١٠،٤)

يتفاوت تغيير المناخ الملتمزم بسبب الإنبعاثات الماضية بشكل واضح بحسب مختلف عوامل التأثير، وذلك بسبب تفاوت الأعمار في الغلاف الجوي للأرض (انظر الملخص الفني، الإطار ٩). ويأخذ تغيير المناخ الملتمزم الحاصل من جراء الإنبعاثات الماضية، (أولاً) بالوقت

درجة مئوية واحدة إلى الإحتراق النسبي المتوقع بحلول العام ٢١٠٠، بالنسبة إلى سيناريوهات الإنبعاثات الواردة في التقرير الخاص. وعلى النحو ذاته، يقلل إمتصاص ثاني أكسيد الكربون المنخفض والناتج عن هذا الأثر، من إنبعاث ثاني أكسيد الكربون الذي يتناسب مع مستوى الإستقرار الهدف. لكن، لا تزال الشكوك قائمة لأسباب عديدة، منها الفهم المحدود لدينامية الأنظمة الإيكولوجية الخاصة بالأرض والتربة. (١٠،٤، ٧،٣)

إن إرتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي يؤدي مباشرة إلى زيادة تحمّض سطح المحيط. وتشير إسقاطات سيناريوهات الإنبعاثات التابعة للتقرير الخاص إلى تراجع الرقم الهيدروجيني من ٠،١٤ إلى ٠،٣٥ وحدة في القرن الحادي والعشرين (بحسب السيناريو)، معززةً الإنخفاض الحالي (١،٠ وحدة) الموروث عن فترة ما قبل التصنيع. وقد يؤدي تحمّض

نسبة نمو الميثان إلى حالات شاسعة من عدم اليقين في الإسقاطات المستقبلية الخاصة بهذا الغاز بالتحديد. ومن المرجح أن يزيد الميثان المنبعث من الأراضي الرطبة، ضمن مناخ أكثر احتراراً ورطوبة، وأن ينخفض ضمن مناخ أكثر احتراراً وجفافاً. وتشير الملاحظات أيضاً إلى إزدياد الميثان المنبعث من أراضي الخث الشمالية التي تعيش تربتها الصقيعية نوباناً في الوقت الراهن، على الرغم من أن حجم هذا الأثر الكبير لم يحدد بعد. وقد تؤثر تغييرات درجة الحرارة والرطوبة والسحب على الانبعاثات البيولوجية المنشأ لسلائف الأوزون، مثل المركبات العضوية المتطايرة. كما يتوقع أن يؤثر تغيير المناخ على الأوزون التروبوسفيري عبر تغييرات تطراً على الكيمياء والنقل. وقد يؤدي تغيير المناخ إلى تغييرات لجهة الهيدروجين والأكسجين، عبر تغييرات في الرطوبة، وقد يحدث تقلباً على مستوى تركيز الأوزون في الستراتوسفير وبالتالي على مستوى الإشعاع فوق البنفسجي في التروبوسفير {٤،٧،٧،٤}

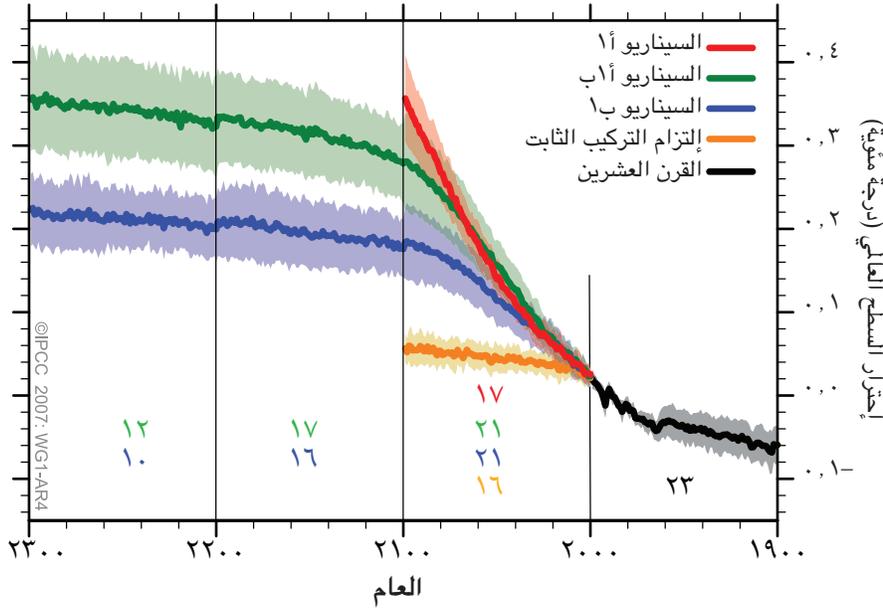
من المتوقع أن يؤثر تغيير المناخ على الانبعاثات المستقبلية للعديد من الأهباء الجوية وسلائفها. وتشير التقديرات حول التغييرات المستقبلية لجهة انبعاثات الغبار في إطار سيناريوهات متعددة حول المناخ وإستخدام الأراضي، إلى أن آثار تغيير المناخ في السيطرة على انبعاثات الغبار المستقبلية تفوق آثار تغييره في إستخدام الأراضي أهميةً. وتشير نتائج إحدى الدراسات إلى أن علمي الأرصاد الجوية والمناخ يؤثران على الانبعاثات الآسيوية المستقبلية للغبار وعواصف الغبار، أكثر مما يؤثران على التصحر. ومن المعروف عن الانبعاثات الحيوية المنشأ للمركبات العضوية المتطايرة، وهي مصدر هام للأهباء العضوية الثانوية، أنها حساسة للغاية لدرجات الحرارة (وتزداد معها). لكن، تتراجع مردودات الأهباء الجوية مع درجات الحرارة، وتبقى آثار الأمطار المتغيرة والتكيف الفيزيولوجي غير أكيدة. وبالتالي، قد يكون تغيير توليد الهباء العضوي الثانوي الحيوي المنشأ في إطار مناخ أكثر احتراراً، أدنى بكثير من إستجابة انبعاثات الكربون العضوي المتطاير الحيوي المنشأ. وقد يؤثر تغيير المناخ على تقلبات كبريتيد ثنائي الميثيل (وهو من سلائف بعض الأهباء الكبريتية) والأهباء الملحية البحرية من المحيط، غير أن تأثير ذلك على درجات الحرارة والأمطار يبقى غير مؤكد على الإطلاق. {٧،٥}

وبينما بقي الأثر الإحتراري لثاني أكسيد الكربون التزاماً على مدى قرون عدة، أزيلت الأهباء الجوية من الغلاف الجوي في ظرف أيام، وبالتالي، سرعان ما تغير التأثير الإشعاعي السلبي الناتج عن الأهباء الجوية، إستجابة لأي تغييرات تطراً على انبعاثات

الذي يستغرقه النظام المناخي قبل الإستجابة للتغيرات في التأثير الإشعاعي، و(ثانياً) بالنطاقات الزمنية التي تستمر فيها عوامل التأثير المختلفة في الغلاف الجوي بعد انبعاثها، نظراً إلى تفاوت أعمارها. وعلى النحو ذاته، يتضمن التغيير المناخي الملتزم الحاصل نتيجة الانبعاثات الماضية فترة أساسية من الإرتفاع الإضافي في درجات الحرارة، وذلك للأسباب المذكورة أعلاه، يتبعها تراجع طويل الأمد يترافق مع إنخفاض التأثير الإشعاعي. وتتمتع بعض غازات الدفيئة بأعمار جوية قصيرة نسبياً (عقود على الأكثر)، نذكر منها الميثان وأول أكسيد الكربون، فيما تتمتع غازات أخرى كأكسيد النيترون بأعمار أطول تصل إلى مئة سنة، وأحياناً آلاف السنين، كسادس فلوريد الكبريت والمركبات الكربونية الفلورية المشبعة. ولا ينحل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بفترة زمنية في حال توقفت الانبعاثات. ويتطلب زوال ثاني أكسيد الكربون المنبعث في الغلاف الجوي جداول زمنية متعددة، كما أنه قد يحافظ على بقائه لآلاف السنين، ما يؤدي إلى إلزام الانبعاثات بتغيير المناخ على الأمد الطويل. إن صدّ المحيط عملية طويلة الأمد وبطيئة، يتضمن التأثير التفاعلي لرواسب كربونات الكالسيوم، وتستغرق من ٣٠،٠٠٠ إلى ٣٥،٠٠٠ سنة كي يتوصل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى التوازن. ومع إستخدام مكوّنات مقرونة من دورة الكربون، تُظهر نماذج نظام الأرض المتوسطة التعقيد أن التغيير المناخي الملتزم الناتج عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الماضية، بقي قائماً لأكثر من ١٠٠٠ سنة، ولم تعد درجات الحرارة ومستوى سطح البحر إلى القيم التي كانت عليها في فترة ما قبل التصنيع، حتى بعد إنقضاء هذه الفترات الزمنية الطويلة. ويمكن الحصول على النطاقات الزمنية الطويلة لتغيير المناخ الملتزم من خلال وصف انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشرية المنشأ التي تلت خطوة فترة الإستقرار عند ٧٥٠ جزءاً بالمليون، بالإضافة إلى تثبيت الانبعاثات عشوائياً عند الصفر في العام ٢١٠٠. في هذا الوضع الإختباري، يتطلب تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من قرن إلى ٤ قرون في مختلف النماذج، كي ينتقل المستوى من حده الأقصى (تراوح بين ٦٥٠ و ٧٥٠ جزءاً بالمليون) إلى ما دون مستوى تركيز ثاني أكسيد الكربون في فترة ما قبل التصنيع بضعفين (حوالي ٥٦٠ جزءاً بالمليون)، نظراً إلى إنتقال مستمر ولكن بطيء للكربون من الغلاف الجوي والخزانات الأرضية إلى المحيط (انظر الملخص الفني، الرسم ٣١). {٧،٣-١٠،٧}

إن التركيز المستقبلي لعدد من غازات الدفيئة غير ثاني أكسيد الكربون وسلائفها قد يكون مقروناً بتغيير المناخ في المستقبل. ويشير عدم الفهم الكافي لأسباب التقلبات الحديثة التي طرأت على

تنبؤات التقرير الخاص عن سيناريوهات الإنبعاثات حول إحتراق السطح النسبي



الرسم ٣٢: معدلات إحتراق السطح المتعدد النماذج (مقارنةً مع الفترة المتراوحة بين العامين ١٩٨٠ و١٩٩٩) بحسب سيناريوهات التقرير الخاص ١ أ (أحمر) و ١ ب (أخضر) و ١ (أزرق)، التي تظهر كتنتمة لمحاكاة القرن العشرين. ويستمر السيناريوهات الأخرى بعد إنتهاء العام ٢١٠٠ مع إستقرار التأثير (تغير المناخ الملتزم كما حدده الملخص التنفيذي في الإطار ٩). كما تبدو تجربة إضافية حيث حافظ التأثير على مستوى العام ٢٠٠٠ (البرتقالي). أزيلت الميول الخطية الخاصة بالمعلومات المناسبة حول المراقبة من هذه الجداول الزمنية. وتشير الخطوط إلى المعدلات المتعددة النماذج، فيما ترمز المساحات الملونة إلى المعيار ± ١ من نطاق الإنحراف. ليس لحالات التقاطع بين الفترات المختلفة أي معنى فيزيائي، وهي ناتجة عن إعتداد عدد من النماذج لسيناريو معين، ما يختلف بين الفترات والسيناريوهات (الأرقام مذكورة في الرسم). وللسبب ذاته، لا ينبغي تفسير حالة عدم اليقين بين السيناريوهات إستناداً إلى هذه الرسم (لمزيد من المعلومات حول التقديرات المرتبطة بالشكوك، راجع الفقرة ١٠.٥). {الرسم ١٠.٤}

الأثار بين منطقة وأخرى. ويمكن أن يؤثر تغير المناخ على جودة الهواء من خلال تعديل نسب توزيع الملوثات ونسبة إزالة الأهباء الجوية والأنواع القابلة للحل من الغلاف الجوي، والبيئة الكيميائية العامة لجميع الملوثات، بالإضافة إلى البيئة الكيميائية العامة لجميع الملوث وقوة الإنبعاثات من المحيط الحيوي والحرائق والغبار. كما يُتوقع أن يساهم تغير المناخ في تخفيض الأوزون الطبيعي في العالم. وبشكل عام، تحيط نسبة عالية من عدم اليقين بصافي أثر تغير المناخ على نوعية الهواء. {الإطار ٧.٤}

٥.٥ تداعيات العمليات المناخية ونطاقاتها

الزمنية بالنسبة إلى التنبؤات الطويلة المدى

يتوقع أن تتراوح الإلتزامات حيال تغير المناخ، بعد إستقرار التأثير الإشعاعي ما بين ٠,٥ و ٦,٠ درجة مئوية، في القرن التالي لمعظمها. ويساوي المعدل المتعدد النماذج، عند استقرار تركيز غازات

الأهباء الجوية أو سلاقتها. ونظراً إلى أنه من المرجح جداً أن تعكس الأهباء الكبريتية تأثيراً إشعاعياً سلبياً حيوياً في الوقت الراهن، فإن صافي التأثير المستقبلي يمتاز بحساسية كبيرة على تغيرات إنبعاثات الكبريت. وتشير إحدى الدراسات إلى أن الإزالة المحتملة لمجمل العبء الحالي الذي تشكله جزئيات الأهباء الكبريتية البشرية المنشأ من الغلاف الجوي، قد تولد إرتفاعاً سريعاً في درجات الحرارة النسبية في العالم، قد يصل إلى ٠,٨ درجة مئوية في غضون عقد أو عقدين. ومن المرجح أن تؤثر التغيرات في الأهباء الجوية على تساقط الأمطار. وبالتالي، فإن أثر الإستراتيجيات البيئية الآيلة إلى تلطيف التغيرات المناخية يستوجب الأخذ بإعتبار التغيرات في إنبعاثات غازات الدفيئة والأهباء الجوية. وقد تنتج تغيرات إنبعاثات الأهباء الجوية عن تدابير مطبقة لتحسين نوعية الهواء، ما قد يؤثر على تغير المناخ. {الإطار ٧,٤ - ٧,٦ - ١٠,٧}

قد يعدل تغير المناخ عدداً من العمليات الكيميائية والفيزيائية التي يسيطر على جودة الهواء، ومن المرجح أن يختلف صافي

الجليدية الموجودة في الجبال. وقد يؤدي ذلك إلى ارتفاع مستوى سطح البحر بحوالي ٧ أمتار، وهو أمرٌ سيستحيل الرجوع عنه. إن درجات الحرارة هذه تشبه تلك التي نُكرت في ما يتعلق بالفترة الجليدية البينية الأخيرة، أي منذ ١٢٥٠٠٠ ألف سنة، حيث تشير المعلومات حول مناخ عصر ما قبل التاريخ إلى تقلص الإمتداد الجليدي القطبي وإلى ارتفاع مستوى سطح البحر من ٤ إلى ٦ أمتار. {١٠،٧،٦،٤}

قد تزيد العمليات الدينامية غير المدرجة في النماذج الحالية إنما المذكورة في الملاحظات الحديثة، من هشاشة الغلاف الجليدي أمام الإحترار، ما يضاعف خطر ارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل. إن فهم هذه العمليات محدودٌ وما من تقديرات مشتركة حول حجمها. {١٠،٧،٤،٦}

تنبئ دراسات النموذج العالمية بأن الغلاف الجليدي في أنتاركتيكا سيبقى بارداً لدرجة تمنع إنتشار الثلوج الذائبة على السطح، وسيزداد حجماً بسبب تزايد تساقط الثلوج. لكن، قد يخسر الجليد من حجمه الصافي في حال سيطر تصريف الجليد الدينامي على توازن حجم الغلاف الجليدي {١٠،٧}

وبينما لا ينطبق أي نموذج على هذا التقييم، ما ينبئ بتوقف مفاجئ للدوران الانقلابي الجنوبي (خلال القرن الحادي والعشرين)، تصف بعض النماذج المنخفضة التعقيد توقف الدوران الانقلابي الجنوبي كاستجابة ممكنة على المدى الطويل في وجه الإحترار القوي. لكن، لا يمكن التأكد من أرجحية هذه الحادثة. كما أن الحالات القليلة المتوفرة لمحاكاة نماذج مختلفة التعقيد تنبئ بتباطؤ مؤي النطاق. ومن المرجح أن يشهد الدوران الانقلابي الجنوبي إنتعاشاً إذا ما استقر التأثير الإشعاعي، إلا أن المسألة ستستغرق قروناً. وقد ساعدت الدراسات المنتظمة لمقارنة النماذج على وضع بعض العمليات الحيوية المسؤولة عن التفاوت بين النماذج في إطار إستجابة المحيط لتغير المناخ (خاصة إمتصاص حرارة المحيط). {٨،٧،٧،٧}

{١٠،٣،١٠،٢}

الدفينة والأهباء الجوية بحسب أرقام العام ٢٠٠٠ بعد محاكاة مناخ القرن العشرين، وعند مضي فترة إضافية تتألف من ١٠٠ سنة، حوالي ٠،٦ درجة مئوية من الإحترار (بالنسبة إلى ١٩٨٠ - ١٩٩٩) في العام ٢١٠٠ (انظر الملخص الفني، الرسم ٣٢). وإذا كان السيناريوهان ب ١ وأ ١ ب يشكّلان سمة إنبعاثات القرن الحادي والعشرين، يليهما الإستقرار على هذه المستويات، فإن الإحترار الإضافي يبقى هو نفسه بعد الإستقرار، حوالي ٠،٥ درجة مئوية، في القرن التالي على الأرجح. {١٠،٧-١٠،٣}

إن حجم التأثير التفاعلي الإيجابي بين تغير المناخ ودورة الكربون غير مؤكد. ما يؤدي إلى شكوك في مسار إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون الضرورية لتحقيق مستوى إستقرار معين لجهة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو. وإستناداً إلى التفهم الراهن للتأثير التفاعلي لدورة الكربون - المناخ، تشير دراسات النماذج إلى أن الإنبعاثات المتراكمة في القرن الحادي والعشرين، والهادفة إلى تثبيت ثاني أكسيد الكربون على مستوى ٤٥٠ جزءاً بالمليون، قد تنقلص وتنتقل من معدّل نموذج يتراوح بين ٦٧٠ تقريباً [٦٣٠ - ٧١٠] جيغا طن من الكربون و٤٩٠ [٣٧٥ - ٦٠٠] جيغا طن من الكربون. وعلى النحو ذاته، يمكن تقليص الإنبعاثات المتراكمة عبر هذا التأثير التفاعلي من معدّل نموذج يتراوح بين ١٤١٥ [١٢٤٠ - ١٤٩٠] جيغا طن من الكربون و١١٠٠ [٩٨٠ - ١٢٥٠] جيغا طن من الكربون. {٧،٣-١٠،٤}

في حال كان التأثير الإشعاعي سيستقر في العام ٢١٠٠ على مستوى تركيز السيناريو أ ١ ب، فإن الإمتداد الحراري وحده قد يؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر ٠،٣ إلى ٠،٨ متراً بحلول العام ٢٣٠٠ (نسبةً إلى الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٨٠ و١٩٩٩)، وقد يستمر بالتراجع على مدى قرونٍ من الزمن، نظراً إلى العمليات البطيئة التي تخلط الحرارة داخل عمق المحيطات. {١٠،٧}

من المتوقع أن يستمر الغلاف الجليدي في غرينلاند بالتقلص، مساهماً في ارتفاع مستوى سطح البحر بعد العام ٢١٠٠. ومن أجل تثبيت مستوى التركيز الوارد في السيناريو أ ١ ب للعام ٢١٠٠، من المتوقع أن تتراوح نسبة الإرتفاع بين ٠،٣ و٠،٢١ متراً في كل قرن، بسبب الإمتداد الحراري. وإذا تم الحفاظ على معدّل إحترار عالمي يتراوح بين ١،٩ درجة مئوية و٤،٦ درجة مئوية نسبةً إلى درجات الحرارة الخاصة بفترة ما قبل التصنيع على مدى آلاف السنين، فإن الغلاف الجليدي في غرينلاند قد يزول بشكلٍ كلي، بإستثناء بقايا الأنهر

الملخص الفني ٦: الإكتشافات الكبرى وأهم الشكوك

الملخص الفني ٦,١: تغيير في العوامل البشرية والطبيعية الدافعة الخاصة بالمناخ الإكتشافات الكبرى:

إن العمليات الطبيعية لإمتصاص المحيطات والمحيط الحيوي الأرضي لثاني أكسيد الكربون يزيل ٥٠ إلى ٦٠٪ من الإنبعاثات البشرية المنشأ (مثلاً، إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون الأحفوري وتدفع تغيير استخدام الأراضي). كما أن إمتصاص المحيطات وإمتصاص المحيط الحيوي الأرضي يتشابهان في الحجم خلال العقود الأخيرة، على الرغم من أن المحيط الحيوي الأرضي يملك قدرة أكبر على التغيير. {٧,٣}

يعتبر من شبه مؤكد أن أهباء بشرية المنشأ تولد تأثيراً إشعاعياً سلبياً صافياً (أثر التبريد) يتميز بحجم أكبر في القطب الشمالي مقارنة مع القطب الجنوبي. {٩,٢، ٢,٩}

نظراً إلى التقديرات الجديدة حول التأثير البشري المنشأ الناتج عن تغيير في غازات الدفيئة والأهباء الجوية وسطح الأرض، من فائق المرجح أن تكون نشاطات الإنسان هي التي أدت إلى تأثير صافي الإحترار الفعلي على المناخ منذ العام ١٧٥٠. {٢,٩}

إن مساهمات الإشعاع الشمسي في المعدل العالمي للتأثير الإشعاعي أقل من مساهمة إرتفاع غازات الدفيئة خلال الفترة الصناعية. {٢,٧، ٢,٥}

يتعدى التركيز الحالي لثاني أكسيد الكربون والميثان في الغلاف الجوي وما يرفقهما من تأثير إشعاعي إيجابي التركيز الذي حُدد تبعاً لمقاييس القلنسوات الجليدية الموجودة في الـ ٦٥٠٠٠٠ سنة الماضية. {٦,٤}

شكل استخدام الوقود الأحفوري والزراعة واستخدام الأراضي الأسباب الأساسية وراء إرتفاع نسبة غازات الدفيئة في الـ ٢٥٠ سنة الماضية. {٧,٤، ٧,٣، ٢,٣}

إزادات إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون السنوية نتيجة إحتراق الوقود الأحفوري وإنتاج الأسمنت وإشتعال الغازات، لتنتقل من معدل $\pm ٦,٤$ جيجا طن من الكربون سنوياً في التسعينيات إلى $٧,٢ \pm ٠,٣$ جيجا طن من الكربون سنوياً للفترة الممتدة ما بين العامين ٢٠٠٠ و ٢٠٠٥. {٧,٣}

إن النسبة المستدامة لإزدياد التأثير الإشعاعي من ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز في الأربعين سنة الماضية تتعدى كافة النسب الممكنة، أو على الأقل تلك التي كانت سائدة في الألفيتين الاخيرتين. {٦,٤}

شكوك أساسية:

أسباب التغييرات الحديثة التي طرأت على نسبة نمو الميثان في الغلاف الجوي غير مفهومة بما فيه الكفاية. {٧,٤}

أدوار العوامل المختلفة التي تساهم في زيادة تركيز الأوزون في التروبوسفير منذ فترة ما قبل التصنيع غير مفصلة كما يجب. {٢,٣}

السلسلة الكاملة من العمليات التي تؤدي إلى تعديل الأهباء الجوية لخصائص السحب، ليست مفهومة جيداً، بالإضافة إلى أن أحجام الآثار الإشعاعية غير المباشرة ذات الصلة ليست محددة كما ينبغي. {٢,٤}

{٧,٥}

خصائص سطح الأرض والتفاعلات بين الأرض والمحيط الجوي التي تؤدي إلى التأثير الإشعاعي غير معدودة كما يجب. {٢,٥}

وأسباب التأثير الإشعاعي الناتج عن تغييرات بخار الماء في الستراتوسفير ليست معددة كما يجب. {٢,٣}

معرفة مساهمة التغييرات الشمسية الماضية في التأثير الإشعاعي على مر العصور لا تستند إلى مقاييس مباشرة وترتبط ارتباطاً وثيقاً بالتفهم الفيزيائي. {٢,٧}

والتوزيع الجغرافي والتطور الزمني للتأثير الإشعاعي الناتج عن تغيير الأهباء الجوية خلال القرن العشرين ليسا محددين بما فيه الكفاية. {٢,٤}

الملخص الفني ٦,٢: مراقبة التغيرات المناخية

الملخص الفني ٦,٢,١: الغلاف الجوي والسطح

الإكتشافات الكبرى:

والمنطقة المتدنية من التروبوسفير. أما درجات الحرارة في المنطقة السفلى من التروبوسفير فقد عرفت إحتراراً بسيطاً يفوق الإحترار الحاصل على مستوى السطح بين العامين ١٩٥٨ - ٢٠٠٥. {٣,٤}

لوحظت ميول طويلة الأمد بين العامين ١٩٠٠ و ٢٠٠٥، في ما يتعلق بكمية الأمطار في عددٍ من المناطق الواسعة. {٣,٣}

عرف عدد من ظواهر الأمطار الغزيرة تزايداً. {٣,٨}

بات الجفاف أكثر إنتشاراً منذ السبعينيات وخاصةً في المناطق الإستوائية وشبه الإستوائية. {٣,٣}

إرتفع البخار المائي التروبوسفيري، على الأقل منذ الثمانينيات. {٣,٤}

لا تزال درجات الحرارة السطحية النسبية في العالم ترتفع. وخلال الـ ١٢ سنة الماضية، مرت ١١ سنة تحتل ١١ مرتبة من بين أكثر السنوات إحتراراً منذ العام ١٨٥٠. {٣,٢}

ارتفعت نسبة الإحترار السطحي في منتصف السبعينيات، كما وصلت نسبة إحترار سطح الأرض في العالم إلى حوالي ضعفي نسبة إحترار سطح المحيط منذ ذلك الحين. {٣,٢}

يتماشى تغير درجات الحرارة السطحية في المواسم المتطرفة مع إحترار المناخ. {٣,٨}

تحسنت التقديرات الخاصة بميول درجات الحرارة في المنطقة المتوسطة

الشكوك الأساسية:

تبقى الصعوبات التي تعيق قياس الأمطار مصدر قلق يمنع تحديد نسبة الأمطار العالمية والإقليمية. {٣,٣}

غالباً ما تكون السجلات حول رطوبة التربة وتدفق الأنهار محدودة للغاية، وليست متوفرة سوى عن بعض المناطق فقط، ما يعيق تحاليل شاملة حول تغير الجفاف. {٣,٣}

تحدّ وفرة البيانات الناتجة عن الملاحظات من أنواع الظواهر المتطرفة التي يمكن تحليلها. وكلما ندرت الظاهرة، كلما صعب تحديد التغيرات الطويلة الأمد بسبب ندرة الحالات المعنية. {٣,٨}

تعود المعلومات حول وتيرة الأعاصير المصحوبة بالأمطار وقوتها إلى ما قبل عهد القمر الصناعي. وهناك أسئلة حول تفسير سجل الأقمار الصناعية. {٣,٨}

لا تكفي الدلائل لتحديد إذا ما كانت ميول الترناد / الإعصار القمعي والبرد والبرق وأعاصير الغبار، موجودة على نطاقات مساحية صغيرة. {٣,٨}

سجلات المسبار اللاسلكي ليست كاملة من الناحية المكانية، بقدر سجلات المساحة. وتشير الوقائع إلى أن عدداً من سجلات المسبار اللاسلكي ليس موضع ثقة، لاسيما في المناطق الإستوائية. ويبدو أن كافة سجلات ميول درجات الحرارة في التروبوسفير لا تزال تحتوي على أخطاء قديمة. {٣,٤}

وفي حين تبدو التغيرات الخاصة بالدوران الجوي الواسع النطاق واضحة، لم تتحسن جودة التحاليل قبل العام ١٩٧٩، ما يصعب تحليل مفهومي التغير والتقلبية، ويجعل التمييز بينهما مهمة بعيدة كل البعد عن السهولة. {٣,٥، ٣,٦}

تختلف المراقبة (السطحية وعبر الأقمار الصناعية) لتغير السحب الكلي والمتوسط المستوى فوق المحيط. {٣,٤}

التغيرات المتعددة العقود لجهة معدل درجات الحرارة اليومي غير واضحة لأسباب عدة، منها محدودية الملاحظات حول التغير المرتبط بالتغيم والأهباء الجوية. {٣,٢}

المُلخَص الفني ٦,٢,٢: الثلوج والجليد والتربة الصقيعية الإكتشافات الكبرى:

عرفت شبه جزيرة أنتاركتيكا وأمندسين ذوباناً لرفوفهما الجليدية بدأً في التسعينيات. وقد ساهمت الأنهر جليدية الموجودة هناك في تسريع عملية انفصال الرف الجليدي «لارسن ب» وإكمالها في العام ٢٠٠٢. {٤,٦}

إزدادت درجة الحرارة في الطبقة العليا من التربة الصقيعية في المنطقة القطبية الشمالية بثلاث درجات، منذ الثمانينيات، وتراجع الحد الأقصى من الصقيع الموسمي على الأرض بحوالي ٧٪ في القطب الشمالي منذ العام ١٩٠٠. كما إنخفض الحد الأقصى من عمقه بحوالي ٣,٠ متراً في أوراسيا منذ منتصف القرن العشرين. {٤,٧}

إن كمية الثلوج الموجودة على اليابسة تنخفض بشكل متواصل. فبدءاً من نهاية القرن التاسع عشر، شهدت الأرض إرتداداً واسعاً للأنهر الجليدية الموجودة في الجبال. كما تزداد نسبة خسارة الأنهر الجليدية من حجمها. {٤,٥ - ٤,٦}

إنخفض إمتداد الغطاء الجليدي الموجود في القطب الشمالي. وتراجع عمر الأنهار والبحيرات الجليدية الموسمي خلال الـ ١٥٠ سنة الماضية. {٤,٢ - ٤,٣}

منذ العام ١٩٧٨، تراجع إمتداد الجليد البحري النسبي السنوي في المحيط المتجمد الشمالي وتقلص الحد الأدنى من إمتداد الجليد الصيفي في المحيط المتجمد الشمالي. {٤,٤}

الشكوك الأساسية:

تحدّ معايرة التغيّرات والتحقق منها عبر قياس الإرتفاع والجاذبية بالسواتل من تقديرات التوازن الكتلي لجهة الرفوف والصفائح الجليدية، خاصةً في أنتاركتيكا. {٤,٦}

تؤدي معرفة العمليات الأساسية ودينامية الرفوف الجليدية المحدودة إلى شكوك كبيرة في فهم عمليات الدفق الجليدي وإستقرار الغلاف الجليدي. {٤,٦}

ما من بيانات تمّ جمعها من موقع الثلوج قبل العام ١٩٦٠، ولا بيانات موثوقة حول المياه الثلجية، متوفرة في عهد الأقمار الصناعية. {٤,٢}

لا تكفي البيانات المتوفرة للخروج بأية إستنتاجات حول الميول في سماكة الجليد البحري في أنتاركتيكا. {٤,٤}

يأتي عدم اليقين في التقديرات المتعلقة بإزدياد خسارة الأنهر جليدية لحجمها، من بيانات عالمية ومحدودة للجرد، وروابط غير مكتملة بين المنطقة والحجم، بالإضافة إلى عدم توازن في التغطية الجغرافية. {٤,٥}

الملخص الفني ٣، ٢، ٦: المحيطات ومستوى سطح البحر

الإكتشافات الكبرى:

| | |
|---|--|
| العامين ١٩٦١ و ٢٠٠٣. {٥،٥} | إرتفعت درجة حرارة المحيطات (أو حرارة العمق) في العالم منذ العام ١٩٥٥. {٥،٢} |
| ساهم إمتداد المحيط الحراري وخسارة الكتل والأغطية الجليدية جزءاً من حجمها بفاعلية في إرتفاع مستوى سطح البحر الملحوظ. {٥،٥} | لوحظت ميول إقليمية متناسقة واسعة النطاق لجهة الملوحة، في العقود الأخيرة، مع تحول المياه إلى عذبة في المناطق شبه القطبية، بالإضافة إلى إرتفاع نسبة الملوحة في أعماق المناطق الإستوائية وشبه الإستوائية. وتترافق هذه الميول مع تغيّرات لجهة الأمطار وإمكانية إنتقال كميات كبيرة في الماء في الغلاف الجوي من خطوط العرض المتدنية إلى خطوط العرض العليا، ومن المحيط الأطلسي إلى المحيط الهادئ. {٥،٢} |
| لم تكن نسبة تغيّر مستوى سطح البحر في العقود الأخيرة موحدة من الناحية الجغرافية. {٥،٥} | شهد القرن العشرين إرتفاعاً عاماً في معدّل سطح البحر. وهناك شبه تأكيد أن نسبة إرتفاع مستوى سطح البحر تزايدت بين منتصف القرن التاسع عشر ومنتصف القرن العشرين. وخلال العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣، كان إرتفاع مستوى سطح البحر أسرع مما كان عليه خلال |
| منذ العام ١٧٥٠، ونتيجة إمتصاص ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ، إزدادت ملوحة سطح المحيط. {٧،٣، ٥،٤} | |

الشكوك الأساسية:

| | |
|---|---|
| يبدو أن المعدّل العالمي لإرتفاع مستوى سطح البحر في الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٦١ و ٢٠٠٣، يُعزى لأسباب مختلفة منها الإرتداد الحراري وذوبان الجليد القاري. {٥،٥} | إن الحد في التغير المحيطي يفترض أن التقلبية العقدية في التغيّرات التي طرأت على المحتوى الحراري والملوحة ومستوى سطح البحر ليست موثقة كما يجب. {٥،٢، ٥،٥} |
|---|---|

إن مراقبة الميول في الدوران التقلبي الجنوبي لا توحى كثيراً بالثقة. {الإطار ٥،١}

الملخص الفني ٤, ٢, ٦: مناخ عصر ما قبل التاريخ

الإكتشافات الكبرى:

عزز التأثير التفاعلي الكيميائي الأرضية الأحيائية والفيزيائية الأرضية الأحيائية التغيرات المناخية في الماضي. {٦,٤}

في النصف الثاني من القرن العشرين، كان من المرجح جداً أن تتعدى المعدلات الحرارية في القطب الشمالي المعدلات التي كانت سائدة على مدى خمسة عقود متتالية من القرون الخمسة الماضية، وحتى في فترة الـ ١٣٠٠ سنة السابقة. {٦,٦}

تؤكد سجلات مناخ عصر ما قبل التاريخ أن فترات الجفاف التي تمتد على عقود أو أكثر من الزمن كانت تشكل نمطاً متكرراً من أنماط التاريخ في عدة مناطق، خلال الألفيتين الماضيتين. {٦,٦}

خلال الفترة الجليدية البينية الأخيرة، أي منذ حوالي ١٢٥٠٠٠ سنة، من المرجح أن مستوى سطح الجليد كان أعلى بـ ٣ إلى ٦ أمتار ممّا هو عليه اليوم، والسبب الأول هو إرتداد القطب الجليدي. {٦,٤}

من المرجح جداً أن عدداً من التغيرات المناخية السريعة الماضية يتصل بتغيرات دوران المحيط الأطلسي ويتأثر بالمناخ العام في القطب الشمالي. {٦,٤}

من المستبعد جداً أن تدخل الأرض في فترة جليدية جديدة تمتد على ٣٠٠٠٠ سنة على الأقل. {٦,٤}

الشكوك الأساسية:

إن التمييز بين الأحجام والتقلبية المحوطة لجهة إعادة تنظيم درجات الحرارة في القطب الجنوبي، كما علاقة تلك الاختلافات بخيار البيانات غير المباشرة وطرق المعايرة الإحصائية، لا يزال يحتاج إلى مزيد من الحل. {٦,٦}

يحد النقص الذي تعاني منه الشبكات الشاملة للبيانات غير المباشرة المرتبطة بمعدلات درجات الحرارة في العقدين الماضيين، من تفهم مدى إستجابة تلك البيانات للإحترار العالمي السريع وغيرها من التغيرات البيئية. {٦,٦}

لا تزال الآليات المرتبطة ببدايات تغيرات مناخ عصر ما قبل التاريخ السريعة وتطورها، بالإضافة إلى العتبات المناخية، غير مفهومة كما يجب. الأمر الذي يحد من الثقة في قدرة النماذج المناخية على محاكاة التغير الواقعي السريع. {٦,٤}

إن درجة إرتداد الغطاء الجليدي في الماضي ونسب ذلك التغير والعمليات المعنية به هي أمور لا تزال غير واضحة. {٦,٤}

يحد النقص على مستوى السجلات الخاصة بمناخ عصر ما قبل التاريخ معرفة تقلبية المناخ على مدى أكثر من السنوات المئة الأخيرة في القطب الجنوبي والمناطق الإستوائية. {٦,٤}

يعيد نقص السجلات الخاصة بمناخ عصر ما قبل التاريخ معرفة تقلبية المناخ في القطب الجنوبي والمناطق الإستوائية لفترة تتعدى المئة سنة. {٦,٦}

المُلخَص الفني ٦,٣: فهم تغيّر المناخ وعزوه

الإكتشافات الكبرى:

من المرجح أن يكون التأثير البشري المنشأ قد ساهم في الإحترار العام الملحوظ في مئات الأمتار العليا من المحيط، خلال النصف الثاني من القرن العشرين. ومن المرجح جداً أن يكون التأثير البشري المنشأ، الذي يؤدي إلى الإمتداد الحراري الناتج عن إحترار المحيط وخسارة الأنهر جليدية من حجمها، قد ساهم في إرتفاع مستوى سطح البحر خلال النصف الثاني من القرن العشرين. {٩,٥}

ومن المرجح جداً أن يُعزى الجزء الأكبر من التقلبية العقدية البيئية لدرجات الحرارة التي أُعيد توليدها في القطب الجنوبي، وذلك خلال العقود السبعة الماضية، إلى التأثير الخارجي الطبيعي (الثوران البركاني والتقلبية الشمسية). {٩,٣}

من المرجح جداً أن يكون تأثير غاز الدفيئة قد ساهم بشكل كبير في الإحترار العالمي الملحوظ خلال السنوات الخمسين الماضية. ويُقال أن تأثيره وحده كان ليزيد من الإحترار الراهن، في حال غياب أثر التبريد المقابل الصادر عن الأهباء الجوية والتأثيرات الأخرى. {٩,٤}

من فائق الإستبعاد (دون ٥٪) أن يُفسّر النمط العالمي للإحترار خلال النصف الثاني من القرن الماضي، من دون ذكر التأثيرات الخارجية. ومن المستبعد جداً أن يُعزى السبب في هذه الحالة إلى أسباب طبيعية خارجية فقط. فالإحترار حصل على مستوى المحيط والغلاف الجوي معاً، عندما كان يمكن لعوامل التأثير الطبيعية الخارجية أن تحدث بعض التبريد. {٩,٤، ٩,٧}

الشكوك الأساسية:

لا يزال عدم إكمال البيانات العالمية الخاصة بتحليل الظواهر المتطرفة وعدم اليقين بالنماذج، يعيق المناطق وبعض دراسات الكشف عن الظواهر المتطرفة التي يمكن تطويرها. {٩,٤، ٩,٥}

على الرغم من تحسّن مستوى الفهم، تحد حالات عدم اليقين لجهة تقلبية المناخ الداخلية الخاضعة لمحاكاة النماذج، بعض النواحي من دراسات العزو. مثلاً، هناك تناقضات واضحة بين التقديرات الخاصة بتقلبية المحتوى الحراري للمحيطات بين النماذج والملاحظات. {٩,٥، ٥,٢}

على صعيد الميزانية للفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٦١ و٢٠٠٣، تشكّل ندرة الدراسات الهادفة إلى إحتساب مساهمات التأثير البشري المنشأ على إرتفاع المحتوى الحراري للمحيطات، أو ذوبان الأنهر جليدية في الجزء المكتشف من مستوى سطح البحر، أحد نقاط عدم اليقين في تحديد المساهمات البشرية المنشأ في إرتفاع مستوى سطح البحر. {٩,٥}

في الوقت الراهن، تعيق بعض الشكوك حول التأثير الإشعاعي، وحول التأثير التفاعلي والملاحظات، الثقة بعزو بعض ظواهر تغيّر المناخ للتأثيرات البشرية المنشأ. {٩,٤، ٩,٥}

العزو على نطاقات أصغر من القارات ونطاقات زمنية لا تتعدى الخمسين سنة تحدّه تقلبية مناخية أشمل على نطاقات أضيق، وشكوك حول التفاصيل الصغيرة النطاق المتعلقة بالتأثير الخارجي والإستجابة التي خضعت لمحاكاة النماذج، بالإضافة إلى شكوك حول محاكاة التقلبية الداخلية على نطاقات صغرى، حتى في ما يتعلق بأنماط التقلبية. {٩,٤}

من غير المؤكد أن تُفهم التغيّرات الناتجة عن إستعجال التغيّرات المناخية على مستوى الأمطار والضغط السطحي، بقدر ما هي مفهومة على مستوى درجات الحرارة. {٩,٥}

يحد غياب دراسات العزو والكشف الرسمية حول ظواهر معيّنة (مثلاً: بعض أنواع الظواهر المتطرفة)، أو ندرتها، إمكانات الإعلان عن العزو. {٩,٥}

الملخص الفني ٦,٤: التنبؤات الخاصة بالتغيرات المستقبلية في المناخ

الملخص الفني ٦,٤,١: تقييم النموذج

الإكتشافات الكبرى:

- تستند نماذج المناخ إلى مبادئ فيزيائية متينة وأظهرت قدرتها على إعادة توليد الأنماط الملحوظة للتغيرات المناخية الحديثة والقديمة. تقدم نماذج الدوران العام للغلاف الجوي – المحيطات تقديرات كمية موثوقة حول تغيير المناخ في المستقبل، خاصةً على النطاق القاري وما فوق. وتعطي هذه التقديرات معلومات أصدق لجهة بعض المتغيرات المناخية (مثل درجات الحرارة)، ومعلومات أقل صدقاً لجهة متغيرات أخرى (مثل الأمطار). {الأسئلة ٨,١}
- تستند نماذج المناخ إلى مبادئ فيزيائية متينة وأظهرت قدرتها على إعادة توليد الأنماط الملحوظة للتغيرات المناخية الحديثة والقديمة. تقدم نماذج الدوران العام للغلاف الجوي – المحيطات تقديرات كمية موثوقة حول تغيير المناخ في المستقبل، خاصةً على النطاق القاري وما فوق. وتعطي هذه التقديرات معلومات أصدق لجهة بعض المتغيرات المناخية (مثل درجات الحرارة)، ومعلومات أقل صدقاً لجهة متغيرات أخرى (مثل الأمطار). {الأسئلة ٨,١}
- إزدادت هذه النماذج مصداقيةً لأسباب عدة، هي:
 - تحسين محاكاة نواحي عديدة من المناخ الحالي، بما في ذلك أساليب هامة من تقلبية المناخ وفترات البرد والحر المتطرفة.
 - تحسين حلول النموذج وأساليب الإحتساب، بالإضافة إلى إدراج عمليات إضافية.
 - إختبارات تشخيصية أكثر شمولية، بما في ذلك إختبارات لقدرة النموذج على التنبؤ بحسب جداول زمنية تُعد بالأيام كما بالسنين عندما توضع بحسب شروطٍ مدروسة.
 - تعزيز تدقيق النماذج وتحاليل تشخيصية موسعة لسلوك النموذج، بتسهيل من الجهود المنسقة دولياً بهدف جمع نتائج تجارب النماذج المتطورة ونشرها بموجب شروطٍ مشتركة. {٨,٤}

الشكوك الأساسية:

- لا تتمتع مجموعة من نماذج القياس التي تقارن بين المحاكاة والمراقبة، والتي قد تُستعمل لتضييق نطاق الإسقاطات المناخية الممكنة، بالقدر اللازم من التطور. {٨,٢}
- لا تزال معظم النماذج تواجه صعوبات في السيطرة على إنحراف المناخ، وخاصةً في عمق المحيط. وقد يكون هذا الإنحراف مفيداً عند تقييم العديد من المتغيرات المحيطية. {٨,٢}
- تتكرر الإنحرافات بانتظام في معظم نماذج محاكاة المحيط الجنوبي، التي ترتبط بعدم اليقين لجهة إستجابة المناخ العابرة. {٨,٣}
- تبقى النماذج المناخية محدودة بسبب الاستبانة المكانية الذي يمكن تحقيقه بمساعدة الموارد الحاسوبية الحالية، وبسبب الحاجة إلى مزيدٍ من المجموعات الشاملة وبحسب الحاجة إلى إعتناء بعض العمليات الإضافية. {٨,١ – ٨,٥}

الملخص الفني ٢، ٤، ٦: حساسية المناخ المتوازنة وحساسية المناخ المؤقتة

الإكتشافات الكبرى:

من المرجح أن حساسية المناخ المتوازنة تتراوح بين درجتَي ٤ و ٥ مئوية، وغالباً ما تساوي ٣ درجات مئوية، بحسب قيود تتعلق بالمراقبة والنمذجة. ومن المرجح جداً أن تكون هذه الحساسية أدنى من ١,٥ درجة مئوية. {٨,٦، ٩,٦ – الإطار ١٠,٢}

إن تقيّد إستجابة المناخ المؤقتة أفضل من تقيّد حساسيته المتوازنة. فمن المرجح جداً أن تتعدى الدرجة الواحدة ومن المستبعد جداً أن تتعدى الثلاث درجات. {١٠,٥}

تدعم دلائل جديدة حول المراقبة والنمذجة التأثير التفاعلي لمعدل بخار الماء – التفاوت الحراري المشترك لجهة قوة شبيهة بتلك التي ترد في نماذج الدوران العام للغلاف الجوي – المحيطات. {٨,٦}

الشكوك الأساسية:

لا تزال كيفية إستجابة السحب للتغير المناخي العالمي موضع شك كبير. {٨,٦}

الإكتشافات الكبرى:

والعشرين تراجعاً للمد الجليدي في البحار على مستوى المنطقة القطبية الشمالية وأنتاركتيكا. ويساهم التأثير التفاعلي الإيجابية وازدياد ذوبان الثلج في الطبقة العميقة من التربة الجليدية في تسريع إنخفاض الغطاء الجليدي. {١٠،٣}

إستناداً إلى المحاكاة الحالية، من المحتمل جداً أن يتباطأ الدوران التقلبي الجنوبي في المحيط الأطلسي بحلول العام ٢١٠٠. لكن، من المستبعد جداً أن يمر الدوران التقلبي الجنوبي بانتقال واسع وسريع خلال القرن الحادي والعشرين. {١٠،٣}

مع إحترار المناخ في المستقبل، تتكرر موجات الحر وتمتد على فترات زمنية أكثر طولاً. ومن المتوقع أن ينخفض عدد أيام درجة التبريد في معظم أنحاء القطب الشمالي ومناطق خطوط العرض الوسطى، مع تزايد إطالة المواسم. وتميل فترات الصيف إلى المرور بفترات جفاف في المناطق شبه القارية، ما يبنى بتزايد خطر حصول الجفاف في هذه المناطق. {١٠،٣} - الأسئلة ١، ١٠

وقديميل الإحترار المستقبلي إلى تقليص قدرة المنظومة الأرض (الأرضية والبحرية) على إستيعاب ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ. وبنتيجة ذلك، ستبقى حصة كبيرة ومتزايدة من ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ في الغلاف الجوي، ضمن مناخ متزايد الإحترار. ويتطلب التأثير التفاعلي إخفاض الإنبعاثات المتراكمة، ما يتناسب مع تثبيت ثاني أكسيد الكربون في مستوى معين من الغلاف الجوي، مقارنةً مع فرضية عدم وجود مثل هذا التأثير التفاعلي. وكلما ارتفع سيناريو التثبيت، يرتفع التغير المناخي والتقلصات الضرورية. {١٠،٤، ٧، ٣}

في حال ثبت تركيز عوامل التأثير الإشعاعي، يبقى إحتمال حصول إحترار ملتزم وتغيرات مناخية مرتبطة واردة، وذلك بسبب عامل الوقت وما يليه من عمليات في المحيط. {١٠،٧}

تتأثر الإسقاطات القريبة المدى حول الإحترار ولو قليلاً بسيناريو الإفتراضات المختلفة أو بنماذج الحساسيات المختلفة، وتلتقي مع الظواهر الملحوظة خلال العقود الماضية. ويتراوح الإحترار النسبي المتعدد النماذج بين ٠,٦٤ و ٠,٦٩ درجة مئوية بالنسبة إلى ثلاثة من سيناريوهات الإنبعاثات التي ترد في التقرير الخاص بسيناريوهات الإنبعاثات وهي: ب ١ وأ ١ ب وأ ٢. وتجدر الإشارة إلى أن الإحترار النسبي المتعدد النماذج الذي احتسب للفترة الممتدة ما بين العامين ٢٠١١ - ٢٠٣٠، يتناسب مع الفترة الممتدة ما بين العامين ١٩٨٠ و ١٩٩٩ بالنسبة إلى كافة نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات. تشير الأنماط الجغرافية للإحترار المتوقع إلى الإرتفاع الكبير في درجات الحرارة على خطوط العرض القطبية وفوق الأرض، مع إحترار أقل فوق المحيطات الجنوبية وشمال الأطلسي. {١٠،٣}

تشير التغيرات في الأمطار إلى أنماط كبرى واسعة النطاق: غالباً ما تزداد الأمطار في مناطق الإستوائية التي يصل فيها تساقط المطار إلى أقصى درجاته، فيما تنخفض نسبة الأمطار في المنطقة شبه الإستوائية وتزداد في المناطق القطبية نتيجة تعزيز الدورة الهيدرولوجية العالمية. {١٠،٣}

وبينما يزداد المناخ إحتراراً، ينخفض الغطاء الثلجي والمد الجليدي في البحار. كما تخسر الأنهر جليدية والقلنسوات الجليدية من حجمها مساهمةً بالتالي في إرتفاع مستوى سطح البحر. ويشهد القرن الحادي

الشكوك الأساسية:

إن حجم التأثير التفاعلي لدورة الكربون المستقبلية لا تزال مقرونة بتغيرات في التمثيل المكاني والزمني للظروف الحالية. {١٠,٣}

إن متانة إستجابة الأعاصير الإستوائية المذكورة في النماذج لتغير المناخ لا يزال محدوداً بحل نماذج المناخ. {١٠,٣}

مازال تحديد حجم التغذية المستقبلية المرتدة لدورة الكربون محدوداً. {١٠,٤,٧,٣}

لا توجد معلومات كثيرة حول التغيرات على مستوى العمليات الأساسية التي تدير بعض التغيرات المناخية الإقليمية والعالمية (مثل النينيو والتذبذب الشمال أطلسي والحجب والتأثير التفاعلي من سطح الأرض وتوزيع الإعصار الإستوائي). {١١,٢ - ١١,٩}

لا يمكن تقييم ترجيح حصول تغير سريع وواسع في الدوران التقلبي العام بعد إنتهاء القرن الحادي والعشرين. وبالنسبة إلى سيناريوهات الإنبعاثات المتوسطة والمنخفضة المترافقة مع تثبيت غازات الدفيئة في الغلاف الجوي بعد العام ٢١٠٠، يستعيد الدوران التقلبي الجنوبي نشاطه بعد فترة من التراجع، خلال قرن واحد أو أكثر. ولا يمكن استبعاد حصول إنخفاض دائم لجهة الدوران التقلبي العام، إذا كان التأثير قوياً وطويلاً بما يكفي. {١٠,٧}

في ما يتعلق بظواهر الأمطار المتطرفة، تظهر تنبؤات النماذج نطاقات أوسع لجهة حجم الأمطار وأماكن تساقطها، على عكس التنبؤات الخاصة بدرجات الحرارة. {١١,١,١٠,٣}

الملخص الفني ٤, ٤, ٦: مستوى سطح البحر

الإكتشافات الكبرى:

سيستمر مستوى سطح البحر بالإرتفاع نتيجة خسارة الصفائح الجليدية من حجمها، وذلك على مدى مئات بل آلاف السنين، حتى إذا ثبت التأثير الإشعاعي. {١٠,٧}

سيستمر مستوى سطح البحر بالإرتفاع خلال القرن الحادي والعشرين بسبب الإمتداد الحراري وخسارة الثلوج القارية من حجمها. لم يكن إرتفاع مستوى البحر موحداً من الناحية الجغرافية في الماضي ولن يكون كذلك في المستقبل. {١٠,٦}

سيستمر الإحترار الناتج عن إنبعاث غازات الدفيئة خلال القرن الحادي والعشرين بالمساهمة في إرتفاع مستوى سطح البحر على مدى قرون عديدة. {١٠,٧}

الشكوك الأساسية:

إن حساسية توازن حجم سطح الغلاف الجليدي (الذوبان والأمطار) للتغير المناخي العالمي ليست مقيّدة بالملاحظات، وتعرف إنتشاراً واسعاً بين النماذج. وبالتالي، هناك حالة كبيرة من عدم اليقين حول حجم الإحترار العالمي، ما قد يؤدي إلى زوال الغلاف الجليدي في غرينلاند إذا بقي على حاله. {١٠,٧}

حتى الآن، ما من نماذج تطرح العمليات الأساسية التي يمكن أن تساهم في التغيرات الدينامية السريعة والواسعة النطاق في أنتاركتيكا والأغطية الجليدية في غرينلاند، ما قد يزيد من تصريف الجليد داخل المحيط. {١٠,٦}

الملخص الفني ٥، ٤، ٦: الإسقاطات الإقليمية

الإكتشافات الكبرى:

من المرجح جداً أن تنخفض الأمطار في عددٍ من المناطق شبه الإستوائية، خاصةً في الحدود القطبية منها. ويُعتبر هذا التراجع متيناً للغاية، ومن المرجح جداً أن يتحول إلى واقعٍ، لجهة الأمطار السنوية التي ستقل في المناطق الأوروبية والأفريقية التي تقع على المتوسط، ولجهة تساقط المطر في فصل الشتاء التي ستقل في جنوبي غرب أستراليا. {١١،٢ - ١١،٩}

من المرجح أن تزداد الأمطار اليومية المتطرفة في مناطق عدة. ومن المرجح جداً أن يعرف شمال أوروبا وجنوب آسيا وشرق آسيا وأستراليا ونيوزيلندا هذا الإزدياد. يُذكر أن هذه اللائحة تعكس التغطية الجغرافية المتفاوتة والمتوفرة في البحث. {١١،٢ - ١١،٩}

من المرجح جداً أن ترتفع معدلات درجات الحرارة في جميع القارات القابلة للسكن والمناطق الأرضية شبه القارية، وأن تتعدى المعدل العالمي في الخمسين سنة الآتية، وذلك بنسبةٍ تتعدى التقلبية الطبيعية. {١٠،٣ - ١١،٢}

من المرجح أن تزداد الأمطار في معظم المناطق القطبية وشبه القطبية. ويُعتبر هذا الإزدياد قوياً للغاية. وبالنسبة إلى الأمطار السنوية، من المرجح جداً أن يحصل الإزدياد في معظم أرجاء شمالي أوروبا وكندا وشمال شرق الولايات المتحدة والمحيط المتجمد الشمالي. أما بالنسبة إلى أمطار الشتاء فمن المرجح أن يحصل الإزدياد في شمال آسيا وهضبة التبت. {١١،٢ - ١١،٩}

الشكوك الأساسية:

في مناطق عدة حيث تؤدي الطبوغرافية إلى تحديد نطاقات مكانية في المناخ، هناك معلومات غير كافية عن إنعكاس تغير المناخ على هذه النطاقات. {١١،٢ - ١١،٩}

حظيت بعض المناطق بدراسة محدودة للغاية حول النواحي الأساسية من تغير المناخ الإقليمي، ولا سيما نظراً إلى الظواهر المتطرفة. {١١،٢ - ١١،٩}

لا تظهر نماذج الدوران العام للغلاف الجوي - المحيطات أي متانة في تغير درجات الحرارة الإقليمي الذي خضع للمحاكاة داخل بعض المناطق الأساسية (مثل شمالي جنوب أميركا وشمال أستراليا ومنطقة الساحل). {١٠،٣ - ١١،٢ - ١١،٩}

مأخوذ من التقرير الذي تمت الموافقة عليه من قبل الفريق العامل الأول
المنبثق عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ،
ولم يحصل على الموافقة النهائية بعد.

الأسئلة

ذكر الأسئلة

تم اختيار هذه الأسئلة من أقسام التقرير المختلفة وتم جمعها على هذا النحو. عند الإشارة إلى أسئلة محددة من التقرير، يُرجى ذكر القسم الذي أُخذ السؤال منه.

عند الإشارة إلى مجموعة الأسئلة، يُرجى ذكرها كما يلي:

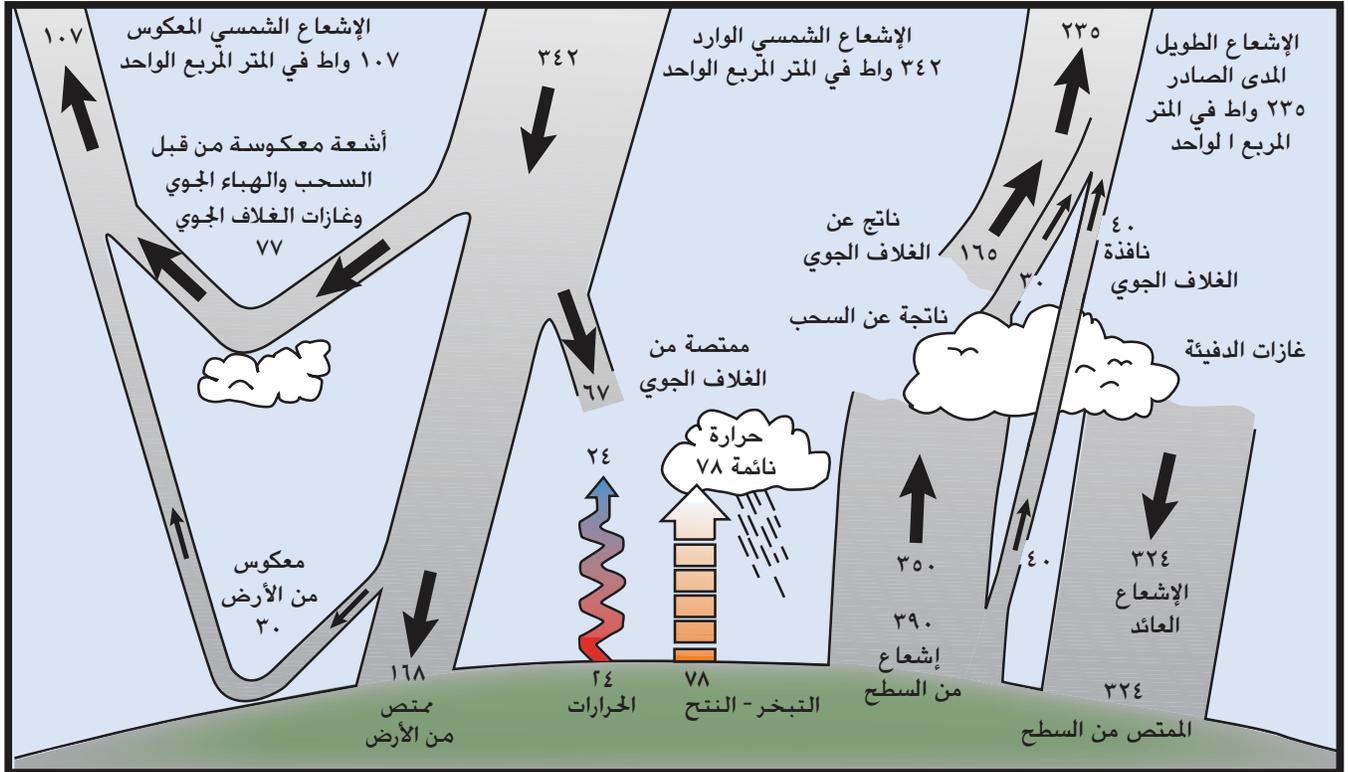
الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ٢٠٠٧: قاعدة العلوم الفيزيائية. مساهمة الفريق العامل الأول في التقرير التجميعي الرابع الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ [سولومون س.، د. كين، م. مانين، ز. شين، م. ماركيس، ك. أفيريت، م. تيغور، ه. ل. ميلير]. مطبعة جامعة كامبريدج، كامبريدج، المملكة المتحدة ونيويورك، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية.

السؤال ١-١ ما هي العوامل التي تُحدّد مناخ الأرض؟

على سبيل المثال، التغيّرات في غطاء السحب وفي جزئيات الغلاف الجوي أو النباتات)، وثالثاً، عبر تعديل إشعاع الموجات الطويلة من الأرض في اتجاه الفضاء (أي، من خلال تعديل تركيزات غاز الدفيئة). وبدوره، يستجيب المناخ مع مثل هذه التغيّرات بطريقة مباشرة أو غير مباشرة من خلال عدة آليات إرتدادية.

يصل مجموع الطاقة الواردة إلى سطح الغلاف الجوي للأرض على مساحة متر مربع مقابل الشمس خلال النهار إلى ١,٣٧٠ واط في الثانية. أما مجموع الطاقة الواردة إلى المتر المربع الواحد في الثانية حول الكرة الأرضية فيبلغ ربع هذا الرقم (راجع الرسم ١). والجدير بالذكر أن ٣٠٪ من ضوء الشمس الوارد إلى الغلاف الجوي ينعكس مجدداً إلى الفضاء. ويعود مرد ثلثي هذا الانعكاس تقريباً إلى الغيوم وإلى الجزئيات في الغلاف الجوي التي تعرف بـ«الهباء الجوي». أما الثلث المتبقي فتعكسه بقع الأرض الفاتحة اللون، وهي الثلج والجليد والصحارى على وجه التحديد. وينتج التغيّر الأخطر في انعكاس الهباء (يتبع)

إن النظام المناخي نظام معقد ومتفاعل يتألف من الغلاف الجوي واليابسة والثلج والجليد والمحيطات وأجزاء أخرى من الماء، بالإضافة إلى كائنات حية مختلفة. وغالباً ما يميز الغلاف الجوي المناخ، ويعرف المناخ على أنه «معدل الطقس». ويتم وصف المناخ بالنظر إلى تقلبية الحرارة والتهطل والهواء، وإلى نسبتها خلال فترة زمنية محددة تمتد من أشهر إلى ملايين السنين (المدة الكلاسيكية هي ٣٠ عاماً). يتطور النظام المناخي مع الوقت تحت تأثير دينامياته الداخلية وبفعل التغيّرات في العوامل الخارجية التي يتأثر المناخ بها (تسمى التأثيرات). وتشمل التأثيرات الخارجية الظواهر الطبيعية كالثوران البركاني والتقلبات الشمسية إلى جانب التقلبات في الغلاف الجوي البشرية المنشأ. وفي الواقع، يقوي الإشعاع الشمسي النظام المناخي. ويمكن أن يتغيّر توازن الأرض الإشعاعي من خلال ثلاثة أساليب أساسية: أولاً، عبر تغيير ورود الإشعاع الشمسي (كالتغيّرات في حلقات الأرض أو في الشمس بحد ذاتها)، وثانياً، من خلال تغيير إنكسار الإشعاع الشمسي (المسمى البياض)، ونذكر،



السؤال ١-١ الرسم ١: تقدير لميزان طاقة الأرض النسبية العالمية السنوية. الأرض والغلاف الجوي يوازنان على مدار السنة كمية الإشعاعات الشمسية الواردة، ويمتصانها من خلال تصدير الكمية ذاتها من خلال إشعاع طويل الموج. تمتص الأرض حوالي نصف الإشعاع الشمسي الوارد. ويتم نقل هذه الطاقة إلى الغلاف الجوي عبر تسخين الهواء المتصل بالسطح ومن خلال التبخر - النتج ومن خلال الإشعاع الطويل الموج الذي تمتصه السحب وغازات الدفيئة. ويقوم الغلاف الجوي بإرسال طاقة الموج الطويل مجدداً إلى الأرض وإلى الفضاء. المصدر: كيهيل وترمبرت (١٩٩٧).

وبسبب شكل الأرض الدائري، تصل الطاقة الشمسية إلى الأماكن الواقعة على خطوط الاستواء أكثر مما تصل إلى الأماكن الواقعة على خطوط العرض حيث يضرب ضوء الشمس الغلاف الجوي في زاوية أكثر إنخفاضاً. وتنتقل الطاقة من الأماكن الإستوائية إلى الأماكن الواقعة على خطوط العرض من خلال دوران الغلاف الجوي والمحيطات بما فيها أنظمة الإعصار. والطاقة ضرورية لتبخير الماء من البحر ومن طبقة الأرض، وتنبعث هذه الطاقة المسماة الحرارة النائمة عندما يتركز بخار المياه في السحب (راجع الرسم ١). ينتج دوران الغلاف الجوي بشكل أساسي بسبب ابتعاث هذه الحرارة النائمة. وبدوره، يتسبب دوران الغلاف الجوي بدوران المحيط بسبب حركة السحب على سطح مياه المحيط وبسبب التغيير في حرارة سطح المحيط ونسبة ملوحته من جراء التهطال والتبخير.

إن أنماط دوران الغلاف الجوي شرقية غربية وليست شمالية جنوبية بسبب دوران الأرض. أما الرياح الغربية الواقعة في خط العرض الوسطي فتشكل أنظمة خاصة بالطقس تنقل الحرارة من وإلى القطبين. إن أنظمة الطقس هذه هي نفسها أنظمة الضغط العالي والمنخفض المألوفة المتنقلة، بالإضافة إلى خطوط التقائهما الدافئة والباردة. وبسبب التباينات في حرارة سطح الأرض والمحيط والعوائق كسلاسل الجبال والغلاف الجليدي، تتعلق أمواج الغلاف الجوي في نظام الدوران جغرافياً بالمحيطات والجبال، على الرغم من إمكانية تبدل سعتها مع الوقت. وبسبب أنماط الموج، يمكن أن يرتبط شتاء بارد في أميركا الشمالية بشتاء دافئ في مكان آخر في الجزء الثاني من الكرة الأرضية. وستتأثر أوجه دوران الغلاف الجوي والمحيطات بشكل بارز بالتغيرات الحاصلة في شتى مميزات النظام المناخي، مثل حجم الغطاء الجليدي ونوع النباتات وتوزعها أو حرارة المحيط والغلاف الجوي.

وهناك العديد من الآليات الإرتدادية في المناخ التي يمكن أن تعزز (التأثير التفاعلي الإيجابي) أو تقلص (التأثير التفاعلي السلبي) مفاعيل التغيير التآثير المناخي. وعلى سبيل المثال، إن إرتفاع تركيز غازات الدفيئة يؤدي إلى مناخ أرضي دافئ فيبدأ الثلج والجليد بالذوبان. ويظهر هذا الذوبان أراضٍ ومياه داكنة كانت تحت الجليد والثلج وكانت تمتص الكثير من حرارة الشمس، مسببةً بذلك المزيد من الإحترار، ما يؤدي إلى مزيد من الذوبان، وهكذا دوليك، وتبقى الأرض في دورة تعزز نفسها بنفسها. وتعزز هذه الحلقة الإرتدادية المعروفة بالتأثير التفاعلي لجليد البياض الإحترار الأولي المتأني من إرتفاع مستويات غازات الدفيئة. لقد كان رصد التأثير التفاعلي في المناخ وفهمه وتحليله موضوع بحث العلماء بغية حل تعقيدات مناخ الأرض.

الجوي من جراء المواد التي تقذفها البراكين عالياً جداً في الغلاف الجوي. وينظف المطر الهباء الجوي للغلاف الجوي خلال أسبوع أو أسبوعين، غير أن المواد المنبعثة من بركان قوي متخطية أعلى السحب، تؤثر بشكل كبير على المناخ زهاء سنة أو اثنتين قبل أن تسقط إلى الطبقة السفلى من الغطاء الجوي وتنتقل بعدها إلى الأرض مع التهطال. وبالتالي، يمكن أن تؤدي البراكين الكبيرة إلى نقص درجة الحرارة السطحية العالمية النسبية بنسبة نصف درجة مئوية، ومن الممكن أن يدوم هذا النقص عدة أشهر أو سنوات. أضف إلى ذلك أن بعض أنواع الهباء الجوي البشرية المنشأ تعكس الضوء الشمسي.

ويمتص الغلاف الجوي والأرض الطاقة التي لا تنعكس مجدداً إلى الفضاء. ويبلغ مجموع هذه الطاقة تقريباً ٢٤٠ واط للمتر المربع الواحد. وينبغي أن تعكس الأرض كمية الطاقة عينها التي تصلها إلى الفضاء بغية إقامة توازن مع الطاقة الواردة إليها. وتنفذ الأرض هذه العملية من خلال إرسال إشعاع طويل الموج، وفي الواقع، يبعث كل شيء على سطح الأرض إشعاعاً طويل الموج، وهذه هي الطاقة الحارة التي يشعر الفرد بانبعثاتها من حريق ما، وكلما إزدادت حرارة الشيء، إزدادت الطاقة الحارة المنبعثة. ويجب أن تبلغ حرارة الأرض ١٩ درجة مئوية كي تتمكن من إصدار ٢٤٠ واط للمتر المربع الواحد. وفي حقيقة الأمر، إن هذه الدرجة أبرد من الشروط المتوفرة على سطح الأرض (حيث تبلغ درجة الحرارة السطحية العالمية ١٤ درجة مئوية). غير أن الحرارة الضرورية التي تقل عن ١٩ درجة مئوية تتواجد على إرتفاع خمسة كيلومتر عن سطح البحر.

ويعود سبب هذا الإرتفاع في حرارة الأرض إلى الغازات الناتجة عن الدفيئة التي تعمل كغطاء جزئي يحجب الإشعاع الطويل الموج المنبعث من الأرض. ويعرف هذا الغطاء بإسم الآثار الطبيعية للدفيئة. وأهم غازات الدفيئة هو بخار الماء وثاني أكسيد الكربون. وفي الواقع، لا يملك النيتروجين والأكسجين، وهما المكونان الرئيسيان للغلاف الجوي، هذا المفعول. وفي المقابل، ينتج عن السحب مفعول يشبه مفعول الغازات المنبعثة من الدفيئة، غير أن إنعكاسهما يضع حداً لهذا المفعول إذ غالباً ما تبرد السحب المناخ (مع العلم أن وجودها يشعر المرء بالحرارة حيث تكون الليالي المليئة بالسحب أحر من الليالي الصافية لأن السحب تعكس الطاقة الطويلة الموج مجدداً إلى سطح الأرض). وتعزز النشاطات الإنسانية المفعول هذا الحاجب بسبب ابتعاث الغازات من الدفيئة. وقد إزداد حجم ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بنسبة ٣٥٪ في الحقبة الصناعية بسبب النشاطات البشرية، ومنها، على وجه التحديد، إحترق الوقود الأحفوري وإزالة الغابات. وبالتالي، تسبب الإنسان بتغيير التركيبة الكيميائية للغلاف الجوي العام وتأثير كبير على المناخ.

ويعاود عكسها. وبهذه الطريقة، ترتسم توقعات المناخ المستقبلي من خلال التغيرات الأساسية في الطاقة الحارة لنظام الأرض، وعلى وجه التحديد من خلال المفعول المتزايد لآثار الدفيئة التي تحجز الحرارة قرب سطح الأرض بسبب كمية ثاني أكسيد الكربون والغازات الأخرى المنبعثة منها في الغلاف الجوي. وتختلف عملية توقع التغيرات التي يمكن أن تطرأ على المناخ من جراء غازات الدفيئة في الخمسين سنة المقبلة عن عملية توقع أشكال الطقس لأسابيع مقبلة، كما أن الأولى هي مشكلة يمكن حلها بسهولة. وبكلام آخر، يسهل توقع التحولات البعيدة المدى الناتجة عن التغيرات في الغلاف الجوي أكثر من التنبؤ بأحداث مناخية مستقلة. فلا يمكن توقع نتيجة رمي قطعة نقدية أو حجر الزهر، لكن يمكن توقع السلوك الإحصائي لعدد كبير من المحاولات. لقد توصل العلماء إلى القول إن تصرفات الإنسان باتت عاملاً أساسياً ومسؤولاً عن الإحتباس الحراري الملحوظ في السنوات الخمسين الأخيرة، إلى جانب عدة عوامل أخرى ما زالت تؤثر بالمناخ. أما التغيرات المناخية الناتجة عن الإنسان فتتأتى من التغيرات الحاصلة في كميات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي ومن الجزئيات الصغيرة (الهباء الجوي) ومن التغير في إستعمال الأراضي مثلاً. ويتسبب تغير المناخ بتأثر التوقعات حول بعض أشكال الطقس. وعلى سبيل المثال، بسبب ارتفاع حرارة الأرض، أصبحت بعض ظواهر الطقس أكثر تواتراً وأكثر قوة (كالموج الحار والأمطار الغزيرة) على عكس ظواهر أخرى باتت أقل تواتراً وحدة (كالبرد الشديد).

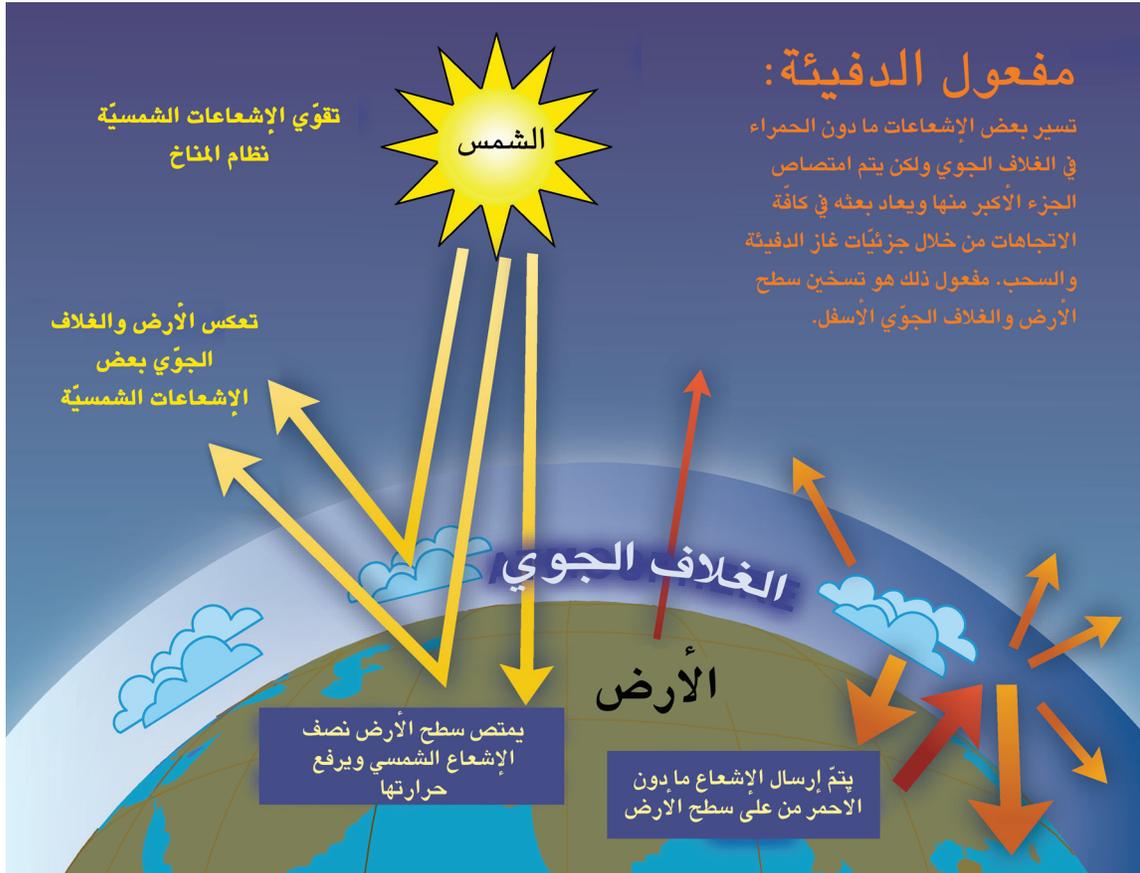
مختلفة جداً في مجال توقع حال الطقس. هذا ما يسمى بتأثير الفراشة: فمن حيث المبدأ، يمكن للفراشة التي ترفرف بجناحيها (أو تؤدي ظواهر صغيرة أخرى) في مكان محدد إن تبدل نمط الطقس المقبل في مكان قريب. وأهم ما في هذه النظرية هو أنها تبين قدرة التغيرات البسيطة، التي يملكها بعض المتحركات، على إحداث تقلبات عشوائية ظاهرة في الأنظمة المركبة. غير أن النظرية العشوائية الهيولوية هذه لا تؤدي إلى غياب النظام، وعلى سبيل المثال، قد يبدل تغيير بسيط في الشروط السابقة لتاريخ الإعصار اليوم الذي يضرب فيه الإعصار أو وجهة السير التي سيسلكها، غير أن معدل الحرارة والتهطل (المناخ) سيبقى على حاله. ومن المفيد أن تتم دراسة المناخ وكأنه تعاط مع شروط مسبقة للطقس لأن المشكلة الكبرى التي تقف عقبة أمام توقع الطقس هي معرفة كافة الشروط في مرحلة بداية التوقع. ولمزيد من التحديد، يمكن النظر إلى المناخ من خلال دراسة نظام الأرض بشكل عام، بما فيه الغلاف الجوي والأرض والمحيطات والجليد والكائنات الحية (راجع الرسم ١) التي تشكل الشروط العامة لتحديد أنماط الطقس. وعلى سبيل المثال، تتم الإشارة إلى تأثير النينيو على المناخ في سواحل البيرو. ويضع النينيو حدود التطور المحتمل لأنماط الطقس التي يمكن أن تتأتى عن التأثيرات العشوائية. أما النينا فيضع حدوداً أخرى. ويتبلور مثل آخر عند المقارنة العادية بين الصيف والشتاء. وينتج تبدل المواسم عن التغيرات في الأنماط الجغرافية للطاقة التي يمتصها نظام الأرض

السؤال ٣-١ ما هو مفعول الدفيئة؟

يقوم مفعول الدفيئة في الأرض بعمل مماثل، أي بتسخين طبقة الكرة الأرضية ولكن من خلال عملية فيزيائية مختلفة. ومع غياب مفعول الدفيئة في الطبيعة سينخفض معدل حرارة سطح الأرض إلى ما دون نقطة تجمد المياه. فيساهم مفعول الدفيئة الطبيعي في الأرض في جعل الحياة التي نعرفها ممكنة، غير أن النشاط الإنساني، وبالأخص حرق الوقود الأحفوري وإزالة الغابات، قد فاقم مفعول الدفيئة كثيراً وأدى إلى الإحترار العالمي.

ولا ينتج الغازان الأكثر تواجداً في الغلاف الجوي أي النيتروجين والأكسجين مفعول الدفيئة (ويشكل النيتروجين ٧٨٪ من الغلاف الجوي الجاف بينما يشكل الأكسجين ٢١٪ منه). وفي المقابل، يتأتى مفعول الدفيئة من الجزيئات الأكثر تعقيداً والأقل عمومية. ويشكل بخار الماء غاز الدفيئة الأهم، ويليه أهمية ثاني أكسيد الكربون. وتساهم بعض الغازات الأخرى الموجودة في الغلاف الجوي بكميات قليلة في إحداث مفعول الدفيئة وتشمل (يتبع)

تقوي الشمس مناخ الأرض من خلال إشعاع طاقة موجات طويلة صغيرة في المنطقة المرئية أو شبه المرئية (كالإشعاع ما فوق البنفسجي) من الطيف. يتم عكس ثلث الطاقة الشمسية التي تصل إلى سطح الغلاف الجوي للأرض تقريباً مباشرة إلى الفضاء، أما الثلثان المتبقيان فيمتصهما السطح أو الغلاف إلى حد أدنى. ومن أجل المحافظة على الطاقة الواردة التي تم إمتصاصها، ينبغي أن تعاد الأرض إشعاع الكمية عينها من الطاقة إلى الفضاء. وتقوم الأرض بإشعاع الطاقة على موجات طويلة وأكبر وبشكل أساسي في منطقة الأشعة تحت الحمراء من الطيف، لأن الأرض أكثر برودة من الشمس (راجع الرسم ١). معظم الإشعاعات الحرارية التي يتم إصدارها من الأرض ومن المحيط يمتصها الغلاف الجوي بالإضافة إلى السحب، ومن ثم يعاد إشعاعها إلى الأرض مجدداً، وهذا ما يطلق عليه اسم الدفيئة. وتقلص الجدران الزجاجية تدفق الهواء داخل الدفيئة وترفع حرارة الهواء في داخلها.



السؤال ٣-١، الرسم ١: رسم نموذجي حول مفعول الدفيئة الطبيعي. راجع النص لمزيد من المعلومات.

الإحترار بآليات التأثير التفاعلي. وعلى سبيل المثال، مثلما ينتج إرتفاع حرارة الغلاف الجوي عن إرتفاع مستويات غازات الدفيئة، يزيد تركّز تبخر الماء مفعول الدفيئة. ويؤدي هذا الأمر إلى مزيد من الإحترار، ما يتسبب بزيادة إضافية لتبخّر الماء ضمن حلقة تعيد تعزيز نفسها بنفسها. وبإستطاعة التأثير التفاعلي لبخار الماء أن يكون قوياً لدرجة يتضاعف من خلالها مفعول الدفيئة بسبب زيادة ثاني أكسيد الكربون وحده.

وتشمل آليات تأثير تفاعلي أخرى وهامة السحب. تمتاز السحب بقدرتها على إمتصاص الأشعة ما دون الحمراء، وهي بالتالي تؤدي مفعول الدفيئة بشكل كبير وبذلك تساهم في إحترار الأرض. كما تقوى السحب على إعادة عكس الإشعاع الشمسي وبالتالي على تبريد الأرض. ويؤدي أي تغيير في أي جانب من السحب كالشكل والموقع وكمية مياهها وعلوها وحجم الجزيئات فيها وشكلها ومدة حياتها إلى تبدل درجة تبريد الأرض وتسخينها. إذ تؤدي بعض التغيرات إلى تعزيز الإحترار في حين تساهم أخرى في تقليصه. يتم إجراء العديد من الدراسات في الوقت الراهن من أجل فهم كيفية تغير الغيوم كرد على إحترار المناخ وكيفية تأثير هذه التغيرات في المناخ من خلال عدة آليات تأثير تفاعلي.

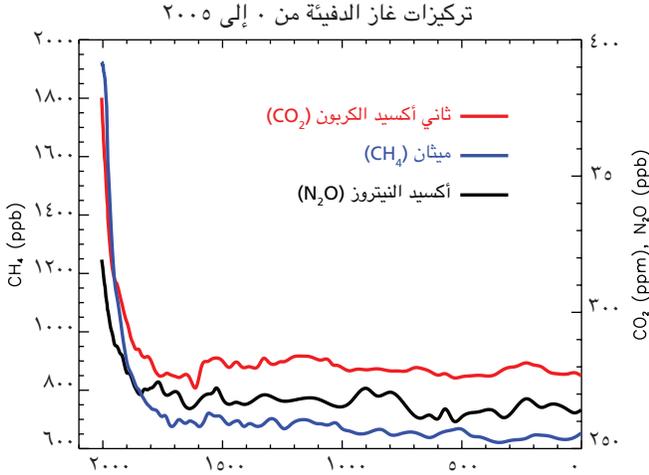
هذه الغازات الميثان والأكسيد النتري والأوزون. ويكون مفعول الدفيئة قوياً في المناطق الإستوائية الرطبة حيث يبلغ تبخّر الماء نسباً مرتفعة، فتؤثر زيادة كمية صغيرة من ثاني أكسيد الكربون ومن بخار الماء تأثيراً بسيطاً على الأشعة ما دون الحمراء التي تضرب الأرض، غير أن زيادة بسيطة في ثاني أكسيد الكربون أو بخار الماء في المناطق القطبية الجافة والباردة تتمتع بتأثير أكبر بكثير. وكذلك هو الحال في الغلاف الجوي العلوي الجاف والبارد حيث تؤثر زيادة بسيطة في تبخر الماء على مفعول الدفيئة في حين لا تؤثر هذه الزيادة كثيراً إذا ما حصلت بالقرب من الأرض.

ويتأثر تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي بعدد من مكونات النظام المناخي خاصة بالمحيطات وبالكائنات الحيّة. وخير دليل على ذلك هي النباتات التي تأخذ ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي وتحوله (مع الماء) إلى كربوهيدرات من خلال التمثيل الضوئي. في الحقبة الصناعية، زاد نشاط الإنسان غازات الدفيئة في الغلاف الجوي بسبب حرق الوقود الأحفوري وإزالة الغابات على وجه الخصوص.

وتعزز إضافة غازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون مفعول الدفيئة، وبالتالي تساهم في مضاعفة الإحترار المناخي للأرض. ويرتبط مستوى

السؤال ٢-١

كيف تساهم النشاطات البشرية بتغيير المناخ وكيف تتم مقارنتها مع تأثيرات الطبيعة؟



السؤال ١-٢ الرسم ١: تركيزات غازات الدفيئة المعمرة في الغلاف الجوي خلال الألفي سنة الماضية. إزدادت هذه الغازات منذ العام ١٧٥٠، وهي تنسب إلى النشاط الإنساني في الحقبة الصناعية. يعبر عن وحدة قياس التركيز بالجزء في المليون أو المليار ويدل هذا القياس على عدد جزيئات غاز الدفيئة في المليون أو المليار جزيئة، على التوالي في عينة من الغلاف الجوي. (المعلومات تم تجميعها وتلخيصها من الأقسام ٦ و ٢ من التقرير)

والمحيطات.

- لقد تنامت تركيزات الهلوكربون بنسبة كبيرة بسبب النشاطات الإنسانية، ونتيجة العمليات الطبيعية أيضاً لكن بنسبة أقل. وتشمل الهلوكربونات الكلوروفلورو كربون (مثل 11- CFC و 12- CFC) الذي جرى إستعمالها كثيراً كعوامل تجليد وفي العمليات الصناعية الأخرى قبل أن يكتشف العلماء أن وجودها يؤدي إلى استنزاف الجزء الأعلى من الغلاف الجوي للأوزون. وأخذت غزارة غازات الكلوروفلوريكربون تنخفض في الآونة الأخيرة بفضل التعديلات الدولية من أجل حماية طبقة الأوزون.
- يشكل الأوزون أحد غازات الدفيئة التي يتم إنتاجها وتدميرها باستمرار نتيجة التفاعلات الكيميائية. ولقد زادت النشاطات الإنسانية نسبة الأوزون في الجزء الأعلى من الغلاف الجوي من خلال نفث بعض الغازات كمنوكسيد الكربون والهيدروكربون وأكسيد النيتروجين التي تتفاعل كيميائياً وتنتج الأوزون. ويدمر الأوزون الناتج عن النشاطات الإنسانية الأوزون في الجزء الأعلى من الغلاف الجوي، وقد تسبب بثقب الأوزون فوق القطب الجنوبي.
- ينتج بخار الماء غاز الدفيئة الأكثر غزارة وأهمية في الغلاف الجوي. وتجدر الإشارة إلى أن النشاط البشري لا يؤثر إلا قليلاً على كمية بخار الماء في الغلاف الجوي. ويملك البشر القدرة على التأثير على بخار الماء (يتبع)

يساهم النشاط الإنساني في تغيير المناخ من خلال التسبب بتغيرات في الغلاف الجوي للأرض وفي كميات غازات الدفيئة والهباء الجوي وزيادة الغيوم. ويشكل حرق الوقود الأحفوري أهم هذه النشاطات لأنه يرفع ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي. وتؤثر غازات الدفيئة والهباء الجوي في المناخ من خلال مزج الإشعاع الشمسي الوارد بالأشعة ما دون الحمراء التي سيعاد عكسها، وهو الأمر الذي يؤمن توازن طاقة الأرض. ويمكن أن يؤدي التغيير في غزارة الغلاف الجوي أو في مبادئ هذه الغازات والجزيئات إلى تسخين النظام المناخي أو تبريده. ولم ينتج عن النشاط البشري منذ بدء الثورة الصناعية في السبعينيات من القرن الماضي إلا تأثير واحد هو الاحترار. وقد تسارع التأثير البشري على المناخ في هذه الحقبة بسبب تغيرات في الآليات العادية مثل:

غازات الدفيئة:

ينتج عن النشاطات البشرية تسرب أربعة غازات دفيئة أساسية هي: ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز والهلوكربون (وهو مجموعة غازات تحتوي على الفلورين والكلورين والبرومين). تتجمع هذه الغازات في الغلاف الجوي وتتسبب بزيادة تركيزها مع الوقت. وقد سجلت زيادات ملحوظة لهذه الغازات في الحقبة الصناعية (راجع الرسم ١) وتنسب كافة هذه الزيادات إلى النشاطات البشرية.

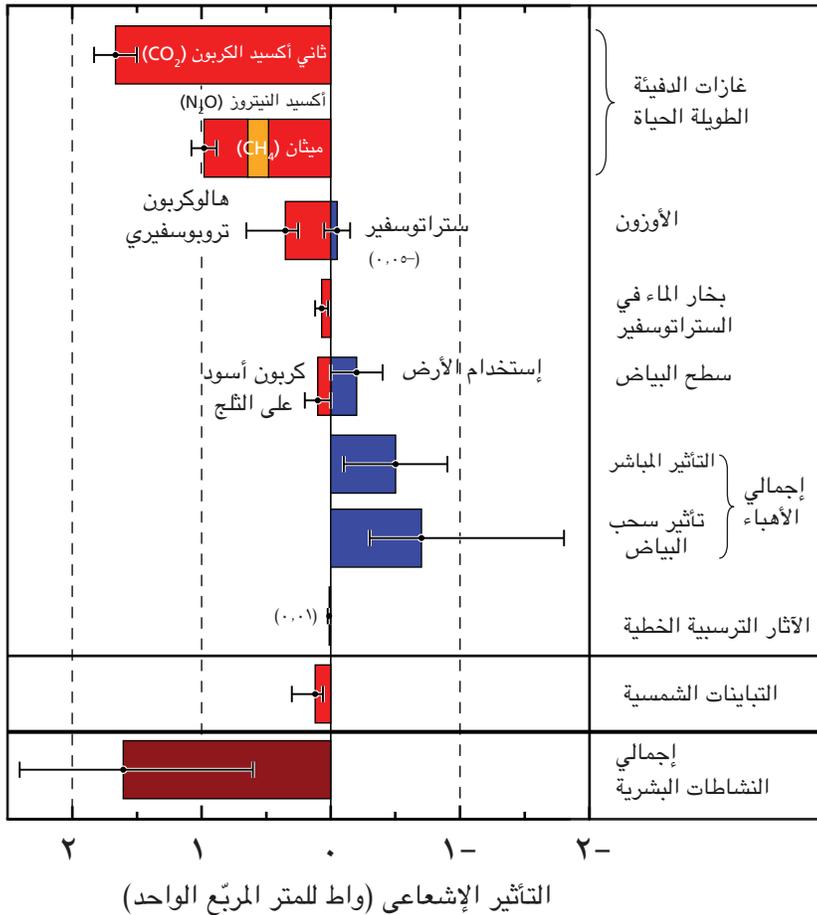
- لقد إزداد ثاني أكسيد الكربون نتيجة الوقود الأحفوري المستعمل في النقل وفي البناء في المكيفات الهوائية وفي صناعة الإسمنت و سلع أخرى. وتبعث إزالة الغابات ثاني أكسيد الكربون وتقلص قدرة النباتات على امتصاصه. كما ينبعث ثاني أكسيد الكربون من عمليات طبيعية أخرى كتلاشي بعض الكائنات النباتية.

- لقد إزداد الميثان نتيجة النشاطات البشرية المتصلة بالزراعة وتوزيع الغاز الطبيعي ودفن الأشياء في باطن الأرض. كما ينبعث الميثان من عمليات طبيعية تحصل على سبيل المثال في الأراضي الرطبة. لا تتزايد تركيزات الميثان في الوقت الراهن في الغلاف الجوي لأن معدلات الزيادة قد انخفضت على مدى العقدين المنصرمين.

- ينبعث أكسيد النيتروس أيضاً بسبب النشاطات الإنسانية مثل استعمال الأسمدة وحرق الوقود الأحفوري، كما ينبعث من عمليات أخرى في التربة

التأثير الإشعاعي للمناخ بين العامين ١٧٥٠ و ٢٠٠٥

عناصر التأثير الإشعاعي



النشاطات البشرية

٢٠٠٥
١٧٥٠

بطريقة غير مباشرة من خلال تغيير المناخ فعلياً. وعلى سبيل المثال، يحتوي غلاف جوي أكثر حرارة على كمية أكبر من بخار الماء. كما تؤثر النشاطات البشرية على بخار الماء عبر غاز HC_4 الذي تبثه، ويؤدي هذا الغاز إلى تدمير كيميائي في الجزء الأعلى من الغلاف الجوي عبر إصدار كميات قليلة من بخار الماء.

يشكل الهباء الجوي جزيئات صغيرة تتواجد في الغلاف الجوي بأحجام وتركيزات وتركيبات كيميائية مختلفة. بعض الهباء الجوي يتم بثه مباشرة في الغلاف الجوي في حين يتشكل جزء آخر من خلال التركيبات الصادرة. يشمل الهباء الجوي التركيبات الطبيعية والتركيبات الناتجة عن النشاط البشري. لقد زاد احتراق الوقود الأحفوري والكتلة الأحيائية من تركيبات الكبريت في الهباء الجوي إلى جانب التركيبات العضوية والكربون الأسود. وأدت نشاطات الإنسان في المناجم وفي العمليات الصناعية إلى تزايد الغبار في الغلاف الجوي. ويحتوي الغلاف الجوي الطبيعي على الغبار المعدني الناتج عن الأرض وعن ملح البحر في الهباء الجوي وعن الإنبعثات البيوجينية من الأرض والمحيطات والكبريت، بالإضافة إلى غبار الهباء الجوي الناتج عن الانفجارات البركانية.

السؤال ٢-١ الرسم ٢: ملخص حول المكونات الرئيسية للتأثير الإشعاعي في تغير المناخ. تنتج كل هذه التأثيرات الإشعاعية عن عامل أو أكثر يطال المناخ، العوامل البشرية المنشأ أو الطبيعية المنشأ (راجع النص). تشير الأرقام إلى التأثيرات الإشعاعية في العام ٢٠٠٥ المرتبطة بأرقام رُصدت في بداية الحقبة الصناعية في العام ١٧٥٠. يؤدي النشاط البشري إلى تغير ملحوظ في الغازات المعمرة وفي الأوزون وتبخر الماء وسطح البياض والهباء الجوي والنزخ الخطية. لقد سجل الإزدياد في التأثير الطبيعي الأكثر أهمية بين العامين ١٧٥٠ و ٢٠٠٥ بسبب الإشعاع الشمسي. أدى التأثير الإشعاعي الإيجابي إلى الإحترار في حين أدى التأثير الإشعاعي السلبي إلى التبريد. يرمز الخط الأسود السميك المتصل بالجداول الملونة إلى هامش الشك في كل قيمة. (تمت أقلمة الرسم من الرسم ٢.٢٠ من التقرير)

السؤال ٢-١، إطار ١: ما هو التأثير الإشعاعي؟

ما هو التأثير الإشعاعي؟ غالباً ما يتم تقييم تأثير عامل قادر على تغيير المناخ، كغاز الدفيئة، من حيث تأثيره الإشعاعي. والتأثير الإشعاعي هو قياس يعكس كيفية تآثر توازن الطاقة في نظام الأرض-الغلاف الجوي عند تغير العوامل المؤثرة بالمناخ. وتُستعمل مفردة «إشعاعي» لأن تلك العوامل تغير التوازن بين الإشعاع الشمسي الوارد والإشعاع ما دون الأحمر الخارج في الغلاف الجوي. وسيطر هذا التوازن على حرارة سطح الأرض. أما مفردة «تأثير» فتشير إلى إبتعاد توازن الأرض الإشعاعي عن حالته الطبيعية.

ويتم تحديد كمية التأثير الإشعاعي عادة على اعتبار أنه نسبة تغير الطاقة للوحدة المكانية الواحدة على الكرة الأرضية تُقاس في أعلى الغلاف الجوي، بالواط للمتر المربع الواحد (راجع الرسم ٢). عندما يتم تقييم التأثير الإشعاعي الناتج عن عامل واحد أو عدة عوامل على أنه تأثير إيجابي، تزيد طاقة نظام الأرض-الغلاف الجوي في النهاية، الأمر الذي سيؤدي إلى إحترار النظام. والعكس صحيح، فبوجود تأثير إشعاعي سلبي، تنخفض الطاقة في النهاية، ما يؤدي إلى تبريد النظام. أما التحديات الهامة التي سيواجهها علماء المناخ فتكمن في تحديد كافة العوامل المؤثرة بالمناخ والآليات التي تولد عبرها تأثيراً، وذلك بغية تحديد كمية التأثير الإشعاعي لكل من العوامل ومن أجل تقييم إجمالي التأثير الإشعاعي الناتج عن مجموعة العوامل.

عوامل التأثير الإشعاعي التي تتضرر بسبب نشاط الإنسان

العالية التي تعكس الإشعاع الشمسي وتمتص الإشعاع ما دون الأحمر. لقد ضاعفت هذه السحب الخطية الناتجة عن عمليات السفن الكونية من نسبة الغيوم كما يتوقع أن تنتج تأثيراً إشعاعياً إيجابياً بسيطاً.

التأثير الإشعاعي الناتج عن التغيرات الطبيعية

تحدث التأثيرات الطبيعية من جراء التغيرات الشمسية والانفجارات البركانية. لقد تكاثرت المخرجات الشمسية تدريجياً إبان الثورة الصناعية محدثة تأثيراً إشعاعياً إيجابياً بسيطاً (راجع الرسم ٢). وذلك إلى جانب التغيرات الدورية في الإشعاع الشمسي التي تتبع دورة ١١ عاماً. ترفع الطاقة الشمسية درجة حرارة النظام المناخي مباشرة كما يمكنها أن تؤثر على غزارة بعض غازات الدفيئة في الغلاف الجوي، مثل الأوزون الستراتوسفيري. تستطيع الانفجارات البركانية أن تنتج تأثيرات سلبية قصيرة العمر (من سنتين إلى ٣ سنوات) عبر الزيادات المؤقتة لكبريت الهباء الجوي في الستراتوسفير. في الوقت الراهن، يخلو الستراتوسفير من الهباء الجوي البركاني حيث حصل أخيراً انفجار بركاني في العام ١٩٩١ (جبل بيناتوبو).

إن التأثير الإشعاعي المتوقع حصوله في الوقت الحاضر وفي بداية الحقبة الصناعية بسبب تغيرات الإشعاع الشمسي والبراكين هو أقل بكثير من تغير التأثير الإشعاعي المتوقع حصوله بسبب النشاطات البشرية. وفي المحصلة، يمكن القول إن التأثير الإشعاعي في الغلاف الجوي الناتج عن النشاط البشري أكثر فاعلية على المناخ الحالي والمستقبلي من التأثير الإشعاعي المتوقع حدوثه من جراء التغير في عمليات طبيعية.

لقد تم توضيح المساهمات في التأثير الإشعاعي من جراء بعض العوامل المتأثرة بنشاط الإنسان في الرسم ٢. وتعكس النتائج مجمل التأثيرات المتعلقة بالحقبة الصناعية (منذ العام ١٧٥٠). لقد إزدادت تأثيرات كافة غازات الدفيئة، إن الغازات الناتجة عن الإنسان إيجابية إذ يمتص كل غاز منها الإشعاع ما دون الأحمر الصادر إلى الغلاف الجوي. وقد أدت زيادة ثاني أكسيد الكربون، من بين غازات الدفيئة كلها، إلى إحداث أكبر تأثير إبان هذه المرحلة. وقد ساهم أوزون الطبقة السفلى من الغلاف الجوي بالإحترار في حين أدى إنخفاض أوزون الجزء الأعلى من الغلاف الجوي إلى التبريد.

تؤثر سلائف الهباء الجوي في التأثير الإشعاعي من خلال عكس الإشعاعات ما دون الحمراء والشمسية في الغلاف الجوي ومن خلال إمتصاصه. تنتج بعض الأهباء الجوية تأثيراً إيجابياً في حين تتسبب أخرى بتأثير سلبي. أما التأثير الإشعاعي المباشر الحاصل في كافة أشكال الهباء الجوي فهو سلبي. ويتسبب الهباء الجوي بطريقة غير مباشرة بتأثير إشعاعي سلبي من خلال التغيرات التي يحدثها في خصائص السحب.

لقد بدلت نشاطات الإنسان طبيعة سطح الأرض منذ الحقبة الصناعية من جراء التغيرات في النباتات والمراعي والغابات والأراضي الزراعية بشكل رئيسي. كما عدلت النشاطات البشرية الخصائص الإشعاعية للثلج والجليد. وفي المحصلة، يبدو أن إنعكاس الإشعاعات الشمسية يجري بنسب أكبر على سطح الأرض نتيجة النشاطات البشرية. ويؤدي هذا التغيير إلى تأثير سلبي. وتحدث السفن الهوائية تركيز نزر خطية في المناطق التي تتمتع بحرارة منخفضة وبرطوبة مرتفعة. وتعرّف الآثار الترسيبية بأنها نوع من السحب

كيف تتغير درجات الحرارة على الأرض؟

وحصل بعده إحترار سريع (بلغ ٠,٥٥ درجة مئوية) واستمر حتى العام ٢٠٠٦ (راجع الرسم ١).

أما السنوات الأكثر حرارة بين المجموعات فامتدت بين العامين ١٩٩٨ و٢٠٠٥ (لا تظهر في الإحصاءات)، ومن السنوات الـ ١٢ الأكثر حرارة، سجّلت ١١ في السنوات الـ ١٢ المنصرمة (من ١٩٩٥ حتى ٢٠٠٦). وكان الإحترار أقوى على الأرض منه على المحيطات منذ العام ١٩٧٠. وعلى صعيد المواسم، كان الإحترار أكبر في الشتاء. وحصلت إحترارات أخرى في المدن والمناطق الحضرية (التي يرمز إليها بمفعول الجزيرة الحرارية المدنية) ولكن كانت محصورة على المدى الزمني ويمكن أن تتجلى مفاعيلها من خلال إستبعاد أكبر قدر ممكن من الأماكن المتأثرة من المعلومات حول مستوى الحرارة العالمية ومن خلال زيادة هامش الخطأ.

لقد بردت بعض المناطق منذ العام ١٩٠١ ويبدو ذلك جلياً في المحيط الأطلسي الشمالي بالقرب من شمال غرينلاند. وكان الإحترار أشد وطأة في تلك الأيام في أعماق قارتي آسيا وأميركا الشمالية. ولكن بما أن هذه هي مناطق ذات تقلبية عالية تختلف من سنة إلى أخرى، فقد حصل مؤشّر الإحترار الأكثر وضوحاً في مناطق خطوط العرض الوسطي والمنخفضة وخاصة في المحيطات الإستوائية. في الجزء السفلي وإلى يسار الرسم ١، تمت الإشارة إلى إتجاهات الحرارة منذ العام ١٩٧٩ وأنماط الإحترار في مناطق المحيط الهادئ والمناطق المبردة المتعلقة بالنينيو.

لقد أصبح بالإمكان اليوم تحليل التغيرات الطويلة المدى في درجات الحرارة اليومية القصوى في عدة مناطق (مثل أميركا الشمالية وجنوب أميركا الجنوبية وأوروبا وشمال وشرق آسيا وجنوب أفريقيا وأستراليا). تشير هذه التسجيلات إلى إنخفاض في عدد الأيام والليالي الباردة جداً وإلى ارتفاع عدد النهارات الشديدة الحرارة والليالي الدافئة منذ العام ١٩٥٠ على وجه التحديد (راجع السؤال ٣-٣). ويزداد طول المواسم الخالية من الجليد في معظم مناطق خطوط العرض العالية والوسطية في جزئي الكرة الأرضية. ويظهر ذلك في الجزء الشمالي من الكرة الأرضية كبداية مبكرة للربيع.

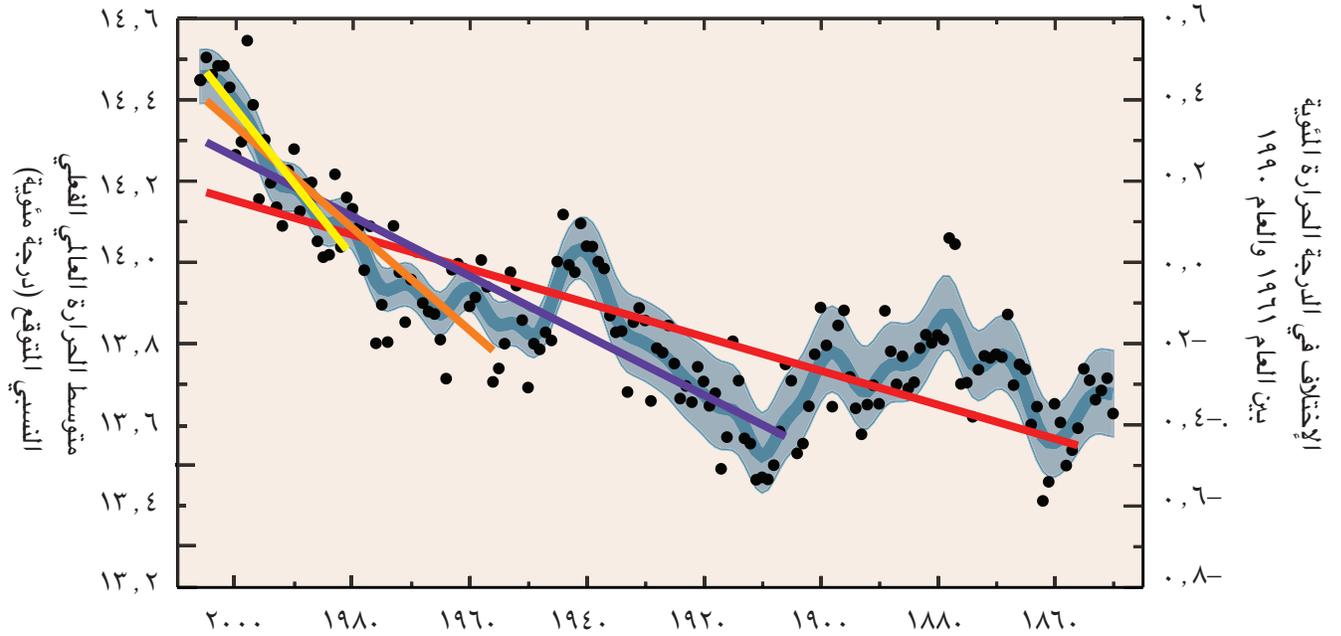
إلى جانب المعلومات حول الأرض المشار إليها سابقاً، تم تسجيل قياسات الحرارة على الأرض في فترة معقولة بواسطة بالونات الطقس منذ العام ١٩٥٨ وبواسطة الأقمار الصناعية منذ العام ١٩٧٩. المعلومات كلها مهية لتقبّل التغيير في وسائل القياس ولمراقبة الممارسات عند الحاجة. لقد تم استخدام الأقمار الصناعية القصيرة الموج بغيّة إنشاء «التسجيل الحراري للأقمار الصناعية» من أجل الطبقات السميكة في الغلاف الجوي إلى جانب التروبوسفير (يتبع)

يشير الرصد الآلي الممتد على مدى ١٥٧ عاماً إلى ارتفاع درجة الحرارة على سطح الأرض عموماً على الرغم من وجود تباينات مناظرية. وكمعدّل عالمي، تشير الدراسات إلى أن الإحترار قد حصل في القرن المنصرم على مرحلتين من العام ١٩١٠ وحتى العام ١٩٤٠ (٠,٣٥ درجة مئوية) وبشكل أقوى من العام ١٩٧٠ وحتى تاريخ اليوم (٠,٥٥ درجة مئوية). وقد إزداد الإحترار خلال السنوات الخمس والعشرين المنصرمة. وتم تسجيل ١١ من أصل ١٢ عاماً هي الأكثر حرماً من في الـ ١٢ سنة الماضية. كما تدل على ارتفاع درجة الحرارة في التروبوسفير فوق سطح الأرض (١٠ كيلومترات تقريباً) أكثر قليلاً من ارتفاعها على سطح الأرض. في حين برد الستراتوسفير (يمتد بعده عن الأرض من ١٠ إلى ٣٠ كلم) بشكل ملحوظ منذ العام ١٩٧٩. وتتماشى هذه المحصلات مع التوقعات الفيزيائية ومع النتائج المثالية. يتأتى التأكيد على الإحترار العالمي من خلال ارتفاع درجة حرارة المحيطات وارتفاع مستويات البحر وذوبان الأنهر الجليدية وتراجع جليد البحر في القطب الجنوبي، كما يتأكد ذلك من خلال إختفاء الغلاف الجليدي في الجزء الشمالي من الكرة الأرضية.

ما من مقياس واحد يستطيع قياس الحرارة الإجمالية للأرض. ولكن في المقابل، يتم إحصاء العديد من القياسات التي ترصدها يوماً لآخر في المحطات في بقاع الأرض المختلفة ويجري دمجها مع آلاف القياسات الأخرى حول حرارة سطح البحر التي ترصدها السفن المبحرة فوق المحيطات، ومن خلال هذه القياسات يتم إصدار معدّل الحرارة العالمي تقديري لكل شهر. ومن أجل الحصول على تغيرات ثابتة على مر الزمن، تتركز التحاليل حول أنواع الشذوذ (وهي إنحرافات ناتجة عن النسبية المناخية في كل إتجاه) لأنها أكثر فاعلية في تغيير توافر المعلومات. يمكن في الوقت الراهن استخدام القياسات المسجلة منذ العام ١٨٥٠ إلى يومنا هذا على الرغم من أن التغطية كانت أقل من شاملة في القسم الثاني من القرن التاسع عشر، بيد أن تحسناً طرأ منذ العام ١٩٥٧ عندما بدأ تسجيل القياسات في القطب الجنوبي، وإزداد التحسن مع العام ١٩٨٠ عند بدء استعمال قياسات الأقمار الصناعية.

ارتفعت درجة الحرارة السطحية نحو ٠,٧٥ درجة مئوية كمعدّل عام خلال السنوات المئة الفائتة (بين العام ١٩٠٦ والعام ٢٠٠٥، الرسم ١). غير أن هذا الإحترار لم يكن ثابتاً في مختلف المواسم ومختلف الأمكنة. ولم يحصل تغيير كلي منذ العام ١٨٥٠ وحتى العام ١٩١٥ باستثناء حركات الصعود والهبوط المرتبطة بالتقلبية الطبيعية التي قد تكون نتجت عن عملية أخذ عينات محدودة. وقد ارتفع مستوى الحرارة العالمي بنسبة ٠,٣٥ درجة مئوية بين العامين ١٩١٠ و١٩٤٠ ومن ثم تلاه إنخفاض مبرد بسيط (٠,١ درجة مئوية)

الحرارة النسبية العالمية

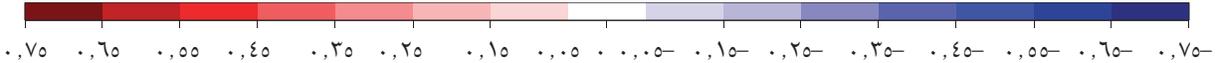
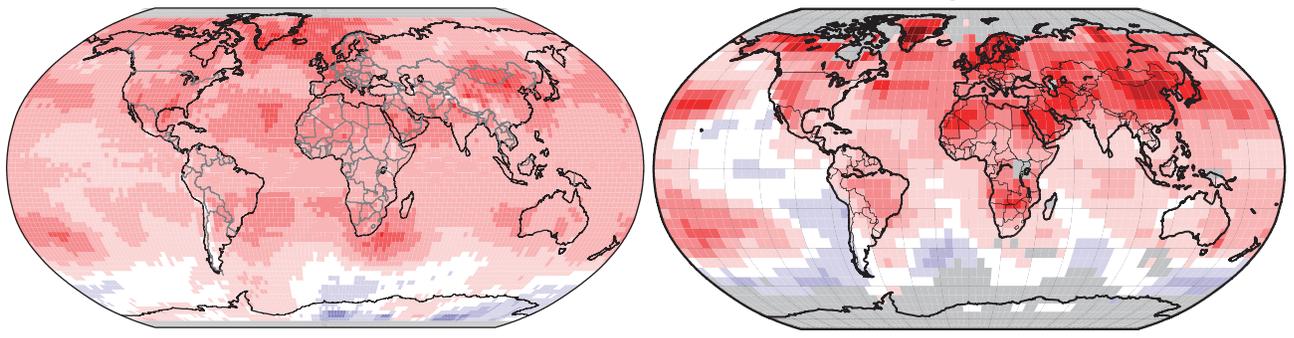


| المعدل | الفترة |
|------------------------------|--------|
| الحرارة المثوية للعقد الواحد | سنوات |
| 0.052 ± 0.177 | ٢٥ |
| 0.026 ± 0.128 | ٥٠ |
| 0.018 ± 0.074 | ١٠٠ |
| 0.012 ± 0.045 | ١٥٠ |

● النسبة السنوية
 ■ السلاسل البسيطة
 ■ أعمدة الخطأ العقدي ٥ - ٩٥٪

تروبوسفير

السطح



السؤال ٣-١، الرسم ١: (في الأعلى) متوسط درجة الحرارة العالمية السنوية (النقاط السوداء)، مع ملاءمات بسيطة للمعلومات. يدل المحور الأيسر على الشذوذ في معدل السنوات ١٩٦١ إلى ١٩٩٠، ويدل المحور الأيمن على الحرارة الفعلية المتوقعة بالدرجة المثوية. يشير الإتجاه الخطي إلى السنوات السابقة: ٢٥ (الأصفر)، ٥٠ (البرتقالي)، وإلى المئة عام (بنفسجي)، ١٥٠ (الأحمر)، وهو يدل على السنوات التالية بحسب تسلسل الألوان من ١٩٨١ حتى ٢٠٠٥ ومن ١٩٥٦ حتى ٢٠٠٥ ومن ١٨٥٦ حتى العام ٢٠٠٥. تجدر الإشارة إلى أن الإنحدار أكبر بالنسبة إلى الفترات الحديثة القصيرة، وهي تدل على إحتراق متزايد. أما الخط المنحني الأزرق فهو تصور بسيط لإلتقاط التقلبات العقدية. تبدو التموجات معبرة من أجل إعطاء فكرة واضحة حول الطقس: العقدية ٥٪ إلى ٩٥٪ (باللون الرمادي الفاتح) كما تم تحديد هوامش الخطا حول الخط (بالتالي تتخطى القيم السنوية هذه الحدود). تقول النتائج المناخ المثالية التي تم التوصل إليها من خلال التاثيرات الإشعاعية المقدره للقرن العشرين (القسم ٩) إن ثمة تحولاً بسيطاً سبق العام ١٩١٥ وإنكساراً فعلياً حصل في التغيير في بداية القرن العشرين بسبب التاثيرات الطبيعية الحاصلة بما فيها التغيرات في الإشعاع الشمسي والقوة البركانية والتقلبية الطبيعية. وارتفعت نسبة التلوث في القسم الشمالي من الكرة الأرضية بسبب حركة التصنيع التي تلت الحرب العالمية الثانية من العام ١٩٤٠ حتى العام ١٩٧٠ وأدى هذا التلوث إلى التبريد وإلى إزدياد ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة الأخرى وقد طبع هذا الإزدياد الإحتراق الحاصل في منتصف السبعينيات.

(يتبع)

من مجموعة معامات HadCRUT3

الإرتفاعات الملحوظة في حرارة الأرض، سجّلت إنخفاضات في طول الأنهار وفي مواسم تجلّد البحيرات. إلى جانب ذلك، حصل إنخفاض عام في الكتلة الجليدية في القرن العشرين كما أصبح الذوبان في الغلاف الجليدي لغرينلاند واضحاً وانخفض الغطاء الجليدي في عدد كبير من مناطق الجزء الشمالي من الكرة الأرضية وانخفضت سماكة جليد البحر في القطب الشمالي في كافة المواسم وبشكل درامي على الأخص في الصيف وفي الربيع. أما المحيطات فهي أيضاً تشهد إحتراراً وبدأ مستوى سطح البحر يرتفع بسبب التمدد الحراري للمحيطات وبسبب ذوبان الجليد القاري.

(يمتد من السطح حتى ١٠ كلم صعوداً) والستاتوسفير المنخفض (يمتد من ١٠ إلى ٣٠ كلم). ولا تزال هناك بعض الإلتباسات والشكوك في الإتجاهات على الرغم من وجود تحليلات جديدة بواسطة مقياس كروس المحسّن التابع لثلاثة عشر قمراً صناعياً منذ العام ١٩٧٩ وعلى الرغم من التحسن في تغيّر مراقبة الوقت وإرتفاع القمر الصناعي. تشير كافة المعلومات الحديثة المتوافرة منذ العام ١٩٥٠ إلى إرتفاع درجة حرارة التروبوسفير بمعدّل أكبر بقليل من السطح في حين يبرد الستراتوسفير بشكل ملحوظ منذ العام ١٩٧٩. ويتماشى ذلك مع التوقعات الفيزيائية والنتائج المثالية التي تدل على الدور المتنامي الذي تؤديه غازات الدفيئة في إحترار التروبوسفير وتبريد الستراتوسفير. كما يساهم إستنزاف الأوزون فعلياً في تبريد الستراتوسفير. وبالتزامن مع

(اليمين - الأسفل). إلى جهة اليسار، وضعت أنماط عن إتجاهات الحرارة الخطية العالمية من العام ١٩٧٩ حتى العام ٢٠٠٥ المتوقع حصولها على السطح. أما إلى اليمين فتم وضع النماذج المتوقع حصولها على التروبوسفير (جهة اليمين) أي من السطح إلى إرتفاع ١٠ كلم وقد أخذت هذه المعلومات من تسجيلات القمر الصناعي. تشير المناطق الرمادية إلى معلومات غير مكتملة. تجدر الإشارة إلى أن التوحد المكاني في الإحترار المسجل في القمر الصناعي في التروبوسفير حصل عند تغيّرات حرارة السطح ويتعلق الأمر بالأرض والمحيط.

السؤال ٣-٢

كيف يتغير التهطال؟

الأيام الدافئة). ويرتبط التهطال بحرارة أكثر ارتفاعاً في الشتاء وفي القارات الشمالية، ويعود ذلك إلى أن قدرة الماء التماسكية في الغلاف الجوي ترتفع في الظروف الدافئة.

عندما يتغير المناخ، يتأثر التهطال بطريقة مباشرة، فتتبدل كميته وتواتره وشكله. يسرع الإحترار جفاف سطح الأرض ويزيد من إمكانية حدوث جفاف ومن حدته إذا ما حصل، وقد تمت ملاحظة هذا الأمر في عدة مناطق من العالم (راجع الرسم ١). لكن، يفيد أحد القوانين الفيزيائية الثابتة (علاقة كلوزيوس - كلايرون) بأن قدرة تماسك الماء في الغلاف الجوي هي نحو ٧ درجات مئوية، وهي تزداد كلما ارتفعت درجة الحرارة درجة مئوية واحدة. تشير مراقبات اتجاهات الرطوبة النسبية إلى أنها غير ثابتة، غير أنها بقيت على حالها في المجلد من السطح إلى داخل التروبوسفير، وعليه فإن الحرارة المتزايدة تنتج عن تزايد تبخر الماء. طوال القرن العشرين كان متوقفاً أن يزيد بخار الماء في الغلاف الجوي فوق المحيطات بنسبة تقريبية هي ٥٪، وذلك استناداً إلى تغيرات في حرارة سطح البحر. يتأثر التهطال بشكل رئيس من أنظمة المناخ التي ينتجها بخار الماء في الغلاف الجوي، ما يؤدي في الإجمال إلى زيادة قوة التهطال وإلى زيادة خطر حدوث أمطار غزيرة وظواهر ثلجية. تؤكد النظرية الأساسية ومحفزات المناخ المثالية والحقيقة الوضعية أن المناخات الدافئة الناتجة عن بخار الماء تفضي إلى ظواهر متساقطات أقوى حين ينخفض إجمالي التهطال السنوي إنخفاضاً بسيطاً. كما تتوقع ظواهر أشد وطأة حين ترتفع كميات التهطال العامة. بناءً عليه، يزيد المناخ الأكثر دفئاً من خطر حصول جفاف - حيث لا تمطر - وحصول فياضانات - حيث تمطر - في أوقات و / أو أماكن مختلفة. حتى الآن، حمل العام ٢٠٠٢ الكثير من الفياضانات التي انتشرت في أوروبا ولكن تلاه العام ٢٠٠٣ حاملاً معه موجات حر وجفاف غير مسبوقة. يتأثر توقيت الفياضانات والجفاف وتوزيعهما، بعمق، بظواهر دورة النينو خاصة في المناطق المدارية وعلى خطوط العرض الوسطية وفي البلدان المطلة على المحيطات.

يقصّ إنخفاض التبخر مخزون الترطيب العام في الغلاف الجوي في المناطق التي يحجب فيها تلوث الهباء الجوي الأرض عن ضوء الشمس المباشر. وبينما يمكن حصول متساقطات أقوى تنتج عن تزايد كميات البخار، بات يمكن أن تتقلص مدة هذه الظواهر وكميتها في الوقت عينه لأن إعادة شحن الغلاف الجوي بالبخار تتطلب وقتاً أكثر.

ترتبط التغيرات المحلية والإقليمية بشكل التهطال ارتباطاً وثيقاً في اتجاهات حركة الغلاف الجوي التي يحددها النينو والتذبذب الشمال الأطلسي (يتبع)

تشير الملاحظات إلى تغيرات في كمية التهطال وفي حدته وتواتره وأشكاله. وغالباً ما تدل مميزات التهطال هذه على تقلبية طبيعية كبيرة. ويملك النينو تأثيراً كبيراً، وكذلك هو الأمر بالنسبة إلى أنماط التغيرات في دوران الغلاف الجوي، كالتذبذب في شمال الأطلسي على سبيل المثال. وقد تمت ملاحظة بعض التوجهات الطويلة الأمد في كمية التهطال من العام ١٩٠٠ حتى العام ٢٠٠٥، فكانت أكثر رطوبة في شمال غرب وجنوب أميركا وفي شمال أوروبا وفي شمال ووسط آسيا، ولكن أكثر جفافاً في ساحل وجنوب أفريقيا وفي آسيا الجنوبية والمتوسطية. يأتي التهطال الآن على شكل مطر أكثر منه تهطال على شكل ثلج في المناطق الشمالية. وجرى تسجيل ارتفاعات واسعة الانتشار لعدة ظواهر تهطال غزير حتى في مناطق إنخفضت فيها الكميات الإجمالية للمتساقطات. وترتبط هذه التغيرات بارتفاع تبخر المياه في الغلاف الجوي الناتج عن إحترار محيطات العالم وخاصة عند الخطوط العرض السفلى. كما تم رصد ارتفاعات في ظهور الجفاف والفياضانات في عدد من المناطق.

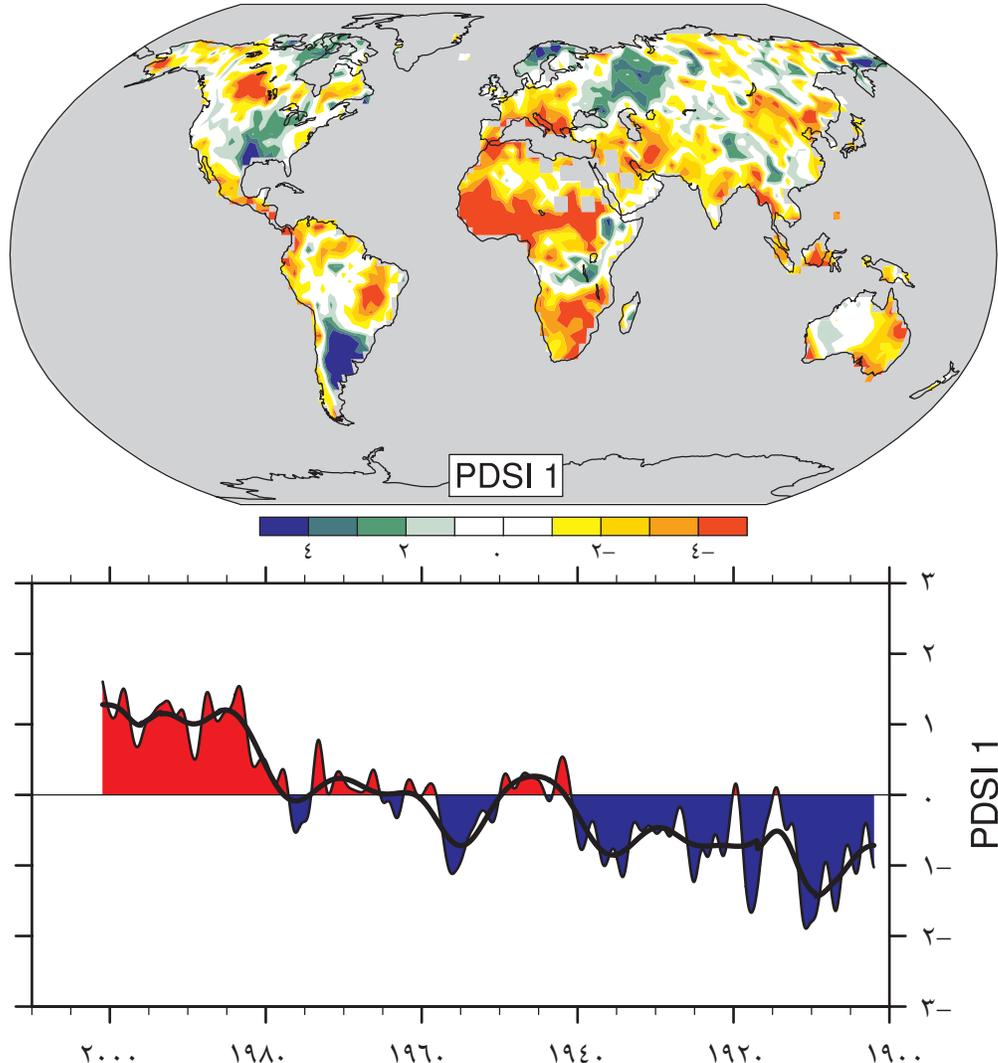
تدل عبارة التهطال على الأمطار أو الثلوج التي تهطل من السحب إلى جانب أشكال أخرى متجمدة أو سائلة تنهمر منها. إن التهطال متقطع، ويرتبط نوعه بشكل كبير بالحرارة وبحالة الطقس. وتحدد حالة الطقس مخزون الترطيب من خلال السحب والتبخر كما تحدد كيفية تجمعها لتشكل عواصف في السحب. ويتشكل التهطال عند تكاثف بخار المياه الذي يمتد بعيداً في الغالب في الهواء المتصاعد ثم يبرد. ويتأثر هذا الجزء المتصاعد من الهواء الصاعد فوق الجبال ومن الهواء الدافئ المحلق فوق هواء أبرد (حد دافئ) ومن هواء بارد يندفع تحت هواء أكثر دفئاً (حد دافئ)، ومن الحمل الحراري الناتج عن إحترار السطح ومن أنظمة طقس أخرى ومن السحب. وبالتالي، يعدل أي تغير في هذه المظاهر التهطال. تشير خرائط التهطال أنه متقطع ومتفاوت لذلك تمت الإشارة إلى اتجاهات التهطال في دليل بالمر لقسوة الجفاف (راجع الرسم ١)، وهو قياس لرطوبة الأرض من خلال استخدام التهطال والتوقعات البسيطة للتغيرات في التبخر.

وقد أدى الإحترار المتزايد والناتج عن ارتفاع آثار الدفيئة البشرية المنشأ، إلى إزدياد التبخر، مع العلم أن طبقة الترطيب المناسبة متوافرة. بناءً على ذلك، تؤدي طبقة الترطيب دور «مكيف هواء» وبالتالي تعمل الحرارة المستخدمة في التبخر لترطيب الهواء وليس لتدفئته. فتكون مواسم الصيف غالباً إما دافئة وجافة أو باردة وأكثر رطوبة. لقد ازدادت رطوبة الطقس في غربي أميركا الشمالية والجنوبية (راجع الرسم ١) لذلك ارتفعت الحرارة هناك أقل مما ارتفعت في مناطق أخرى (راجع السؤال ٣-٣: الرسم ١ التغيرات في

يتسبب ارتفاع الحرارة بزيادة احتمال إنهمار التهطل على شكل مطر وليس على هيئة ثلج، خاصة في الخريف والربيع، مع بداية موسم الثلج وانتهائه في المناطق التي تقارب فيها الحرارة درجة التجلد. تجري ملاحظة هذه التغيرات في العديد من المناطق خاصة في مناطق خطوط العرض الوسطية والمرتفعة في الجزء الشمالي من الكرة الأرضية. ويؤدي ذلك إلى إزدياد الأمطار من جهة وإلى تخفيض الحزم الجليدية من جهة أخرى، وبالتالي إلى إختفاء موارد المياه في الصيف، عندما تتجلى الحاجة القصوى إليها. وعلى الرغم من ملاحظة تفاوت التهطل النسبي وتقطعها فإن أنماط التغيير معقدة. ويشهد التسجيل الطويل المدى على إختلاف أنماط التهطل من عام إلى عام إلى حد ما، ويشير إلى أن الجفاف الممتد على عدة سنوات يكون مقطوعاً بسنة من الأمطار الغزيرة، فيمكن أن يشعر المرء مثلاً بتأثيرات النينيو. وكمثل عن ذلك، تمكن الإشارة إلى الشتاء الرطب في جنوب الولايات المتحدة الأميركية خلال العام ٢٠٠٤ - ٢٠٠٥ الذي تلا ستة أعوام من الحزم الجليدية التي كانت دون المعدل.

(NAO) (وهو عبارة عن قياس قوة الرياح الغربية في المحيط الأطلسي الشمالي خلال الشتاء)، بالإضافة إلى بعض أنماط التقلبية. ترتبط بعض التغيرات بالحركة المشار إليها سابقاً بتغيير المناخ. إن التبدل المرتبط ببدء الإعصار يجعل بعض المناطق أكثر رطوبة - وأحياناً تميل إلى أن تكون أكثر جفافاً - ما يجعل أنماط التغيير معقدة. وعلى سبيل المثال، حصل في التسعينيات تذبذب في شمالي المحيط الأطلسي في القطاع الأوروبي، وكان أكثر إيجابية، فأدى إلى ظروف أكثر رطوبة في مناطق أفريقيا الشمالية والمتوسطية (راجع الرسم ١). وقد استمر الجفاف الممتد في أفريقيا الساحلية (راجع الرسم ١) منذ العام ١٩٦٠ حتى العام ١٩٨٠ على الرغم من إنخفاض حدته. وتم ربط هذا الجفاف الطويل الأمد بالتغيرات في حركة الغلاف الجوي وبالتغيرات في أنماط حرارة سطح البحر الإستوائي على نطاق المحيط الهادئ والهندي والأطلسي. وأمسى الجفاف منتشرأ في معظم مناطق أفريقيا وعادياً في المناطق الإستوائية وشبه الإستوائية.

السؤال ٣-٢: الرسم ١. (في الأعلى) الأنماط المكانية الأهم في دليل حدة الجفاف بالمير الشهري من العام ١٩٠٠ حتى العام ٢٠٠٢. وهو دليل هام عن الجفاف وعن قياسات العجز المتراكم (المرتبط بالشروط المحلية النسبية) في ترطيب سطح الأرض من خلال إدخال التهطل السابق ومن خلال توقع مستوى الترطيب في الغلاف الجوي (إستناداً إلى حرارة الغلاف الجوي). يشير اللوح البياني السفلي إلى كيفية تغيير إشارة الإتجاه وقوته منذ العام ١٩٠٠. المناطق الملونة بالأحمر والبرتقالي هي أكثر جفافاً (رطوبة) من المعدل، أما المناطق الزرقاء والخضراء فتكون أكثر جفافاً (رطوبة) عندما تكون الأرقام المذكورة في الأسفل إيجابية (سلبية). يشير الخط الأسود المتعرج إلى التقلبات العقدية. ترتبط سلاسل الوقت باتجاه معين، أما أنماطه وحساب تقلباته فتبلغ ٦٧٪ على وجه الأرض بحسب الدليل المذكور سابقاً من العام ١٩٠٠ حتى العام ٢٠٠٢. ويلاحظ تزايد الجفاف في أفريقيا وخاصة عند الساحل. تجدر الإشارة إلى وجود مناطق رطبة أخرى خاصة في غرب أميركا الشمالية والجنوبية وشمال أوراسيا. تمت الأقتمة من (Dai et al (2004b).



السؤال ٣-٣

هل حصل تغير في الظواهر المتطرفة مثل الأمواج الدافئة والجفاف والفيضانات والأعاصير؟

منذ العام ١٩٥٠، إزداد عدد الأمواج الحارة والليالي الدافئة. كما إرتفع عدد المناطق التي طالتها الجفاف في حين إنخفض التهطل على الأرض قليلاً في ظل تزايد التبخر من جراء الشروط الباعثة على الإحترار. كما إرتفع عدد التهطل اليومي الغزير الذي يفضي إلى الفيضانات ولكن ليس في كل مكان. يختلف تواتر العواصف الإستوائية والأعاصير من سنة إلى أخرى إلى حد كبير ولكن الواقع يدل على حصول إزدياد فعلي في قوتها وفي مدتها منذ العام ١٩٧٠، في المناطق خارج الإستوائية. تدل التقلبية في بدء العواصف وفي قوتها على وجود تقلبات في أهم مميزات دوران الغلاف الجوي كما هو الحال في التذبذب المحيط الأطلسي الشمالي.

لقد تم الحصول على معلومات تشير إلى حدوث تغير في مختلف أشكال الظواهر المناخية المتطرفة. أما قصوتها فلا تتخطى غالباً ١,٥ و ١,٠٪ من الوقت (من الحد الأول) و ٩٥,٩٥ و ٩٩٪ من الوقت (من الحد الثاني). تتخطى الليالي الدافئة أو النهارات الحارة (المناقشة في ما يلي) مستوى التسعين بالمئة في حين لا تتخطى الليالي والأيام الباردة مستوى العشرة بالمئة. يتم التعريف بالتهطل الغزيرة على أنه كميات يومية تزيد عن ٩٥ بالمئة من المستوى (و ٩٩ بالمئة منه بالنسبة إلى المتساقطات الشديدة الغزارة).

ومنذ أواخر العام ١٩٥٠، حصل إنخفاض ملحوظ في التكرار السنوي في الليالي الباردة وتزايد ملموس في التكرار السنوي في الليالي الدافئة. ولكن لم يتم ذكر الكثير حول الإنخفاضات في تكرر الأيام الباردة وإرتفاع التكرار في الأيام الحارة على الرغم من انتشارها الواسع (راجع الرسم ١). لم ينتقل توزيع الحرارة القصوى والدنيا إلى أعلى مستوياتها الثابتة مع الإحترار العالمي فحسب، بل إحترت الحدود الباردة أكثر من الحدود الدافئة منذ خمسين عاماً (راجع الرسم ١). ويؤدي تزايد الحدود الدافئة إلى زيادة تواتر الموجات الحارة. تشير معلومات إضافية إلى اتجاه نحو بضعة أيام متجمدة تترابط مع معدّل الإحترار في معظم مناطق خطوط العرض الوسطية.

وتحجب التقلبية الطبيعية الواسعة التغيرات في تواتر العواصف والأعاصير الإستوائية وفي حدتها. ويؤثر النينو بشدة في حركة العواصف الإستوائية حول العالم. وتدل توقعات القدرة التدميرية للأعاصير حول العالم على اتجاه متصاعد فعلي منذ منتصف السبعينيات. وهو اتجاه نحو عواصف ذات مدة أطول وقوة أكبر يرتبط نشاطها إرتباطاً وثيقاً بحرارة سطح البحر الإستوائي. وتعززت هذه العلاقات بسبب إيجاد تزايد كبير في أرقام الأعاصير القوية وفي نسبتها على صعيد العالم منذ العام ١٩٧٠، علماً أن عدد الأعاصير الحلزونية وعدد أيامها إنخفضاً قليلاً في معظم الأحواض. وعلى وجه التحديد، لقد إزداد عدد الأعاصير من الفئتين الرابعة والخامسة بنسبة ٧٥٪ منذ العام ١٩٧٠. وقد حصلت الزيادات الأوسع في شمال المحيط الهادئ وفي جنوبه الغربي وفي المحيط الهندي. غير أن عدد الأعاصير في المحيط الأطلسي الشمالي فاق الطبيعة في ٩ سنوات من الـ ١١ سنة الماضية، وأحد الأعاصير ضرب الرقم القياسي في موسم العام ٢٠٠٥.

إستناداً إلى عدد من القياسات المسجلة على سطح التروبوسفير وفي داخله، تبين أنه يمكن أن يكون تديلاً على صعيد القطب قد طرأ مع إحتمال إرتفاع

(يتبع)

منذ العام ١٩٥٠، إزداد عدد الأمواج الحارة والليالي الدافئة. كما إرتفع عدد المناطق التي طالتها الجفاف في حين إنخفض التهطل على الأرض قليلاً في ظل تزايد التبخر من جراء الشروط الباعثة على الإحترار. كما إرتفع عدد التهطل اليومي الغزير الذي يفضي إلى الفيضانات ولكن ليس في كل مكان. يختلف تواتر العواصف الإستوائية والأعاصير من سنة إلى أخرى إلى حد كبير ولكن الواقع يدل على حصول إزدياد فعلي في قوتها وفي مدتها منذ العام ١٩٧٠، في المناطق خارج الإستوائية. تدل التقلبية في بدء العواصف وفي قوتها على وجود تقلبات في أهم مميزات دوران الغلاف الجوي كما هو الحال في التذبذب المحيط الأطلسي الشمالي.

لقد تم الحصول على معلومات تشير إلى حدوث تغير في مختلف أشكال الظواهر المناخية المتطرفة. أما قصوتها فلا تتخطى غالباً ١,٥ و ١,٠٪ من الوقت (من الحد الأول) و ٩٥,٩٥ و ٩٩٪ من الوقت (من الحد الثاني). تتخطى الليالي الدافئة أو النهارات الحارة (المناقشة في ما يلي) مستوى التسعين بالمئة في حين لا تتخطى الليالي والأيام الباردة مستوى العشرة بالمئة. يتم التعريف بالتهطل الغزيرة على أنه كميات يومية تزيد عن ٩٥ بالمئة من المستوى (و ٩٩ بالمئة منه بالنسبة إلى المتساقطات الشديدة الغزارة).

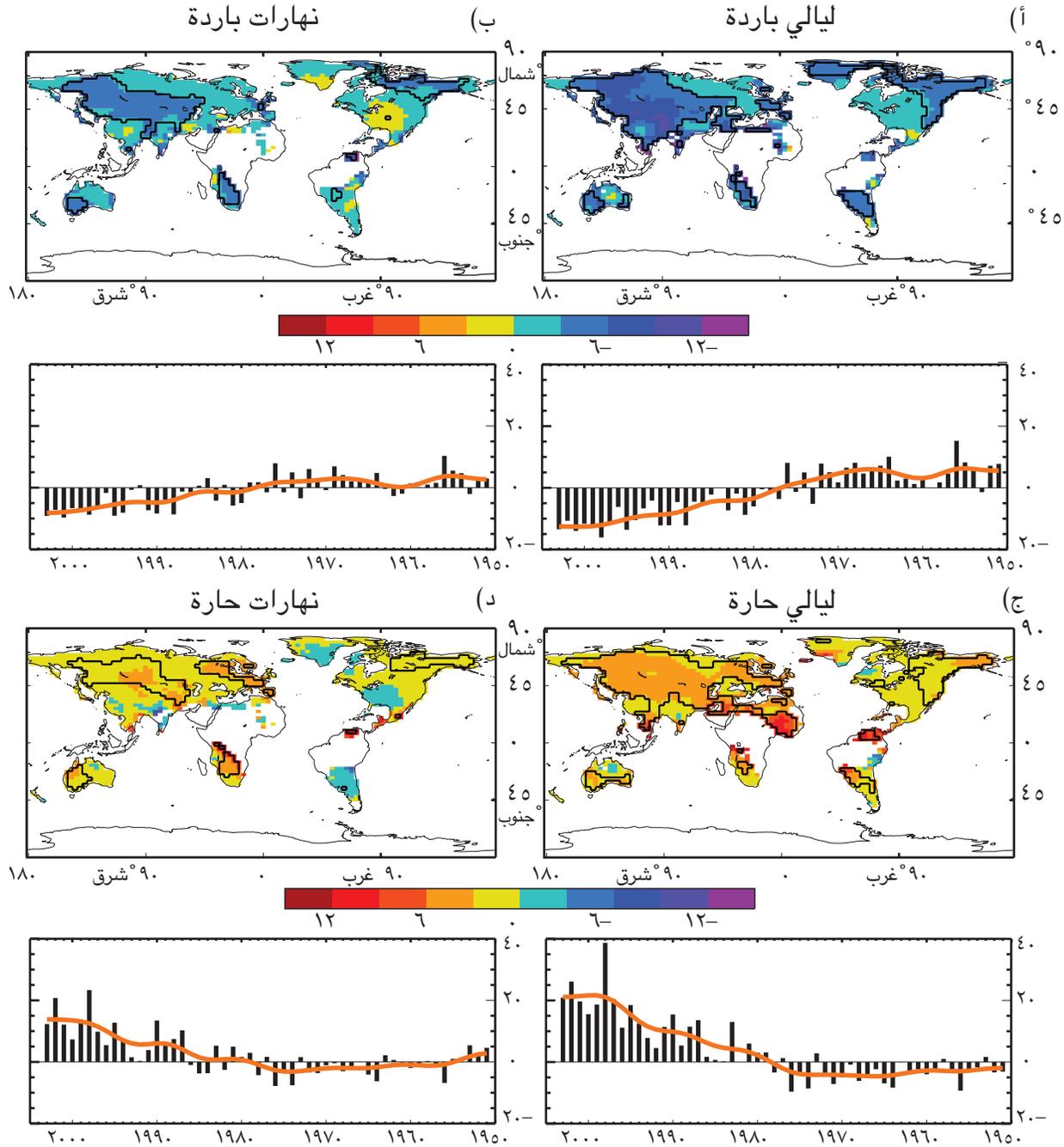
ومنذ أواخر العام ١٩٥٠، حصل إنخفاض ملحوظ في التكرار السنوي في الليالي الباردة وتزايد ملموس في التكرار السنوي في الليالي الدافئة. ولكن لم يتم ذكر الكثير حول الإنخفاضات في تكرر الأيام الباردة وإرتفاع التكرار في الأيام الحارة على الرغم من انتشارها الواسع (راجع الرسم ١). لم ينتقل توزيع الحرارة القصوى والدنيا إلى أعلى مستوياتها الثابتة مع الإحترار العالمي فحسب، بل إحترت الحدود الباردة أكثر من الحدود الدافئة منذ خمسين عاماً (راجع الرسم ١). ويؤدي تزايد الحدود الدافئة إلى زيادة تواتر الموجات الحارة. تشير معلومات إضافية إلى اتجاه نحو بضعة أيام متجمدة تترابط مع معدّل الإحترار في معظم مناطق خطوط العرض الوسطية.

وخير دليل على تغير الحدود ملاحظة الزيادات في ظواهر التهطل الغزير في مناطق خطوط العرض الوسطى منذ السنوات الخمسين الماضية حتى في المناطق التي لا يتم فيها تسجيل كميات من التهطل النسبية (راجع السؤال ٣-٢) كما يتم رصد إرتفاعات متزايدة لظواهر التهطل الشديد الغزارة. غير أن النتائج متوافرة حول بعض المناطق فقط.

إن قياس الجفاف أسهل من غيره بسبب طول مدته. بينما يوجد عدد من المؤشرات وأجهزة قياس حول الجفاف. تلجأ بعض الدراسات إلى مجموع

تتحي تدفق المجاري المائية عن خطها على صعيد القطب ومع تزايد العواصف. إن البراهين التي يمكن مراقبتها في التغيرات خلال الظواهر الطبيعية الضيقة النطاق (مثل أعاصير التورنيديو وإنهمار البرد والعواصف الرعدية) غالباً ما تكون محلية وعشوائية إلى درجة يصعب عندها الخروج بإستنتاجات عامة. وفي الواقع، يزداد النمو في عدة مناطق بسبب الوعي المتنامي للمجتمع وبفضل الجهود المبذولة بغية جمع التقارير حول هذه الظواهر.

حركة بدء عواصف الشتاء في القسم الشمالي من الكرة الأرضية إبان الجزء الثاني من القرن العشرين. وتشكل هذه التغيرات جزءاً من التقلبات الحاصلة بالترباط مع التذبذب في المحيط الأطلسي الشمالي. وكشفت المراقبات التي تمت منذ العام ١٩٧٩ حتى منتصف التسعينيات أن دوراناً غربياً في الغلاف الجوي بين قطبي الأرض سيجري بين شهر كانون الثاني / ديسمبر، وشباط / فبراير وسيتم ذلك داخل التروبوسفير وفي الستراتوسفير السفلي بالتزامن مع

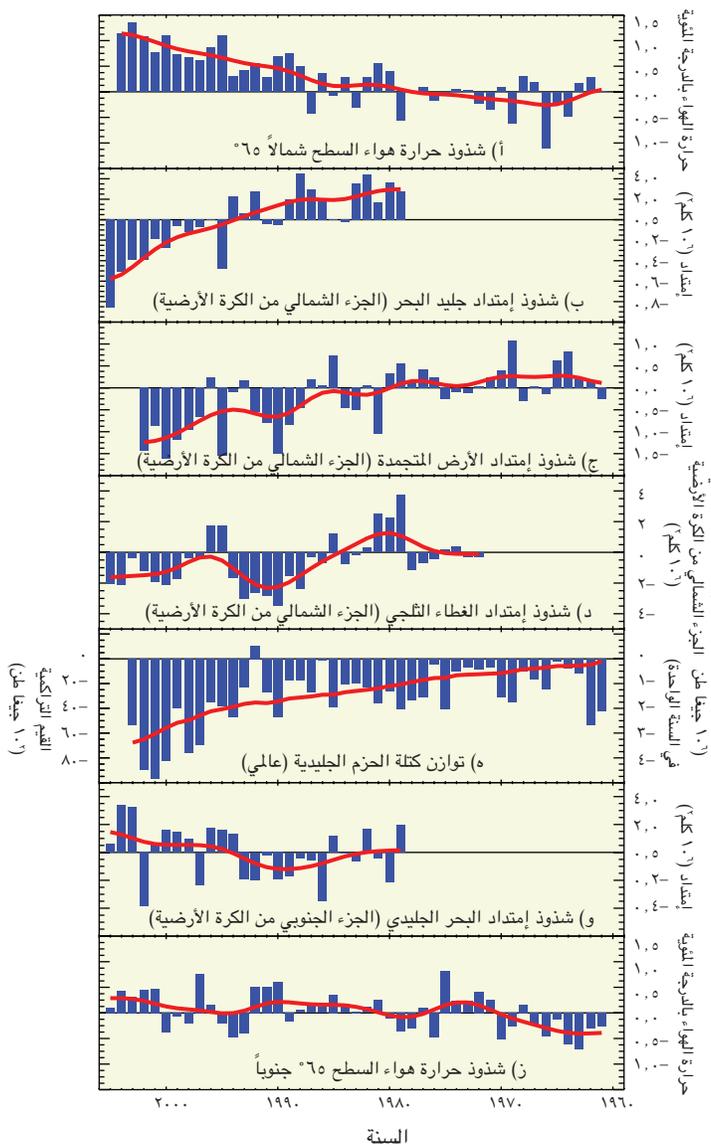


السؤال ٣-٣، الرسم ١. الإتجاهات التي تمت مراقبتها (النهارات في العقود) من العام ١٩٥١ إلى العام ٢٠٠٣ حول تواتر الحرارة القصوى بالإستناد إلى القيم المسجلة من العام ١٩٦١ حتى العام ١٩٩٠ ويتم إستعمالها كخرائط للمستوى العاشر بالمئة: (أ) الليالي الباردة، (ب) النهارات الباردة بمستوى ٩٠٪، (ج) الليالي الدافئة، (د) النهارات الدافئة. تم جمع الإتجاهات من خلال علب الشبكة التي جمعت فيها المعلومات خلال أربعين عاماً وهي تحتوي على معلومات حول العام ١٩٩٩ كحد أدنى. تشمل الخطوط الحمراء المناطق حيث الإتجاهات هامة بنسبة ٥٪، وتحت كل خريطة توجد ظواهر الشذوذ للمدة السنوية العامة (المتعلقة بالأعوام بين ١٩٦١ و ١٩٩٠). يشير الخط الأحمر إلى التقلبات العقدية. إن الإتجاهات الخاصة بالمؤشرات الإجمالية المشار إليها هامة بمستوى ٥٪. أقتله عن Alex et al. (٢٠٠٦)

السؤال ٤-١

هل تشهد كمية الثلج والجليد على الأرض تراجعاً؟

خاصة بواسطة الغواصات إلا إنها تنحصر في وسط القطب الشمالي حيث تشير إلى حصول تقلص بنسبة ٤٠٪ تقريباً بين سنة ١٩٥٨ و ١٩٧٧. ويشكل ذلك تقديراً مبالغاً فيه حول الذوبان في منطقة القطب الشمالي كلها. وقد بدأت الجبال الجليدية والقلنسوات الجليدية بالتناقص، ومن المرجح (يتبع)



السؤال ٤-١، الرسم ١. شذوذ في سلاسل الوقت (تعني إنحراف سلاسل الوقت عن النسبية الطويلة المدى) في حرارة هواء السطح القطبي (A,G). إمتداد النهر الجليدي في القطبين الشمالي والجنوبي (B,F). إمتداد الأرض المتجمدة (C) في الجزء الشمالي من الكرة الأرضية (NH). إمتداد الغطاء الثلجي (D) في الجزء الشمالي من الكرة الأرضية. توازن كتلة الحزم الجليدية العالمية (E). يدل الخط الأحمر العريض (E) على ميزان الكتلة الجليدية العالمية المتراكمة والأعمدة الأخرى، في الجداول الأخرى يدل على التقلبات العقدية.

نعم. تشير المراقبات على الصعيد العالمي إلى تراجع معدّل الثلج والجليد منذ عدة سنوات وخاصة منذ العام ١٩٨٠، وقد إزداد هذا التراجع في العقد الأخير بإستثناء بعض المناطق التي شهدت إرتفاعاً في الثلج والجليد، إلى جانب تغيّرات أخرى (راجع الرسم ١). وقد أخذت معظم الجبال الجليدية تتقلص، في حين يتلاشى الغطاء الجليدي باكراً في الربيع، أما النهر الجليدي في المحيط الأطلسي فيتقلص في كافة المواسم على العموم وبطريقة درامية في الصيف على وجه الخصوص. كما تم تسجيل إنخفاضات في التربة الصقيعية وتقلصات موسمية في الأرض المجمدة وفي الأنهار والبحيرات الجليد. كما تم تسجيل تقلص الغلاف الجليدي في مناطق ساحلية هامة في غرينلاند وغرب القطب الجنوبي وإنخفاض في الحزم الجليدية في شبه جزيرة القطب الجنوبي. ويؤدي ذلك إلى إرتفاع مستوى سطح البحر. ويساهم ذوبان الحزم الجليدية والقلنسوات الجليدية والغلاف الجليدي إلى إرتفاع مستوى سطح البحر بنسبة تقدر بـ 0.4 ± 0.2 بالمسنة في الفترة الممتدة بين العامين ١٩٩٣ و ٢٠٠٣.

تقوم الأقمار الصناعية بشكل متواصل برصد معظم الغطاء الثلجي الموسمي وتشير إلى إنخفاض الغطاء الثلجي في الربيع في الجزء الشمالي من الأرض بنسبة ٢٪ في العقد الواحد منذ العام ١٩٩٦، على الرغم من تسجيل تغيّر بسيط في الخريف أو في بداية الشتاء. وقد حصل هذا الإنخفاض في الربيع في عدة أماكن على الرغم من إرتفاع التهطال. ولا تعطي المعلومات المتوافرة من الأقمار الصناعية حتى الآن قياسات دقيقة حول ظروف الجليد والبحيرات والأنهار أو حول الأرض المتجمدة بشكل موسمي أو دائم.

بيد أنه تم نشر عدد كبير من التقارير المحلية والإقليمية وغالباً ما كانت التقارير تشير إلى إرتفاع درجة حرارة التربة الصقيعية وإلى تزايد كثافة ذوبان الطبقة المغطية للتربة الصقيعية وإلى تقلص العمق المتجمد في الشتاء في المناطق المتجمدة بحسب المواسم وإلى إنخفاض في الإمتداد المساحي للتربة الصقيعية وإلى تقهقر مدة الأنهار والبحيرات الجليدية الموسمية.

وقد أعطت الأقمار الصناعية منذ العام ١٩٧٨ معلومات دائمة حول إمتداد النهر الجليدي في القطبين الشمالي والجنوبي. وقد إنخفض معدّل إمتداد النهر الجليدي بنسبة 2.7 ± 0.6 ٪ في العقد ونسبة 7.4 ± 2.6 ٪ في الصيف في القطب الشمالي. أما امتداد النهر الجليدي في القطب الجنوبي فلم يدل على أي توجه يذكر. وقد تم التوصل إلى معلومات حول الكثافة،

والذوبان في سطح غرينلاند. ويتفاعل الجليد مع المناخ المحيط بطرق معقدة، لذا تبقى دائماً أسباب التغيرات المحددة غير واضحة. لكن، مما لا شك فيه هو أن الجليد يتذوب عندما تكون الحرارة أعلى من نقطة التجمد. وقد حصل إنخفاض في الغطاء الثلجي وفي الجبال المجمدة على الرغم من ارتفاع تهطال الثلج في عدة حالات، ما تسبب بارتفاع حرارة الهواء. تؤثر تغيرات الغطاء الثلجي في الأرض المتجمدة وفي البحيرات والأنهر الجليدية إلا أن هذا الأمر لا يشكل شرحاً كافياً للتغيرات الحاصلة التي تفضي إلى القول بأن تزايد درجات الهواء كان هاماً. يمكن أن تتماشى التقلصات في النهر الجليدي في القطب الشمالي مع الأمثلة المستقاة من الدوران التاريخي ومن تغيرات الحرارة. وتتلاءم الزيادات في تهطال الثلج فوق الغلاف الجليدي في بعض المناطق الرئيسية الباردة مع الإحترار وكذلك هو الحال بالنسبة إلى الذوبان في المناطق الساحلية وفي الرف الجليدي البديل وعلى طول عدد من السواحل.

أن يكون هذا التناقص قد بدأ منذ العام ١٨٥٠. وعلى الرغم من بقاء العديد من مجلدات الجزء الشمالي للكرة الأرضية شبه متوازنة لسنوات في السبعينيات، تبع ذلك ارتفاع في التقلص. وأدى ذوبان الحزم الجليدية والقلنسوات الجليدية إلى ارتفاع مستوى البحر بنسبة 0.77 ± 0.22 ميليمتر في السنة، بين سنتي ١٩٩١ و٢٠٠٤.

كما أدى ذوبان الغلافات الجليدية في غرينلاند والقطب الجنوبي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر بنسبة 0.2 ± 0.1 ميليمتر في السنة، في حين أدى التناقص الحاصل في القطب الجنوبي إلى رفع مستوى سطح البحر بنسبة 0.2 ± 0.35 ميليمتر في السنة بين عامي ١٩٩٣ و٢٠٠٤. وقد بات حصول خسارة متزايدة في العام ٢٠٠٥ حقيقة ظاهرة. إن كثافة المرتفعات العالية في المناطق الباردة من غرينلاند وشرق القطب الشمالي، ربما من خلال إزدياد التهطال، شهدت تبدلات مفاجئة من خلال الذوبان في المناطق الساحلية في غربي القطب الجنوبي وفي غرينلاند. وتأتي هذه العملية كرد على تزايد تدفق الثلج

السؤال ٥-١

هل يرتفع مستوى البحر؟

نعم. من المؤكد أن مستوى سطح البحر العالمي ارتفع في القرن العشرين بتدرج وما زال حتى اليوم يزداد بمعدل تصاعدي بعد فترة تغير بسيطة بين صفر و ١٩٠٠ بعد الميلاد ومن المتوقع أن يرتفع مستوى البحر بمعدل أكبر في هذا القرن. أما السببان الرئيسيان في ارتفاع مستوى البحر فهما: التمدد الحراري للمحيطات (تمدد المياه عندما تسخن) والنقص في الجليد القاري الناتج عن الذوبان المتنامي.

لقد ارتفع مستوى البحر بنسبة ١٢٠ متراً خلال عدة ألياف تلت نهاية العصر الجليدي (منذ ٢١ ألف سنة تقريباً) واستقر منذ نحو ألفي إلى ثلاثة آلاف عام. وتدل مؤشرات مستوى سطح البحر على أن مستوى البحر العالمي لم يتغير فعلياً منذ ذلك الوقت حتى القرن التاسع عشر. ويشير التسجيل الآلي لتغير مستوى البحر الحديث إلى بدء ارتفاع مستوى البحر في القرن العشرين. ومن المتوقع أن يرتفع معدل مستوى البحر العالمي في القرن العشرين بمعدل ١,٧ ميليمتراً في السنة.

وتعطي الأقمار الصناعية المتوافرة منذ التسعينيات منذ التسعينيات معلومات أكثر دقة حول مستوى سطح البحر مع تغطية شبه كاملة. وتشير المعلومات المسجلة على مدى العقد إلى ارتفاع مستوى البحر بمعدل ٣ ميليمتر في السنة منذ العام ١٩٩٣، وبمعدل أكبر من المعدل المسجل في النصف السابق من القرن ويؤكد قياس حركة المد والجزر الساحلية هذه المشاهدة، ويؤكد أن معدلات مماثلة حصلت في عقود سابقة.

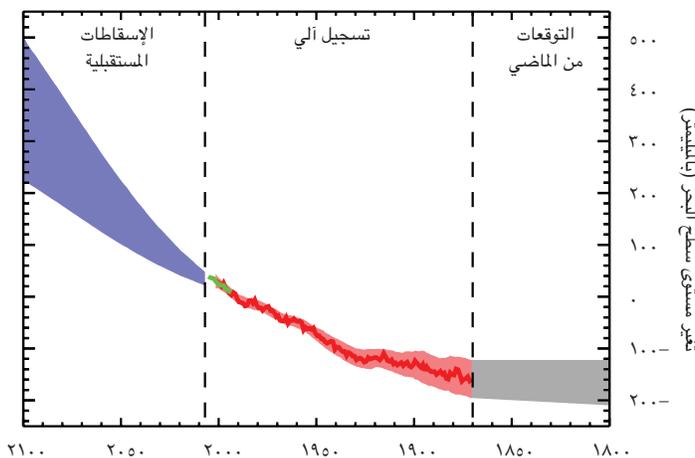
بالإضافة إلى النماذج المناخية، تدل معلومات الأقمار الصناعية والمشاهدات الهيدروغرافية على أن الارتفاع في مستوى البحر لم يحصل بشكل موحد حول العالم. ففي بعض المناطق كانت المعدلات أعلى من الارتفاع النسبي العالمي بينما كان مستوى البحر ينخفض في مناطق أخرى. ويتم إستنتاج التقلبية المكانية الفعلية لتغير معدلات ارتفاع مستوى البحر من المشاهدات الهيدروغرافية. ويتأتى ارتفاع التقلبية المكانية في معدل مستوى البحر بسبب التغيرات غير الموحدة في الحرارة والملوحة، كما أنه يتأثر بدوران المحيط.

وتسمح المعلومات شبه العالمية حول حرارة المحيط، وقد أصبحت متاحة في السنوات الأخيرة، بقياس التمدد الحراري. ويعتقد أن التمدد الحراري بين العامين ١٩٦١ و ٢٠٠٣ أدى بالمعدل إلى ربع ارتفاع مستوى البحر الحالي، في حين أدى الذوبان في الأرض الجليدية إلى أقل من نصف هذا الارتفاع. وبالتالي، فإن الحجم الفعلي لارتفاع مستوى سطح البحر المشاهد لم يكن يفسر بشكل مرض بواسطة هذه المعلومات كما أشار التقييم التجميعي الثالث

للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ.

خلال الأعوام الماضية (١٩٩٣ - ٢٠٠٣) التي شهد خلالها نظام المراقبة تحسناً ملحوظاً، كان التمدد الحراري وذوبان الجليد القاري يسببان نحو نصف ارتفاع مستوى سطح البحر (كل واحد يقدم النصف). على الرغم من وجود بعض الشكوك في التقديرات.

خلال الأعوام الأخيرة، اشترط التوافق المنطقي بين ارتفاع معدل مستوى البحر وبين كمية التمدد الحراري وخسارة الجليد القاري وضع حد أعلى لحجم تغير مخزون الماء الأرضي الذي كان بالكاد معروفاً. وأظهرت النتائج النموذجية عدم وجود توجه واضح في مخزون الماء على الأرض بسبب تغيرات حركة المناخ كما أنها أظهرت وجود عدد كبير من التبدلات العقدية إلى جانب التبدلات بين السنوات. في السنوات الأخيرة بين ١٩٩٣ - ٢٠٠٣، ظهر تعارض بسيط بين ارتفاع مستوى سطح البحر وكمية المؤثرات فيه، يمكن أن يكون (يتبع)



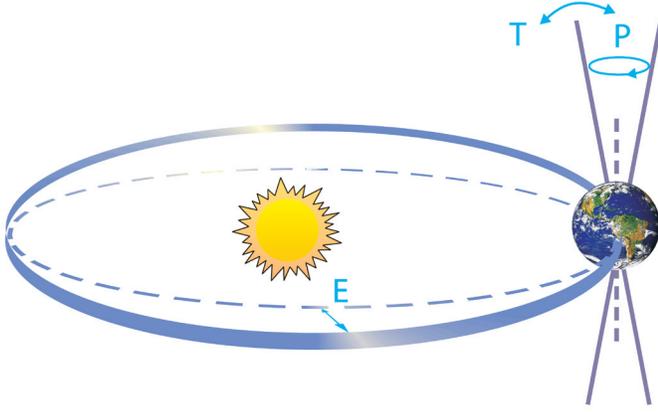
السؤال ٥-١، الرسم ١. سلاسل الوقت المتعلقة بمستوى سطح البحر النسبي العالمي (الانحرافات في نسبة الأعوام بين ١٩٨٠ و ١٩٩٩) الماضي والمتوقع في المستقبل. المعلومات حول فترة ما قبل ١٨٧٠ غير متوافرة. يدل الظل الأخضر على الشكوك في التقدير الطويل المدى لتغير مستوى سطح البحر (القسم ٣,٤,٦). يدل الخط الأحمر على إعادة بناء نسبة مستوى البحر العالمي من خلال مقياس المد والجزر (القسم ٥,٥,٢,١). ويدل الظل الأحمر إلى معدل التقلبات من منحني بسيط. يدل الخط الأخضر إلى نسبة مستوى البحر النسبي العالمي من خلال قمر صناعي لقياس الارتفاعات. يمثل الظل الأزرق معدل التوقعات النموذجية من سيناريو SRES ١١ب للقرن الواحد والعشرين المتعلق بالأعوام من العام ١٩٨٠ إلى ١٩٩٩، وتم قياسها بعيداً عن المشاهدات. ترتبط توقعات فترة ما بعد ٢١٠٠ بإصدارات السيناريو (القسم ١٠). مناقشة حول توقعات ارتفاع مستوى سطح البحر وسيناريوهات أخرى في التقرير). يمكن أن يرتفع مستوى سطح البحر بضعة أمتار على مر العصور والالفيات (القسم ١٠-٧-٤).

مستوى البحر الإقليمي نحو ٠,١٥ متراً من نسبة التوقع النموذجي. ومن المتوقع أن يتسبب التمدد الحراري بأكثر من نصف معدل الإرتفاع ولكن سيفقد الجليد القاري كتلته تدريجياً مع تقدم العصر. وهناك بعض الشكوك حول ما إذا كان تدفق الجليد من الغلاف الجليدي سيستمر بالتزايد كنتيجة لتدفق الثلج المتسارع. وسيضيف ذلك إرتفاعاً آخر على مستوى سطح البحر. لكن، لا يمكن أن تتم التوقعات التحليلية حول كمية الزيادة بمصادقية نظراً للفهم المحدود للعملية المذكورة.

يشير الرسم الأول إلى التطور في مستوى سطح البحر النسبي العالمي في الماضي وتوقع سيناريو SRES ١٥ ب للقرن الواحد والعشرين.

ناتجاً عن العمليات البشرية المنشأ غير المحددة (مثل إستخراج المياه الجوفية وتجميعها في خزانات وصرف مياه الأراضي الرطبة وإزالة الغابات). ومن المتوقع أن يرتفع مستوى سطح البحر العالمي في القرن الواحد والعشرين بمعدل يفوق معدل الفترة الممتدة بين العامين ١٩٦١ و ٢٠٠٣. وبحسب التقرير الخاص حول إصدار السيناريوهات من قبل الهيئة الحكومية الدولية، يشير السيناريو ١٥ ب لمنتصف سنة ٢٠٩٠ إلى أن مستوى سطح البحر العالمي سيسجل إرتفاعاً من ٠,٢٢ إلى ٠,٤٤ متراً أي بنسبة تفوق مستويات العام ١٩٩٠ وهو بالتالي سيزداد نحو ٤ ميليمتر في السنة. وكما في السابق، لن يكون التغير في مستوى البحر موحداً على الصعيد الجغرافي، وسيبلغ تغير

السؤال ٦-١ ما الذي تسبب بالعصور الجليدية والتغيرات المناخية الهامة الأخرى قبل الثورة الصناعية؟



السؤال ٦-١، الرسم ١. رسم حول التغيرات في حلقات الأرض (دورات ميلانكوفيتش) التي أدت إلى دور العصر الجليدي. T يدل على (الإنحناء) في محور الأرض. E يدل على تغير الإختلاف المركزي للحلقة (بسبب التغيرات في المحور الصغير لشكلها البيضواوي) P يدل على التغيرات في اتجاه إنحناء المحور في نقطة معينة من الحلقة. المصدر رامسفورت وشالونبر (٢٠٠٦).

المشابهة لتلك التي حصلت في العصور الجليدية السابقة بعد ٣٠ ألف عام. وأدى ثاني أكسيد الكربون دوراً في الغلاف الجوي في العصور الجليدية على الرغم من عدم كونه مسببها الرئيسي. وتدل المعلومات حول القلنسوة الجليدية في القطب الجنوبي إلى أن تركيز ثاني أكسيد الكربون كان قليلاً في الفترات الجليدية الباردة (~١٩٠٠ جزءاً بالمليون) في حين كان عالياً في الفترات البينية الجليدية الحارة (~٢٨٠٠ جزءاً بالمليون). ويتبع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تغيرات الحرارة في القطب الجنوبي بفارق مئات السنين. تحصل التغيرات المناخية في بداية العصور الجليدية وفي نهايتها وتتطلب مئات السنين لتأخذ مجراها، ولهذا السبب تتأثر معظم التغيرات المناخية بالتأثير التفاعلي الإيجابية لثاني أكسيد الكربون. وبنتيجة هذا التأثير، يتعزز التبريد الأولي البسيط بفضل دورات ميلانكوفيتش في حين ينخفض تركيز ثاني أكسيد الكربون. وبالتالي تنتج نماذج المناخ المركب نتائج واقعية عندما يتم استخدام ثاني أكسيد الكربون كمسبب (المناقشة في الأقسام ١٠٤٠٦).

خلال العصر الجليدي الأخير، حصل أكثر من عشرين تبديلاً مناخياً مفاجئاً ودرامياً برز بشكل ملحوظ في تسجيلات المحيط الأطلسي (القسم ٦.٤). وتختلف هذه التبدلات عن التجلدات في دورات الفترات البينية الجليدية. وعلى الأرجح يبدو أنها لا تؤدي إلى تغيرات واسعة في الحرارة النسبية العالمية: لا تتزامن التغيرات في غرينلاند والقطب الجنوبي في حين أنها متزامنة في شمال

(يتبع)

لقد تبدل المناخ على الأرض في مختلف الأوقات بما فيها فترات لم يكن يؤدي الإنسان خلالها أي دور. وحصل تطور كبير في معرفة أسباب التغيرات المناخية وآلياتها. وكانت التغيرات في ميزان الأرض الإشعاعي السبب الرئيسي خلف التغيرات المناخية، ولكن أسباب هذه التغيرات مختلفة ومتعددة وهي: العصور الجليدية والحرارة في زمن الديناصورات وتقلبات الألفيات السابقة. وينبغي تفصيل كل سبب من الأسباب على حدى. يمكن القيام بهذا الأمر بمصادقية في هذه الأيام، إذ بات مستطاعاً تجسيد عدد كبير من التغيرات السابقة بواسطة نماذج تحليلية.

يتحدد المناخ العلمي من خلال ميزان الإشعاع الأرضي (راجع السؤال ١-١). يمكن أن يتغير الميزان الإشعاعي وبالتالي يتغير المناخ من خلال ثلاث طرق هي: أولاً، التغير في الإشعاع الشمسي الوارد (من خلال التغيرات في حلقة الأرض أو في الشمس بحد ذاتها)، ثانياً، التغيرات في كسر الإشعاع الشمسي المعكوس (ويسمى هذا الكسر البياض، ويمكن أن ينتج هذا التغير من جراء التغيرات في غلاف السحب أو في سلائف صغيرة تدعى الهباء الجوي أو في غطاء الأرض)، ثالثاً، تبدل الطاقة الطويلة الموج المنعكسة مجدداً إلى الفضاء (من خلال التغيرات في تركيزات غاز الدفيئة مثلاً). ومن جهة أخرى، يعتمد المناخ المحلي على كيفية توزيع الحرارة من قبل الغيوم وعلى تيارات المحيط. وقد أدت هذه العوامل كلها دوراً في التغيرات المناخية السابقة.

في البداية العصور الجليدية: نشأت العصور الجليدية وتلاشت في دورات طبيعية على مدى ٣ ملايين سنة خلت. وتدل حقائق قوية على ارتباط هذه العصور بالتقلبات الدورية لحلقات الأرض حول الشمس، وتعرف هذه الأخيرة باسم دورات ميلانكوفيتش (راجع الرسم ١). تبدل هذه الحلقات كمية الإشعاع الشمسي الوارد إلى كل خط عرض في كل موسم (ولكنها بالكاد تؤثر على النسبة السنوية العالمية). ويمكن قياسها بواسطة بعض التحديدات الفلكية. لا يزال النقاش دائراً اليوم حول كيفية حصول العصور الجليدية وإنتهائها. ولكن تفيد دراسات عدة بأن كمية سطوع الشمس في الصيف في القارات الشمالية هامة جداً: فإذا لم تصل هذه الكمية إلى القيمة الخطر سيؤدي ذلك إلى عدم ذوبان الثلج المتراكم من الشتاء الماضي خلال الصيف وسيبدأ الغلاف الجليدي بالنمو وبالتالي سيتراكم الثلج. وتؤكد نماذج المناخ المركبة إمكانية بدء العصر الجليدي بهذه الطريقة في حين تم استخدام نماذج بسيطة مفهومية بغية تجسيد بدء هذه التجلدات بالإستناد إلى التغيرات في الحلقات. وستحدث المرحلة الثانية من تقلص التشميس في الصيف في المناطق الشمالية،

أكسيد الكربون بين الغلاف الجوي والمحيط على اليابسة. راجع المربع ٦-١ للمزيد من المعلومات حول المناخات القديمة.

تشكل التقلبات في الطاقة الصادرة عن الشمس أحد أسباب التغيرات المناخية. تشير القياسات في العقود القريبة إلى أن الصادات الشمسية اختلفت قليلاً (نحو ٠,١٪) في دورة مؤلفة من ١١ عاماً. وتدل البقع الشمسية (العائدة إلى القرن السابع عشر) والمعلومات حول النظائر الناتجة عن تأثير الإشعاع الكوني على حصول تغيرات بعيدة الأمد في الحركة الشمسية. ويشير ترابط المعلومات ونموذج المناخ المركب إلى أن التقلبية الشمسية الموجودة والنشاط البركاني كانا من الأسباب المؤدية إلى التقلبات المناخية خلال الألفية قبل بدء الحقبة الصناعية.

تسلط هذه الأمثلة الضوء على التغيرات المناخية المختلفة في الماضي وأسبابها المختلفة. والحقيقة هي أن العوامل الطبيعية تسببت بتغيرات مناخية في الماضي لا تعني أن التغير المناخي الحالي مرده طبيعي. وعليه، فإن وجود الصواعق المسببة للحرائق في الغابات لا يفضي إلى القول بأنه من المستحيل أن يكون سبب الحريق بعض المخيمين المهملين. يطرح السؤال ٢-١ سؤالاً حول مدى ارتباط التغيرات المناخية بتأثير البشر مقارنة مع تأثير الطبيعة ومدى مساهمة العنصرين فيها.

وجنوب المحيط الأطلسي. وتدلل هذه النتيجة على أن هذه التغيرات لا تحتاج إلى تغير كبير في ميزان الإشعاع العالمي بل تكفي بإعادة توزيع الحرارة داخل نظام المناخ. ومن المؤكد أن التبدلات في دوران المحيط وفي نقل الحرارة يمكن أن تشرح عدداً كبيراً من مميزات هذه الظواهر المفاجئة. تظهر المعلومات حول ترسبات الأنهار ونماذج تركيب المناخ أنه كان بالإمكان حدوث بعض هذه التغيرات من جراء عدم الاستقرار الموجود في الغلافات الجليدية المحيطة بالمحيط الأطلسي آنذاك، ويفضي ذلك إلى تدفق الماء العذب في المحيط.

وقد شهد تاريخ المناخ فترات أكثر حرارة، حصل معظمها منذ ٥٠٠ مليون سنة، ومن المرجح أن الأرض كانت خالية تماماً من الغلافات الجليدية في تلك الفترة (يستطيع علماء الجيولوجيا تأكيد ذلك من خلال الآثار التي يتركها الجليد على الصخر)، على عكس ما هي عليه في الوقت الحالي حيث يغطي الثلج غرينلاند والمحيط الأطلسي. وتعود المعلومات حول كثافة غاز الدفيئة إلى ملايين السنين، وبالتالي فإن التوصل إلى ما بعد القلنسوات الجليدية في القطب الجنوبي غير مؤكد بعد. ولكن تفيد تحليلات بعض العينات الجيولوجية تزامن الفترات الدافئة الخالية من الجليد مع مستويات مرتفعة لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. وإستناداً إلى مقياس مليون عام، تغيرت مستويات ثاني أكسيد الكربون بسبب النشاط التكتوني، ما يؤثر على معدلات تبادل ثاني

السؤال ٦-٢

هل يعتبر تغير المناخ الحالي غير إعتيادي مقارنة بالتغيرات السابقة التي حدثت في تاريخ الكرة الأرضية؟

حتى بلغ حالياً ٣٧٩ جزءاً في المليون (راجع الفصل ٢). ومن باب المقارنة، إن ارتفاع نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون إلى ٨٠ جزءاً في المليون خلال نهاية العصر الجليدي الماضي قد استغرق تقريباً أكثر من ٥٠٠٠ عاماً. وسُجّلت نسب أعلى من النسب الحالية خلال عدة ملايين من السنوات (راجع السؤال ٦-١). وتشكل درجة الحرارة متقلباً يصعب إعادة تصويبه مقارنة بإعادة تصويب ثاني أكسيد الكربون وهو غاز مخلوط بشكل جيد، لأنها غير متوفرة بالنسب نفسها في أنحاء الكرة الأرضية بحيث يكون تسجيل درجة الحرارة محدوداً مثل عينة جوفية من الجليد القطبي. ومن الممكن أن تبلغ تقلبات درجات الحرارة المحلية، بما في ذلك تلك التي سجلت خلال القرون السابقة، عدة درجات مئوية، وهي تساوي ٠,٧ درجة مئوية أعلى من نسبة الإحترار العالمي على مر القرون السابقة.

ويعتبر التحليل الذي أجري على صعيد معدلات النطاق الواسع أي على المستوى العالمي أو النصف الكروي، أكثر إفادة بالنسبة إلى التغيرات العالمية، بحيث يكون التقلب المحلي متساوياً وتكون التقلبية أقل. وتعود التغطية الكافية التي تتم من خلال التسجيلات عن طريق الآلة إلى حوالي ١٥٠ عاماً فحسب.

وبالعودة إلى الماضي، يعود تجميع البيانات غير المباشرة من حلقة شجرية ومن عينة جوفية من الجليد القطبي (إلخ). إلى آلاف السنين مع انخفاض الغطاء الفضائي في فترات سابقة (الفقرة ٦,٥). في الوقت الذي تبرز فيه الاختلافات بين هذه التحليلات وتبقى بعض الشكوك الهامة موجودة، وجدت جميع التحليلات التي نشرت أن درجات الحرارة كانت دافئة في خلال القرون الوسطى ومن ثم بردت في خلال القرن السابع عشر والثامن عشر والتاسع عشر ومن ثم دفئت سريعاً بعد ذلك. يبقى مستوى إحترار القرون الوسطى غير أكيد ولكن من الممكن أن يكون قد تم التوصل إليه مرة أخرى في منتصف القرن العشرين، لأنه في تزايد مستمر منذ ذلك الوقت. كما تدعم هذه النتائج وضع النماذج المناخية. وقبل ألفي عام، لم يتم تكديس تغيرات درجات الحرارة في معدلات على صعيد واسع، لكنها لا تقدم أي دليل على ارتفاع نسب درجات الحرارة العالمية السنوية الحالية والعائدة إلى زمن الهولوسين أي إلى ١١٦٠٠ عام (الفقرة ٦,٤). وتتوفر دلائل قوية تشير إلى أن المناخ الأكثر إحتراراً والمرفق بتقلص للعينات الجوفية من الجليد القطبي وبارتفاع مستوى البحر، هو الذي يسيطر منذ حوالي ٣ ملايين عام. ولذلك، يظهر الإحترار الحالي غير إعتيادي في خلال الألفية الماضية، لكنه لا يظهر غير إعتيادي على المدى

(يتبع)

تغير المناخ في كافة السنوات طوال تاريخ الكرة الأرضية. وتعتبر بعض مظاهر تغير المناخ الحالي إعتيادية، أما بعضها الآخر فيعتبر غير إعتيادي. وحققت تركيزات ثاني أكسيد الكربون الموجودة في الغلاف الجوي رقماً قياسياً عالياً مقارنة بالنصف مليون سنة الماضية مسجلة بذلك معدلاً سريعاً وإستثنائياً. أما درجات الحرارة العالمية الحالية فهي أكثر دفئاً من درجات الحرارة التي سُجّلت في خلال القرون الخمسة الماضية، لا بل في خلال أكثر من ألفية. وفي حال إستمر الإحترار على ما هو عليه اليوم، فستكون لتغير المناخ في خلال هذا القرن نتائج غير إعتيادية على الأصدعة الجيولوجية. ويعتبر السبب في تغير المناخ مظهراً آخر من مظاهر تغير المناخ الحالي، كون تغيرات المناخ السابقة كانت طبيعية المنشأ (راجع السؤال ٦-١). أما معظم الإحترار الذي سُجّل في خلال الخمسين سنة الماضية فمرده الأنشطة البشرية.

ويجب تسجيل ثلاثة إختلافات عندما تتم مقارنة تغير المناخ الحالي مع المناخ السابق أي الطبيعي المنشأ. أولاً، يجب تحديد العامل المتقلب الذي تتم مقارنته، هل هو تركيز غاز الدفيئة أو درجة الحرارة أو بعض معايير المناخ، وهل يُركّز هذا العامل على القيمة المطلقة أم على معدل التغير؟ ثانياً، من الضروري التمييز بين التغيرات المحلية والتغيرات العالمية. فغالباً ما تكون تغيرات المناخ المحلية أوسع من التغيرات العالمية كون العوامل المحلية كالتغيرات في دوران المحيطات والغلاف الجوي يكمن أن تحوّل إتجاه وصول الحرارة أو الرطوبة من مكان إلى آخر فضلاً عن تغيير التغذية المرتدة المحلية كالتغذية المرتدة للجليد البحري. ومن جهة أخرى، تتطلب التغيرات الواسعة في نسب درجات الحرارة العالمية بعض المجهود العالمي كتغيير تركيز غاز الدفيئة أو النشاط الشمسي. ثالثاً، من الهام التمييز بين الأطر الزمنية. فمن الممكن أن تكون تغيرات المناخ عبر ملايين السنين أكبر ولها أسباب مختلفة كالإنجراف القاري مقارنة بتغيرات المناخ في خلال مئة عام.

ويعزى السبب الرئيسي للقلق الحالي على تغير المناخ إلى ارتفاع نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي فضلاً عن زيادة بعض غازات الدفيئة، وهو أمر غير إعتيادي بالنسبة إلى الزمن الرابع الكواتيرني أي في خلال مدة المليون عام الماضية. ويُعرف حالياً تركيز ثاني أكسيد الكربون بشكل دقيق عبر الـ ٦٥٠٠٠٠ سنة الماضية من خلال العينات الجليدية الجوفية في أنتاركتيكا. وتفاوت تركيز ثاني أكسيد الكربون في خلال هذه الفترة بين ١٨٠ جزءاً في المليون خلال الأزمنة الجليدية الباردة و ٣٠٠ جزء في المليون خلال الإحترار بين عصريين جليديين. وقد ارتفع بشكل سريع في خلال القرن الأخير

بفضل تغيّرات في نقل درجة حرارة المحيط التي لا يمكن أن تؤثر على نسب درجات الحرارة العالمية.

وبالعودة إلى الماضي، وباستثناء بيانات العينات الجوفية من الجليد القطبي، فإن زمن انحلال الترسبات المركزية وغيرها من العوامل لا يؤدي إلى تحوّل هذه التغيّرات بالسرعة التي يسجلها الإحترار الحالي. ولذلك، وعلى الرغم من أن تغيّرات المناخ الواسعة سجلت في الماضي، لا وجود لأي دليل يثبت أن هذه التغيّرات قد تمّت بنسبة أسرع من الإحترار الحالي. وفي حال تحققت التوقعات في أن يبلغ الإحترار ٥ درجات مئوية في هذا القرن (المعدّل الأعلى)، فعندها ستكون الكرة الأرضية قد اختبرت النسبة نفسها من الإحترار العالمي الذي عرفته في نهاية العصر الجليدي. ما من وجود لأي دليل يثبت أن معدّل التغيّر المستقبلي العالمي المحتمل هذا يتلاءم مع أي ارتفاع في درجات الحرارة العالمية التي سُجلت في مدة ٥٠ مليون عاماً.

البعيد وتصبح التغيّرات في النشاط التكتوني الذي بإمكانه أن يؤدي إلى تغيّرات بطيئة في تركيز غاز الدفيئة، مناسبة (راجع الرسم ٦,١).

ويشكل معدّل الإحترار الحالي مشكلة أخرى. هل تم تسجيل تغيّرات المناخ العالمي السريعة في بيانات غير مباشرة؟ وسجّلت أكبر نسبة في تغيّرات درجات الحرارة في المليون سنة الماضية على صعيد الدورات الجليدية حيث إنتقلت درجة الحرارة من ٤ درجات مئوية إلى ٧ درجات مئوية بين عصر جليدي ومرحلة ما بين عصرين جليديين. وكانت التغيّرات المحلية أوسع بكثير بقرب الطبقات الجليدية القارية مثلاً. ومن جهة ثانية، تشير البيانات إلى أن الإحترار العالمي الذي حصل في نهاية العصر الجليدي قد جرى بشكل تدريجي إستغرق ٥٠٠٠ عام (الفقرة ٦,٣). وبالتالي، من الواضح أن معدّل تغيّر المناخ الحالي هو أسرع بكثير وغير إعتيادي مقارنة مع التغيّرات الماضية. ولا تشكل تغيّرات المناخ القاسية التي حصلت في خلال العصور الجليدية (الفقرة ٦,٣) أمثلة مضادة لأنها من المحتمل أن تكون قد حصلت

السؤال ٧-١

هل تعتبر الأنشطة البشرية في العصر الصناعي مسؤولة عن زيادة نسب ثاني أكسيد الكربون وسائر غازات الدفيئة الموجودة في الغلاف الجوي؟

ثاني أكسيد الكربون

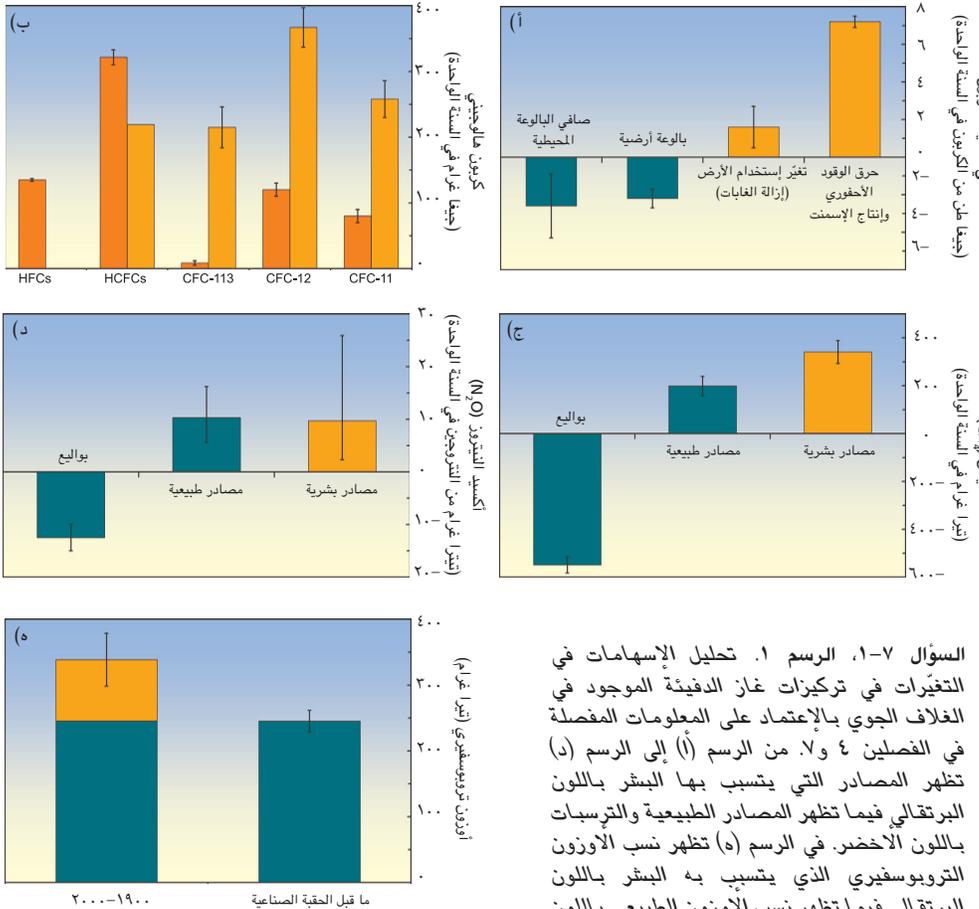
تعتبر انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (الرسم ١٨) الناتجة عن إحراق الوقود الأحفوري فضلاً عن الإسهامات الناتجة عن صناعة الإسمنت، مسؤولة عن أكثر من ٧٥٪ من زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي منذ ما قبل الثورة الصناعية. أما النسبة المتبقية من الزيادة فهي ناتجة عن تغيير استخدام الأراضي وبشكل خاص عن إزالة الغابات وحرق الكتلة الإحيائية بالإضافة إلى الإسهامات الناتجة عن تغيير الممارسات الزراعية. وتشكل الأنشطة البشرية سبب كل هذه الزيادات. ومن غير الممكن لدورة الكربون الطبيعية تفسير الزيادة التي حصلت في الغلاف الجوي والتي انتقلت من ٣,٢ إلى ٤,١ جيجا طن من الكربون في السنة الواحدة على شكل ثاني أكسيد الكربون خلال الخمس وعشرين سنة الأخيرة (يساوي واحد جيجا طن من الكربون ١٠١٥ غ من الكربون مثلاً مليار طن).

وتقود العمليات الطبيعية كالتمثيل الضوئي والتنفس والإنحلال فضلاً عن تبادل الغاز عن سطح البحر، إلى تبادلات مكثفة ومصادر وترسبات من ثاني أكسيد الكربون بين سطح الأرض والغلاف الجوي، وتقدر بحوالي ١٢٠ جيجا طن من الكربون في السنة الواحدة، وبين المحيط والغلاف الجوي المقدرة بنحو ٩ جيجا طن من الكربون (الرسم ٧,٣). وتنتج ترسبات الكربون الطبيعي عن إمتصاص كمية صغيرة من ثاني أكسيد الكربون بحوالي ٣,٣ جيجا طن من الكربون في السنة الواحدة على مر الـ ١٥ سنة الأخيرة، معوضاً بشكل جزئي الانبعاثات الناتجة عن الأنشطة البشرية. ولولا الترسيب الطبيعي الذي يمتص نصف كمية ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن الأنشطة البشرية على مر ١٥ سنة لكانت الترسيبات الطبيعية الموجودة في الغلاف الجوي إزدادات بشكل درامي.

ويعزى سبب زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى الأنشطة البشرية لأن طبيعة ثاني أكسيد الكربون الموجودة في الغلاف الجوي وبشكل خاص نسبة ذرات الكربون الثقيلة والخفيفة قد تبدلت بشكل يمكن ربطه بإضافة كربون الوقود الأحفوري. بالإضافة إلى ذلك، تدنت نسبة الأوكسجين والنيتروجين الموجودة في الغلاف الجوي فيما إزدادات نسبة ثاني أكسيد الكربون. وهذا الأمر متوقع لأن الأوكسجين يستنفد عندما يحرق الوقود الأحفوري. ويقال وجود نظير الكربون ١٣ في النباتات بينما يكثر في النباتات والوقود الأحفوري الذي يتشكل من النباتات ويكثر الكربون في المحيطات وفي الفورات البركانية وفي الانبعاثات الحرارية الأرضية. وقد تدنى مستوى

نعم، إن مرد الزيادة في نسب ثاني أكسيد الكربون الموجودة في الغلاف الجوي وفي سائر غازات الدفيئة في خلال العصر الصناعي هو الأنشطة البشرية. في الواقع، إن الزيادة الحاصلة في تركيزات ثاني أكسيد الكربون الموجودة في الغلاف الجوي لا تكشف عن الانبعاثات كافة التي يتسبب بها النشاط البشري الذي يشكل نسبة ٥٥ بالمئة فقط من نسبة ثاني أكسيد الكربون المنبعث منذ العام ١٩٥٩. أما النسبة المتبقية فممتأتية من النباتات الموجودة على سطح الأرض ومن المحيطات. وفي كل الأحوال، تحدد تركيزات غازات الدفيئة الموجودة في الغلاف الجوي ونسب إرتفاعها عن طريق التوازن ما بين المصادر أي انبعاثات الغاز من الأنشطة البشرية ومن الأنظمة الطبيعية وبين الترسيبات أي إزالة الغاز من الغلاف الجوي عن طريق تحوله إلى مركب كيميائي آخر. وإن إحراق الوقود الأحفوري، بالإضافة إلى مساهمة صغيرة من صناعة مادة الإسمنت، هما مسؤولان عن نسبة تفوق الـ ٧٥ بالمئة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ. أما تغيير استخدام الأراضي وبشكل أساسي إزالة الغابات فهو المسؤول عن النسبة المتبقية. أما بالنسبة إلى الميثان وهو غاز دفيئة آخر هام فإن الانبعاثات التي سببتها الأنشطة البشرية قد تخطت الانبعاثات الطبيعية على مر ٢٥ عاماً. وفي ما يتعلق بأكسيد النيترون فإن الانبعاثات التي سببتها الأنشطة البشرية تساوي الانبعاثات الطبيعية في الغلاف الجوي. ومعظم الغازات التي تحتوي على هالوجين والتي تعيش طويلاً كالكلورو فليورو كربون هي ناتجة عن الأنشطة البشرية وهي لم تكن موجودة في الغلاف الجوي قبل العصر الصناعي. وبالإجمال، فإن الأوزون التروبوسفيري قد إرتفع إلى نسبة ٣٨ بالمئة منذ العصور ما قبل الثورة الصناعية وتُرد الزيادة إلى التفاعلات في الغلاف الجوي لملوثة لا تعيش طويلاً منبعثة من جراء النشاط البشري. ويبلغ تركيز ثاني أكسيد الكربون حالياً ٣٧٩ جزءاً في المليون، والميثان من ١,٧٧٤ جزءاً في المليار، وكليهما بنسب مرتفعة لم تُسجل من قبل، منذ على الأقل ٦٥٠ ألف عام وذلك عندما تراوحت نسب ثاني أكسيد الكربون بين ١٨٠ و ٣٠٠ جزء في المليون والميثان تراوح بين ٣٢٠ و ٧٩٠ جزءاً في المليار. أما معدّل التغير الحالي فهو درامي ولم يسبقه مثل. فالزيادة في نسبة ثاني أكسيد الكربون لم تتخط يوماً ٣٠ جزءاً في المليون خلال آلاف الأعوام، ومع ذلك فإن ثاني أكسيد الكربون قد إزداد بنسبة ٣٠ جزءاً في المليون في خلال ١٧ عاماً فقط.

(يتبع)



وجود نظير الكربون ١٣ في الغلاف الجوي، مشيراً إلى أن الكربون الإضافي يتأتى من الوقود الأحفوري ومن النباتات. فضلاً عن ذلك، يملك الكربون نظيراً إشعاعياً نادراً وهو الكربون ١٤ المتوفر في ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي ولكنه غائب عن الوقود الأحفوري. وأظهر التناقص في كمية الكربون ١٤ أن كربون الوقود الأحفوري قد أُضيف إلى الغلاف الجوي وذلك قبل تجربة الأسلحة النووية في الغلاف الجوي.

غازات تحتوي على الهالوجين

تعتبر الأنشطة البشرية مسؤولة عن معظم تركيزات الغازات التي تحتوي على الهالوجين التي تعيش طويلاً والموجودة في الغلاف الجوي. وتوقّر قبل الثورة الصناعية القليل من الغازات التي تحتوي على الهالوجين كبروميد الميثيل وكلوريد الميثيل مثلاً. وقد ساهم تطوير تقنيات جديدة للتراكيب الكيميائية في إنتشار غازات تحتوي على الهالوجين مصنّعة كيميائياً وذلك خلال الأعوام الخمسين الأخيرة في القرن العشرين. ويظهر الرسم ١ ب إنبعاثات لغازات أساسية تحتوي على الهالوجين والناجمة عن الأنشطة البشرية. ويحدد هنا مدى عمر المركب الكربوني الفلوري الكلوري الذي يتراوح ما بين ٤٥ إلى ١٠٠ عام. أما عمر المركب الكربوني الفلوري الهيدروجيني الكلوري فيتراوح ما بين العام و١٨ عاماً ويتراوح عمر المركب الكربوني الفلوري الهيدروجيني ما بين العام و٢٧٠ عاماً. ويبقى مركب الكربوني الفلوري الهيدروجيني المشبع بالفليور غير المذكور هنا في الغلاف الجوي مئات السنين. وتستقر أو تنخفض حالياً تركيزات عدد كبير من الغازات التي تحتوي على الهالوجين بما فيها المركب (يتبع)

السؤال ٧-١، الرسم ١. تحليل الإسهامات في التغيرات في تركيزات غاز الدفيئة الموجود في الغلاف الجوي بالاعتماد على المعلومات المفصلة في الفصلين ٤ و ٧. من الرسم (أ) إلى الرسم (د) تظهر المصادر التي يتسبب بها البشر باللون البرتقالي فيما تظهر المصادر الطبيعية والترسبات باللون الأخضر. في الرسم (هـ) تظهر نسب الأوزون التروبوسفيري الذي يتسبب به البشر باللون الأخضر. (أ) مصادر ثاني أكسيد الكربون وترسباته

(جيجا طن من الكربون). في كل عام، ينبعث ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي من جراء الأنشطة البشرية بما في ذلك إحتراق الوقود الأحفوري وتغير استخدام الأراضي. ويبقى ٥٧ إلى ٦٠٪ من ثاني أكسيد الكربون المنبعث من الأنشطة البشرية موجوداً في الغلاف الجوي، ويدوب البعض في المحيطات ويدخل البعض الآخر في نمو النباتات. وتعود التدفقات المتعلقة بالأراضي إلى التسعينيات. وإن الوقود الأحفوري وصهر الإسمنت والامتصاص الصافي للمحيط يتراوح من العام ٢٠٠٠ إلى العام ٢٠٠٥. كل الأرقام والنسب المشكوك فيها هي من الجدول ٧.١.

(ب) الإنبعاثات العالمية للمركب الكربوني الفلوري الكلوري والمركبات الأخرى التي تحتوي على الهالوجين للعام ١٩٩٠ (البرتقالي الفاتح) و٢٠٠٢ (البرتقالي الداكن). وينتج البشر هذه المواد الكيميائية حصرياً. وتضم المركبات الكربونية الفلورية الهيدروجينية الكلورية المركب الكربوني الفلوري الهيدروجيني الكلوري -٢٢ -١٤١ ب و-١٤٢ ب فيما تضم المركبات الكربونية الفلورية الهيدروجينية المركب الكربوني الفلوري الهيدروجيني -٢٣، -١٢٥، -١٣٤، و-١٥٢. واحد جيجا غرام=١٠٩ غرام (١٠٠٠ طن). وتأتي معظم البيانات من تقارير أشار إليها الفصل ٢. (ج) مصادر الميثان وترسباته للفترة الممتدة بين العام ١٩٨٣ والعام ٢٠٠٤. تضم مصادر الميثان المتأينة من البشر إنتاج الطاقة ورمم الأراضي والحيوانات المجترّة كالماشية والخراف وزراعة الأرز وحرق الكتلة الإحيائية. واحد تيرا غرام = ١٠١٢ غرام (مليون طن). وتشكل الأرقام والشكوك الوسائل والإنحرافات المعيارية للميثان للأرقام الإجمالية المناسبة من الجدول ٧.٦. (د) مصادر أكسيد النترين وترسباته. تضم مصادر أكسيد النترين المتأينة من البشر تحول السماد النتروجيني إلى أكسيد النترين وإنبعاثه من التربة الزراعية وحرق الكتلة الإحيائية والمواشي وبعض الأنشطة الصناعية بما في ذلك صناعة النيلون. تشكل الأرقام والشكوك نقطة الوسط وتحديدات النسبة من الجدول ٧.٧. تأتي خسارات أكسيد النترين من الفصل ٧.٤. (هـ) الأوزون التروبوسفيري في القرن التاسع عشر والقرن العشرين وفي الفترة الممتدة بين العام ١٩٠٠ والعام ٢٠٠٠. يتسبب البشر بتزايد تكوين الأوزون التروبوسفيري الناتج من تفاعلات الملوثات الكيميائية الموجودة في الغلاف الجوي المنبعثة من حرق الوقود الأحفوري أو الوقود البيولوجي. وإن القيمة التي تسبق العصر ما قبل الصناعي والنسبة المشكوك فيها من الجدول ٤.٩ في تقرير التقييم الثالث للهيئة الدولية المعنية بتغير المناخ. المقدرة من مراقبات أعيد بناؤها. ويشكل المجموع الحالي والنسبة المشكوك فيها المعدل والإنحراف المعياري لنتائج النموذج الموجودة في الجدول ٧.٩ في هذا التقرير بإستثناء تلك المتأينة من تقرير التقييم الثالث.

أسرع من الأربعين سنة في الألفيتين التي سبقت العام ١٨٠٠. وتضم المصادر الطبيعية لأكسيد النتروز المحيطات وأكسدة الأمونيا الكيميائية الموجودة في الغلاف الجوي والتربة. وتشكل التربة الإستوائية مصدراً هاماً لأكسيد النتروز الموجودة في الغلاف الجوي. وتضم الأنشطة البشرية التي تبعث أكسيد النتروز تحوّل السماد النتروجيني إلى أكسيد النتروز وإنبعاثه تالياً من التربة الزراعية وحرق الكتلة الإحيائية وتربية المواشي وبعض النشاطات الصناعية بما في ذلك صناعة النيلون. وعندما ينبعث أكسيد النتروز يبقى في الغلاف الجوي لمدة ١١٤ سنة قبل أن يزول عن طريق التدمير في الستراتوسفير.

الأوزون التروبوسفيري

يتأتى الأوزون التروبوسفيري من التفاعلات الكيميائية الضوئية الموجودة في الغلاف الجوي التي تدخل فيها المواد الكيميائية المتقدمة كأول أكسيد الكربون والميثان والمركبات العضوية المتطايرة وأكسيد النيتروجين. وتنبعث هذه المواد الكيميائية من العمليات الإحيائية الطبيعية ومن الأنشطة البشرية بما في ذلك تغيير استخدام الأرض وإحترق الوقود. وبما أن الأوزون التروبوسفيري لا يعيش وقتاً طويلاً إذ يدوم لبضعة أيام أو أسابيع في الغلاف الجوي، تختلف نسب توزعه وتتصل بوفرة المركبات المتقدمة وبخار الماء وأشعة الشمس.

وتبدو تركيزات الأوزون التروبوسفيري أعلى بشكل ملحوظ في الهواء الحضري والرياح باتجاه المناطق الحضرية وفي مناطق حرق الكتلة الإحيائية. وتسبب البشر بزيادة ٣٨٪ (٢٠-٥٠٪) في الأوزون التروبوسفيري منذ العصر ما قبل الصناعي (الرسم ٥١).

ومن المحتمل أن الزيادة في الدفع الإشعاعي المشترك من ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النتروز هو ست مرات أسرع بين العام ١٩٦٠ والعام ١٩٩٠ من الأربعين سنة خلال الألفيتين التي سبقت العام ١٨٠٠.

الكربوني الفلوري الكلوري، على سطح الأرض كنتيجة لبروتوكول مونتريال المتعلق بالمواد المستنفدة لطبقة الأوزون وتعديلاته. وترتفع حالياً تركيزات المركب الكربوني الفلوري الهيدروليجي الكلوري الذي يجب أن يتوقف إنتاجه في العام ٢٠٣٠، فضلاً عن غازات المركب الكربوني الفلوري الهيدروليجي المشبع بالفلور وهي غازات بروتوكول كيوتو.

الميثان

تفوق مصادر الميثان الموجودة في الغلاف الجوي المتأتية من الأنشطة البشرية، مصادر الميثان المتأتية من الأنظمة الطبيعية (الرسم ١ ج). بين العام ١٩٦٠ والعام ١٩٩٩، إزدادت تركيزات الميثان بمعدل حوالي ست مرات أسرع من الأربعين سنة الماضية في الألفيتين قبل العام ١٨٠٠ على الرغم من إنعدام أي معدل نمو منذ العام ١٩٨٠. وتشكل الأراضي الرطبة المصدر الطبيعي الرئيسي لوجود الميثان في الغلاف الجوي. وتضم المصادر الطبيعية الإضافية النمل الأبيض والمحيطات والنباتات وهيدرات الميثان. وتضم الأنشطة البشرية التي تنتج الميثان، إنتاج الطاقة من الفحم والغاز الطبيعي وجمع النفايات في الردم الأرضي وتربية الحيوانات المجترة كالمواشي والخراف وزراعة الأرز وحرق الكتلة الإحيائية. وعندما ينبعث الميثان، يبقى حوالي ٨,٤ سنة في الغلاف الجوي قبل أن يزول عبر الأكسدة الكيميائية في التروبوسفير بشكل خاص. وتضم ترسيبات الميثان الأقل أهمية إمتصاص التربة والتدمير النهائي في الستراتوسفير.

أكسيد النتروز

تتساوى تقريباً مصادر أكسيد النتروز الموجودة في الغلاف الجوي من جراء الأنشطة البشرية ومصادر أكسيد النتروز المتأتية من الأنظمة الطبيعية (الرسم ١ د). بين العام ١٩٦٠ والعام ١٩٩٩، إزدادت تركيزات أكسيد النتروز مرتين

لبعض العمليات الفيزيائية. وتتصل الشكوك بنقل صورة السحب وإستجابة السحب إلى تغيّر المناخ. وبالتالي، لا تزال النماذج تظهر نسبة حقيقية لتغيّر درجة الحرارة العالمية بسبب تأثير غازات الدفيئة (راجع الفصل ١٠). وعلى الرغم من شكوك مماثلة، تأتي النماذج مجمعة في تنبؤ إحترار المناخ الحقيقي بسبب تزايد غازات الدفيئة ويأتي هذا الإحترار على مدى كبير مع التقديرات المستقلة المتأتية من المصادر الأخرى كتغيّرات المناخ المرصودة وإعادة بناء صورة المناخ السابق.

وبما أن الثقة في التغيّرات التي تظهرها النماذج تقل على المستويات الأصغر، تم تطوير تقنيات أخرى كإستخدام نماذج المناخ الإقليمية أو طرق تخفيض المستوى لدراسة تغيّر المناخ على المستوى المحلي والإقليمي (راجع السؤال ١١،١). تتطور النماذج العالمية وتمسي أكثر وضوحاً، فتصبح هامة للتحقق من الخصائص على المستوى الأصغر كالتغيّرات في أحداث الطقس الكبيرة، ومن المتوقع أن يتحسن نقل الصورة على المستوى الإقليمي مع زيادة قوة الحاسوب. وأصبحت النماذج أكثر شمولية في تعاملها مع نظام المناخ فتظهر بوضوح أكبر عمليات فيزيائية إحيائية وفيزيائية وتفاعلات تعتبر هامة جداً لتغيّر المناخ، خاصة في أطر زمنية أطول. والمثال عن ذلك هو إدخال إستجابة النباتات وتفاعلات المحيط الإحيائية والكيميائية ودينامية طبقة الجليد في بعض نماذج المناخ العالمي.

باختصار، تأتي الثقة في النماذج من جراء قاعدتها الفيزيائية ومهارتها في إظهار صورة المناخ المرصود وتغيّرات المناخ السابقة. وأظهرت النماذج أنها أدوات هامة للغاية لمحاكاة المناخ وفهمه. وبرزت الثقة بها لأنها قادرة على تقديم تقديرات عددية حقيقية لتغيّر المناخ في المستقبل خاصة على المستويات الأوسع. ولا تزال النماذج تعاني من تقييدات هامة كنقل صورة السحب التي تؤدي إلى شكوك على صعيد المدى والتوقيت فضلاً عن التفاصيل الإقليمية لتغيّر المناخ المتوقع. ولكن على مر عقود عدة من تطوير النموذج، قدمت النماذج صورة كبيرة وواضحة لإحترار المناخ بسبب زيادة غازات الدفيئة.

ويأتي مصدر الثقة الثالث من قدرة النماذج على إظهار خصائص المناخات السابقة وتغيّرات المناخ. واستخدمت النماذج لمحاكاة المناخات السابقة كالإحترار في منتصف زمن الهولوسين منذ ٦٠٠٠ سنة أو العصر الجليدي الأخير منذ ٢١٠٠٠ سنة كحد أقصى (راجع الفصل ٦). ومن الممكن أن تظهر خصائص عديدة، ما يسمح للشكوك بإعادة بناء المناخات السابقة كالمقدار والمثل الواسع المدى للتبريد المحيطي في خلال العصر الجليدي الأخير. وتستطيع النماذج أن تحاكي أيضاً خصائص عديدة رُصدت لتغيّر المناخ من خلال آلة التسجيل. والمثل المعطى هو أنه من الممكن رسم ميل درجة الحرارة العالمية على مر القرن الماضي (الرسم ١) بمهارة كبيرة عندما يتم أخذ العوامل البشرية والطبيعية التي أثرت على المناخ، بعين الإعتبار. وتظهر النماذج تغيّرات أخرى رُصدت كالتزايد السريع في درجة حرارة الليل أكثر من درجة حرارة النهار فضلاً عن الدرجة الأوسع للإحترار في القطب الشمالي والتبريد العالمي القصير المدى (والإسترداد التالي) التي تلت الانفجارات البركانية الكبيرة كالتي حدثت في جبل بيناتوبو في العام ١٩٩١ (راجع السؤال ١-٨، الرسم ١). وجاءت توقعات نموذج درجة الحرارة العالمية في خلال العقدين الماضيين على توافق كامل مع المراقبات التالية في خلال تلك الفترة (راجع الفصل ١).

لكن لا تزال النماذج تحتوي على أخطاء كبيرة. وعلى الرغم من أن هذه الأخطاء أكبر على المستويات الأصغر، تبقى المشاكل الهامة على المستوى الأوسع موجودة. فمثلاً، يبقى النقص على صعيد محاكاة التهطل الإستوائي، إي التذبذب الجنوبي/ النينيو وتذبذب مادن جوليان (تغيّر رصد في الرياح الإستوائية والمطر في فترة زمنية تمتد بين ٣٠ و٩٠ يوماً). ويكمن مصدر معظم الأخطاء المماثلة في أن العمليات الهامة على النطاق الصغير لا يمكن أن تظهر بوضوح في النماذج وبالتالي يجب أن تدخل في شكل تقريبي فيما تتفاعل مع خصائص على نطاق أوسع. ويعزى سبب ذلك إلى التقييدات في قوة الحاسوب ولكنه ناتج أيضاً عن التقييدات في الفهم العلمي أو توافر المراقبات المفصلة

السؤال ٩-١

هل من الممكن تفسير وقوع الأحداث المتطرفة الفردية عن طريق الاحترار الدفيئي؟

الشمسية الكافية لتسخين الأرض، لأن نسبة أقل من الطاقة قد استهلكت في تبخر الرطوبة من التربة. بالإضافة إلى ذلك، يتطلب تكوين الإعصار درجات حرارة عالية عند سطح البحر فضلاً عن شروط محددة لدوران الغلاف الجوي. ومن غير السهل اكتشاف التأثير البشري على ظاهرة محددة لأنه من الممكن أن تتسبب الأنشطة البشرية، كدرجات حرارة مياه سطح البحر، ببعض العوامل، ولكن قد لا يكون بعضها الآخر بشري المنشأ.

وعلى الرغم من ذلك، يمكن استخدام النماذج المناخية لتحديد ما إذا كانت التأثيرات البشرية قد بدلت بعض أنواع الأحداث المتطرفة. فعلى سبيل المثال، وفي ما يتعلق بموجة الحر التي ضربت أوروبا في العام ٢٠٠٣، لم يتضمن النموذج المناخي سوى التغيرات التاريخية في العوامل الطبيعية التي أثرت على المناخ كالنشاط البركاني فضلاً عن تغيرات في التوليد الشمسي. كما يشمل النموذج على العوامل البشرية والطبيعية معاً التي أنتجت محاكاة لتطور المناخ الأوروبي الذي بدأ قريباً جداً مما حصل حالياً. وبناء على هذه التجارب، يُقدّر أن تكون التأثيرات البشرية على مدى القرن العشرين قد ضاعفت خطر حدوث صيف أوروبي حار كصيف العام ٢٠٠٣، ومع غياب التأثيرات البشرية فإن الخطر قد يكون واحداً في خلال مئات السنين. وقد تطرح الحاجة إلى تصميم نموذج مفصل بغية تقدير التغير في الخطر لوقوع أحداث متطرفة محددة كظهور سلسلة من الليالي الحارة جداً في منطقة حضرية كباريس.

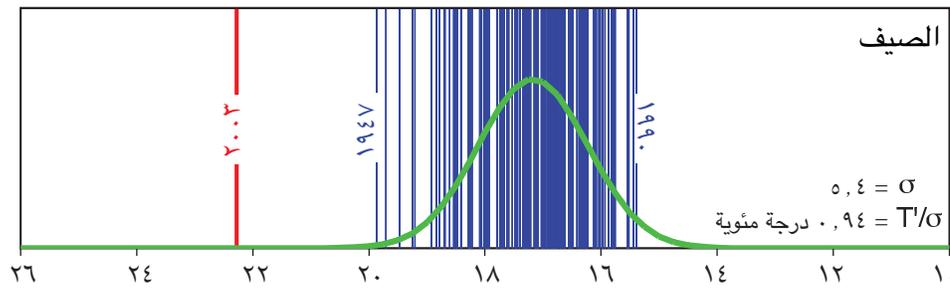
(يتبع)

يتوقع أن تكون التغيرات المناخية العنيفة متعلقة بإحترار المناخ وذلك نتيجة إرتفاع كمية غازات الدفيئة الموجودة في الغلاف الجوي والناجمة عن الأنشطة البشرية كاستخدام الوقود الأحفوري مثلاً. لذلك، إن تحديد ما إذا كان لحادثة متطرفة معينة سبباً محدداً كإرتفاع غازات الدفيئة، هو أمر صعب لا بل مستحيل لسببين. أولاً، يكون إشتراك العديد من العوامل هو السبب في حصول الأحداث المتطرفة. ثانياً، يعتبر حدوث سلسلة واسعة من الأحداث المتطرفة أمراً طبيعياً حتى في المناخات غير المتغيرة. وفي جميع الأحوال، يشير تحليل الإحترار على مدى القرن الماضي إلى أن نسبة إحتمال وقوع بعض الأحداث المتطرفة كالأعاصير الحرارية قد إرتفعت بسبب الإحترار الدفيئي، كما أن نسبة إحتمال وقوع بعض الأحداث الأخرى كالتجمد أو الليالي الباردة جداً قد إنخفضت. وعلى سبيل المثال، تشير دراسة حديثة إلى أن التأثيرات البشرية قد ضاعفت خطر حدوث صيف أوروبي حار جداً مثلما جرى في العام ٢٠٠٣.

غالباً ما يتساءل الأشخاص المتأثرون بحادثة طقس عنيفة ما إذا كانت التأثيرات البشرية على المناخ هي المسؤولة عما جرى. وقد شهدت السنوات الماضية الأخيرة وقوع أحداث متطرفة، ربطها بعض المعلقين بإرتفاع غازات الدفيئة. ومن بين هذه الأحداث، يحضر الجفاف المستمر في أستراليا والصيف الحار جداً في أوروبا في العام ٢٠٠٣ (الرسم أ) فضلاً عن موسمي ٢٠٠٤ و٢٠٠٥ للأعاصير في المحيط الأطلسي الشمالي وأحداث تساقط الأمطار

العنيفة في مومباي في الهند في خلال شهر تموز/ يوليو ٢٠٠٥. هل من الممكن أن تكون التأثيرات البشرية كإرتفاع تركيزات غازات الدفيئة الموجودة في الغلاف الجوي هي السبب في حصول أي من هذه الأحداث؟

تنتج الأحداث المتطرفة عادةً عن مجموعة عوامل. فعلى سبيل المثال، ساهم العديد من العوامل في حدوث صيف أوروبي حار جداً في العام ٢٠٠٣، بما في ذلك نظام متواصل من الضغط العالي رافقته سماء نقية جداً وترربة جافة، ما أدى إلى توفر كمية من الطاقة



سؤال ٩-١، الرسم ٩-١: بلغت درجات الحرارة الصيفية في سويسرا في الفترة الممتدة من العام ١٨٦٤ إلى العام ٢٠٠٣ معدل ١٧ درجة مئوية كما يظهره الخط المنحني الأخضر. تخطت درجات الحرارة خلال الصيف الحار جداً في العام ٢٠٠٣ معدل ٢٢ درجة مئوية كما يشير الخط الأحمر (يشير الخط العمودي إلى كل عام من ١٢٧ عاماً من التسجيل). ويشار إلى توزيع كاوسين باللون الأخضر. تمت الإشارة إلى الأعوام ١٩٠٩ و١٩٤٧ و٢٠٠٣ لأنها تمثل السنوات الأعنف في التسجيل. وتشير النسب في أدنى زاوية اليسار إلى الإنحراف المعياري وشذوذ العام ٢٠٠٣ الذي عاد إلى وضعه الطبيعي من جراء الإنحراف المعياري ما بين العام ١٨٦٤ والعام ٢٠٠٠.

المناخي المبني على التقلبية المناخية، ويجب تالياً على النماذج المناخية المستخدمة أن تمثل بشكل صحيح هذه التقلبية. ومن الممكن استخدام هذه المقاربة التقريبية لتفحص التغيرات في تواتر تساقط الأمطار العنيف أو الفيضانات. وتتوقع النماذج المناخية أن التأثيرات البشرية ستسبب ارتفاعاً في عدة أنواع من الظواهر المتطرفة بما فيها التساقط الحاد للأمطار. ويوجد دليل على أنه في العصور الحالية إزداد تساقط الأمطار الحاد في بعض المناطق ما أدى إلى ارتفاع في نسب الفيضانات.

ومن الممكن استخدام مقاربة مبنية على أرجحية - «هل يغير التأثير البشري في مسار أرجحية حادثة ما؟» - لتقدير تأثير العوامل الخارجية كارتفاع غازات الدفيئة، على تواتر أنواع محددة من الأحداث كالأمواج الحرارية أو الجليد. وعلى الرغم من ذلك، تبقى التحليلات الإحصائية الدقيقة مطلوبة كون الأحداث المتطرفة التي من الممكن أن تحصل كجليد في ربيع متأخر، قابلة لتبدل بسبب التغيرات في التقلبية المناخية فضلاً عن التغيرات في الشروط المناخية. وتعتمد مثل هذه التحليلات على النموذج

هل من الممكن تفسير إحترار القرن العشرين عن طريق التقلبية الطبيعية؟

وتضم العوامل الخارجية الطبيعية التي تؤثر على المناخ النشاط البركاني والتقلبات في التوليد الشمسي. وتبعث الفورات البركانية كميات كبيرة من الغبار والهباء الذي يحتوي على نسبة عالية من السلفات في الغلاف الجوي وتحجب الأرض عن الأنظار مؤقتاً وتعكس أشعة الشمس إلى الفضاء. ويملك التوليد الشمسي ١١ دورة في السنة وقد يملك أيضاً تقلبات على المدى الطويل. وتسببت الأنشطة البشرية في السنوات المئة الماضية، خاصة لجهة حرق الوقود الأحفوري، بتزايد سريع في ثاني أكسيد الكربون وأنواع أخرى من غازات الدفيئة الموجودة في الغلاف الجوي. وقبل الثورة الصناعية، كانت تركيزات هذه الغازات مستقرة لآلاف السنوات. وتسببت الأنشطة البشرية أيضاً بتزايد تركيزات الجسيمات العاكسة الدقيقة أو الأهباء في الغلاف الجوي خاصة خلال الخمسينيات والستينيات.

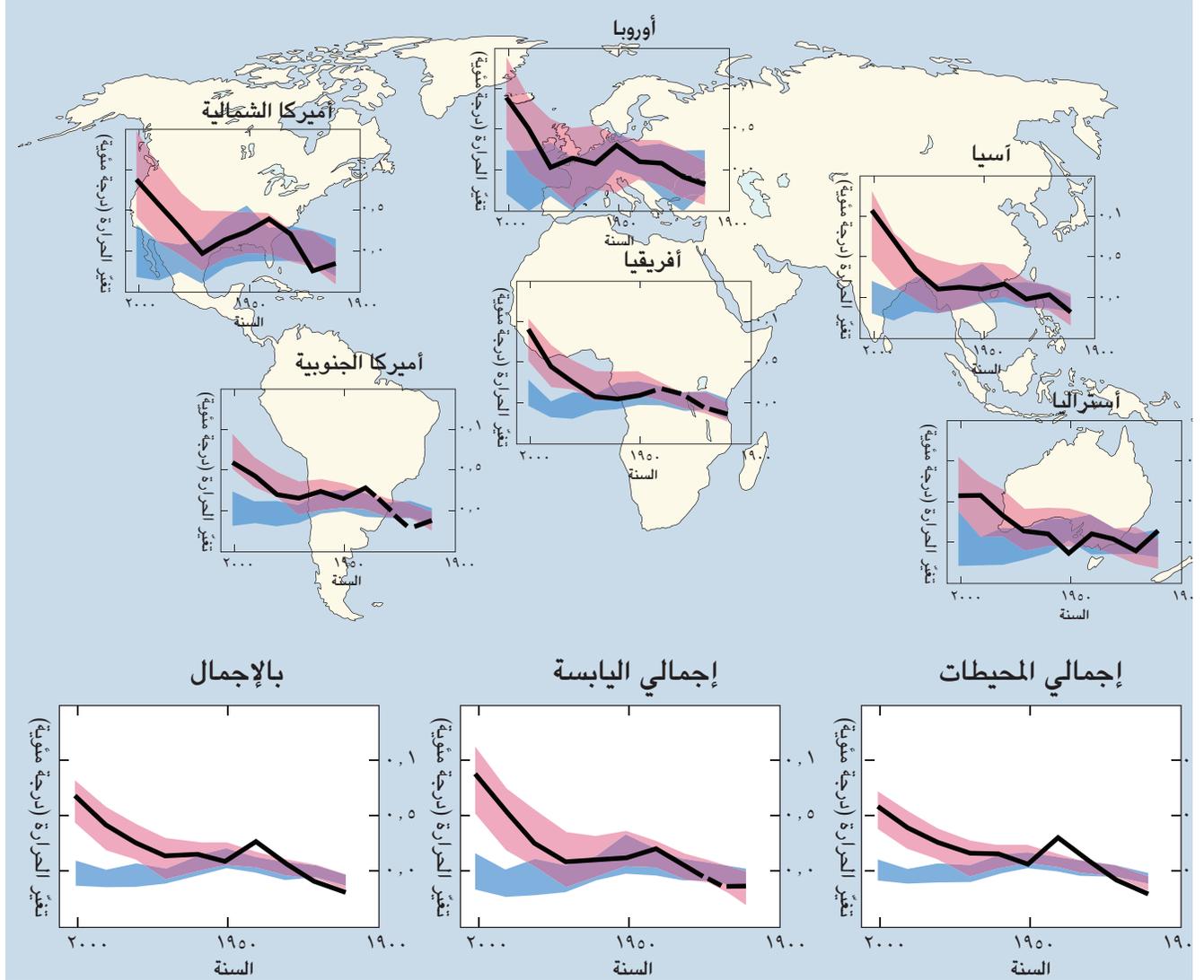
وعلى الرغم من أن عمليات المناخ الداخلية الطبيعية كالتذبذب الجنوبي / النينو قد تسبب بتقلبات في درجة الحرارة العالمية لفترات قصيرة بعض الشيء، تشير التحليلات إلى أن جزءاً كبيراً منها مرده إلى العوامل الخارجية. وتلك الفورات البركانية الأساسية كفورة بركان جبل بيناتوبو في العام ١٩٩١ فترات محدودة من التبريد العالمي. وفي الجزء الأخير من القرن العشرين، إرتفعت درجات الحرارة العالمية وإرتفعت أيضاً تركيزات غاز الدفيئة وكان التوليد الشمسي يرتفع وخف النشاط البركاني. وفي خلال الخمسينيات والستينيات، ساهم إنخفاض معدل درجات الحرارة العالمية وإزدياد الهباء من جراء الوقود الأحفوري والمصادر الأخرى، في تبريد الكوكب. وبعث إنفجار جبل أغونغ في العام ١٩٦٣ كميات كبيرة من الغبار العاكس في الغلاف الجوي العلوي. وحدث الإحترار السريع الذي رصد في السبعينيات في فترة سيطر فيها إزدياد غاز الدفيئة على العوامل الأخرى كافة.

وتم إجراء عدد من التجارب بإستخدام نماذج المناخ لتحديد الأسباب التي تقف وراء تغير المناخ في القرن العشرين. وتشير هذه التجارب إلى أن النماذج لا تستطيع أن تنقل الإحترار السريع الذي رصد في القرون الماضية عندما تم الأخذ بعين الإعتبار بالتقلبات في التوليد الشمسي والنشاط البركاني. لكن كما يظهر في الرسم ٨، تستطيع النماذج أن تحاكي التغيرات التي رصدت في القرن العشرين على صعيد درجة الحرارة عندما تضم العوامل الخارجية الأكثر أهمية بما في ذلك الأنشطة البشرية من مصادر، كغازات الدفيئة والعوامل الخارجية الطبيعية. وظهرت الإستجابات التي تم تقديرها في النموذج في هذه العوامل الخارجية في المناخ العالمي في القرن العشرين وفي كل قارة بإستثناء أنتاركتيكا حيث لم يتم إجراء مراقبات كافية. وسيطر تأثير البشر

(يتبع)

من المستبعد أن يتم تفسير إحترار القرن العشرين عن طريق الأسباب الطبيعية. وقد كان القرن العشرين الأكثر إحتراراً بشكل غير إعتيادي. وأظهرت إعادة بناء البيانات حول المناخات القديمة أن النصف الثاني من القرن العشرين كان الأكثر دفئاً في السنوات الخمسين الأخيرة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية في خلال ١٣٠٠ سنة الماضية. ويتناسب هذا الإحترار السريع والفهم العلمي لكيفية إستجابة المناخ لإرتفاع سريع في غازات الدفيئة كالذي حصل في القرن الماضي، ولا يتناسب الإحترار والفهم العلمي لكيفية إستجابة المناخ إلى العوامل الخارجية الطبيعية كالتقلبية في التوليد الشمسي والنشاط البركاني. وتقدم النماذج المناخية أدوات مناسبة لدراسة التأثيرات المتعددة على مناخ الكرة الأرضية. وتنتج النماذج محاكاة جيدة للإحترار الذي حصل على مدى القرن الأخير، وذلك عندما يتم تضمين تأثيرات إرتفاع نسب غازات الدفيئة في النماذج فضلاً عن تضمين العوامل الطبيعية الخارجية. وتفشل النماذج في إعادة نقل الإحترار المرصود عندما لا تتضمن سوى العوامل الطبيعية. عندما يتم تضمين العوامل البشرية، تحاكي النماذج مثلاً جغرافياً لتغير درجات الحرارة حول الكرة الأرضية وهو أمر مماثل لما جرى في العصور الحديثة. ويختلف النموذج الفضائي هذا وذلك الذي أظهر إحتراراً كبيراً على مستوى المناطق الشمالية العالية، عن أهم نماذج تقلبية المناخ الطبيعي والمتعلق بعمليات المناخ الداخلية كالتذبذب الجنوبي / النينو.

تتسبب العمليات الداخلية الطبيعية كالتذبذب الجنوبي / النينو والتغيرات في التأثيرات الخارجية بالتقلبات في مناخ الأرض على مر الزمن. ومن الممكن أن تكون هذه التأثيرات الخارجية طبيعية كالنشاط البركاني والتقلبات في التوليد الشمسي، أو من الممكن أن يتسبب بها النشاط البشري كإنبعاثات غازات الدفيئة والأهباء البشرية المنشأ وثقب الأوزون وتغير إستخدام الأراضي. ومن الممكن تقدير الدور الذي تؤديه العمليات الداخلية الطبيعية عبر دراسة التقلبات التي رصدت في المناخ وعبر إرساء نماذج خاصة بالمناخ من دون تغيير أي من العوامل الخارجية التي تؤثر على المناخ. ومن الممكن تقدير تأثير العوامل الخارجية من خلال النماذج عبر تغيير هذه العوامل وعبر إستخدام الفهم الفيزيائي للعمليات المعنية. كما من الممكن تقدير تأثيرات التقلب الداخلي الطبيعي والعوامل الخارجية الطبيعية بالإعتماد على المعلومات المسجلة حول المناخ في حلقات الشجرة والعينات الجوفية من الجليد القطبي والأنواع الأخرى من ميزان الحرارة الطبيعي قبل العصر الصناعي.



السؤال 9-2. الرسم 1. التغيرات في درجات الحرارة بحسب المعدل من العام 1901 إلى العام 1950 (درجة مئوية) من قرن إلى قرن من العام 1906 إلى العام 2005 في قارات الأرض فضلاً عن الكرة الأرضية كلها ومنطقة الأرض العالمية والمحيط العالمي (الصور الأدنى). يشير الخط الأسود إلى تغير في درجة الحرارة المرصود، فيما تشير الأشربة الملونة إلى المعدل الذي غطى 90٪ من محاكاة النماذج الأخيرة. يشير اللون الأحمر إلى المحاكاة التي تضم العوامل البشرية والطبيعية فيما يشير اللون الأزرق إلى المحاكاة التي تضم العوامل الطبيعية فحسب. تشير الخطوط السوداء إلى العقود والمناطق القارية التي لا تحظى بمراقبات كبيرة. من الممكن إيجاد الوصف المفصل لهذا الرسم والمنهجية المتبعة في تصميمه في المادة الإضافية في الملحق 9 ت.

وتُبيّن العوامل الخارجية الطبيعية. وتبين النماذج والمراقبات الإحترار في الجزء الأدنى من الغلاف الجوي (التروبوسفير) والتبريد الأعلى في الستراتوسفير. ويشكل ذلك دليلاً على التغير الذي يُبين تأثير البشر على المناخ. وإذا كان الإزدياد في التوليد الشمسي مسؤولاً عن إحترار المناخ الأخير، فإن كل من التروبوسفير والتراستوسفير يعاني من الإحترار. فضلاً عن ذلك، تساعد الاختلافات في توقيت التأثيرات البشرية والتأثيرات الخارجية الطبيعية على التمييز بين إستجابة المناخ إلى هذه العوامل. وتزيد هذه الإعتبارات من الثقة في أن البشر وليس العوامل الطبيعية كانوا السبب المباشر للإحترار الحراري (يتبع)

على المناخ على كل أسباب تغير معدل درجة حرارة سطح الأرض العالمية في خلال نصف القرن الماضي.

ويأتي الشك من عدم إكمال المعرفة في بعض العوامل الخارجية كالهباء البشري المنشأ. فضلاً عن ذلك، تعتبر النماذج المتعلقة بالمناخ غير كاملة. لكن تحاكي النماذج كافة مثلاً عن إستجابة إزدياد غاز الدفيئة المتأني من الأنشطة البشرية وهو شبيه بالمثل الذي رصد في التغير. ويضم هذا النموذج إحتراراً أكبر على الأرض من الإحترار في المحيطات. ويساعد نموذج التغير هذا، الذي يختلف عن النماذج الأساسية المتعلقة بتغير درجة الحرارة المتصلة بالتقلبية الداخلية الطبيعية، على التفريق تبين الإستجابة إلى غازات الدفيئة

الذي رصد على مر السنوات الخمسين الماضية.

وتقدّم التقديرات في درجات حرارة النصف الشمالي من الكرة الأرضية على مر الألفية الأولى والثانية بالإعتماد على ميزان الحرارة الطبيعي كحلقات الشجرة التي تختلف بالعرض أو بالكثافة فيما تتغير درجة الحرارة وتسجيلات الطقس التاريخية، دليلاً إضافياً على أنه لا يمكن تفسير الإحترار في القرن العشرين بالإعتماد على التقلبية الداخلية الطبيعية وعوامل التأثير الخارجية الطبيعية. وتزيد الثقة في هذه التقديرات لأن، قبل الثورة الصناعية، كان ممكناً تفسير معظم التقلّب الذي رُصد في معدّل درجات الحرارة في

النصف الكروي الشمالي بالتبريد العرضي الذي تسببت به الفورات البركانية الكبيرة والتغيرات في التوليد الشمسي. ويتناسب التقلّب المتبقي مع التقلبية التي تمت محاكاتها في النماذج المتعلقة بالمناخ في غياب العوامل الخارجية البشرية المنشأ والطبيعية. فيما يبرز شك في تقديرات درجات الحرارة السابقة التي تُظهر أن النصف الثاني من القرن العشرين كان أكثر إحتراراً من فترة الخمسين سنة خلال الـ ١٣٠٠ سنة الماضية. وإن تقلبية المناخ المقدّرة التي تسببت بها العوامل البشرية صغيرة، مقارنة بالإحترار القوي الذي حصل في القرن العشرين.

السؤال ١٠-١ هل يتوقع أن تتغير الظواهر المتطرفة، كموجات الحر والجفاف والفيضان، بتغير مناخ الأرض؟

للمطر المتوسط أن يزداد والمستويات الجفاف القصوى أن تصبح أكثر حدة في المناطق حيث يُتوقع إنخفاض متوسط التهطل. وتوافقاً مع نتائج «الظواهر المتطرفة» المتزايدة من التهطل الشديد، وحتى إن لم تتغير قوة العواصف في المناخ المستقبلي، ستزداد كثافة هطول الأمطار. وخاصةً في النصف الشمالي من الكرة، يُتوقع زيادة إمكانية حلول فصول شتاء رطبة جداً في وسط أوروبا وشمالها نظراً إلى ارتفاع كثافة التهطل خلال ظواهر العواصف، مرجحة حصول فيضان في أوروبا ومناطق أخرى ذات خط العرض المتوسط بسبب كثافة هطول الأمطار وظواهر تساقط الثلوج منتجة المزيد من المتساقطات. تنطبق نتائج مماثلة على أمطار الصيف متضمنة المزيد من الفيضانات في منطقة الرياح الموسمية الآسيوية والمناطق الإستوائية الأخرى. يرتبط تزايد خطر الفيضانات في عدد من أحواض النهر الكبير في ظل مناخ مستقبلي أكثر إحتراراً بزيادة في تصريف مياه النهر توازياً مع تزايد خطر عواصف مستقبلية قوية متعلقة بظواهر هطول الأمطار والفيضان. سيكون بعضها مجرد تداعيات التوجهات الحالية. وأشارت بعض دراسات النمذجة إلى إن الأعاصير الإستوائية المستقبلية قد تصبح أكثر حدة مع سرعة رياح أكبر وأمطار أكثر غزارة. واقترحت الدراسات أن تغيرات مماثلة قد تكون جارية: حتى أن بعض المؤشرات تدل على أن الأعاصير التي بلغت درجتها ٤ و ٥ في السنة قد إزدادت خلال السنوات الثلاثين الأخيرة.

توقعت بعض دراسات النمذجة إنخفاضاً في عدد الأعاصير الإستوائية بسبب استقرار متزايد في طبقة الغلاف الجوي السفلى (التروبوسفير) في مناخ أكثر إحتراراً، وهي تتميز بعواصف خفيفة معدودة وعدد أكبر من العواصف الهوجاء. أبدت كذلك بعض دراسات النمذجة ميلاً عاماً لعواصف حادة ولكن قليلة، خارج المناطق الإستوائية مع ميل نحو الظواهر الهوائية المتطرفة وأمواج محيطات أعلى في عدة مناطق مرتبطة بتلك الأعاصير التي إزدادت حدتها. كما تُسقط النماذج نقلة قطبية الإتجاه لعواصف العواصف في نصفي الكرة وذلك بدرجات عدة من خطوط الطول.

نعم، من المتوقع أن يتغير نوع الظواهر وتواترها وكثافتها بتغير مناخ الأرض، وقد تطرأ هذه التغيرات حتى متوسط صغير نسبياً لتغير المناخ. سبق وطرات تغيرات على بعض أنواع الظواهر المتطرفة كارتفاعات في تواتر موجات الحر وكثافتها وكذلك ظواهر التهطل الحاد. (راجع السؤال ٣،٣)

ففي مناخ مستقبلي أكثر إحتراراً، من المحتمل أن يزداد خطر موجات حر طويلة الأمد وأكثر كثافة وتواتراً. إن موجة الحر الأوروبية في العام ٢٠٠٣ هي خير دليل على مستوى الحر الشديد الذي يمتد من بضعة أيام إلى أكثر من أسبوع، ويُحتمل أن يصبح أكثر شيوعاً في مناخ مستقبلي أكثر دفئاً. وتدل إحدى أوجه الحرارة القصوى على إمكانية إنخفاض في درجة الحرارة اليومية (خلال النهار) في معظم المناطق. ومن المرجح أيضاً أن يتخلل مناخ مستقبلي أكثر دفئاً أيام صقيع معدودة (في الليل مثلاً حين تنخفض درجة الحرارة إلى ما دون الصفر). تتعلق فترة النمو الفصلية بعدد أيام الصقيع يُتوقع أن تزداد كلما دفى المناخ. ويُحتمل أن يهبط تواتر الإنتشار الهوائي البارد (في فترات البرد القارس مثلاً الممتد من بضعة أيام إلى أكثر من أسبوع) في النصف الشمالي من الكرة في فصل الشتاء، في معظم المناطق، على الرغم من وجود إستثناءات في مناطق الإنخفاض الأصغر للبرد القارس، غربي شمال أميركا والشمال الأطلسي وجنوب أوروبا وآسيا بسبب تغيرات الدوران الجوي.

وفي مناخ مستقبلي أكثر دفئاً، تتوقع أكثر نماذج الدوران العام للغلاف الجوي والمحيطات جفافاً متزايداً في الصيف وبللاً في الشتاء في معظم أجزاء خطوط العرض الشمالية العالية والمتوسطة. ويشير جفاف الصيف إلى خطر جفاف أكبر. ويرافق خطر الجفاف هذا، تزايداً في فرصة تدفق الأمطار والفيضان بسبب قدرة أعظم على حفظ المياه في جو أكثر إحتراراً. كان هذا ملاحظاً ويُتوقع أن يستمر لأن، في عالم أكثر إحتراراً، التهطل يميل إلى أن يكون مركزاً في ظواهر أكثر حدة، مع فترات من تهطل قليل بين ظاهرتين متطرفتين. لذلك، سيتخلل الإنهيارات الحادة والثقيلة فترات طويلة الأمد من الجفاف النسبي. وجه آخر من أوجه التغيرات المتوقعة هو أن تصبح من المتوقع أن تصبح درجات الرطوبة القصوى أكثر حدة في مناطق متعددة حيث يُتوقع

ما هي أرجحية تغيرات المناخ الرئيسي والمفاجئ كفقْدان الأغطية الجليدية أو تغيرات الدوران العالمي للمحيطات؟

وعلى الرغم من كونه سمة مستقرة من دوران المحيطات العام، فإن إمتداده الشمالي الذي يغذي تشكّل المياه في عمق بحار غرينلاند النروجية، وبذلك يوزع كميات كبيرة من الحرارة على هذه البحار ومناطق الأرض القريبة، متأثراً بشدة بتغيرات كثافة المياه السطحية في هذه المناطق.

يشكل هذا التيار الإنتهاء الشمالي للدوران الانقلابي الجنوبي على مستوى الحوض الممتد على طول الحد الغربي من حوض الأطلسي. وغالباً ما تشير محاكاة النماذج المناخية إلى أنه في حال إنخفضت كثافة المياه السطحية في شمال الأطلسي بسبب الإحترار أو إنخفاض في الملوحة، تتدنى قوة دوران الانقلابي الجنوبي ومعها توزيع الحرارة في هذه المناطق. وقد تحدث بعض الإنخفاضات القوية والمدعومة في الملوحة وحتى المزيد من الإنخفاضات الكبيرة أو تكمل إغلاق دوران الانقلابي الجنوبي في كافة تقديرات نمذجة المناخ. إن تغيرات مماثلة طرأت بالفعل في الماضي البعيد. المشكلة اليوم تكمن في ما إذا كان التأثير البشري المتزايد على الجو يشكل إضطراباً قوياً وكافياً لدوران الانقلابي الجنوبي كي يحدث هذا التغير.

وتؤدي زيادة غازات الدفيئة الجوية إلى إحترار وكثافة في الدورة الهيدرولوجية التي تجعل المياه السطحية في شمال الأطلسي أقل ملوحة، كما تؤدي زيادة التهطال إلى زيادة المياه العذبة المتدفقة من المحيط إلى أنهار المنطقة. يتسبب الإحترار كذلك بذوبان الثلوج، زائداً بذلك نسبة المياه العذبة ومخفّضاً ملوحة مياه المحيط السطحية. تخفض النتيجتان من كثافة المياه السطحية التي يجب أن تكون كثيفة وثقيلة بما يكفي كي تغرق بُغية منتجة الدوران الانقلابي الجنوبي، ما يؤدي إلى إنخفاضه في القرن الواحد والعشرين. ويُتوقع أن يستمر هذا الإنخفاض في نقاط التركيز مع الإحترار. ولا يحاكي أي من النماذج الحالية إنخفاضاً مفاجئاً أو وقفاً كاملاً في هذا القرن. ما زلنا نشهد إنتشاراً شاملاً في إنخفاض النماذج في دوران الانقلابي الجنوبي الذي يتراوح عملياً من حالة اللإستجابة إلى الإنخفاض إلى أكثر من ٥٠ بالمئة على مشارف نهاية القرن الواحد والعشرين. وينتج هذا الإختلاف النموذجي المتقاطع عن إختلافات في قوى ردود الجو والمحيط المحاكاة في هذه النماذج.

من جهة أخرى، يبدو مصير دوران الانقلابي الجنوبي الطويل الأمد غير مؤكد. وتُظهر العديد من النماذج إسترداد دوران الانقلابي الجنوبي عند إستقرار المناخ. إلا أن لبعض النماذج المناخية عتبات لدوران الانقلابي الجنوبي يتم تخطيها في حال كان التأثير قوياً بما يكفي ويديم وقتاً أطول.

(يتبع)

لا يُعتبر مرجحاً احتمال حدوث تغيرات مفاجئة في المناخ كإنهيار الغطاء الجليدي القطبي الغربي والفقْدان السريع لغطاء غرينلاند الجليدي أو تغيرات أنظمة دوران المحيط على نطاقٍ واسعٍ في القرن الواحد والعشرين إستناداً إلى النتائج النموذجية المتوفرة حالياً. وعلى أية حال، فإن حدوث هذه التغيرات أصبح مرجحاً على نحوٍ متزايدٍ كلما تقدم إضطراب النظام المناخي.

بيّنت التحاليل الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية من باطن جليد غرينلاند والرواسب البحرية من شمال الأطلسي وأماكن أخرى، وكذلك العديد من أرشيفات المناخ الماضي، أنه باستطاعة درجات الحرارة المحلية وأنظمة الرياح ودورات المياه أن تتغير بسرعة خلال بضعة سنوات فقط.

وتُظهر مقارنة النتائج من السجلات في مختلف المواقع في العالم حدوث تغيرات أساسية تطال المستوى العالمي. ما أدى إلى فكرة مناخ ماضٍ غير مستقرٍ بمرحلة التغير المفاجئ. لذا، برز قلق جديد وهو أن النمو المستمر لنسب الغازات الدفيئة في الجو قد يشكل إضطراباً قوياً بما يكفي ليسبب التغيرات المفاجئة في النظام المناخي. قد يُعتبر تدخلاً مماثلاً مع النظام المناخي خطراً إذ قد يكون له نتائج عالمية كبيرة.

وقبل مناقشة بعض الأمثلة للتغيرات المماثلة، من المفيد أن نعرّف مصطلحي «حاد» (abrupt) و«كبير» (major). «الحاد» يعني أن التغير يحدث بسرعة أكبر من الإضطراب الذي يتسبب بالتغير، بمعنى آخر، يكون غير خطي. أما التغير «الكبير» فيتضمن تغيرات تتخطى نسبة التغير الطبيعي الحالي وله مدى مكاني يتراوح من عدة آلاف الكيلومترات ليصل إلى المستوى العالمي. من المدى المحلي إلى المدى الإقليمي، تُعتبر التغيرات المفاجئة خاصية مشتركة للتغير المناخي الطبيعي. وهنا، لا تُؤخذ الظواهر المعزولة والقصيرة الأمد التي يُشار إليها بـ«الظواهر المتطرفة» بعين الاعتبار، ولكن بالأحرى تغيرات على النطاق الواسع تتطور بسرعة وتستمر من عدة سنوات إلى عقود. شهدت أواسط السبعينيات من القرن السابق نقلة في درجات حرارة سطح البحر شرقي الهادئ وعرفت أواسط الثمانينيات من القرن ذاته إنخفاضاً في الملوحة في الطبقة العليا من بحر لابرادور، وهما مثالان عن ظواهر مفاجئة ذات نتائج محلية وإقليمية، في مقابل النطاق الواسع الذي يشمل الظواهر الطويلة الأمد التي يركّز عليها هنا. أحد الأمثلة عنها هو الإنهيار المحتمل، أو إغلاق جدول الخليج الذي يلقي إهتماماً واسعاً لدى الرأي العام. فجدول الخليج هو تيار أفقي أولي في المحيط الأطلسي الشمالي تقوده الرياح.

الهيدرولوجية القوية عاجز عن تعويض هذا الذوبان. وما قد يؤدي إلى تقلص غطاء الأرض الجليدي بشكل كبير في القرون المقبلة. فضلاً عن ذلك، تقترح النتائج وجود عتبة خطر لدرجات الحرارة، إن تم تخطيها، ستعرض غطاء غرينلاند الجليدي إلى الزوال التام، وتؤكد بالتالي احتمال تخطي هذه العتبة في القرن الحالي.

إلا أن ذوبان غطاء غرينلاند الجليدي الكامل الذي يرفع مستوى البحر إلى حوالي ٧ أمتار هو عملية بطيئة قد تتطلب مئات السنين لتكتمل.

تلقي الأقمار الصناعية والأرصاد الحديثة للتيارات الثلجية المسببة لتحطم الطبقات الثلجية، الضوء على إستجابات أنظمة الغطاء الثلجي السريعة، ما يثير مخاوف كبيرة حول إجمالي إستقرار غطاء شمال الأطلسي الثلجي والإنهيار الذي قد يؤدي إلى إرتفاع مستوى البحر إلى ٦ أمتار أخرى. وبينما تظهر هذه التيارات مدعمة بالطبقات المتواجدة أمامها، لا يزال من غير المعروف في الوقت الحاضر ما إذا قد يسبب في الواقع الإنخفاض أو الفشل في دعم مناطق الغطاء الجليدي المحدودة نسبياً، تدفقاً منتشراً من تيارات الثلوج وبالتالي عدم إستقرار غطاء غرب الأطلسي الجليدي بالكامل. ونظراً إلى أن الأغشية الجليدية بدأت للتو تبني العمليات الدينامية الصغيرة النطاق التي تتضمن تفاعلات معقدة مع الأنهر الجليدية والمحيط على نطاق الغطاء الجليدي، فلا تتوفر معلومات كمية مستقاة من الجيل الحالي لنماذج الغطاءات الجليدية لجهة أرجحية ظاهرة مماثلة أو توقيتها.

بالتالي، تُظهر محاكاة مماثلة إنخفاضاً تدريجياً لدوران الانقلاب الجنوبي يستمر حتى بعد إستقرار المناخ. ولا يمكن حالياً تحديد كمية الأرجحية على الرغم من أن أوروبا لا تزال تختبر الإحترار بما أن التأثير الإشعاعي الناتج عن الغازات الدفيئة المتزايدة قد يغمر التبريد بالتزامن مع إنخفاض دوران الانقلاب الجنوبي. وتبدو السيناريوهات الكارثية التي تقترح بدء العصر الجليدي الذي بدوره يحدثه وقف دوران الانقلاب الجنوبي مجرد محاكاة. ولم يحدث أن ولد مناخاً نموذجياً حصيلة مماثلة. في الواقع، إن العمليات المؤدية إلى العصر الجليدي واضحة ومفهومة فيه الكفاية وهي بالتالي مختلفة تماماً عن تلك المناقشة هنا، ما يمكننا بثقة من إستثناء هذا السيناريو.

وبصرف النظر عن تطوّر دوران الانقلاب الجنوبي الطويل الأمد، توافق المحاكاة النموذجية على إن الإحترار وما يتأتى عنه من إنخفاض في الملوحة سيخفف بشدة تشكل المياه العميقة والوسطى في بحر لابرادور خلال العقود القليلة المقبلة، ما سيتسبب بتبدل خصائص الكتل المائية الوسطى شمال الأطلسي ويؤثر بدوره على قعر المحيط. ومن الأمثلة المناقشة على نحو واسع بما يتعلق بتغيرات المناخ المفاجئة، يحضر تحطم غطاء غرينلاند الجليدي أو إنهيار غطاء غربي الأطلسي الجليدي الحاد.

وتشير النمذجة المستندة إلى المحاكاة والمراقبة إلى إن الإحترار على مستوى خطوط العرض العالية في النصف الشمالي من الكرة الأرضية يعجل ذوبان غطاء غرينلاند الجليدي وإن تساقط الثلوج المتزايد بسبب الدورة

إذا تم خفض معدل انبعاث غازات الدفيئة، بأي سرعة يتراجع معدل تركيزها في الغلاف الجوي؟

كميته الأصلية. يسهل تحديد هذا المعدل لبعض الغازات كالميثان CH_4 وأكسيد النيتروز N_2O وغيرها من الغازات النزرية كالمركبات الكربونية الفلورية الهيدروكربونية-٢٢ (HCFC-22) وهو سائل مبرد (عمر الميثان في الغلاف الجوي هو ١٢ سنة، وأكسيد النيتروز ١١٠ سنوات، والمركبات الكربونية الفلورية الهيدروكربونية-٢٢ حوالي ١٢ سنة) إلا أنه يستحيل تحديد هذا المعدل بالنسبة إلى ثاني أكسيد الكربون.

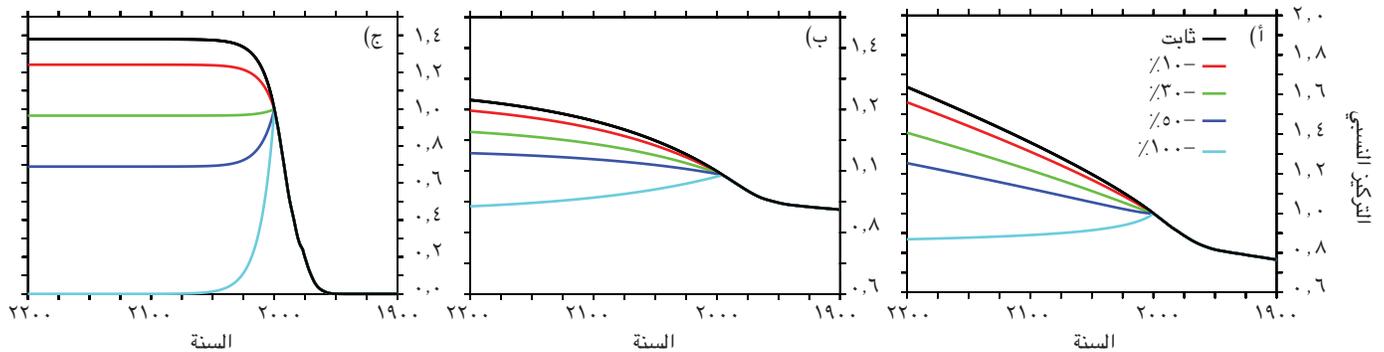
إن تغيير معدل تركيز أي غاز نزر يعتمد جزئياً على كيفية تطوّر انبعاثاته مع الوقت. فإذا ازدادت الانبعاثات مع الوقت، سيزداد أيضاً معدل التركيز في الغلاف الجوي، بغض النظر عن عمر الغاز في الغلاف الجوي. ولكن، إذا اتخذت إجراءات للحد من الانبعاثات، سيعتمد معدل تركيز غاز نزر في الجو على التغيرات النسبية ليس في الانبعاثات فحسب، بل في عمليات إزالة الغاز أيضاً. يظهر هنا دور عمر الغاز وعمليات إزالته في تحديد تطور تركيز الغاز في الغلاف الجوي عند خفض الانبعاثات.

على سبيل المثال، يظهر الرسم ١ تجارب تحدد كيف سيتجاوب معدل التركيز المستقبلي لثلاثة أنواع من الغازات النزرية مع تغييرات تجريبية في الانبعاثات (مصورة هنا كرد فعل على تغيير مفروض في الانبعاثات). أخذنا مثلاً: ثاني أكسيد الكربون الذي لا يمتلك عمراً محدداً في الغلاف الجوي، وغاز نزر ذو عمر معروف وطويل يقارب القرن (مثلاً N_2O)، وغاز نزر ذو عمر معروف وقصير يقارب العقد (كـ CH_4 أو HCFC-22 أو غيرها من أنواع الكربون الهالوجيني).

(يتبع)

إن تعديل معدل تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي عبر الحد من الانبعاثات يعتمد على العمليات الكيميائية والفيزيائية التي تزيل كل غاز من الغلاف الجوي. فمعدل تركيز بعض غازات الدفيئة يتراجع بشكل شبه فوري نتيجة الحد من الانبعاثات، في حين أن معدل تركيز أنواع أخرى من الغازات يستمر في التزايد لقرون عديدة حتى بعد الحد من الانبعاثات.

يعتمد معدل تركيز الغازات في الغلاف الجوي على سباق بين معدلات انبعاث الغاز في الغلاف الجوي ومعدلات إزالته من الغلاف الجوي. على سبيل المثال، يتم تبادل ثاني أكسيد الكربون CO_2 بين الغلاف الجوي والمحيطات والأرض عبر عمليات معينة كتنقل الغاز بين الغلاف الجوي والمحيطات وعمليات كيميائية (كالتجوية مثلاً) وبيولوجية (كالتمثيل الضوئي). في حين أن أكثر من نصف انبعاثات ثاني أكسيد الكربون يستغرق قرناً ليزول من الغلاف الجوي حالياً، يبقى جزء من هذه الانبعاثات في الغلاف الجوي لآلاف السنين. بسبب بطء عمليات الإزالة، سيستمر معدل ثاني أكسيد الكربون الجوي في التزايد حتى ولو شهد معدل الانبعاثات الحالي تراجعاً كبيراً. ويزول غاز الميثان CH_4 مثلاً بفعل عمليات كيميائية في الغلاف الجوي، في حين أن الإشعاعات الشمسية تدمر أكسيد النيتروز N_2O وبعض غازات الكربون الهالوجيني في الغلاف الجوي العلوي. تتفاوت مدة هذه العمليات من بضعة سنوات إلى آلاف السنين. فيقاس عمر الغاز في الغلاف الجوي إنطلاقاً من المدة اللازمة لخفض كمية الغاز بفعل إحدى الاضطرابات إلى نسبة ٣٧٪ من



السؤال ١٠-٣، الرسم ١) محاكاة تغييرات في معدل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بالنسبة إلى المعدل الحالي في ما يتعلق بانبعاثات تم تثبيتها على المستوى الحالي (اللون الأسود) أو على مستوى ادنى من المستوى الحالي بنسبة ١٠٪ (أحمر) و ٣٠٪ (أخضر) و ٥٠٪ (كحلي) و ١٠٠٪ (أزرق). (ب) مثل الحالة (أ) بالنسبة إلى غاز نذر ذي عمر ١٢٠ سنة، بتأثير من عوامل طبيعية وعوامل من بشرية المنشأ. (ج) مثل الحالة (أ) بالنسبة إلى غاز نذر ذي عمر ١٢ سنة، بتأثير من عوامل من بشرية المنشأ فقط.

بنسبة ٣٠٪. ويؤدي الخفض بنسبة ٥٠٪ إلى تثبيت معدل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ولكن لمدة أقل من عقد من الزمن فقط. بعد ذلك، يتوقع أن يعود معدل ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى الإرتفاع نظراً لتراجع الترسيبات في الأرض والمحيطات نتيجة تغيرات كيميائية وبيولوجية معروفة. أما الوقف الكلي لإنبعاثات ثاني أكسيد الكربون فيتوقع أن يؤدي إلى إنخفاض بطيء في معدل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي يبلغ ٤٠ جزءاً بالمليون تقريباً خلال القرن ٢١.

يختلف الوضع تماماً بالنسبة إلى غازات نزره المحددة العمر في الغلاف الجوي. فبالنسبة إلى الغاز ذي العمر البالغ قرناً (مثلاً N_2O)، يجب خفض الإنبعاثات بنسبة تفوق ٥٠٪ لتثبيت معدلات التركيز على مستوى قريب من مستواها الحالي (راجع الرسم ١ ب). يؤدي تثبيت الإنبعاثات إلى تثبيت معدل التركيز خلال بضعة قرون.

في حالة غاز نزر ذي العمر القصير، تساوي الخسارة الحالية حوالي ٧٠٪ من الإنبعاثات. على المدى القصير، يؤدي أي خفض للإنبعاثات ما دون ٣٠٪ إلى زيادة معدل التركيز، ولكن على عكس ثاني أكسيد الكربون، تكون النتيجة تثبيت معدل التركيز في غضون عقود (راجع الرسم ج). أي أنه يجب خفض الإنبعاثات بنسبة تفوق ٣٠٪ لتثبيت معدلات التركيز على مستويات أقل بكثير من المستويات الحالية. أما وقف الإنبعاثات بشكل كامل فيسمح بالعودة إلى معدلات التركيز السابقة للثورة الصناعية في أقل من قرن بالنسبة إلى غاز نزر ذي العمر البالغ عقداً.

لكل غاز، تعرض خمس حالات من الإنبعاثات المستقبلية: تثبيت الإنبعاثات على معدلها الحالي، وخفض فوري لمعدل الإنبعاثات بنسبة ١٠٪، ٣٠٪، ٥٠٪ و ١٠٠٪.

يختلف رد فعل ثاني أكسيد الكربون (راجع الرسم ١أ) تماماً عن غازات النذر ذات العمر المحدد. فتثبيت إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون على معدلها الحالي يؤدي إلى تزايد مستمر لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي خلال القرن ٢١ وما بعده، في حين أنه يؤدي في حالة الغاز ذي العمر البالغ قرناً (راجع الرسم ١ ب) أو عقداً (راجع الرسم ١ ج) إلى ثبات معدل تركيزهما في الغلاف الجوي بمستوى يفوق المعدل الحالي في غضون قرنين للغاز الأول وعقدين للغاز الثاني. في الواقع، لا يمكن تثبيت معدل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي على مستوى ثابت إلا من خلال وقف الإنبعاثات بشكل كلي. جميع الحالات الأخرى من الخفض المعتدل للإنبعاثات تظهر إزدياداً في معدل التركيز بسبب عمليات التبادل النموذجية المرتبطة بدورة الكربون في النظام المناخي.

بالتحديد، يفوق معدل إنبعاث ثاني أكسيد الكربون حالياً معدل إزالته بشكل كبير، والإزالة البطيئة وغير المكتملة تعني أن خفض الإنبعاثات بشكل ضئيل أو معتدل لن يؤدي إلى ثبات معدلات التركيز بل سيحد فقط من معدل نموها في العقود المقبلة. فخفض معدل إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة ١٠٪ يتوقع أن يؤدي إلى تراجع معدل نموه بنسبة ١٠٪، كما أن خفض هذا المعدل بنسبة ٣٠٪ يؤدي إلى تراجع معدل نمو تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو

هل تختلف التغيرات المناخية المرتقبة من منطقة إلى أخرى؟

بفهم وتوقع التغيرات في المناخ الإقليمي. على الرغم من أنه يمكن التوصل إلى إستنتاجات عامة حول عدد من المناطق ذات المناخ المتشابه نوعياً، إلا أن كل منطقة تقريباً تتميز بسمات خاصة بها في نواح عديدة. يصح ذلك بالنسبة إلى المناطق الساحلية المحيطة بالمنطقة المتوسطة جنوب المدارية، أو المناخ القاسي في داخل أميركا الشمالية الذي يعتمد على نقل الرطوبة من خليج المكسيك، أو التفاعلات بين توزع الثروة النباتية ودرجات حرارة المحيط ودوران الغلاف الجوي، التي تساعد على السيطرة على تأثير منطقة الحدود الجنوبية للصحراء الأفريقية.

على الرغم من أننا لا نزال بعيدين عن فهم التوازن الفعلي بين العوامل العالمية والإقليمية بشكل كامل، إلا أن مستوى فهمنا لها يمضي في تزايد مستمر وثابت، ما يعزز ثقتنا بالتوقعات الإقليمية.

يختلف المناخ بين منطقة وأخرى. ينبع هذا الاختلاف من التوزيع غير المتساوي لحرارة الشمس، ورد فعل كل من الغلاف الجوي والأرض والمحيطات والتفاعل بين هذه العناصر والخصائص الفيزيائية التي تميز كل منطقة. تؤثر الاضطرابات التي تصيب مكونات الغلاف الجوي على بعض جوانب هذه التفاعلات المعقدة. إن بعض العوامل البثرية المنشأ التي تؤثر على المناخ (عوامل التأثير forcing) تكون عالمية بطبيعتها، بينما تختلف بعض العوامل الأخرى بين منطقة وأخرى. على سبيل المثال، ثاني أكسيد الكربون الذي يتسبب بالاحترار، ينتشر بالتساوي في مختلف أنحاء الأرض بغض النظر عن موقع مصدر الانبعاثات، في حين أن توزيع الأهباء الجوية من السلفات (جزئيات صغيرة) التي تزيد بعض الاحترار يكون عادة إقليمياً. بالإضافة إلى ذلك، تعتمد ردود الأفعال الناتجة عن عمليات التأثير جزئياً على عمليات إرتجاعية يمكن أن تجري في مناطق غير تلك التي تشهد أكبر مستوى من التأثير. بالتالي، ستختلف التغيرات المناخية المرتقبة أيضاً من منطقة إلى أخرى.

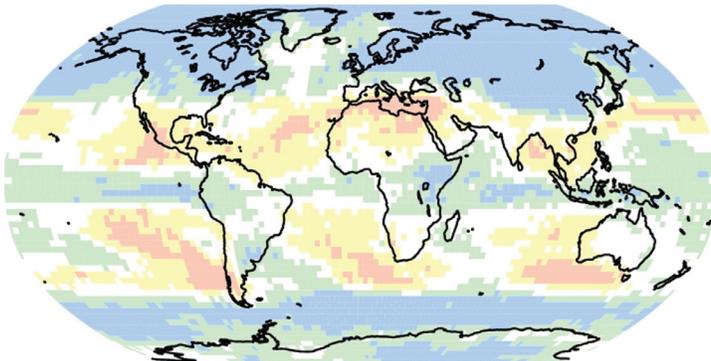
لدراسة تأثير التغيرات المناخية على منطقة معينة، يمكن الإنطلاق من موقع المنطقة بالنسبة إلى خط الإستواء (latitude). فعلى سبيل المثال، وفي حين يتوقع حصول الاحترار في كافة أنحاء الأرض، تزداد كمية الاحترار المتوقع عادة بين المنطقة الإستوائية والقطب في النصف الشمالي من الكرة الأرضية. الأمر أكثر تعقيداً في ما يتعلق بمعدل التهطال، إلا أنه يخضع أيضاً لعوامل متعلقة بموقع المنطقة بالنسبة إلى خط الإستواء. في المناطق القريبة من القطبين، يتوقع إرتفاع معدل التهطال، في حين يتوقع إنخفاض هذا المعدل في مناطق عديدة متاخمة للمنطقة الإستوائية (راجع الرسم ١). يتوقع إرتفاع معدل التهطال الإستوائي في مواسم المطر (مثلاً، الرياح الموسمية) وبشكل خاص فوق المنطقة الإستوائية من المحيط الهادئ.

من العوامل الهامة أيضاً موقع المنطقة بالنسبة إلى المحيطات وسلاسل الجبال. بشكل عام، يتوقع أن يكون الاحترار أكبر في المناطق القارية الداخلية من المناطق الساحلية. لا يتأثر معدل التهطال فقط بشكل القارة الجغرافي، بل أيضاً بشكل السلاسل الجبلية المجاورة وإتجاه الرياح. فالرياح الموسمية والزوابع والأعاصير / التيفونات غير الإستوائية تتأثر كلها بهذه الخصائص المتعلقة بالمنطقة. وتعتبر التغيرات الممكنة في دوران الغلاف الجوي والمحيطات وأنماط تغيرها من أصعب الجوانب التي تسمح

نموذج متعدد

A1B

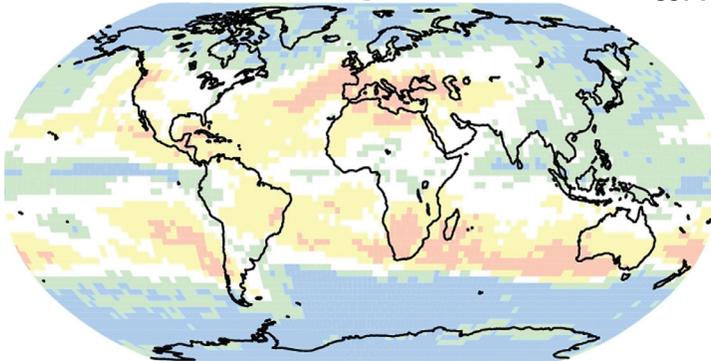
DJF



نموذج متعدد

A1B

JJA



السؤال ١١-١، الرسم ١: يتوقع أن تشهد المناطق الزرقاء والصفراء على الخريطة إرتفاعاً في معدل التهطال بحلول نهاية القرن، في حين يتوقع أن ينخفض هذا المعدل في المناطق الصفراء والزهرية اللون. يظهر الجدول الأعلى توقعات أشهر كانون الأول وكانون الثاني وشباط، في حين يظهر الجدول الأسفل توقعات أشهر حزيران وتموز وأب.

المرفق الأول

مسرد المصطلحات

المحرر: أ. ب. م. بايدي (هولندا)

ملاحظات: يشرح مسرد المصطلحات التالي بعض المصطلحات المحددة بالطريقة التي يريد المؤلفون الرئيسيون أن تفهم في سياق هذا التقرير.

8.2ka event

الحدث الذي حصل منذ ٨٢٠٠ سنة

الأقل. وهي إما ذات مصدر طبيعي وإما **بشرية المنشأ**. وقد يؤثر الهباء الجوي على المناخ بطرق عديدة: وذلك مباشرة من خلال بعثرة الإشعاع وامتصاصه وغير مباشرة **كنوى تكاثف السحب** أو من خلال تعديل الخصائص البصرية وعمر السحب (انظر **تأثيرات الهباء الجوي غير المباشرة**).

بعد الاحترار ما بعد الجليدي الأخير، حدث تقلب مناخي سريع منذ حوالي ٨٢٠٠ سنة، مع فترة تبريد دامت ٤٠٠ سنة. ويشار إلى هذا الحدث كذلك بالحدث الذي حصل منذ ٨٢٠٠ سنة.

Afforestation

التشجير (التحريج) غرس غابات جديدة على الأراضي التي لم تكن تضم غابات فيما مضى. ولما نشأ مصطلح **غابة** والمصطلحات ذات الصلة كتشجير وإعادة **تشجير** الغابات وإزالتها يمكن مراجعة التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، حول استخدام الأراضي وتغير استخدام الأراضي والحراجة (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ٢٠٠٠). وانظر أيضاً التقرير المتصل بالتعاريف والخيارات المنهجية المتعلقة ببيانات جرد الانبعاثات الناتجة عن تدهور الغابات وإزالة أنواع الغطاء النباتي الأخرى بفعل الإنسان (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ٢٠٠٣).

Abrupt Climate Change

تغير المناخ المفاجئ من الممكن أن تؤدي **لاخطية النظام المناخي** إلى تغير المناخ على نحو مفاجئ يسمى أحياناً «التغير المناخي السريع» أو «الأحداث المفاجئة» أو حتى «المفاجآت المناخية». وغالباً ما تشير كلمة «مفاجئ» إلى نطاق زمني تتخطى سرعته سرعة النطاق الزمني التقليدي لعملية التأثير المسؤولة عن ذلك. ولكنه لا حاجة إلى **تأثير خارجي** لإحداث جميع التغيرات المناخية المفاجئة إذ تنطوي بعض التغيرات المفاجئة المحتملة المفترضة إعادة تنظيم دراماتيكية **للدوران الناجم عن التباين الحراري** والملحي، والذوبان السريع للجليد والذوبان الكبير للترية الصقيعية أو ازدياد **تنفس** التربة مما يؤدي إلى تغيرات سريعة في دورة الكربون. أما الأحداث الأخرى فقد تكون غير متوقعة بالفعل وتنتج عن عمليات تأثير قوية وسريعة التغير لنظام لاخطي.

Active layer

الطبقة الناشطة هي الطبقة المعرضة للذوبان والتجمد السنويين في المناطق التي تقع فوق **التربة الصقيعية** (فان إفردينجن، ١٩٩٨).

Air mass

الكتلة الهوائية كتلة هوائية واسعة الانتشار تتسم بخواص متجانسة تقريباً والتي (١) تم تحديدها عند وجود الهواء فوق **منطقة** محددة من سطح الأرض، (٢) تشهد تغيرات محددة خلال ابتعادها عن المنطقة المذكورة (المصدر: الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية، ٢٠٠٠).

Albedo

البياض الجزء من **الإشعاع الشمسي** الذي يعكس سطحاً أو هدفاً، ويعبر عنه عادة في صورة نسبة مئوية. وللسطوح المغطاة بالثلج بياض مرتفع، ويتراوح بياض الشمس بين المرتفع والمنخفض. والسطوح المغطاة بالنباتات والمحيطات لها بياض منخفض. ويتباين البياض الأرضي وذلك أساساً نتيجة لتباين السحب والثلوج والجليد ومنطقة الغطاء النباتي والتغيرات في الغطاء الأرضي.

Adiabatic process

عملية كظم الحرارة (العملية الأديباتية) هي عملية لا يكتسب أو يفقد النظام خلالها أي حرارة خارجية. ونقيضها يسمى بعملية تغير الديناميكا الحرارية.

Adjustment time

فترة التكيف انظر **Lifetime** و **Response time** أدناه.

Albedo feedback

المعلومات المرتجعة بشأن الألبيدو وهي **معلومات مناخية مرتجعة** تتعلق بالتغيرات التي يشهدها الألبيدو الأرضي. وتتعلم عادة بالتغيرات الحاصلة في **الغلاف الجليدي** الذي يعد الألبيدو فيه أوسع بكثير (٠.٨) من معدل الألبيدو الكوكبي (٠.٣). وفي أي **مناخ** يتعرض للاحتار من المتوقع أن يتقلص الغلاف الجليدي فينخفض بالتالي معدل الألبيدو الأرضي مما يؤدي بدوره إلى زيادة في امتصاص **الإشعاع الشمسي** لزيادة تسخين الأرض.

Advection

التأفق وهو تنقل المياه أو الهواء مع كل خواصهما (مثل درجة الحرارة والمواد الكاشفة والكواشف الكيميائية) وبسبب حركة السوائل. أما الاختلاف العام بين **التأفق والحمل الحراري** فيمكن من أن التأفق يعني حركات أفقية وواسعة النطاق في الغالب **للغلاف الجوي** أو المحيط بينما يعني الحمل الحراري في الغالب حركات عمودية مستحثة محلياً.

Alkalinity

القلوية مقياس قدرة أي محلول على إبطال مفعول الأحماض.

Aerosols

الهباء الجوي هو مجموعة من الجزيئات الصلبة أو السائلة المحمولة بالجو يتراوح حجمها عادة بين ٠.١ و ١٠ ميكرون، تبقى في **الغلاف الجوي** لبضع ساعات على

Altimetry

قياس الارتفاع تقنية لقياس ارتفاع سطح البحر أو البحيرات أو الأنهار أو اليابسة أو سطح الجليد بالمقارنة مع مركز الأرض ضمن إطار مرجعي أرضي محدد. وبصورة تقليدية أكثر من ذلك يمكن قياس الارتفاع مقارنة بمجسم القطع الناقص المرجعي الذي يقارب تفلطح الأرض من الجو الآن بواسطة ذي دقة تصل إلى سنتيمترات باستخدام الرادار أو أشعة الليزر. ويتميز هذا النوع من قياس الارتفاع بالمقارنة مع مركز الأرض بأنه مقياس يتعلق بإطار مرجعي أرضي وليس مقياساً يرتبط بأديم الأرض كما هو الحال في **مقياس المد والجزر** ويوفر تغطية شبه عالمية.

Annular modes

الأنماط الحلقية أنماط التغير الأكثر شيوعاً في دوران الغلاف الجوي التي تتطابق مع التغيرات الطارئة على الرياح الغربية المحسوب معدلها النطاقي على مستوى خطوط العرض الوسطى. وينحاز **النمط الحلقى الشمالي** نحو شمال الأطلسي ويرتبط ارتباطاً وثيقاً **بالتذبذب في شمال الأطلسي**، ويشاهد **النمط الحلقى الجنوبي** في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية. وتعرف تقلبية الرياح الغربية التي تضرب خطوط العرض الوسطى أيضاً **بتذبذب الدفق النطاقي** (أو الريح) وتحدد بموجب مؤشر نطاقي. وللإطلاع على مؤشرات الدوران الموازية انظر الإطار ٣-٤.

Anthropogenic

البشري المنشأ ناتج عن الأنشطة البشرية أو من صنع الإنسان.

Atlantic Multi-decadal Oscillation (AMO)

التذبذب المتعدد العقود في المحيط الأطلسي تقلبات تدوم عقوداً عديدة (٦٥ إلى ٧٥ سنة) في شمال الأطلسي شهدت خلالها درجات حرارة **سطح البحر** فترات دافئة بين حوالي ١٨٦٠ وعام ١٨٨٠ ومن عام ١٩٢٠ إلى عام ١٩٦٠، وفترات باردة من عام ١٩٠٥ إلى ١٩٢٥ ومن عام ١٩٧٠ إلى ١٩٩٠ بلغ نطاقها ٠,٤ درجات مئوية.

Atmosphere

الغلاف الجوي غلاف من الغازات يحيط بالكرة الأرضية. ويتألف الغلاف الجوي الجاف بمعظمه من النيتروجين (٧٨,١٪ من معدل مزج الحجم) والأكسجين (٢٠,٩٪ من معدل مزج الحجم) بالإضافة إلى عدد من الغازات النزرة مثل الأرغون (٠,٩٣٪ من معدل مزج الحجم) والهيليوم فضلاً عن **غازات الدفيئة النشطة إشعاعياً** مثل **ثاني أكسيد الكربون** (٠,٠٣٥٪ من معدل مزج الحجم) و**الأوزون**. ويحتوي **الغلاف الجوي** على بخار الماء الناتج عن كميات متفاوتة جداً من غازات الدفيئة تبلغ عموماً ١٪ من معدل مزج الحجم، فضلاً عن **السحب والهباء الجوي**.

Atmospheric boundary layer

الطبقة المتاخمة للغلاف الجوي وهي الطبقة المتاخمة لسطح الأرض المعرض للتأثر بالاحتكاك بهذه الطبقة المتاخمة واحتمال التأثر بمتغيرات انتقال الحرارة أو المتغيرات الأخرى على طول ذلك السطح (الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية، ٢٠٠٠). وتسمى الحوالى ١٠ أمتار الأوطأ، من الطبقة المتاخمة حيث يتركز فيها التوليد الميكانيكي للاضطرابات، بالطبقة السطحية المتاخمة أو الطبقة السطحية.

Atmospheric lifetime

عمر الغلاف الجوي انظر العمر *Lifetime*.

Attribution

العزو انظر «الكشف والعزو» *Detection and attribution*.

Autotrophic respiration

التغذية الذاتية بالتنفس تنفس الكائنات الحية (نباتات) التي تتغذى بالمركبات اللاعضوية بفعل **التمثيل الضوئي**.

Bayesian method

طريقة بايز تقضي طريقة بايز (Bayes) بإجراء التحاليل الإحصائية لكمية غير معروفة أو غير مؤكدة على مرحلتين. أولهما إجراء توزيع مسبق للاحتمالات على أساس المعارف المتوفرة (إما بالتماس آراء الخبراء أو استخدام بيانات أو دراسات متوفرة). وفي هذه المرحلة الأولى، قد يؤثر العنصر الذاتي على عملية الاختيار رغم أنه يتم في معظم الحالات تحديد التوزيع الأولي للاحتمالات بأكبر قدر ممكن من الحياد كي لا يؤثر ذلك على نتيجة التحليل النهائية. أما المرحلة الثانية، فتقضي بإدخال المعطيات المتوفرة حديثاً بموجب نظرية وضعها عالم رياضيات بريطاني اسمه بايز (Bayes) (١٧٠٢-١٧٦١)، وسُميت على اسمه، وذلك لتحديث التوزيع السابق والحصول على توزيع لاحق.

Biomass

الكتلة الإحيائية هي كتلة الكائنات الحية الإجمالية في منطقة معينة أو حجم معين. ويمكن أن تدرج مادة النباتات الميتة باعتبارها كتلة إحيائية ميتة.

Biome

الوحدة الإحيائية هي عنصر إقليمي رئيسي ومميز من **الغلاف الحيوي**، يضم عموماً عدداً من **الأنظمة البيئية** (ecosystems) (مثل **الغابات** و**الأنهار** و**البرك** و**المستنقعات** في **منطقة معينة**). وتتميز الوحدات الإحيائية بوجود مجموعات نموذجية من النباتات والحيوانات فيها.

Biosphere (terrestrial and marine)

الغلاف الحيوي (أرضي وبحري) جزء من نظام الأرض يضم كل **الأنظمة البيئية** والكائنات الحية، سواء كانت في **الغلاف الجوي** أو على اليابسة (**الغلاف الحيوي الأرضي**) أو في المحيطات (**الغلاف الحيوي البحري**)، بما في ذلك المواد العضوية الميتة المشتقة مثل النفايات والمواد العضوية في التربة وحتات المحيطات.

Black carbon (BC)

الكربون الأسود نوع محدد عملياً من أنواع **الهباء الجوي** استناداً إلى قياس امتصاص الضوء والتفاعل الكيميائي و/أو الاستقرار الحراري، ويتألف من **السناج والفحم** و/أو المادة العضوية غير القابلة للصره والماصة للضوء (شارلسون وهينترنبرغ ١٩٩٥، ص ٤٠١).

Blocking anticyclone

الإعصار المضاد الحجاب إعصار مضاد يكاد يظل ثابتاً في مكانه لمدة أسبوع أو أكثر على ارتفاعات متوسطة أو عالية فيحجب التقدم العادي شرقاً لأنظمة الضغط المرتفع والمنخفض.

Bowen ratio

نسبة بوين نسبة التدفقات الحرارية المحسوسة إلى الكامنة من سطح الكرة الأرضية ووصولاً إلى **الغلاف الجوي**. وتكون القيم منخفضة (حوالي ٠,١) على السطوح الرطبة مثل المحيطات وتزيد عن ٢ في الصحارى والمناطق التي يسودها الجفاف.

Burden

الحمل مجمل كتلة المواد الغازية، التي تشكل مصدر قلق، الموجودة في الغلاف الجوي.

CFC

انظر الهالوكربونات *Halocarbons*

Chaos

الاختلال الكلي نظام دينامي على غرار النظام المناخي، تتحكم به المعادلات التحديدية اللاخطية (انظر اللاخطية). وقد يظهر سلوكاً غير سوي أو مختل بمعنى أن التغييرات الطفيفة جداً في الحالة الأولية للنظام تسفر مع مرور الوقت عن تغييرات كبيرة ولا يبدو أنه يمكن التنبؤ بها أثناء تطورها الزمني. وقد يحد هذا السلوك المختل من القدرة على التنبؤ بالنظم الدينامية اللاخطية.

Charcoal

الفحم النباتي مادة ناتجة عن تحمُّم الكتلة الإحيائية، وتحتجز عادة قدرًا من البنية البالغة الصغر التي تتميز بها الأنسجة النباتية عموماً؛ وتتألف في معظمها من الناحية الكيميائية من الكربون مع تركيبة جرافيتية مشوشة، ومقادير أصغر من الأوكسجين والهيدروجين (شارلسون وهينترنبرغ، ١٩٩٥، ص ٤٠٢). انظر **الكربون الأسود؛ السناج.**

Chronology

الكرونولوجيا ترتيب الأحداث وفقاً لتواريخ أو أوقات حدوثها.

Clathrate (methane)

هيدرات الغاز (الميثان) مزيج موحل نصف متجمد جزئياً من غاز الميثان والجليد، يتواجد عادة في الترسبات.

Climate

المناخ يعرف المناخ عادة، بمعناه الضيق، بأنه متوسط الطقس، أو بدقة أكبر، بأنه، كما يصفه الإحصائيون من حيث إنه متوسط وتقلبية الكميات ذات الصلة خلال فترة زمنية تتراوح بين أشهر إلى آلاف أو ملايين السنين. والفترة التقليدية لتحديد متوسط هذه التقلبات هي ٣٠ عاماً، على النحو الذي حددته المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO). وهذه الكميات هي، في أغلب الأحيان، من المتغيرات السطحية مثل درجات الحرارة، والتهطل، والرياح. والمناخ، بالمعنى الأوسع للعبارة هو حالة من حالات **نظام المناخ** بما في ذلك وصفه من الناحية الإحصائية. ويتطرق هذا التقرير إلى ذكر المتوسطات المحددة في فترات زمنية مختلفة، كفترة ٢٠ عاماً مثلاً، وهي يتم استخدامها أيضاً.

Climate change

تغير المناخ يدل مصطلح **تغير المناخ** على حدوث تغير في حالة المناخ يمكن تعريفه (باستخدام اختبارات إحصائية مثلاً) بأنه متوسط خصائصه و / أو تقلبها، ويدوم ذلك لفترة ممتدة تبلغ عموماً عقوداً أو فترات أطول من ذلك. وقد يعود تغير المناخ إلى عمليات داخلية طبيعية أو تأثيرات خارجية، أو تغييرات مستمرة بشرية المنشأ في تركيب **الغلاف الجوي** واستخدام الأراضي. ويلاحظ بأن اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) تعرّف في المادة الأولى منها بأنه «التغير في المناخ» الذي يعزى بصورة مباشرة أو غير مباشرة إلى النشاط البشري الذي يغير من تكوين **الغلاف الجوي** للعالم والذي يكون إضافة إلى التقلبية في المناخ الطبيعي الملاحظة خلال فترات زمنية متماثلة». وعلى ذلك فإن الاتفاقية الإطارية ميزت بين تغير المناخ الذي يعزى إلى الأنشطة البشرية التي تغير من تكوين **الغلاف الجوي** و«تقلبية المناخ» التي تعزى إلى أسباب طبيعية. انظر أيضاً **Climate variability** و **Detection and Attribution**.

13C

نظير الكربون الثابت الذي يبلغ وزنه الذري ١٣ تقريباً، وتقاس نسب النظيرين ¹³C/¹²C في جزيئات ثاني أكسيد الكربون لتحديد أهمية عمليات دورة الكربون والمناخ المختلفة ولعرفة حجم مستودع الكربون الأرضي.

14C

نظير الكربون غير الثابت الذي يبلغ وزنه الذري ١٤ تقريباً، ويبلغ عمره النصفى حوالي ٥٧٠٠ سنة. وغالباً ما يُستعمل في عملية تحديد التواريخ التي تعود إلى حوالي ٤٠ ٠٠٠ سنة مضت. وتتأثر التغييرات التي يشهدها عبر الزمن بالحقول المغناطيسية على الشمس والأرض، مما يؤثر على إنتاجه من الأشعة الكونية (انظر **النظائر الكونية**).

C3 plants

نباتات C3 النباتات التي تنتج مركبات من ثلاثة أنواع من الكربون خلال عملية التمثيل الضوئي، وتشمل معظم الأشجار والمحاصيل الزراعية مثل الأرز والقمح وفول الصويا والبطاطا والخضار.

C4 plants

نباتات C4 النباتات التي تنتج مركبات من أربعة أنواع من الكربون خلال عملية التمثيل الضوئي، ومعظمها مدارية المنشأ، وتشمل الحشائش والمحاصيل الهامة من الناحية الزراعية مثل الذرة وقصب السكر وحبّة الدخن والسرغوم.

Carbonaceous aerosol

الهباء الجوي الكربوني وهو هباء جوي يتألف بمعظمه من المواد العضوية وأشكال مختلفة من **الكربون الأسود** (شارلسون وهينترنبرغ، ١٩٩٥، ص ٤٠١).

Carbon cycle

دورة الكربون يستخدم هذا المصطلح لوصف تدفق الكربون (بشئى أشكاله مثل ثاني أكسيد الكربون) من خلال **الغلاف الجوي** والمحيطات و**الغلاف الحيوي** الأرضي و**القشرة الأرضية**.

Carbon dioxide (Co2)

ثاني أكسيد الكربون غاز يتواجد في الطبيعة، وهو أيضاً أحد النواتج الثانوية الناجمة عن احتراق الوقود الأحفوري من رواسب **الكربون الأحفورية** مثل النفط والغاز والفحم، واحتراق الكتلة الإحيائية ونتيجة تغير استخدام الأراضي وغير ذلك من العمليات الصناعية. وهو أهم غازات الدفيئة البشرية المنشأ الذي يؤثر في التوازن الإشعاعي للأرض. وهو الغاز المرجعي الذي تقاس على أساسه سائر غازات الدفيئة ومن ثم فله إمكانية إحداث الاحترار العالمي البالغ قدره ١.

Carbon dioxide (Co2) fertilization

تخصيب ثاني أكسيد الكربون تعزيز نمو النباتات نتيجة لزيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون في **الغلاف الجوي**. وتعد بعض أنواع النباتات، تبعاً لأليتها الخاصة بالتمثيل الضوئي، أكثر حساسية للتغيرات الطارئة على تركيز ثاني أكسيد الكربون في **الغلاف الجوي**. وعلى وجه الخصوص فإن **نباتات C3** تظهر استجابة لثاني أكسيد الكربون أكبر عموماً من **نباتات C4**.

Climate projection

إسقاطات المناخ إسقاط لاستجابة النظام المناخي لسيناريوهات الانبعاثات أو التركيزات الخاصة بغازات الدفيئة والاهباء الجوية أو سيناريوهات التأثير الإشعاعي، وهو يستند في غالب الأحيان إلى عمليات محاكاة بواسطة النماذج المناخية. وتميز إسقاطات المناخ عن تنبؤات المناخ بهدف التأكيد على أن إسقاطات المناخ تعتمد على سيناريو الانبعاثات / التركيز / التأثير الإشعاعي المستخدم والذي يعتمد على الافتراضات المتعلقة، مثلاً، بالتطورات الاقتصادية الاجتماعية والتكنولوجية المستقبلية التي قد تتحقق أو لا تتحقق ومن ثم فهي محفوفة بقدر كبير من عدم اليقين.

Climate response

الاستجابة المناخية انظر حساسية المناخ *Climate sensitivity*.

Climate scenario

سيناريو المناخ تمثيل معقول ومبسط، في أغلب الأحيان، للمناخ الذي سيسود في المستقبل استناداً إلى مجموعة متسقة داخلياً من العلاقات المناخية التي وضعت للاستخدام الصريح في تحري العواقب المحتملة لتغير المناخ البشري المنشأ والتي تستخدم في كثير من الأحيان في صورة مدخلات لنماذج التأثير. وإسقاطات المناخ تستخدم في الغالب كمادة خام لوضع سيناريوهات المناخ، إلا أن هذه الأخيرة تحتاج عادة إلى معلومات إضافية مثل المعلومات عن المناخ الحالي المرصود. وسيناريو تغير المناخ هو الفارق بين سيناريو المناخ والسيناريو الحالي.

Climate sensitivity

حساسية المناخ في تقارير التقييم للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، تشير «حساسية المناخ المحدثة للتوازن» إلى التغيير المحدث للتوازن في المتوسط السنوي العالمي لدرجة الحرارة السطحية، بعد تضاعف تركيزات ثاني أكسيد الكربون المكافئ في الغلاف الجوي. ونظراً إلى صعوبة التقديرات، غالباً ما تقدر حساسية المناخ المحدثة للتوازن في نموذج مناخي بتشغيل نموذج الدوران العام في الغلاف الجوي لدورة جوية عامة بالتزامن مع نموذج محيطي مختلط الطبقات، لأن حساسية المناخ المحدثة للتوازن تحددها بشكل واسع عمليات الغلاف الجوي. ويمكن إحداث التوازن بنماذج فعالة بوجود محيط ديناميكي.

وتعتبر الحساسية المناخية الفعالة مقياساً ذا صلة يتفادى متطلبات التوازن. وتقاس انطلاقاً من مخرجات النماذج المرتبطة بالظروف اللامتوازنة الناشئة. وهي قياس لقوة التغذية المرتدة للمناخ خلال فترة زمنية محددة وقد تتباين بتباين ماضي التأثير وحالة المناخ. أما بارامتر حساسية المناخ (الوحدات: $^{\circ}\text{C} (\text{W m}^{-2})^{-1}$) فتدل على التغيير في التوازن على مستوى المتوسط السنوي لدرجة الحرارة السطحية العالمية نتيجة تغير في إحدى وحدات التأثير الإشعاعي. أما الاستجابة المناخية العابرة فهي تغير في الحرارة السطحية العالمية يتم تقديره على مدى فترة ٢٠ سنة تقريباً، وهي تتمركز عند تضاعف ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أي في السنة ٧٠ في مركب يصل إلى نسبة ١٪ سنة^{-١} مما يزيد من التجارب المعتمدة على نموذج مناخي مقترن والمرتبطة بزيادات ثاني أكسيد الكربون. وهي مقياس لقوة استجابة الحرارة السطحية وسرعتها تجاه تأثير غازات الدفيئة.

Climate shift or climate regime shift

تحول المناخ أو تحول نظام المناخ تحول مفاجئ أو ارتفاع مفاجئ في القيم الوسطية التي تنبئ بحدوث تغير في النظام. ويتم استخدام هذا المصطلح على أوسع نطاق فيما يتعلق بتحول المناخ في ١٩٧٦ / ١٩٧٧ ويبدو أنه يوازي تغير سلوك ظاهرة النينو - التذبذب الجنوبي.

Climate change commitment

التزام تغير المناخ نتيجة القصور الحراري للمحيطات والعمليات البيئية التي يشهدها كل من الغلاف الحيوي والغلاف الجليدي وأسطح الأرض، سيستمر المناخ في التغير حتى وإن تم الحفاظ على ثبات تركيبة الغلاف الجوي عند القيم السائدة اليوم. إن التغيرات التي حصلت فيما مضى في تركيبة الغلاف الجوي تؤدي إلى تغير مناخي ملتزم، يستمر طالما استمر اللاتوازن الإشعاعي وإلى أن تتكيف كافة مكونات النظام المناخي مع الحالة الجديدة. وإذا ظلت التغيرات الأخرى في درجات الحرارة بعد إبقاء تكوين الغلاف الجوي ثابتاً فإنها تدعى «درجة الحرارة الثابتة للمكونات» أو بكل بساطة «الاحتزام الملتزم» أو «التزام الاحتزام». ويضم التزام تغير المناخ تغيرات مستقبلية أخرى في الدورة الهيدرولوجية وفي أحداث جوية ومناخية مطرفة، وتغير مستوى سطح البحر.

Climate feedback

التأثير التفاعلي في المناخ تدعى آلية التفاعل بين العمليات في النظام المناخي التأثير المناخي التفاعلي عندما تؤدي نتيجة أية عملية أولية إلى إحداث تغيرات في عملية ثانية تؤثر بدورها على العملية الأولية. ويزيد التأثير التفاعلي الإيجابي من تعزيز العملية الأصلية، بينما يقللها التأثير التفاعلي السلبي.

Climate feedback Parameter

بارامتر التأثير التفاعلي للمناخ طريقة لتحديد كمية الاستجابة الإشعاعية للنظام المناخي على تغير درجات الحرارة السطحية العالمية الناتجة عن التأثير الإشعاعي (الوحدات: $^{\circ}\text{C}^{-1} \text{W m}^{-2}$). ويتفاوت ذلك بوصفه عكس حساسية المناخ الفعلية. ويعرف بارامتر التأثير المناخي التفاعلي (\square) رسمياً بأنه: $\square = (\Delta Q - \Delta F) / \Delta T$ ، حيث إن Q هي المتوسط العالمي للتأثير الإشعاعي، وT هي المتوسط العالمي لدرجة حرارة سطح الهواء، وF هي التدفق الحراري في المحيط وD هي تمثل التغيير المرتبط بمناخ غير مضطرب.

Climate model (spectrum or hierarchy)

النموذج المناخي (الطيف أو الهيكل الهرمي) عبارة عن عرض عددي للنظام المناخي القائم على الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لعناصره وتفاعلاتها وعمليات التأثير التفاعلي ويمثل كل خصائصه المعروفة أو بعضها. ويمكن أن يمثل النظام المناخي بنماذج تختلف درجات تعقيدها على أنه يمكن تحديد هيكل هرمي من النماذج لأي عنصر من عناصره أو لمجموعة من تلك العناصر وإن كانت تختلف في بعض الجوانب مثل عدد الأبعاد المكانية ومدى تمثيل العمليات الفيزيائية أو الكيميائية أو البيولوجية بوضوح أو المستوى الذي يتم فيه إشراك عمليات تحديد البارامترات التجريبية. وتوفر النماذج المتقارنة للدوران العام بين الغلاف الجوي والمحيطات والجليد البحري تمثيلاً يقارب نهاية الطيف الأكثر شمولاً للنظام المناخي. وهناك تطور نحو النماذج الأكثر تعقيداً باستخدام الكيمياء والبيولوجيا التفاعليتين (انظر الفصل ٨). وتطبق النماذج المناخية، باعتبارها أداة من أدوات البحوث، لدراسة ومحاكاة المناخ ولكنها تستخدم أيضاً في الأغراض العملية بما في ذلك التنبؤات المناخية الشهرية والفصلية وتلك الخاصة بفترات ما بين السنوات.

Climate prediction

التنبؤ بالمناخ التنبؤ بالمناخ أو التكهّن بالمناخ تحدثان نتيجة لمحاولة وضع أكثر الأوصاف احتمالاً أو تقدير التطور الفعلي للمناخ في المستقبل، حيث إنه قد يكون تطور النظام المناخي في المستقبل شديد الحساسية إزاء الظروف الأولية. وعادة ما تكون هذه التنبؤات ذات صبغة احتمالية فحسب على النطاق الزمني الفصلي أو نطاق ما بين السنوات أو النطاق الأطول أجلاً، مثلاً. انظر أيضاً *Climate projection* و *Climate scenario* و *Predictability*.

Cosmogenic isotopes

النظائر الكونية نظائر نادرة تتشكل نتيجة تفاعل بين الأشعة الكونية العالية الطاقة ونواة ذرة في الموقع. وغالباً ما تستعمل كمؤشر للنشاط الشمسي المغناطيسي (الذي يمكن أن يحجب الأشعة الكونية) أو ككواشف للانتقال في **الغلاف الجوي** كما تسمى نويدات كونية.

Cryosphere

الغلاف الجليدي مكون من مكونات **النظام المناخي** يتألف بالكامل من الثلج والجليد و**الأرض المتجمدة** (بما في ذلك التربة الصقيعية) على سطح الأرض والمحيطات وتحتها. انظر أيضاً **الكتل والأنهار الجليدية والغطاء الجليدي**.

Dansgaard-Oeschger events

أحداث دانسغارد - أو شغير أحداث احترار مفاجئ يتبعها تبريد تدريجي. ويظهر الاحترار المفاجئ والتبريد التدريجي بشكل أساسي في قلب **الكتل الجليدية** بغرينلاند وفي **سجلات المناخ القديم** من شمال الأطلسي المجاور لها، وقد شوهد كذلك في مناطق أخرى احترار أعم يتبعه تبريد تدريجي، على فترات فاصلة تتراوح بين ١,٥ و ٧ آلاف سنة خلال الفترات الجليدية.

Deforestation

إزالة الغابات تحويل الغابات إلى أراض غير حرجية. وللإطلاع على المزيد من البحوث المتصلة بمصطلح **الغابة** وما يتصل به من مصطلحات مثل التحريج و**إعادة التحريج وإزالة الغابات**، يمكن العودة إلى التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ IPCC حول تغير استخدام الأراضي والحراجة (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ٢٠٠٠). انظر أيضاً التقرير عن «التحديات والخيارات المنهجية المتعلقة بقوائم جرد الانبعاثات الناتجة عن تدهور الغابات وإزالة أنواع الغطاء النباتي الأخرى بفعل الإنسان مباشرة» (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ٢٠٠٣).

Desertification

التصحّر تردّي الأراضي في المناطق القاحلة وشبه القاحلة والمناطق الجافة شبه الرطبة نتيجة لعوامل مختلفة، من بينها التغيرات المناخية والأنشطة البشرية. وتعرّف اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر (UNCCD) تردّي الأراضي على أنه انخفاض أو فقدان الإنتاجية البيولوجية أو الاقتصادية والتعدد البيولوجي أو الاقتصادي لأراضي المحاصيل البعلية في المناطق القاحلة وشبه القاحلة والمناطق شبه الرطبة الجافة والطبيعية وأراضي المحاصيل المروية أو مراعي الماشية أو أراضي **الأحراج والغابات** بفعل عملية أو مجموعة من العمليات ونظم استخدام الأراضي بما فيها العمليات والنظم الناجمة عن الأنشطة البشرية وأنماط السكنى من قبيل (١) تحات التربة بسبب الرياح و/أو المياه؛ (٢) تردّي الخصائص الفيزيائية والكيميائية والإحيائية أو الاقتصادية للتربة و(٣) فقدان الطويل الأجل للغطاء النباتي الطبيعي.

Detection and attribution

الكشف وتحديد الأسباب يتغير **المناخ** باستمرار على جميع النطاقات الزمنية. والكشف عن تغير المناخ هو عملية تبين أن المناخ قد تغير من بعض النواحي الإحصائية المحددة بدون إبداء أي سبب لهذا التغير. وتحديد أسباب تغير المناخ هو عملية تبين أرجح أسباب التغير المكتشف، مع قدر محدد ما من **الثقة**.

Diatoms

الدياتومات طحالب بحجم حبة الطمي أحادية الخلية تعيش على سطح البحيرات والأنهار والمحيطات وتشكل قوقعة من الأوبال (حجر عين الشمس). وغالباً ما

Climate system

النظام المناخي النظام المناخي هو النظام الشديد التعقيد الذي يتألف من خمسة عناصر رئيسية هي: **الغلاف الجوي والهيدروسفير والغلاف الجليدي** وسطح الأرض و**الغلاف الحيوي** والتفاعلات القائمة بينها. ويتطور النظام المناخي عبر الزمن تحت تأثير ديناميته الداخلية الخاصة به ونتيجة لتأثيرات خارجية مثل ثورات البراكين والتباينات الشمسية و**التأثيرات المستحثة بشرياً** مثل تغيير تركيبة **الغلاف الجوي** واستخدام الأراضي.

Climate variability

تقلبية المناخ تشير تقلبية المناخ إلى التباينات في متوسط حالة **المناخ** وما إلى ذلك من الإحصاءات المناخية (مثل الانحرافات المعيارية وحدوث الظواهر الجوية المتطرفة إلخ) على جميع **النطاقات الزمنية والمكانية** التي تتجاوز نطاق الظواهر الجوية الإفرادية. وقد تعزى التقلبية إلى عمليات داخلية طبيعية في إطار **النظام المناخي** (التقلبية الداخلية) أو **التباينات في التأثير الإشعاعي الخارجي البشري المنشأ** (التقلبية الخارجية). انظر أيضاً **Climate change**.

Cloud condensation nuclei (CCN)

نوى تكثف السحب جزيئات محمولة في الهواء تشكل موقعاً أولياً لتكثف الماء السائل الذي قد يؤدي إلى تشكل قطرات من السحب. انظر أيضاً **الهباء الجوي Aerosols**.

Cloud feedback

التأثيرات التفاعلية للسحب تأثيرات مناخية تفاعلية تنطوي على حدوث تغيرات في أحد خصائص السحب استجابة لتغيرات أخرى في **الغلاف الجوي**. لذا يتطلب فهم التأثيرات التفاعلية للسحب وتحديد حجمها وسمتها وفهم كيفية تأثير أي تغير مناخي على طاقة أنواع السحب وأجزائها وارتفاعها وخصائصها الإشعاعية، وتقدير آثار هذه التغيرات على ميزانية الأرض الإشعاعية. وما زالت التأثيرات المتبادلة للسحب حتى الآن أكبر مصدر لعدم اليقين لجهة تقديرات حساسية المناخ. انظر أيضاً تأثير السحب الإشعاعي، والتأثير الإشعاعي.

Cloud radiative forcing

تأثير السحب الإشعاعي هو الاختلاف بين ميزانية الأرض الإشعاعية التي تشمل السماء كلها وميزانية الأرض الإشعاعية للسماء الصافية (وحدات: $W m^{-2}$).

CO2-equivalent

ثاني أكسيد الكربون المكافئ انظر **ثاني أكسيد الكربون المكافئ Equivalent carbon dioxide**.

Confidence

الثقة مستوى الثقة لجهة صحة النتائج المعروضة في هذا التقرير، باستعمال المصطلحات المعيارية المحددة في الإطار ١-١. انظر أيضاً **الأرجحية**؛ **عدم اليقين Likelihood; Uncertainty**.

Convection

الحمل الحراري حركة عمودية ناتجة عن قوى التعويم الناشئة بدورها عن عدم الاستقرار السكوني الذي غالباً ما يكون سببه التبريد القريب من السطح أو الزيادات في الملوحة فيما يتعلق بالمحيطات والاحترار القريب من السطح فيما يتعلق ب**الغلاف الجوي**. ويبلغ النطاق الأفقي في موقع الحمل الحراري ما يقارب النطاق العمودي خلافاً للتباين الكبير بين هذين النطاقين في **حركة الدوران العام**. وغالباً ما يكون نقل صافي الكتلة العمودية اصغر بكثير من التبادل صعوداً ونزولاً.

يرتبط توزيع هذا النوع من الطحالب في قلب المحيطات بدرجات حرارة سطح البحر في وقت سابق انظر *sea surface temperatures*.

Diurnal temperature range

نطاق درجات الحرارة اليومية الفرق بين درجة الحرارة القصوى ودرجة الحرارة الدنيا خلال فترة ٢٤ ساعة.

Efficacy

الفعالية طريقة لقياس مدى فعالية التأثير الإشعاعي البشري المنشأ أو المتأتي عن آلية طبيعية في تغيير توازن درجات الحرارة السطحية العالمية مقارنة بتأثير إشعاعي مواز ناتج عن ثاني أكسيد الكربون. وتبلغ فعالية زيادة ثاني أكسيد الكربون بموجب التعريف ١.٠.

Ekman pumping

الضخ الإكماني الإجهاد الاحتكاكي على مستوى السطح، بين سائلين (الغلاف الجوي والمحيط) أو بين سائل و سطح صلب متاخم (سطح الأرض) الذي يولد حركة دوران. وعند انتقال الكتل وتقاربها يستوجب الحفاظ على الكتل حصول تدفق عمودي بعيداً عن السطح. وهذا ما يسمى بضخ إكماني. أما المفعول المعاكس، في حالة التبادل، فيسمى بالمص الإكماني. ويعتبر المفعول مهماً في كل من الغلاف الجوي والمحيط.

Ekman transport

الانتقال الإكماني مجمل الانتقال الناتج عن توازن بين قوة كوريوليس والإجهاد الاحتكاكي نتيجة نشاط الريح فوق سطح المحيط. انظر أيضاً **الضخ الإكماني** *Ekman pumping*.

El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

ظاهرة النينو/التذبذب الجنوبي استعمل مصطلح النينو أصلاً لوصف تيار من المياه الدافئة التي تتدفق دورياً على طول ساحل إكوادور وبيرو، مما يؤدي إلى حدوث اضطراب في صناعة صيد الأسماك محلياً. ومن ثم أخذ يُعرف باحترار منطقة المحيط الهادئ المدارية على نطاق الحوض كله شرقي هذا الخط الممتد من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي. ويرتبط هذا الحدث المحيطي بتقلب نمط الضغط السطحي المداري وشبه المداري على النطاق العالمي وهو ما يُعرف باسم التذبذب الجنوبي. ويقترن ذلك بظاهرة **الغلاف الجوي** - المحيطات، حيث تتراوح نطاقاتها الزمنية الشائعة بين سنتين و٧ سنوات تقريباً، وتُعرف جمعياً بظاهرة النينو / التذبذب الجنوبي. وغالباً ما تقاس بواسطة الاختلاف في شذوذ الضغط السطحي بين داروين و تاهيتي ودرجات حرارة سطح البحر في المنطقة الوسطى والشرقية من المحيط الهادئ الاستوائي. وأثناء ظاهرة النينو - التذبذب الجنوبي تضعف الرياح التجارية السائدة مما يخفض من حدة صعود التيارات المحيطية العميقة وتبدلها حيث يؤدي ذلك إلى ارتفاع درجات حرارة سطح البحر ويزيد بدوره من ضعف الرياح التجارية. ولهذه الظاهرة تأثير كبير على الرياح ودرجات حرارة سطح البحر وأنماط التمهطال في منطقة المحيط الهادئ المدارية. وهي تتسم بتأثيرات 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).

Emission scenario

سيناريو الانبعاثات تمثيل معقول للتطورات المستقبلية لانبعاثات المواد التي من المحتمل أن تكون نشطة إشعاعياً (مثل غازات الدفيئة والأهباء الجوية) استناداً إلى مجموعة متجانسة ومتسقة داخلياً من الافتراضات بشأن القوى المحركة (مثل التطورات الديمغرافية والاجتماعية والاقتصادية والتغيرات التكنولوجية) والعلاقات الرئيسية التي تربط بينها. وتستخدم سيناريوهات التركيزات، المستخلصة من سيناريوهات الانبعاثات، كمدخلات في نموذج مناخي لحساب الإسقاطات المناخية. وقد عرضت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC)، في تقريرها عام ١٩٩٢، مجموعة من **سيناريوهات الانبعاثات** استخدمت كأساس لوضع **إسقاطات المناخ** في تقرير التقييم الثاني (IPCC 1996) ويشير إلى سيناريوهات

Dobson unit (DU)

وحدة دوبسون وحدة لقياس مجموع كمية الأوزون في العمود الشاقولي فوق سطح الأرض (عمود الأوزون الكلي). وعدد وحدات دوبسون هو الكثافة بوحدات تبلغ ١٠^{-٦} م التي يحتلها عمود الأوزون إذا تم ضغطه بحيث يصبح طبقة كثافة متسقة، عند ضغط يبلغ ١,٠١٣ هكتوباسكال وعلى درجة حرارة 0°C. وتعادل وحدة دوبسون الواحدة عمود أوزون يحتوي على ٢,٦٩ X ١,٠٢٠ جزيء في المتر المربع الواحد. وتبلغ القيمة المعتادة لعمود الأوزون في الغلاف الجوي الأرضي ٣٠٠ وحدة دوبسون وإن كانت تتغير هذه القيمة تغيراً شديداً.

Downscaling

تقليص النطاقات طريقة اشتقاق المعلومات المرتبطة بالنطاق المحلي إلى الإقليمي (١٠ إلى ١٠٠ كلم) من تحليل نماذج أو بيانات أوسع نطاقاً. ويمكن التمييز هنا بين طريقتين: تقليص النطاقات الديناميكي والتقليص التجريبي / الإحصائي. أما الطريقة الديناميكية فتستعمل مخرجات النماذج المناخية الإقليمية، والنماذج العالمية ذات الاستبانة المكانية المتغيرة أو نماذج عالمية عالية الاستبانة. أما الطرق التجريبية / الإحصائية فتقيم علاقات إحصائية تربط متغيرات **الغلاف الجوي** الواسعة النطاق مع المتغيرات المناخية المحلية / الإقليمية. وفي مطلق الأحوال، ترتبط نوعية المنتج المقلص النطاق بنوعية النموذج الدافع.

Drought

الجفاف ظاهرة تحدث بشكل عام، عند إنعدام التمهطال لفترة مطولة من الزمن»، وهو «نقص يسفر عن نقص في الماء اللازم لنشاط ما أو لمجموعة ما»، أو «مرحلة طقس جاف على نحو غير طبيعي طال بما فيه الكفاية نتيجة توقف التمهطال ليسفر عن اختلال خطير في التوازن المائي» (Heim, 2002). وقد تم تعريف الجفاف بعدد من الطرق. فالجفاف الزراعي يتعلق بنقص الرطوبة في الطبقة العليا من التربة البالغة متراً واحداً تقريباً (طبقة الجذور) مما يؤثر على المحاصيل، أما الجفاف الناجم عن عوامل جوية فيعني عموماً نقصاً مطولاً في التمهطال، ويرتبط الجفاف الهيدرولوجي بتدفق المجاري المائية ومستويات البحيرات والمياه الجوفية على نحو أقل من المعتاد. أما الجفاف الواسع النطاق والطويل الأمد والمنتشر، فيدوم فترة أطول بكثير من المعتاد، تبلغ على وجه العموم عشرة أعوام أو أكثر، انظر الإطار ١-٣.

Dynamical system

النظام الديناميكي عملية أو مجموعة من العمليات تتحكم بتطورها مع الزمن مجموعة من القوانين الفيزيائية الجبرية. ويعتبر **النظام المناخي** نظاماً ديناميكياً. انظر **تغير المناخ المفاجئ**، و **الاختلال الكلي**، و **اللاخطية**، و **إمكانية التنبؤ**.

Ecosystem

النظام الإيكولوجي نظام من الكائنات الحية المتفاعلة في ما بينها ومع بيئتها الفيزيائية. وتكون حدود ما يمكن أن يسمى نظاماً إيكولوجياً اعتباطية إلى حد ما رهناً بمجال تركيز الاهتمام أو الدراسات. وبالتالي قد يتراوح أي نظام إيكولوجي بين نطاقات مكانية بالغة الصغر وحتى كوكب الأرض بكامله في نهاية المطاف.

شأنه أن يسبب المقدار ذاته من **التأثير الإشعاعي** المتكامل، خلال أفق زمني ما، بوصفه انبعاثاً لغازات الدفيئة الممتزجة جيداً أو خليط من غازات الدفيئة الممتزجة جيداً. ويمكن الحصول على انبعاث ثاني أكسيد الكربون المكافئ من خلال ضرب انبعاث أحد غازات الدفيئة الممتزجة جيداً بما تنطوي عليه من **إمكانية الاحتراق العالمي** في هذا النطاق الزمني المحدد. أما بالنسبة لمجموعة غازات الدفيئة الممتزجة جيداً، فيتم تحديد الانبعاث بجمع انبعاث ثاني أكسيد الكربون المكافئ لكل غاز من الغازات. ويعتبر الانبعاث معياراً ومقياساً **مترياً** مفيداً لمقارنة انبعاثات مختلف غازات الدفيئة ولكنه لا يطابق الاستجابات الموازية **لتغير المناخ** (انظر القسم (٢،١٠).

Evapotranspiration

التبخّر النتحى عملية مزدوجة تجمع بين التبخر من سطح الأرض والنتح من النباتات.

External forcing

التأثير الخارجي التأثير الخارجي يعني أي عامل مؤثر خارج **النظام المناخي** يسبب تغيراً في هذا النظام. وتعتبر الفورات البركانية والتغيرات الشمسية والتغيرات **البشرية المنشأ** المؤدية إلى تغيرات في **الغلاف الجوي** وفي **استخدام الأراضي**، كلها تأثيرات خارجية.

Extreme weather event

أحداث الطقس المتطرفة وهي حالة نادرة تحدث في مكان معين ووقت معين من السنة. وتتفاوت تعريف كلمة «نادرة»، لكن أي حالة جوية متطرفة تكون في العادة نادرة أو أكثر ندرة من **الجزء المئتي العاشر** أو **المئتي التسعين** لدالة **توزع الاحتمالات المشاهدة**. وقد تتفاوت بشكل كبير، من حيث تعريف خصائص عبارة «الطقس المتطرف» من مكان إلى آخر بالمعنى المطلق. ولا يمكن عزو أية ظاهرة متطرفة بكل بساطة ومباشرة إلى تغير المناخ **البشري المنشأ** نظراً إلى وجود إمكانية ضئيلة دوماً بأن تكون الظاهرة قد حدثت بصورة طبيعية. وعندما يستمر نمط الطقس المتطرف لبعض الوقت، كأن يمتد على مدى موسم كامل، يُصنّف على أنه ظاهرة مناخية، وخاصة إذا أسفر عن متوسط أو نتيجة إجمالية متطرفين بحد ذاتهما (مثل **الجفاف** أو **التهاطل الغزير** على مدى موسم كامل).

Faculae

الصياخ بقعة لامعة على قرص الشمس. ويتسع مكان البقع خلال فترات **النشاط الشمسي** العالي.

Feedback

التغذية المرتدة انظر **التفاعلية المناخية**.

Fingerprint

البصمة نمط استجابة **المناخ** في المكان و / أو الزمان لتأثير محدد يعرف عموماً بأنه بصمة. وتستعمل البصمات لكشف وجود هذه الاستجابة في الرصدات وتقدّر عادة بواسطة عمليات محاكاة القسرية **للمناخية**.

Flux adjustment

تكيف التدفقات يمكن، بغية تجنب 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 الضغوطات السطحية الناجمة عن تأثير الرياح على سطح المحيط) قبل إدراج هذه التدفقات في نموذج المحيط و**الغلاف الجوي**. ونظراً إلى أنه يتم حساب عمليات التكيف هذه

الانبعاثات هذه باعتبارها سيناريوهات IS92. وقد نشرت في التقرير الخاص عن سيناريوهات الانبعاثات سيناريوهات انبعاثات جديدة وهي ما يطلق عليه اسم سيناريوهات الانبعاثات للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (ناكسيفيتش وسوارت، ٢٠٠٠)، واستعمل بعضها كأساس للإسقاطات المناخية المعروضة في الفصلين ٩ و ١١ من تقرير الهيئة لسنة ٢٠٠١ و ١٠ و ١١ من التقرير الحالي. وللإطلاع على معنى المصطلحات المتصلة بهذه السيناريوهات، يمكن الرجوع إلى **سيناريوهات التقرير الخاص (SRES)**.

Energy balance

توازن الطاقة الفارق بين إجمالي الطاقة الواردة وإجمالي الطاقة الصادرة. فإذا كان هذا التوازن إيجابياً يحدث الاحتراق وإذا كان سلبياً يحدث التبريد. وإذا تم حساب متوسط هذه العملية على نطاق الأرض وعلى فترات زمنية طويلة فينغي أن يبلغ هذا التوازن الصفر. وبما أن **النظام المناخي** يستمد عملياً كامل طاقته من الشمس، فإن هذا التوازن يقتضي ضمناً أن يكون متوسط الإشعاع الشمسي الوارد مساوياً بمجموعه لمقدار **الإشعاع الشمسي** الصادر المنعكس و**الإشعاع دون الأحمر الحراري** المنبعث من النظام المناخي. ويسمى أي اضطراب في توازن الإشعاع العالمي هذا، سواء أكان **بشري المنشأ** أم طبيعياً، **التأثير الإشعاعي**.

Ensemble

المجموعة مجموعة من نماذج المحاكاة المتوازنة تستعمل في **الإسقاطات المناخية**. ويسفر أي تغير في النتائج المتعلقة بجميع نماذج «المجموعة» تقدير لمدى عدم اليقين. ولا تحدد المجموعات الناشئة عن النموذج نفسه ولكن مع اختلاف ظروفها الأولية سوى **عدم اليقين المرتبط بتقلبية المناخ** الداخلية، بينما تضم المجموعات المتعددة النماذج بما في ذلك المحاكاة بنماذج عديدة أيضاً التأثير الناجم عن الاختلافات بين النماذج. وتهدف المجموعات المضطربة البارامترات والتي تتغير بارامترات بشكل نظامي، إلى وضع تقدير أكثر موضوعية لعدم اليقين المتصل بالنموذج مما هو الحال بالنسبة للمجموعات المتعددة النماذج التقليدية.

Equilibrium and transient climate experiment

التوازن وتجربة المناخ العابر تجربة المناخ المحدثة للتوازن، وهي تجربة يسمح فيها لأي **نموذج مناخي** بالتكيف التام مع أي تغير 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 طبقاً **لسيناريو الانبعاثات** المحدد سلفاً، فقد يتم تحليل استجابة النموذج المناخي المعتمدة على الزمن. وتسمى هذه التجربة تجربة المناخ العابر. انظر أيضاً **الإسقاطات المناخية**.

Equilibrium line

خط التوازن الحدود بين المنطقة القائمة على **الكتلة الجليدية** التي تتعرض إلى خسارة سنوية صافية في الكتلة الجليدية (منطقة تلاشي الجليد) وزيادة سنوية صافية (منطقة التراكم). ويطلق على ارتفاع تلك الحدود اسم ارتفاع خط التوازن.

Equivalent carbon dioxide (CO2) concentration

تركيزات ثاني أكسيد الكربون المكافئ تركيز ثاني أكسيد الكربون الذي من شأنه أن يسبب نفس القدر من **التأثير الإشعاعي** كأي مزيج معين من ثاني أكسيد الكربون وغيره من **غازات الدفيئة** الأخرى.

Equivalent carbon dioxide (CO2) emission

انبعاث ثاني أكسيد الكربون المكافئ مقدار انبعاث ثاني أكسيد الكربون الذي من

الدوران وانحرافه، وتأثير تحركات قشرة الأرض وغيره من التأثيرات **كالارتداد بعد الجليدي**. وهيئة الأرض عالمية النطاق حيث أنها تمتد عبر القارات والمحيطات و**الصفائح الجليدية**، وهي تشمل حالياً تأثير حركات المد والجزر الدائمة (انعدام تأثير جاذبية الشمس والقمر) وهي السطح المرجعي للأرصاء الفلكية، ولتحديد المستويات الجيوديسية، ولوضع نماذج المحيطات والنماذج الهيدرولوجية ونماذج تكون الجليد والمناخ. وعلى الصعيد العملي، هناك العديد من التعاريف العملية للمجسم الأرضي، التي تتوقف على كيفية وضع نماذج التأثيرات المتغيرة زمنياً الوارد ذكرها أعلاه.

Geostrophic winds or currents

الرياح أو التيارات الجيوسروفية ربح أو تيار، متوازن مع منحني الضغط الأفقي وقوة كوريوليس ما يجعله خارج نطاق تأثير الاحتكاك. أي أن الرياح أو التيار يوازى بصورة مباشرة خطوط تساوي الضغط الجوي، أما سرعته فتتناسب عكسياً مع نسبة تباعد خطوط كفاف تساوي الضغط الجوي.

Glacial isostatic adjustment

التكيف التضاعطي الجليدي انظر **الارتداد بعد الجليدي**.

Glacier

النهر الجليدي كتلة من الجليد الأرضي التي تتدفق إلى الأسفل بفعل جاذبية الأرض (من خلال التفكك الداخلي و / أو الانزلاق عند القاعدة) ويكبجها الضغط الداخلي بالإضافة إلى الاحتكاك عند القاعدة والجوانب. وتتكون الأنهار الجليدية نتيجة لتراكم الثلوج على ارتفاعات عالية، ويوازنها حدوث الذوبان على الارتفاعات المنخفضة أو تصريف المياه إلى البحر. انظر **خط التوازن، التوازن الكتلي**.

Global dimming

خفوت الضوء العالمي يُعنى بخفوت الضوء العالمي الانخفاض الملحوظ الواسع النطاق **للإشعاع الشمسي** الذي تلقاه سطح الأرض بين عام ١٠٦١ وحتى حوالي ١٩٩٠.

Global surface temperature

درجة حرارة سطح الأرض درجة الحرارة السطحية العالمية هي المتوسط العالمي المقدر لدرجة حرارة الهواء السطحي. ولكن، ونظراً للتغيرات التي حدثت بمرور الزمن، لم تعد تستخدم سوى حالات الشذوذ وحدها ذات الصلة بوصفها انحرافات في علم المناخ، تستند في الغالب الأعم على المتوسط العالمي المرجح حسب المنطقة لشذوذ درجات **حرارة سطح البحر** ودرجات **حرارة الهواء السطحي** فوق اليابسة.

Global Warming Potential (GWP)

إمكانية الاحترار العالمي مؤشر يركز إلى الخصائص الإشعاعية لغازات الدفيئة الجيدة الامتزاز، ويقاس **التأثير الإشعاعي** لوحدة كتلة أي غاز من غازات الدفيئة الجيد الامتزاز اندمج في **الغلاف الجوي** الحالي على مدى نطاق زمني ما، وهو يتعلق بوحدة كتلة **ثاني أكسيد الكربون**. وهو يمثل التأثير المشترك للمدد الزمنية المتفاوتة التي تبقى خلالها هذه الغازات في **الغلاف الجوي** وفعاليتها النسبية في امتصاص **الإشعاع الحراري** دون الأحمر الصادر. ويستند **بروتوكول كيوتو** على إمكانية الاحترار العالمي انطلاقاً من الانبعاثات التدبذبية النبضية على فترة ١٠٠ سنة.

Greenhouse effect

ظاهرة الدفيئة (ظاهرة الاحتباس الحراري) تمتص غازات الدفيئة بفعالية **الإشعاع الحراري دون الأحمر** الذي ينطلق من سطح الأرض، ومن **الغلاف الجوي**

مسبقاً ومن ثم تكون مستقلة عن تكامل النموذج المتقارن، فإنها لا ترتبط بحالات الشذوذ التي تتطور أثناء عملية التكامل. ويستنتج الفصل الثامن من التقرير الحالي أن معظم النماذج المستعملة في هذا التقرير (التقرير التجميعي الرابع لنماذج الدوران العام متقارن للغلاف الجوي والمحيطات) لا تستعمل طرق تكييف التدفقات، وأن عدداً أقل من النماذج يستخدم عملية تكييف التدفقات بصورة عامة.

Forest

الغابة نوع من الغطاء النباتي تغلب عليه الأشجار. وهناك الكثير من التعاريف لمصطلح الغابة في مختلف أنحاء العالم، مما يعكس الفوارق الشاسعة في الأحوال البيولوجية وهي تعاريف تبرز اختلافات كبيرة في الأحوال الطبيعية الفيزيائية الإحيائية والهيكل الاجتماعي والاقتصاديات. وللإشارة على مناقشة مصطلح الغابة والمصطلحات المرتبطة به مثل **الحراثة وإعادة التحريج وإزالة الغابات**، انظر «التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن استخدام الأراضي وتغيير استخدام الأراضي والحراثة» (الهيئة الحكومية المعنية بتغير المناخ، ٢٠٠٠). انظر أيضاً التقرير الخاص بالتحديات والخيارات المنهجية المتعلقة بجرد الانبعاثات الناتجة عن تدهور الغابات وإزالة أنواع أخرى من الغطاء النباتي نتيجة النشاط البشري المباشر (الهيئة الحكومية المعنية بتغير المناخ، ٢٠٠٣).

Fossil fuel emissions

انبعاثات الوقود الأحفوري انبعاثات غازات الدفيئة (خاصة ثاني أكسيد الكربون) الناتجة عن احتراق الوقود المتكون من ترسبات الكربون الأحفوري، مثل النفط والغاز الطبيعي والفحم.

Framework Convention on Climate Change

الاتفاقية الإطارية بشأن تغير المناخ انظر **اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC)**.

Free atmosphere

الغلاف الجوي الطليق طبقة **الغلاف الجوي** التي بالكاد تتأثر بالاحتكاك مع سطح الأرض وتقع فوق طبقة **الغلاف الجوي** المتاخمة.

Frozen ground

الأرض المتجمدة التربة أو الصخر اللذان يتجمد في مساهما جزء من الماء أو كل الماء (فان إيفرينجن، ١٩٩٨) وتشمل الأرض المتجمدة **التربة الصقيعية**. أما الأرض التي تتعرض للتجمد والذوبان سنوياً، فتسمى بالأرض الموسمية التجمد.

General circulation

الدوران العام الحركات الواسعة النطاق **للغلاف الجوي** والمحيط نتيجة الارتفاع التفاضلي للحرارة على الكرة الأرضية التي تدور باستمرار، بغية إعادة **توازن الطاقة** للنظام وذلك من خلال نقل الحرارة والقوة الدافعة.

General circulation model (GCM)

نموذج الدوران العام انظر **النموذج المناخي**.

Geoid

هيئة الأرض السطح ذو الكثافة المتجانسة (أي أنه ينطوي على إمكانية الجاذبية نفسها على جميع نقاطه) والذي يتطابق على النحو الأفضل مع متوسط مستوى سطح البحر (انظر **مستوى سطح البحر النسبي**) عندما لا توجد حركات المد والجزر الضخمة، وحركات الدوران المحيطي والتأثيرات الهيدرولوجية؛ وتأثيرات الغلاف الجليدي والغلاف الجوي؛ والتقلبات في دوران الأرض والحركة القطبية، وتمثيل

Hadley Circulation

حركة دوران هادي

خلية انقلابية مباشرة في **الغلاف الجوي** مدفوعة حرارياً تتألف من تدفق قطبي الاتجاه في طبقة **التروبوسفير** العليا، وتجعل الهواء ينخسف داخل الأعاصير المضادة شبه الاستوائية، وهي تدفق عائد كجزء من الرياح التجارية القريبة من السطح مصحوب بارتفاع الهواء قرب خط الاستواء فيما يسمى **بمنطقة التلاقي المشتركة بين المدارات** (الرياح التجارية والتهدال الكثيف).

Halocarbons

الهالكربونات (مركبات الكربون الهالوجينية) مصطلح جماعي يعني مجموعة من الأنواع العضوية المهلجنة جزئياً والتي تشمل المركبات الكربونية الكلورية الفلورية (CFCs) والمركبات الكلورية الفلورية الهيدروجينية (HCFCs) والمركبات الفلورية الهيدروكلورية (HFCs) والهالونات وكلوريد الميثيل، وبروميد الميثيل... إلخ. ويملك العديد من مركبات الكربون الهالوجيني قدرة كبيرة على التسبب **باحتراق عالمي**. وتشارك أيضاً الهالوكربونات التي تحتوي على الكلور والبروم في المسؤولية عن استنفاد **طبقة الأوزون**.

Halosteric

هالوستيريك (تغير الملوحة) انظر تغير مستوى سطح البحر.

HCFC

المركبات الكلورية الفلورية الهيدروجينية انظر مركبات الكربون الهالوجيني.

HFC

المركبات الفلورية الهيدروجينية انظر مركبات الكربون الهالوجيني.

Heterotrophic respiration

التنفس متباين التغذية تحول المواد العضوية إلى **ثاني أكسيد الكربون** من خلال كائنات حية (متعضية) غير النباتات.

Holocene

الحقبة الهولوسينية الحقبة الجيولوجية الهولوسينية هي الحقبة الأخيرة من الحقبتين **الرباعيتين**، وتمتد من حوالي ١١٦٠٠ سنة حتى الآن بما في ذلك الوقت الحاضر.

Hydrosphere

الغلاف المائي (الهيدروسفير) عنصر **النظام المناخي** المؤلف من السطح السائل والمياه الجوفية، مثل المحيطات والبحار والأنهار وبحيرات المياه العذبة والمياه الجوفية وغير ذلك.

Ice age

العصر الجليدي يتميز العصر الجليدي أو الحقبة الجليدية بانخفاض طويل المدى في درجات حرارة **مناخ الأرض**، مما أدى إلى نمو **الصفائح الجليدية** القارية و**الأنهار الجليدية** الجبلية (التجلد).

Ice cap

القلنسوة الجليدية كتلة جليدية على شكل قبة، تغطي عادة منطقة مرتفعة أصغر بكثير من نطاق **الصفائح الجليدية**.

نفسه بسبب الغازات هذه، ومن السحب. وينبعث إشعاع **الغلاف الجوي** في جميع الاتجاهات، بما في ذلك إلى الأسفل نحو سطح الأرض. وهكذا تختزن غازات الدفيئة الحرارة داخل نظام السطح - **التروبوسفير**. ويطلق على ذلك اسم ظاهرة الدفيئة. ويقترب الإشعاع الحراري دون الأحمر بقوة مع درجة حرارة الغلاف الجوي على الارتفاع الذي ينبعث عنده. وتنخفض درجة الحرارة بصورة مطردة بصفة عامة مع ازدياد الارتفاع في التروبوسفير. أما من الناحية العملية، فإن الإشعاع دون الأحمر الذي ينبعث في الفضاء ينشأ عن ارتفاع يبلغ عنده متوسط درجة الحرارة -١٩ درجة مئوية مما يتوازن مع صافي **الإشعاع الشمسي** الوارد، بينما تظل درجة حرارة سطح الأرض مرتفعة بصورة أكبر بكثير حيث تبلغ في المتوسط +١٤ درجة مئوية. وتفضي أية زيادة في تركيز غازات الدفيئة إلى تزايد عدم الشفافية تحت الحمراء للغلاف الجوي، ومن ثم إلى الإشعاع الفعال في الفضاء من ارتفاع أعلى عند درجة حرارة أدنى. ويؤدي ذلك إلى حدوث **تأثير إشعاعي**، وهو اختلال يعزز عامل الدفيئة، ويُدعى ظاهرة الدفيئة المعززة.

Greenhouse gas

غاز الدفيئة غازات الدفيئة هي المكونات الغازية **للغلاف الجوي** سواء كانت طبيعية أم بشرية المنشأ وهي تمتص وتطلق الإشعاع عند أطول موجات محددة في نطاق طيف **الإشعاع الحراري دون الأحمر** الذي يطلقه كل من سطح الأرض و**الغلاف الجوي** ذاته، والسحب. وتؤدي هذه الخاصية إلى تكون **ظاهرة الدفيئة**. وغازات الدفيئة الرئيسية الموجودة في **الغلاف الجوي** هي بخار الماء (H₂O) و**ثاني أكسيد الكربون** (CO₂) وأكسيد النيتروز (N₂O) والميثان (CH₄) و**الأوزون** (O₃). وبالإضافة إلى ذلك، يوجد في **الغلاف الجوي** عدد من غازات الدفيئة **البشرية المنشأ** كليا، مثل **الهالكربونات** وغيرها من المواد المحتوية على الكلور والبروم التي يتم معالجتها بموجب **بروتوكول مونتريال**. بالإضافة إلى ثاني أكسيد الكربون وأكسيد النيتروز والميثان، يتناول **بروتوكول كيوتو** سادس فلوريد الكبريت والمركبات الكربونية الفلورية الهيدروكلورية والمركبات الكربونية الفلورية المشبعة.

Gross Primary Production

إجمالي الإنتاج الأوبي مقدار الطاقة الثابت المنطلق الذي يتم تحويله من **الغلاف الجوي** من خلال **التمثيل الضوئي**.

Ground ice

الجليد الأرضي مصطلح عام يدل على كافة أنواع الجليد الموجودة في **الأرض المتجلدة** أو المتجلدة موسمياً وعلى **التربة الصقيعية** (فان إيفرنبرغ، ١٩٩٨).

Ground temperature

حرارة الأرض درجة حرارة الأرض القريبة من السطح (غالباً ما تكون في السنتمترات العشرة الأولى). وغالباً ما يُشار إليها بـ **حرارة التربة**.

Ground line/zone

الخط / النطاق الأرضي خط تلاقٍ أي **نهر جليدي** أو **صفائح جليدية** مع **الجرف الجليدي**، أي الموقع الذي يبدأ الجليد فيه بالطفو.

Gyre

الحركة الحلزونية (الدائرية) نمط من أنماط حركة الدوران الأفقي على نطاق أحواض المحيطات تصاحبه حركة دوران بطيئة التدفق حول حوض المحيط، يسدها تيار متناخم قوي وضيق (عرضه ١٠٠-٢٠٠ كلم) من الجهة الغربية. وتقترب الحركات الحلزونية في المنطقة دون المدارية من كل محيط بضغط جوي عالٍ في وسطها، أما الحركات الحلزونية الشبه قطبية فتقترب بضغط جوي متدنٍ.

اجتماعية واقتصادية واسعة النطاق بدأت في إنجلترا خلال النصف الثاني من القرن الثامن عشر وانتشرت في أوروبا ثم بعد ذلك إلى بلدان أخرى بما فيها الولايات المتحدة. وكان اختراع الآلة البخارية نقطة انطلاق هامة لهذا التطور. وتورخ الثورة الصناعية لبداية الزيادة الكبيرة في استخدام الوقود الأحفوري وانبعثات **ثاني أكسيد الكربون** الأحفوري على وجه الخصوص. ويشير مصطلحاً قبل الثورة الصناعية والعصر الصناعي في هذا التقرير، بصورة اعتباطية بعض الشيء، إلى الفترات قبيل ١٧٥٠ وبعدها على التوالي.

Infrared radiation

الإشعاع تحت الأحمر انظر **الإشعاع الحراري دون الأحمر**.

Insolation

إشعاع الشمس كمية **الإشعاع الشمسي** الذي يصل الأرض حسب خطوط العرض والفصول. ويعني إشعاع الشمس عادة الإشعاع الذي يصل إلى أعلى **الغلاف الجوي**. ويعرف أحياناً بأنه الإشعاع الذي يصل إلى سطح الأرض. انظر أيضاً **إجمالي الإشعاعية الشمسية**.

Interglacials

الفترات الفاصلة بين العصور الجليدية الفترات الدافئة بين حقبتين تجمد أثناء العصر الجليدي. ويُشار إلى الفترة الجليدية الفاصلة الماضية الممتدة من قرابة ١٢٩ ألف سنة إلى ١١٦ ألف سنة، بالفترة الجليدية الفاصلة الأخيرة (الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية، ٢٠٠٠)

Internal variability

التقلبية الداخلية انظر **تقلبية المناخ**.

Inter-Tropical Convergence Zone

منطقة التقاطع المشتركة بين المدارات هي حزام مناظقي مداري من الضغط الجوي المنخفض قرب خط الاستواء حيث تلتقي الرياح التجارية الشمالية بالرياح التجارية الجنوبية. ومع التقاء هذه الرياح ببعضها البعض، يصعد الهواء الرطب نحو الأعلى مشكلاً حزاماً من التهطل الغزير. ويتنقل الحزام مع الفصول.

Isostatic or Isostasy

التضاغط أو توازن القشرة الأرضية يشير مصطلح توازن **القشرة الأرضية** إلى الطريقة المرنة واللزجة التي تستجيب بها القشرة الأرضية وغلاف اليابسة للتغيرات في الحمولات السطحية. وعندما تتغير حمولة القشرة الأرضية و / أو غلاف اليابسة نتيجة تغيرات في كتلة الجليد الأرضي أو كتلة المحيطات أو الترسيبات أو التحات أو الجبال، ينتج عن ذلك ضبط للتوازن الراسي للقشرة الأرضية وذلك لتحقيق توازن الحمولة الجديدة.

Kyoto Protocol

بروتوكول كيوتو تم اعتماد بروتوكول كيوتو الملحق **باتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ** (UNFCCC) في الدورة الثالثة لمؤتمر الأطراف الذي عقد في كيوتو، اليابان، في عام ١٩٩٧. ويشمل البروتوكول تعهدات ملزمة قانوناً بالإضافة إلى تلك التعهدات الواردة في الاتفاقية (UNFCCC). ووافقت البلدان المدرجة في المرفق باء الملحق بالبروتوكول (معظم بلدان منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والبلدان التي تمر اقتصاداتها بمرحلة انتقالية) على تخفيض انبعاثاتها من **غازات الدفيئة البشرية المنشأ** (**ثاني أكسيد الكربون** والميثان وأكسيد النيتروز والمركبات الكربونية الفلورية الهيدروكربونية والمركبات الكربونية الفلورية المشبعة وسادس فلوريد الكبريت) بنسبة خمسة في المائة كحد

Ice core

العينة الجليدية الجوفية اسطوانة جليدية تستخرج بالحفر من **نهر جليدي** أو **صفحة جليدية**.

Ice sheet

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

Ice shelf

الجرف الجليدي صفحة جليدية طافية ذات كثافة كبيرة ترتبط بالساحل (وهو عادة ذو امتداد أفقي كبير بسطح مستو أو منحدر بصورة سلسلة) وهو غالباً امتداد للصفائح الجليدية في اتجاه البحر. وتكاد تنحصر جميع الصفائح الجليدية في المنطقة القطبية الجنوبية، حيث تتدفق جميع **الجروف الجليدية** تقريباً باتجاه البحر نحو الصفائح الجليدية.

Ice stream

المجرى الجليدي عبارة عن مجرى جليدي يتدفق بسرعة تفوق سرعة **الصفحة الجليدية** المحيطة به. ويمكن القول بأنه **نهر جليدي** يتدفق بين جدران من الجليد البطيء الحركة بدلاً من الصخور.

Indirect aerosol effect

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

تأثير الألبينو السحب: هو تأثير إشعاعي يحدث نتيجة زيادة الأهباء **البشرية المنشأ** التي تقضي إلى زيادة أولية في تركيز القطرات وتناقص حجمها بالنسبة لحثوى ثابت من الماء السائل، وهو ما يفضي إلى زيادة قدرة السحب على عكس الأشعة الشمسية أو **الألبينو السحب**. ويعرف هذا التأثير أيضاً باسم **التأثير الغير المباشر الأول** أو تأثير تومي.

تأثير طول بقاء السحب: هو تأثير ناتج عن زيادة في الأهباء **البشرية المنشأ** التي تسبب تناقصاً في حجم القطرات، مما يقلل من كفاءة التهطل ومن ثم يعدل من المحتوى الثابت للماء السائل وعمق السحب وفترة بقائها. ويعرف هذا التأثير أيضاً باسم التأثير الغير المباشر الثاني أو تأثير البريخت. وإلى جانب التأثيرين غير المباشرين، قد تترك الأهباء الجوية تأثيراً شبيه مباشر وهذا يعني امتصاص الإشعاع الشمسي من جانب هذه الأهباء ما يؤدي إلى زيادة حرارة الجو ويميل إلى زيادة استقرار السطح الستاتي. وقد يؤدي أيضاً إلى تبخر قطرات السحب.

Industrial revolution

الثورة الصناعية فترة من النمو الصناعي السريع مع ما تنطوي عليه من عواقب

العلمي لعوامل **التأثير الإشعاعي** التي تساعد على **تغير المناخ**. ويمثل المؤشر بالنسبة لكل عامل من العوامل تقديراً ذاتياً للأدلة المتوفرة بشأن القرائن الكيميائية والفيزيائية التي تحدد مدى التأثير، وعلى التوافق حول التقدير الكمي وما ينطوي عليه من عدم اليقين.

Lifetime

العمر (فترة البقاء) العمر هو مصطلح عام للإشارة إلى النطاقات الزمنية المختلفة التي تميز معدل العمليات التي تؤثر في تركيز الغازات النذرة. ويمكن تمييز الأعمار التالية:

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

وقت التكيف أو وقت الاستجابة (T_a) هو النطاق الزمني الذي يحدد به تحلل المدخلات النبضية الفوري في المستودع. كما يستخدم مصطلح adjustment time لوصف تكيف كتلة مستودع ما بعد أي تغيير مرحلي في قوة المصدر. ويستخدم مصطلح نصف الحياة Half-time أو التحلل الثابت decay constant لوضع تحديد كمي لعملية التحلل الاستقرائية الأولى. انظر أيضاً **وقت الاستجابة** للعثور على تعريف مختلف يتصل **بالتغيرات المناخية**.

ويستخدم مصطلح العمر lifetime أحياناً للتبسيط، كصنو لمصطلح adjustment time.

وفي الحالات البسيطة حيث تتناسب إزالة المركب من العالم بصورة مباشرة مع مجموع كتلة المستودع، يعادل وقت التكيف وقت الدوران $T=T_g$. وأحد الأمثلة على ذلك الـ CFC-11 الذي لا يزال من **الغلاف الجوي** إلا بعمليات كيميائية ضوئية في **الغلاف الجوي**. وفي الحالات الأكثر تعقيداً، حيث يشتمل الأمر على عدة مستودعات أو حيث لا يتناسب الامتصاص مع الكتلة الكلية، لا تعد معادلة $T=T_g$ معادلة صحيحة. ويعتبر ثاني أكسيد الكربون مثلاً متطرفاً على ذلك. فوقت دورانه لا يتجاوز أربع سنوات نتيجة للتبادل السريع بين **الغلاف الجوي** والمحيطات والكتلة الإحيائية الأرضية. غير أن جزءاً كبيراً من ثاني أكسيد الكربون يعود إلى **الغلاف الجوي** في غضون سنوات قليلة. وعلى ذلك، فإن وقت تكيف ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الخارجي يتحدد في الواقع بفعل معدل امتصاص الكربون من الطبقة السطحية للمحيطات ونقلها إلى الطبقات الأكثر عمقاً. وعلى الرغم من أنه يمكن إعطاء قيمة تقريبية تبلغ ١٠٠ عام لوقت تكيف ثاني أكسيد الكربون، فإن التكيف الفعلي أسرع في البداية وأكثر بطئاً في وقت لاحق. وفي حالة الميثان، يختلف وقت التكيف عن وقت الدوران لأن الامتصاص يتم أساساً من خلال التفاعل الكيماوي مع الهيدروكسيل راديكال OH وهو تركيز يعتمد نفسه على تركيز الميثان. ولذا فإن امتصاص تركيز الميثان S لا يتناسب مع إجمالي كتلته M.

Likelihood

الأرجحية أرجحية ظهور حدث أو نتيجة أو حصة ما، حيث يمكن تقديرها على نحو احتمالي والتي يشار إليها في التقرير الحالي باستعمال المصطلحات المعيارية المحددة في الإطار ١.١. انظر أيضاً **عدم اليقين والثقة**.

Lithosphere

القشرة الأرضية الطبقة العلوية من الأرض الصلبة القارية والمحيطية التي تتألف من الصخور القشرية والغطاء الأعلى البارد المن في معظمه الذي يشكل الجزء العلوي من غلاف اليابسة. ولا يعتبر النشاط البركاني، بالرغم من أنه جزء من القشرة الأرضية، جزءاً من **النظام المناخي**، ولكنه يعمل كمؤثر خارجي. انظر **التضاغط**.

أدني على الأقل دون المستويات السائدة في عام ١٩٩٠ خلال فترة الالتزام الممتدة من ٢٠٠٨ إلى ٢٠١٢. وقد دخل بروتوكول كيوتو حيز التنفيذ في ١٦ شباط / فبراير ٢٠٠٥.

Land use and Land use change

استخدام الأراضي وتغير استخدام الأراضي استخدام الأراضي يعني مجموع الترتيبات والأنشطة والمدخلات التي تتعلق بنوع معين من الغطاء الأرضي (مجموعة من الأنشطة البشرية). ويستعمل مصطلح استخدام الأراضي أيضاً بمعنى الأغراض الاجتماعية والاقتصادية المنشودة من إدارة الأراضي (مثل الرعي واستخراج الأخشاب وصيانتها). أما تغير استخدام الأراضي فيعني تغيراً في استخدام أو إدارة الإنسان للأراضي بطريقة قد تفضي إلى تغير في الغطاء الأرضي. وقد يؤثر الغطاء الأرضي والتغير في استخدام الأراضي على **الألبينو والتخثر - النتج والمصادر وبوليع غازات الدفيئة** أو الخصائص الأخرى التي يتسم بها **النظام المناخي**، مما قد يولد تأثيراً إشعاعياً / 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، ٢٠٠٠)

La Niña

ظاهرة النينيا انظر **النينيو - التذبذب الجنوبي**.

Land surface air temperature

حرارة الهواء على سطح الأرض هي حرارة الهواء على سطح الأرض التي يتم قياسها على سواتر باستخدام شاشات ترشيح جيدة التهوية، على ارتفاع ١.٥ متر فوق سطح الأرض.

Lapse rate

معدل التفاوت معدل التبدل الذي يشهده أي متغير في الغلاف الجوي، وعموماً ما يكون درجات الحرارة، تبعاً للارتفاع. ويعتبر معدل التفاوت إيجابياً عندما يتناقص هذا المتغير تبعاً للارتفاع.

Last Glacial Maximum (LGM)

الحد الأقصى للغمر الجليدي الأخير يشير الحد الأقصى للغمر الجليدي إلى فترة الارتفاع الأقصى **للصفائح الجليدية** خلال الغمر الجليدي الأخير أي من ٢١ ألف سنة تقريباً. وكثرت الدراسات عن هذه الحقبة لأن **التأثيرات الإشعاعية** والظروف الحدودية معروفة ولأن التبريد العالمي خلال هذه الفترة يشبه الاحترار المتوقع على مدى القرن الواحد والعشرين.

Last interglacial

الفترة الأخيرة الفاصلة بين عشرين جليديين انظر **الفترة الفاصلة بين عشرين جليديين**.

Latent heat flux

التدفق الحراري الكامن التدفق الحراري المتصاعد من سطح الأرض نحو **الغلاف الجوي**، وهو مرتبط بتبخر أو تكثف بخار الماء على السطح، ويشكل عنصراً من عناصر ميزانية الطاقة السطحية.

Level of Scientific Understanding (LOSU)

مستوى الفهم العلمي مؤشر خماسي المستويات (عال، متوسط، متوسط إلى منخفض، منخفض جداً) يهدف إلى تحديد خصائص مستوى الفهم

Little Ice Age

العصر الجليدي القصير الفترة الزمنية بين حوالي ١٤٠٠ و ١٩٠٠ بعد الميلاد عندما كان النصف الشمالي من الكرة أكثر برودة بشكل عام من اليوم، وخاصة في أوروبا.

Mitigation

التخفيف تدخل بشري للحد من مصادر غازات الدفيئة أو لتعزيز بوالبع امتصاصها.

Mixing ration

نسبة المزج انظر جزيئي المول.

Model hierarchy

الهيكل الهرمي النموذجي انظر النموذج المناخي (طيف أو هرم).

Modes of climate variability

طرق تقلبية المناخ تحدث التقلبية الطبيعية للنظام المناخي، خاصة على النطاقات الزمنية الفصلية، والنطاقات الزمنية الأطول مقترنة وبصورة رئيسية بأنماط مكانية ونطاقات زمنية أولوية، من خلال خصائص دوران الغلاف الجوي الديناميكية وبين التفاعل مع سطحي الأرض والمحيط. وغالباً ما تسمى هذه الأنماط بالنظم أو الطرق أو الارتباط عن بعد. ومن الأمثلة المتوفرة عنها **تذبذب الشمال الأطلسي**، و**نمط شمال أمريكا - المحيط الهادئ**، و**النينيو / التذبذب الجنوبي**، و**النمط الحلقي الشمالي** (الذي كان يُدعى سابقاً تذبذب المنطقة القطبية الشمالية) و**النمط الحلقي الجنوبي** (الذي كان يُدعى سابقاً تذبذب المنطقة القطبية الجنوبية). ويناشر القسم ٣.٦ عدداً من أهم طرق تقلبية المناخ. انظر أيضاً **أنماط تقلبية المناخ**.

Mole fraction

مجتزأ المول مجتزأ المول أو نسبة المزج هو نسبة عدد المولات في واحد من مكونات حجم ما إلى مجموع عدد مولات جميع المكونات في ذلك الحجم. ويشار إليه في التقارير عادة بالهواء الجاف. والقيم المعتادة لغازات الدفيئة الطويلة العمر هي في حدود $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (أجزاء من المليون: ppm) و nmol mol^{-1} (أجزاء من الترليون: ppb). ويختلف مجتزأ المول عن نسبة مزج الحجم Volume mixing ratio. ويعبر عنه عادة بالمختصر ppmv وغيره من خلال تصويب عدم مثالية الغازات. وهذا التصويب كبير بالنسبة لدقة قياسات الكثير من غازات الدفيئة (المصدر: (Schwartz and Warneck, 1995).

Monsoon

الرياح الموسمية انعكاس الرياح الموسمية المدارية وشبه المدارية في كل من الرياح السطحية والتهطلال الماكب لها وتأتي نتيجة التسخين التبايني بين كتلة أرضية قارية النطاق وبين المحيط المتاخم. وتهطل أمطار الرياح الموسمية بمعظمها فوق اليابسة في فصل الصيف.

Montreal Protocol

بروتوكول مونتريال صدر بروتوكول مونتريال بشأن المواد التي تستنفد طبقة الأوزون واعتمد في مونتريال عام ١٩٨٧، وعدل بعد ذلك ونقح في لندن (١٩٩٠) وفي كوبنهاغن (١٩٩٢) وفي فيينا (١٩٩٥) وفي مونتريال (١٩٩٧) وفي بجين (١٩٩٩). وينظم استهلاك وإنتاج الكيماويات المحتوية على الكلور والبروم التي تدمر أوزون الستراتوسفير مثل CFCs والميثيل كلوروفورم، وتيتراكلوريد الكربون وغيرها كثير.

Microwave Sounding Unit

وحدة السبر بالموجات المتناهية الصغر (MSU) مسبار محمول بالسواتل لتقدير درجات الحرارة في الطبقات السميكة من **الغلاف الجوي** بقياس خطوط الانبعاثات الحرارية قرب الدرجة ٦٠ جيجاهرتز. وبدأ إجراء هذا النوع من القياس،

Mass balance (of glaciers, ice caps or ice sheets)

توازن الكتل (الأنهار الجليدية أو القلنسوة الجليدية أو الصفائح الجليدية) هو توازن المدخلات الكتلية في الجسم الجليدي (التراكم) ومقدار التراجع في حجم الكتل (اضمحلال الكتل أو انشعاب الجبال الجليدية القائمة). ويضم مصطلحات توازن الكتل ما يلي:

التوازن الكتلّي المحدد: صافي الزيادة أو النقصان في حجم الكتلة خلال دورة هيدرولوجية محددة وعلى نقطة محددة من سطح **الكتلة الجليدية**. إجمالي التوازن الحجمي (للكتلة الجليدية): توازن الكتل المحدد المدمج مكانياً على كامل مساحة الكتلة الجليدية، ما يوازي إجمالي الحجم الذي تخسره الكتلة الجليدية أو تكتسبه خلال دورة هيدرولوجية محددة.

متوسط توازن الكتل المحدد: إجمالي توازن الكتل في كل وحدة من مساحة الكتلة الجليدية. وإذا كانت المساحة محددة (توازن كتلي سطحي محدد ... إلخ) لا يؤخذ عندئذ بمساهمات التدفق الجليدي، وإلا ضم التوازن الكتلّي مساهمات التدفق الجليدي والانشعاب الجليدي. ويكون متوسط التوازن الكتلّي المحدد إيجابياً في منطقة التجميع وسلبياً في منطقة الاضمحلال.

Mean sea level

متوسط مستوى سطح البحر انظر مستوى سطح البحر النسبي.

Medieval Warm Period

فترة الدفء في القرون الوسطى الحقبة بين عامي ١٠٠٠ و ١٣٠٠ بعد الميلاد، والتي شهدت خلالها بعض **المناطق** في نصف الكرة الشمالي دفئاً أكثر من فترة **العصر الجليدي القصير** الذي تبعها.

Meridional Overturning Circulation

الدوران التقلبي الجنوبي دوران طولاني (شمال وجنوب خط الطول) تقلبي في المحيطات يمكن تحديده كمياً على أساس جمع نطاقي (الشرق - الغرب) انتقال الكتل في العمق أو لجهة طبقات الكثافة. أما في شمال الأطلسي، بعيداً عن **الأقاليم** شبه القطبية، فيتم تشبيهه الدوران التقلبي الجنوبي (وهو مبدئياً كمية قابلة للرصد) بالدوران المدفوع بقوة **التباين الحراري** والمحلي وهو تأويل مفاهيمي. لكنه، تجدر الإشارة إلى أن الدوران التقلبي الجنوبي قد يضم أيضاً خلايا انقلابية أقل عمقاً مدفوعة بقوة الرياح، على غرار ما يحصل في أعلى المحيط في المنطقة الاستوائية وشبه الاستوائية حيث تتجه المياه الدافئة (الخفيفة) نحو القطب لتتحول إلى مياه أكثر كثافة وتعود وتتوجه نحو الاستواء على مستويات أعمق.

Metadata

البيانات الوصفية معلومات حول البيانات الجوية والمناخية ترتبط بكيفية ومكان قياسها وبنوعيتها والمشاكل المعروفة والخصائص الأخرى.

Metric

مترقي قياس ثابت لإحدى خصائص شيء ما أو نشاط ما يصعب تحديد كميته بخلاف ذلك.

Ozone

الأوزون الأوزون، وهو الشكل الثلاثي الذرات للأوكسجين (O_3)، أحد المكونات الغازية للغلاف الجوي. وهو يتكون في **التروبوسفير** بصورة طبيعية وعن طريق التفاعلات الكيميائية الضوئية التي تشترك فيها غازات ناشئة عن الأنشطة البشرية (الضباب الدخاني) على السواء. وفي **الستراتوسفير**، يلعب الأوزون دور أحد **غازات الدفيئة**. ويتكون أوزون الستراتوسفير نتيجة التفاعل بين الإشعاع الشمسي فوق البنفسجي وبين الأوكسجين الجزيئي (O_2). ويلعب أوزون الستراتوسفير دوراً رئيسياً في التوازن الإشعاعي للستراتوسفير. ويبلغ تركيزه حدّه الأقصى في طبقة الأوزون.

Ozone hole

ثقب الأوزون انظر طبقة الأوزون.

Ozone layer

طبقة الأوزون يحتوي **الستراتوسفير** على طبقة يبلغ فيه تركيز الأوزون حده الأعلى، وهي ما يطلق عليها **طبقة الأوزون**. وتمتد هذه الطبقة من نحو ١٢ إلى ٤٠ كيلومتراً فوق سطح البحر، ويبلغ تركيز الأوزون حده الأقصى بين نحو ٢٠ و٢٥ كيلومتراً. وتعرض هذه الطبقة للاستنفاد من جراء انبعاثات مركبات الكلور والبروم **البشرية المنشأ**. ويحدث في كل عام أثناء فصل الربيع في نصف الكرة الجنوبي استنفاد قوي لطبقة الأوزون فوق **المنطقة القطبية الجنوبية**، وهو استنفاد يحدث أيضاً من جراء مركبات الكلور والبروم البشرية المنشأ بالإضافة إلى الظروف الجوية المحددة لهذا الإقليم. ويطلق على هذه الظاهرة اسم **ثقب الأوزون**. انظر **بروتوكول مونتريال**.

Pacific decadal variability

تقلبية المحيط الهادئ العقدية تقلبية متقارنة يتراوح نطاقها بين العقود إلى ما بين العقود في دوران الغلاف الجوي والمحيطات التحتية في حوض المحيط الهادئ. وتظهر أكثر ما تظهر في شمال المحيط الهادئ حيث تتغير التقلبات في قوة الضغط الشتوي المنخفض في الجزر الأليوتية مع تغير درجات حرارة سطح البحر، كما وترتبط بالتقلبات العقدية في دوران الغلاف الجوي، ودرجات حرارة سطح البحر ودوران المحيطات على طول حوض المحيط الهادئ. وتساهم التقلبات تلك في تعديل **دورة النينيو/ التذبذب الجنوبي**. أما المقاييس الأساسية لتقلبية المحيط الهادئ العقدية فهي: مؤشر شمال الهادئ (NPI) ومؤشر تذبذب المحيط الهادئ العقدية (PDO) ومؤشر تذبذب المحيط الهادئ (IPO) ما بين العقود ويرد تعريف كل ذلك في الإطار ٣-٤.

Pacific-North American (PNA) pattern

نمط شمال أمريكا - المحيط الهادئ (PNA) نمط موجة جوية واسعة النطاق، يمثل سلسلة من ظواهر الشدوذ التروبوسفيرية المرتفعة والمتدنية الضغط تمتد من المنطقة شبه المدارية الغربية للمحيط الهادئ إلى الشاطئ الشرقي لأمريكا الشمالية. انظر مؤشر نمط شمال أمريكا - المحيط الهادئ. انظر الإطار ٣-٤.

Palaeoclimate

مناخ عصر ما قبل التاريخ هو **المناخ** خلال الفترات التي سبقت استحداث أدوات القياس، بما في ذلك الفترة الزمنية التاريخية والجيولوجية التي لا تتوفر عنها سوى سجلات البيانات المناخية غير المباشرة.

Parametrization

تحديد البارامترات يشير هذا المصطلح في **النماذج المناخية** إلى تقنية تمثل العمليات التي لا يمكن البت فيها على نحو نهائي على مستوى الاستبانة المكانية

باستعمال سلسلة من تسع وحدات سبر بالموجات المتناهية الصغر في أواخر ١٩٧٨. وابتداءً من أواسط ١٩٩٨، تم تطوير وتشغيل أدوات قياس جديدة كوحدة السبر المتقدمة بالموجات المتناهية الصغر.

MSU

انظر **وحدة السبر بالموجات المتناهية الصغر**.

Nonlinearity

اللاخطية اسم يطلق على أية عملية لاخطية عندما لا تكون هناك علاقة تناسبية بسيطة بين السبب والنتيجة (العلّة والمعلول). ويحتوي **النظام المناخي** على الكثير من هذه العمليات اللاخطية التي تسفر عن نظام يتسم بسلك من المحتمل أن يكون شديد التعقيد. وقد يفضي هذا التعقيد إلى **تغير مناخي مفاجئ**. انظر **الاختلال الكلي والتنبؤ**.

North Atlantic Oscillation (NAO)

التذبذب الشمال أطلسي يتألف التذبذب الشمال أطلسي من تغيرات متعاكسة للضغط البارومتري بالقرب من آيسلندا وبالقرب من جزر الأزور، وبالتالي فإنه يتطابق مع التقلبات في شدة الرياح الغربية الرئيسية العابرة للأطلسي نحو أوروبا، أي التقلبات في الأعاصير الأساسية وما يرتبط بها من أنظمة جبهية. انظر مؤشر التذبذب الشمال أطلسي، الإطار ٣،٤.

Northern Annular Mode

النمط الحلقي الشمالي تقلب شتائي في سعة نمط يتميز بضغط سطحي منخفض في المنطقة القطبية الشمالية ورياح غربية على خطوط العرض الوسطى. ويرتبط النمط الحلقي الشمالي بدوامة القطب الشمالي في **الستراتوسفير**. ويتميز بالانحراف نحو شمال الأطلسي ويرتبط ارتباطاً وثيقاً **بالتذبذب الشمال أطلسي**. انظر النمط الحلقي الشمالي، الإطار ٣،٤.

Ocean acidification

تحمض المحيطات انخفاض في درجة حموضة مياه البحر نتيجة امتصاص ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ.

Ocean heat uptake efficiency

فعالية المحيط في استيعاب الحرارة وهي قياس ($W m^{-2} ^\circ C^{-1}$) لنسبة تخزين الحرارة في المحيطات العالمية مع ارتفاع درجات الحرارة السطحية العالمية. وهي بارامتر مفيد للتجارب المرتبطة بتغير المناخ حيث يتغير **التأثير الإشعاعي** أحادي الوتيرة، عندما يمكن مقارنته مع بارامتر حساسية المناخ، وذلك لقياس أهمية استجابة المناخ وامتصاص الحرارة من قبل المحيط في تحديد معدل تغير المناخ. ويمكن قياس الفعالية انطلاقاً من اختبار مبني على زيادة في **ثاني أكسيد الكربون** في **الغلاف الجوي** تبدأ من ١٪ في السنة الواحدة، كنسبة المتوسط العالمي لصافي التدفق الإشعاعي في أعلى **الغلاف الجوي** والمتجه جنوباً إلى نسبة استجابة المناخ العابرة. (انظر حساسية المناخ).

Organic aerosol

الأهباء العضوية جزيئات **الأهباء** الجوية المولفة في المقام الأول من مركبات عضوية، خاصة الكربون والهيدروجين والأوكسجين ومقادير أقل من عناصر أخرى (تشارلسون وهينترنبرغ، ١٩٩٥، ص. ٤٠٥). انظر أيضاً **الهباء الجوي الكربوني**.

٢١ ألف عام). والارتداد حركة أرضية متوازنة التضاضط.

Precipitable water

المياه القابلة للتهطال إجمالي كمية بخار الماء في **الغلاف الجوي** الموجودة في عمود شاقولي في وحدة منطوقية شاملة. ودرجت العادة على قياسها استناداً إلى ارتفاع المياه في إناء من الوحدة الشاملة ذاتها.

Precursors

السلائف مركبات حيوية غير **غازات الدفيئة** أو **الأهباء الجوية**، ولكنها تؤثر على تركيزات غازات الدفيئة أو الأهباء الجوية عن طريق الدور الذي تضطلع به في العمليات الفيزيائية أو الكيميائية التي تنظم معدلات إنتاجها أو تدميرها.

Predictability

إمكانية التنبؤ مدى إمكانية التكهّن بحالات نظام ما في المستقبل، بناء على معرفة حالاته الراهنة والماضية.

ونظراً إلى عدم دقة المعارف المتوفرة عموماً عن حالات **النظام المناخي** السابقة والحالية، ونظراً إلى عدم دقة النماذج التي تستعمل تلك المعارف **للتنبؤ بالمناخ**، وبما أن النظام المناخي لطالما تميز بطبيعته **باللاخطية والاختلال الكلي**، فإن إمكانية التنبؤ بالمناخ لطالما كانت محدودة أيضاً. وحتى بوجود نماذج ورصدات عشوائية الدقة، فقد تظل هناك حدود لإمكانية التنبؤ بنظام لاخطي كهذا (الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية، ٢٠٠٠).

Pre-industrial

العصر ما قبل الصناعي انظر **الثورة الصناعية**.

Probability Density Function (PDF)

دالة توزيع الاحتمالات دالة توزيع الاحتمالات هي الدالة التي تشير إلى الفرص النسبية لظهور نواتج مختلفة لتغير من المتغيرات. وتندمج الدالة في وحدة واحدة على نطاق المجال التي حددت من أجله، وتتميز بخاصية تساوي التكامل في مجال فرعي ما يساوي احتمال ظهور نتيجة المتغير داخل المجال الفرعي ذاته. والمثال على ذلك أنه يمكن التوصل إلى احتمال شذوذ درجات الحرارة المحدد بشكل ما، تزيد عن الصفر، بواسطة دالة توزيع الاحتمالات، وذلك بتكامل هذه الدالة في كافة ظواهر الشذوذ مع درجات الحرارة التي تزيد عن الصفر. ويتم تعريف دالات توزيع الاحتمالات التي تصف متغيرين أو أكثر بشكل متزامن بالطريقة ذاتها.

Projection

الإسقاط هو إمكانية التطور المستقبلي لكمية أو مجموعة من الكميات يتم حسابها في كثير من الأحيان بمساعدة أحد النماذج. ويتم التمييز بين الإسقاطات والتنبؤات للتشديد على أن الإسقاطات تنطوي على افتراضات تتعلق مثلاً بالتطورات الاجتماعية - الاقتصادية والتكنولوجية المستقبلية التي قد تتحقق أو لا تتحقق، ومن ثم تكون خاضعة لقدركبير من **عدم اليقين**. انظر أيضاً **الإسقاطات المناخية والتنبؤات المناخية**.

Proxy

بيانات غير مباشرة المؤشر **المناخي** غير المباشر هو سجل محلي يتم تفسيره باستخدام المبادئ الفيزيائية والفيزيائية البيولوجية لتمثيل مجموعة من التغيرات المرتبطة بالمناخ في الماضي. ويُشار إلى البيانات المرتبطة بالمناخ المستمدة بهذه الطريقة بأنها بيانات غير مباشرة. ومن أمثلة البيانات غير المباشرة سجلات **تحليل غبار الطلع وحلقات جذوع الأشجار** والسمات المميزة للشعاب المرجانية ومختلف البيانات المستقاة من عينات من **جوف الجليد**.

والزمانية للنموذج (عمليات النطاق دون الشبكي) عن طريق العلاقات بين التدفق الواسع النطاق الذي تم تبيان نمودجه وبين الأثر الوسطي المكاني أو الزمني لعمليات النطاق دون الشبكي هذه.

Patterns of climate variability

أنماط تقلبية المناخ انظر **طرق تقلبية المناخ**.

Percentile

المئين يشكل المئين قيمة على مقياس من ١٠٠، ويشير إلى النسبة المئوية من قيم مجموعات بيانات القيم تعادله أو تكون أدنى منه. وغالباً ما يُستعمل المئين لتقدير نسب التوزيع القصوى. كأن يُستعمل مثلاً المئين التسعين (العاشر) للدلالة على عتبة التوزيعات القصوى العليا (السفلى).

Permafrost

التربة الصقيعية أرض (تربة أو صخر مع ما يضم من جليد ومواد عضوية) تظل درجة حرارتها أقل من درجة الصفر المئوية (سلسيوس) لسنتين متتاليتين على الأقل (فان إيفرندجن، ١٩٩٨).

pH

درجة الحموضة هي قياس لا أبعاده له لحموضة الماء (أو أي محلول) بحسب تركيز أيونات الهيدروجين فيه (H^+). وتقاس درجة الحموضة على مقياس لوغارتمي حيث تساوي درجة الحموضة: $pH = -\log_{10}(H^+)$. وبالتالي فإن أي انخفاض في درجة الحموضة بمقدار وحدة واحدة يوازي زيادة قدرها عشرة أضعاف في تركيز أيونات الهيدروجين، أو الحموضة.

Photosynthesis

التمثيل الضوئي العملية التي تمتص النباتات من خلالها ثاني أكسيد الكربون من الهواء (أو البيكربونات في الماء) لتكوين الكربوهيدرات وإطلاق الأكسجين مع هذه العملية. وهناك عدة طرق للتمثيل الضوئي مصحوبة باستجابات متفاوتة لتركيزات ثاني أكسيد الكربون في **الغلاف الجوي**. انظر أيضاً **التخصيب بثاني أكسيد الكربون** ونباتات C3 ونباتات C4.

Plankton

العوالق أجسام مجهرية تعيش في الطبقات العليا من النظم المائية. وهناك فارق بين العوالق النباتية المعتمدة على **التمثيل الضوئي** للترود بالطاقة وبين العوالق الحيوانية التي تتغذى بالعوالق النباتية.

Pleistocene

البليستوسين الحقبة الأبر من حقبتين **رباعيتين** تمتد من نهاية الحقبة البليوسينية، أي من قرابة ١,٨ مليون سنة وإلى بداية الحقبة **الهلوسينية** (العصر الحديث) أي منذ ١١,٦ ألف عام.

Pollen analysis

تحليل غبار الطلع تقنية تحديد التاريخ النسبي و**إعادة ترميم** البيئة في آن، تقوم على تحديد وتعداد أنواع غبار الطلع المحفوظة في الخث وترسبات البحيرات والرواسب الأخرى. انظر **البيانات غير المباشرة**.

Post-glacial rebound

الارتداد بعد الجليدي الحركة الرأسية للأرض وقاع البحر في أعقاب تناقص حمل أية كتلة جليدية، والمثال عليه بلوغ الارتداد بعد **العصر الجليدي حده الأقصى** (منذ

Quaternary

المعنية بتغير المناخ، ٢٠٠٠). انظر أيضاً التقرير الخاص بالتحديدات والخيارات المنهجية بشأن مخزون الانبعاثات الناتجة عن تدهور الغابات وإزالة أنواع أخرى من الغطاء النباتي نتيجة النشاط البشري المباشر (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ٢٠٠٣).

Regime

النظام النمطي يشكل النظام النمطي أبرز حالات **النظام المناخي** وغالباً ما يمثل مرحلة واحدة من الأنماط أو من **أنماط تقلبية المناخ**.

Region

الإقليم أراضٍ تتميز بعناصر جغرافية ومناخية محددة. ويتعرض **مناخ أي إقليم** للتأثيرات المحلية والإقليمية مثل التوبوغرافيا، وخصائص **استخدام الأراضي** والبحيرات إلخ، فضلاً عن التأثيرات البعيدة من أقاليم أخرى. انظر **الارتباط عن بعد**.

Relative sea level

مستوى سطح البحر النسبي مستوى سطح البحر الذي يتم قياسه **بمقياس المد والجزر** بالنسبة للأرض التي يقع عليها. انظر أيضاً **متوسط مستوى سطح البحر**. أما متوسط مستوى سطح البحر فيعرف عادة على أنه متوسط مستوى سطح البحر النسبي على مدى فترة زمنية معينة، مثل شهر أو سنة، وأي فترة طويلة بما فيه الكفاية تكفي لقياس متوسط الظواهر العابرة مثل الأمواج والمد والجزر. انظر **تغير مستوى سطح البحر**.

Reservoir

المستودع (الخزان) أحد مكونات **النظام المناخي**، غير **الغلاف الجوي**، التي تتسم بقدرتها على تخزين مادة مثيرة للقلق أو تجميعها أو إطلاقها، مثل الكربون أو أحد **غازات الدفيئة** أو أحد **السلانف**. وتعتبر المحيطات والتربة و**الغابات** أمثلة لخزانات الكربون. وأما **المستجمع (Pool)** فهو مصطلح مرادف (وتجدر الملاحظة أن تعريف **المستجمع يشمل الغلاف الجوي** في كثير من الأحيان). ويطلق على الكمية المطلقة المحتجزة في الخزان، خلال فترة زمنية محددة، اسم **المخزون**.

Respiration

التنفس العملية التي تحول عن طريقها الكائنات الحية المواد العضوية إلى **ثاني أكسيد الكربون**، حيث تطلق الطاقة وتستهلك الأوكسجين الجزيئي.

Response time

فترة الاستجابة فترة الاستجابة أو مدة التكيف هي الوقت الذي يحتاجه **النظام المناخي** أو مكوناته لإعادة التوازن مع حالة جديدة بعد حدوث تأثير ناجم عن تفاعلات متبادلة (تغذية مرتدة) خارجية وداخلية. وتختلف مدة الاستجابة كثيراً بالنسبة لمختلف مكونات النظام المناخي. فمدة الاستجابة في التروبوسفير قصيرة نسبياً، إذ تتراوح بين أيام وأسابيع، بينما يتوازن **الستراتوسفير** في نطاق زمني يبلغ عادة بضعة أشهر. ونظراً لما تتسم به المحيطات من قدرة حرارية كبيرة، فإن لها زمن استجابة أطول كثيراً تمتد عادة من عقود إلى قرون أو آلاف الأعوام أحياناً. ولذلك فإن زمن الاستجابة في نظام السطح - **التروبوسفير** الشديد التقارن تكون بطيئة بالمقارنة مع زمن استجابة **الستراتوسفير**، وهي تتحدد أساساً عن طريق المحيطات. وقد يستجيب **الغلاف الحيوي** سريعاً (لحالات **الجفاف** على سبيل المثال) ولكن ببطء شديد أيضاً للتغيرات المفروضة. انظر مصطلح **العمر** (طول البقاء) للعثور على تعريف مختلف لمدة الاستجابة المتصل بمعدل العمليات التي تؤثر على تركيز الغازات النزرية.

الحقبة الرابعة حقبة جيولوجية تتبع الحقبة الثالثة (٦٥ إلى ١.٨ مليون سنة) حسب التعريف الراهن (الذي يعاد النظر فيه حالياً) تمتد الحقبة الرابعة من ١.٨ مليون سنة وحتى وقتنا الراهن، وتتألف من حقتين: **الحقبة البليستونية** و**الحقبة الهولوسينية**.

Radiative forcing

التأثير الإشعاعي التأثير الإشعاعي هو التغيير الطارئ على الإشعاع الرأسي، أي النازل ناقص الصاعد (ويقاس بالواط في المتر المربع الواحد) في **التروبوسفير** نتيجة **لتغير داخلي** أو تغيير في التأثير الخارجي للنظام المناخي، كحدوث تغير في تركيز **ثاني أكسيد الكربون** أو في إجمالي الإشعاع الشمسي على سبيل المثال. وبحسب التأثير الإشعاعي عادة مع تثبيت جميع خصائص التروبوسفير عند قيمها غير المضطربة، وبعد مراعاة درجات حرارة الستراتوسفير، إذا اضطربت، والسماح لها أن تتكيف مع التوازن الإشعاعي - الديناميكي. وإذا لم يحصل أي تغير في درجات حرارة الستراتوسفير، يسمى الإشعاع فورياً. ولأهداف التقرير الحالي، يعرف التأثير الإشعاعي بالإضافة إلى ما سبق، على أنه التغير المرتبط بسنة ١٧٥٠، ويدل على قيمة متوسطه السنوي العالمي ما لم يذكر خلاف ذلك. ويجب عدم الخلط بين التأثير الإشعاعي و**تأثير السحب الإشعاعي**، حيث إنه مصطلح مماثل لوصف قياس لا علاقة له بالأمر يستعمل لمعرفة تأثير السحب على كثافة الإشعاع الساقط في أعلى **الغلاف الجوي**.

Radiative forcing scenario

سيناريو التأثير الإشعاعي عرض معقول للتطور الذي سيطال في المستقبل **التأثير الإشعاعي** المقترن، على سبيل المثال، بالتغيرات في تركيب **الغلاف الجوي** أو **التغير في استخدام الأراضي**، أو المقترن بالعوامل الخارجية، مثل التغيرات في النشاط الشمسي. ويمكن استخدام سيناريوهات **التأثير الإشعاعي** كمدخلات في النماذج المناخية المبسطة بغية حساب **الإسقاطات المناخية**.

Rapid climate change

التغير المناخي السريع انظر **التغير المناخي المفاجئ**.

Reanalysis

إعادة التحليل عمليات إعادة التحليل هي تحاليل للغلاف الجوي والمحيطات من حيث درجات الحرارة والرياح والتيارات وغيرها من الكميات الجوية والمحيطية نتجت عن معالجة بيانات جوية ومحيطية سابقة، باستخدام أحدث نماذج التنبؤات الجوية وتقنيات التمثيل التقليدية. ويساعد استخدام طرق تمثل ثابتة لجمع البيانات على تجنب التأثيرات الناتجة عن تغير النظام التحليلي التي تظهر في التحاليل التشغيلية. ولكن رغم تحسين الاستمرارية، مازالت عمليات إعادة التحاليل العالمية تعاني من تغير التغطية ومن انحرافات في نظم الرصد.

Reconstruction

إعادة البناء استعمال المؤشرات **المناخية** للمساعدة على تحديد النظم المناخية (الماضية عموماً).

Reforestation

إعادة التحريج زراعة غابات على أراض كانت تحتوي من قبل على غابات ولكنها تحولت إلى استخدامات أخرى. وللمزيد من المعلومات عن مصطلح «**الغابة**» وما يتصل بها من مصطلحات، مثل **الحراثة** و**إعادة التحريج** و**إزالة الغابات**، يمكن الرجوع إلى التقرير الخاص للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بشأن استخدام الأراضي وتغير استخدام الأراضي و**الحراثة** (الهيئة الحكومية الدولية

أو الموجات المتناهية الصغر ولكن لا بد من تعديلها كي تتوافق مع درجات حرارة السوائل.

Sensible heat flux

تدفق الحرارة المحسوس تدفق الحرارة من سطح الأرض إلى الغلاف الجوي الذي لا يرتبط بالتغيرات المائية المحلية، وهو أحد مكونات ميزانية الطاقة السطحية.

Sequestration

الحجز انظر الامتصاص.

Significant wave height

ارتفاع الأمواج الكبير متوسط الارتفاع الأقصى لأعلى ثلث من علو الأمواج (البحر والأمواج العالية) الذي يسود خلال فترة زمنية محددة.

Sink

بالوعة، مصرف عملية أو نشاط أو آلية تزيل أحد غازات الدفيئة أو الأهباء الجوية أو أحد سلائف غازات الدفيئة أو الأهباء الجوية من الغلاف الجوي.

Slab-ocean model

نموذج السطح - المحيطات عرض مبسط للمحيط في نموذج مناخي ما على أنه طبقة ساكنة من الماء يتراوح عمقها بين ٥٠ إلى ١٠٠ م. ولا يمكن استعمال النماذج المناخية لمحيط مسطح إلا لتقدير استجابة توازن المناخ لتأثير معين، وليس لتطور المناخ العابر. انظر تجربة التوازن والمناخ العابر.

Snow line

خط ثلجي الحد الأدنى للغطاء الثلجي الدائم وهو الحد الذي لا يتراكم دونه الثلج.

Soil moisture

رطوبة التربة الماء المخزن في التربة أو على سطح الأرض، والمتاح للتبخر.

Soil temperature

حرارة التربة انظر حرارة الأرض.

Solar activity

النشاط الشمسي تتبدى على الشمس فترات من تاجع النشاط الملاحظ في عدد من البقع الشمسية، وذلك بالإضافة إلى ناتج الإشعاع الشمسي والنشاط المغناطيسي وابتعاث جزيئات عالية الطاقة. وتحدث هذه التغيرات على مدى نطاقات زمنية تتراوح بين ملايين السنوات والدقائق. انظر أيضاً الدورة الشمسية.

Solar ('11 year') cycle

دورة الأحد عشر عاماً الشمسية تعديل شبه منتظم للنشاط الشمسي مع تفاوت في متسع الذبذبة وخلال فترة تتراوح بين ٩ و١٣ عاماً.

Solar radiation

الإشعاع الشمسي إشعاع الكهرومغناطيسي يبعثه كوكب الشمس. ويشار إليه أيضاً باسم الإشعاع بالموجات القصيرة. وللإشعاع الشمسي نطاق مميز من أطوال موجية (طيف) تحدها درجة حرارة الشمس وتصل إلى ذروتها عند الأطوال الموجية الواضحة. انظر أيضاً الإشعاع الحراري دون الأحمر، وإشعاع الشمس.

Return period

فترة الارتداد متوسط الفترة الزمنية الفاصلة بين حدوث ظاهرة محددة ما مرات أخرى (الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية، ٢٠٠٠).

Return value

مدلول الارتداد المدلول الأقصى (أو الأدنى، على نحو متبادل) لمتغير ما والذي يظهر وسطياً خلال فترة زمنية محددة (خلال ١٠ سنوات مثلاً).

Scenario

السيناريو وصف معقول، ومبسط في كثير من الأحيان، للطريقة التي قد يتطور بها المستقبل، استناداً إلى مجموعة افتراضات متجانسة ومتسقة داخلياً بشأن القوى المحركة والعلاقات الرئيسية. وقد تستمد السيناريوهات من الإسقاطات، ولكنها غالباً ما تستند إلى معلومات إضافية من مصادر أخرى وتقترن أحياناً بوصف سردي. انظر أيضاً سيناريوهات التقرير الخاص SRES وسيناريو المناخ وسيناريو الانبعاثات.

Sea ice

الجليد البحري أي شكل من أشكال الجليد الموجود في البحار، والناشئ عن تجمد مياه البحر. وهو إما قطع جليدية متقطعة (الجليد الطافي) تحركه الرياح والتيارات على سطوح المحيطات إلى كتل جليدية طافية، أو صفيحة جليدية غير متحركة ملتصقة بالشاطئ (الجليد الملاصق لليابسة). ويسمى الجليد البحري الذي لم يتجاوز عمره السنة الواحدة بجليد السنة الأولى. أما الجليد المتعدد السنوات فهو الجليد البحري الذي ظل موجوداً لفترة موسم الذوبان الصيفي مرة واحدة على الأقل.

Sea level change

تغير مستوى سطح البحر يمكن أن يتغير مستوى سطح البحر على النطاقين العالمي والمحلي نتيجة: (١) حدوث تغيرات في شكل أحواض المحيطات، (٢) وتغيرات في إجمالي الكتلة المائية (٣) وتغيرات في كثافة المياه. وتسمى التغيرات في مستوى سطح البحر الناتجة عن تغير في كثافة المياه بأثر التوزيع الفراغي (steric). أما التغيرات في الكثافة الناتجة فقط عن تغير في أثر التوزيع الفراغي لدرجات الحرارة فتدعى (thermosteric)، بينما تسمى التغيرات في الكثافة الناتجة عن تغير في الملوحة (halosteric). انظر أيضاً المستوى النسبي لسطح البحر، والتمدد الحراري.

Sea level equivalent (SLE)

تكافؤ مستوى سطح البحر تغير في المنسوب الإجمالي لسطح البحر يحدث عند إضافة كمية ما من الماء أو الجليد إلى المحيطات أو إزالتها.

Seasonally frozen ground

الأرض الموسمية المتجمدة انظر الأرض المتجمدة.

Sea surface temperature

درجة حرارة سطح البحر يُعنى بدرجة حرارة سطح البحر مجموع درجات حرارة السوائل تحت سطح البحر مباشرة أي في الأمتار القليلة العليا من المحيط، وتقاس بواسطة السفن والمحطات الطافية الغاطسة والمحطات العائمة المنساقفة. وتم اعتباراً من الأربعينات من القرن الماضي التحول من القياس بواسطة السفن، باستعمال الدلو، إلى جمع عينات من الماء الذي تسحبه المحركات. أما القياس بواسطة الساتل لتحديد حرارة الغشاء السطحي (الطبقة العليا، وسمكها جزئياً من المليمتر) كما تستخدم لهذا الغرض الأشعة دون الحمراء أو السنتمتر الأعلى

Soot

موقع التقرير الخاص بالإلكتروني المتعلق بسيناريوهات الانبعاثات وذلك ليمثل أسرة معينة من السيناريوهات. واستند اختيار السيناريوهات الدليلية إلى أفضل القياسات الكمية الأولية التي تعبر عن خط الأحداث وسمات النماذج المحددة. ولا تعد السيناريوهات الدليلية أرجح من السيناريوهات الأخرى، ولكن فريق كتابة التقرير الخاص يعتبرها موضحة لخط معين من الأحداث. وقد أورد ناكيسينو فيتش وسوارت (٢٠٠٠) السيناريوهات الدليلية بشكلها المنفح. وخضعت هذه السيناريوهات للتدقيق من جانب فريق الكتابة ومن خلال العملية المفتوحة المتعلقة بالتقرير الخاص. وتم أيضاً اختيار السيناريوهات لتوضيح الفئتين الأخرتين من السيناريوهات.

Storyline

خط الأحداث وصف سردي لأي سيناريو (أو أسرة من السيناريوهات) يبرز السمات الأساسية للسيناريو والعلاقات بين القوى المحركة الرئيسية وديناميكية تطورها.

Steric

التجسّم انظر تغير مستوى سطح البحر.

Stock

المخزون انظر خزان أو المستودع.

Storm surge

عرام العواصف الزيادة المؤقتة في ارتفاع البحر في مكان معين من جراء الأحوال الجوية المتطرفة (انخفاض الضغط الجوي و/ أو الرياح العنيفة). ويعرف عرام العواصف بأنه القدر الزائد فوق المستوى المتوقع من تغير المد والجزر وحده في ذلك الوقت وفي ذلك المكان.

Storm tracks

مسارات العواصف

مصطلح استعمل في الأصل للإشارة فقط إلى مسارات نظم الطقس الإعصاري الفردية، ولكنه يشير اليوم إلى **المناطق** التي تحدث فيها المسارات الرئيسية للاضطرابات فوق المدارية، بوصفها سلسلة من أنظمة ضغط متدنية (إعصارية) وعالية (إعصارية مضادة).

Stratosphere

الستراتوسفير منطقة **الغلاف الجوي** الكثيرة الطبقات، الواقعة فوق **التروبوسفير**، ويتراوح ارتفاعها بين نحو ١٠ كيلومترات (تتراوح بين ٩ كيلومترات في مناطق خطوط العرض العليا و١٦ كلم في المنطقة المدارية) كحد متوسط وإلى قرابة ٥٠ كم.

Subduction

الصحيفة الطامرة عملية تتم في المحيطات تدخل فيها المياه السطحية إلى قاع المحيط عبر الطبقة المختلطة، وذلك بواسطة **الضحج الإكمامي**، و**حركة الهواء السطحية** الأفقية التي تظهر عندما تصل المياه السطحية إلى منطقة تقل كثافة الطبقة السطحية المحلّية فيها عن كثافتها فتضطر إلى أن تنزل نزولاً، تحت الطبقة السطحية، من دون أن يطرأ أي تغيير على كثافتها عموماً.

Sunsports

البقع الشمسية مساحات داكنة صغيرة تظهر على الشمس. ويزداد عدد **البقع الشمسية** خلال فترات النشاط الشمسي المرتفع ويتفاوت بصفة خاصة بتفاوت **الدورة الشمسية**.

جزيئات السناج جزيئات تتكون أثناء إطفاء الغازات عند الحافة الخارجية للهبة الأبخرة العضوية، وتتألف في المقام الأول من الكربون ومقادير أقل من الأكسجين والهيدروجين الموجودين كمجموعات كربوكسيلية وفينولية وتتخذ هيكلًا غرافيتي غير مكتمل. انظر أيضاً **الكربون الأسود** و**الفحم النباتي** (تشارلسون وهينتزبرغ، ١٩٩٥، ص ٤٠٦).

Source

المصدر أي عملية أو نشاط أو آلية تطلق أحد **غازات الدفيئة** أو **الأهباء الجوية** في **الغلاف الجوي** أو أحد **سلانف** غازات الدفيئة أو الأهباء الجوية.

Southern Annular Mode (SAM)

النمط الحلقي الجنوبي تقلبات يشبه نمطها **النمط الحلقي الشمالي** ولكنها تحصل في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية. انظر مؤشر النمط الحلقي الجنوبي، الإطار ٣-٤.

Southern Oscillation

التذبذب الجنوبي انظر أيضاً **النينيو** / **التذبذب الجنوبي**.

Spatial and temporal scales

النطاقات المكانية والزمنية قد يتفاوت **المناخ** على نطاق واسع من النطاقات المكانية والزمنية. وقد تتراوح النطاقات المكانية بين محلية (أقل من ١٠٠ ٠٠٠ كيلومتر مربع) وإقليمية (١٠٠ ٠٠٠ إلى ١٠ مليون كيلو متر مربع) وقارية (من ١٠ إلى ١٠٠ مليون كيلو متر مربع). وقد تتراوح النطاقات الزمنية بين موسمية وجيولوجية (مئات الملايين من الأعوام).

SRES scenarios

سيناريوهات التقرير الخاص سيناريوهات التقرير الخاص هي **سيناريوهات الانبعاثات** التي وضعها ناكيسينو فيتش وسوارت (٢٠٠٠) وتستخدم، من بين سيناريوهات أخرى، كأساس **للإسقاطات المناخية** المعروضة في الفصل ١٠ من التقرير الحالي. وتساعد المصطلحات التالية على فهم أفضل لهيكلية مجموعة سيناريوهات التقرير الخاص وكيفية استخدامها.

Scenario family

أسرة السيناريوهات السيناريوهات التي لها خط أحداث متشابه من التغير الديمغرافي والاجتماعي والاقتصادي والتكنولوجي. وتضم أربع أسر من السيناريوهات من بين مجموعة سيناريوهات التقرير الخاص: ألف ١، وألف ٢، وباء ١، وباء ٢.

Illustrative Scenario

السيناريو التوضيحي سيناريو يوضح كل واحد من فئات السيناريوهات الستة الواردة في الملخص لصانعي السياسات الذي وضعه ناكيسينو فيتش وسوارت (٢٠٠٠). وتشمل هذه الفئات أربعة سيناريوهات تمثيلية لفئة السيناريوهات المتوازنة والفئات ألف ١، ألف ٢، وباء ١، وباء ٢، وسيناريوهين إضافيين لفئة سيناريوهات الوقود الأحفوري المركز A1FI وفتة سيناريوهات الوقود غير الأحفوري A1T. وجميع فئات السيناريوهات سليمة وصحيحة بنفس الدرجة.

Marker Scenario

السيناريو الدليلي سيناريو تم نشره أصلاً في شكل مشروع سيناريو على

التربة الصقيعية الغنية بالجليد أو كتلة الجليد الأرضي الكبيرة (فان إيفرينجن، ١٩٩٨).

Surface layer

الطبقة السطحية انظر طبقة الغلاف الجوي الحدودية.

Thermosteric

التجسيم الحراري انظر تغير مستوى سطح البحر.

Surface temperature

درجة الحرارة السطحية انظر درجة الحرارة السطحية العالمية، ودرجة حرارة الأرض، ودرجة حرارة سطح الأرض والجو، ودرجة حرارة سطح البحر.

Tide guage

مقياس المد والجزر جهاز يوضع في موقع ساحلي (وفي بعض المواقع البحرية العميقة) ويقيس باستمرار مستوى سطح البحر بالنسبة لليابسة المجاورة. وبذا يبين تسجيل المتوسط الزمني لمستوى سطح البحر التغيرات المرصودة المتناهية البطء في مستوى سطح البحر النسبي.

Teleconnection

الارتباط عن بعد هو الرابط بين التقلبات بين التقلبات المناخية من مناطق في العالم شديدة التباعد. وتعتبر الارتباطات عن بعد، بمعناها الفيزيائي، تداعيات لحركة موجبة واسعة النطاق تنقل الطاقة من الأقاليم المصدر وعبر المسارات المعتادة في الغلاف الجوي.

Total solar irradiance

إجمالي الإشعاع الشمسي كمية الإشعاع الشمسي الواصلة خارج الغلاف الجوي للأرض إلى أي سطح عادي بالنسبة للإشعاع العارض على متوسط المسافة بين الأرض والشمس.

لا يمكن أخذ قياسات يعول عليها للإشعاع الشمسي إلا في الفضاء وبالتالي فالسجلات الدقيقة المتوفرة لا تعود إلى سنة ١٩٧٨. أما القيمة المقبولة عموماً فتبلغ ١,٣٦٨ واط في المتر المربع الواحد بدقة قدرها ٠,٢٪ تقريباً. ومن الشائع وجود تقلبات تبلغ بضعة أعشار في المائة ويعود سببها في الغالب إلى مرور بقع شمسية عبر القرص الشمسي. ويبلغ قلب الدورة الشمسية لإجمالي الإشعاع الشمسي ٠,١٪ (الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية، ٢٠٠٠). انظر أيضاً تشميس.

Transient climate response

استجابة مناخية عابرة انظر حساسية المناخ.

Tree rings

حلقات الشجر حلقات متراكزة (متحدة المركز) من الخشب الثانوي تظهر في أي مقطع عرضي من جذوع الأشجار المتخشبة. ويمكن تقدير عمر الشجرة من خلال قياس الاختلاف بين الخشب الحديث الكثيف ذي الخلايا الجذعية الصغيرة الذي تشكل منذ فصل واحد والخشب الأولي الواسع الخلايا الجذعية الذي تشكل في الربيع التالي، ويمكن ربط عرض الحلقات أو كثافتها ببارامترات المناخ مثل الحرارة والتهطل. انظر المعايير غير المباشرة.

Trend

التوجه تعنى كلمة توجه في هذا التقرير أي تغير أحادي الوتيرة في قيمة متغيرة ما.

Tropopause

تروبوبوز الحد الفاصل بين التروبوسفير والستراتوسفير.

Troposphere

تروبوسفير الجزء السفلي من الغلاف الجوي الممتد من سطح الأرض إلى ارتفاع قدره نحو ١٠ كم من منطقة خطوط العرض الوسطى (ويتراوح في المتوسط بين نحو ٩ كم في المنطقة القطبية و١٦ كم في المنطقة المدارية) حيث تظهر السحب وظواهر الطقس. وتنخفض درجات الحرارة في التروبوسفير بصفة عامة مع الارتفاع.

Turnover time

التجدد انظر العمر.

Thermal expansion

التمدد الحراري فيما يتعلق بمستوى سطح البحر، يشير ذلك إلى الزيادة في الحجم (والانخفاض في الكثافة) التي تنجم عن احتراق المياه. ويفضي احتراق المحيطات إلى تمدد حجمها ومن ثم إلى زيادة مستوى سطح البحر. انظر أيضاً تغير مستوى سطح البحر.

Thermal infrared radiation

الإشعاع الحراري دون الأحمر إشعاع يطلقه سطح الأرض والغلاف الجوي والسحب. ويعرف أيضاً بالإشعاع الأرضي أو الإشعاع الطويل الموجات ويختلف عن الإشعاع القريب من الإشعاع دون الأحمر الذي يشكل جزءاً من الطيف الشمسي. وللإشعاع دون الأحمر مدى من الأطوال الموجية (طيف) متميز يفوق طول موجات اللون الأحمر في الجزء المرئي من الطيف. وطيف الإشعاع دون الأحمر مختلف عملياً عن طيف الإشعاع الشمسي أو طيف الإشعاع قصير الموجات بسبب الاختلاف في درجات الحرارة بين الشمس ونظام الأرض - الغلاف الجوي.

Thermocline

التيرموكلين طبقة تدرج الانحدار العامودي الأقصى لدرجات الحرارة في المحيطات، وتقع بين سطح المحيط وأعماق أغواره. وفي المناطق شبه الاستوائية تكون المياه مصدرها عادة المياه السطحية في منطقة خطوط العرض الأعلى التي توجهت نحو خط الاستواء بعد عملية الترم. ولكنها تنعدم أحياناً في منطقة خطوط العرض العالية، فيحل محلها الهالوسين، وهي طبقة أقصى متدرج عامودي لدرجات الملوحة.

Thermohaline circulation (THC)

الدوران المدفوع بقوة التباين الحراري والملحي دوران واسع النطاق في المحيطات يحول الطبقة العليا المتدنية الكثافة من مياه المحيطات إلى طبقة متوسطة الكثافة أو إلى مياه الأعماق ثم يعيدها إلى السطح من جديد. وهذا الدوران لا متمائل، ويتحول نحو مياه عالية الكثافة في الأقاليم المحدودة الواقعة في مناطق خطوط العرض العالية وتشمل العودة نحو السطح ارتفاع المياه العميقة ببطء نحو السطح وعمليات بانتشار نحو أقاليم جغرافية أوسع بكثير. ويولد الدوران نتيجة الكثافات العالية على أو قرب السطح إثر درجات حرارة متدنية و/ أو درجات ملوحة عالية، ولكن رغم ما تثيره تسميته الشائعة من تداعيات، تدفع الدوران أيضاً تأثيرات آلية مثل الرياح والمد والجزر. وغالباً ما تستعمل التسمية كمرادف **لدوران الانقلاب الجنوبي**.

Thermokarst

الكارست الحراري عملية تؤدي إلى تكوين أهم أشكال اليابسة نتيجة ذوبان

وغالباً ما يتم تحديد الكتل المائية من خلال الحد الأدنى أو الأقصى لخاصية محددة مثل الملوحة.

Younger Dryas

فترة ينغر درياس فترة تتراوح بين ١٢.٩ و ١١.٦ ألف سنة، كانت جزءاً من حقبة الذوبان، وتتميز بعودة مؤقتة إلى الظروف الأكثر برودة في العديد من المناطق وخاصة حول شمال الأطلسي.

Uncertainty

عدم اليقين تعبير يدل على درجة عدم معرفة قيمة ما (مثل حالة النظام المناخي في المستقبل). وقد ينشأ عدم اليقين عن الافتقار إلى المعلومات أو عن عدم الاتفاق حول ما هو معروف أو حتى على ما يمكن معرفته. وقد يكون لعدم اليقين الكثير من المصادر، ابتداءً من الأخطاء القابلة للتقييم الكمي في البيانات إلى التعريف الغامض للمفاهيم والمصطلحات، أو **الإسقاطات غير المؤكدة** للسلوك البشري. ولذا يمكن تمثيل عدم اليقين بمقاييس كمية مثل نطاق القيم المحسوبة عن طريق مختلف النماذج أو البيانات الكمية أو البيانات عن النوعية مثل تلك التي تعكس حكم أي فريق من الخبراء. (انظر موس وشنايدر، ٢٠٠٠ ومانينغ وآخرون ٢٠٠٤). انظر أيضاً **الأرجحية، الثقة**.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ اعتمدت الاتفاقية في ٩ أيار / مايو ١٩٩٢ في نيويورك ووقعت في قمة الأرض ١٩٩٢ في ريو دي جانيرو من قبل أكثر من ١٥٠ بلداً ومن قبل الجماعة الأوروبية. وهدف الاتفاقية النهائي هو تثبيت تركيزات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي عند مستوى يمنع التدخلات البشرية المنشأ الخطرة في النظام المناخي. وتحتوي التزامات بالنسبة لجميع الأطراف. وبموجب الاتفاقية تهدف الأطراف الواردة في الملحق الأول للاتفاقية (جميع البلدان الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والبلدان التي تمر اقتصاداتها بمرحلة انتقالية) إلى ضبط انبعاثات **غازات الدفيئة** التي لا ينظمها **بروتوكول مونتريال** إلى مستويات عام ١٩٩٠ بحلول عام ٢٠٠٠. وقد دخلت الاتفاقية حيز التنفيذ في آذار / مارس ١٩٩٤. انظر أيضاً **Protocol Kyoto**.

Uptake

الامتصاص إضافة مادة مثيرة للقلق إلى خزان (مستودع) ما. ويطلق في كثير من الأحيان على امتصاص المواد المحتوية على الكربون، ولاسيما **ثاني أكسيد الكربون**، مصطلح عزل (الكربون).

Urban heat island

جزر الاحترار الحضرية الدفء النسبي في مدينة ما مقارنة مع المناطق الريفية المحيطة بها، والمرتبطة بالتغيرات الطارئة على الجريان السطحي لمياه الأمطار وتأثيرات الأدغال الأسمنتية على الاحتباس الحراري، فضلاً عن تغيرات في **الألبيدو** السطحي، وتغيرات في التلوث و**الأهباء الجوية** وإلى ما هنالك.

Ventilation

التهوية تبادل خصائص المحيطات مع طبقة الغلاف الجوي السطحية بطريقة تقارب تركيزات الخصائص وبين قيم التوازن مع الغلاف الجوي (الجمعية الأمريكية للأرصاد الجوية، ٢٠٠٠).

Volume mixing ration

نسبة خلط الحجم انظر **جزئتي المول**.

Walker Circulation

دوران ووكر دوران انقلابي مباشر مدفوع حرارياً في **الغلاف الجوي** فوق المحيط الهادئ الاستوائي، مع ارتفاع الهواء في الهواء في الجزء الغربي من المحيط الهادئ وهبوط الهواء في شرق المحيط الهادئ.

Water mass

الكتلة المائية حجم كمية من ماء المحيط ذات خصائص قابلة للتحديد (درجة الحرارة، والملوحة، والكثافة، والنزr الكيميائية) ناجمة عن عملية تكوين فريدة.

تشكّلت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بالتعاون ما بين المنظمة العالمية للأرصاد الجوية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة من أجل تأمين بيان دولي موثوق يعرض الفهم العلمي لتغير المناخ. التقييمات الدورية الصادرة عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، التي تتناول الأسباب والتأثيرات وإستراتيجيات الإستجابة الممكنة لتغير المناخ، هي التقارير المتوفرة الأكثر شمولية وتحديثاً حول الموضوع، وتشكّل المرجع المعيار لكل المعنيين بتغير المناخ في القطاعات الأكاديمية والحكومية والصناعية في العالم. على ثلاث فرق عمل توزّع مئات الإختصاصيين العالميين من أجل تقييم تغير المناخ في هذا التقرير التقييمي الرابع. يتكوّن التقرير من ثلاثة مجلّدات رئيسية يجمعها عنوان «تغير المناخ ٢٠٠٧»، متوفرة في منشورات جامعة كامبردج:

تغير المناخ ٢٠٠٧ - القاعدة العلمية الفيزيائية

مساهمة فريق العمل الأول في التقرير التقييمي الرابع الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (الرقم التسلسلي العالمي للكتاب ٨-٦٢١-٩١٦٩-٩٢ ISBN غلاف ورقي)

تغير المناخ ٢٠٠٧ - تأثيرات، تكيف، مواطن الضعف

مساهمة الفريق العامل الثاني في التقرير التقييمي الرابع الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (٨-٦٢١-٩١٦٩-٩٢ غلاف ورقي)

تغير المناخ ٢٠٠٧ - تخفيف تغير المناخ

مساهمة فريق العمل الثالث في التقرير التقييمي الرابع الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (٨-٦٢١-٩١٦٩-٩٢ غلاف ورقي)

يعتبر تغير المناخ ٢٠٠٧ - القاعدة العلمية الفيزيائية التقرير الأكثر شمولية وأحدث تقييم علمي لماضي تغير المناخ وحاضره ومستقبله. ويقدم التقرير ما يلي:

- التقييم الأكثر اكتمالاً وإحاطةً بالعنصر الكميّ لكيفية تأثير النشاطات الإنسانية في توازن الطاقة الإشعاعية في الجو
- التقييم الأكثر شمولية حتى اللحظة للتغيرات الملاحظة في كافة أوجه النظام المناخي مع أحدث استخدام آلات القياس تشمل الجو، واليابسة، والمحيطات، والثلج، والأرضيات الجليدية والمتجمدة
- تقييم مفصّل لتغير المناخ الماضي ومسبباته
- التقييم التوقّعي الأول لمحاكاة وإسقاطات النماذج المناخية مع استخدام نماذج الجو - المحيط المزاوجة المفصلة من ١٨ مركزاً نموذجياً في أصقاع العالم
- تقييم مفصّل للملاحظات على تغير المناخ، ولنماذجه، وللعزو في كل قارة

ببساطة، ومجدداً، سيشكّل التقييم الأحدث الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ المرجع العلمي المعيار لكل من يهمهم أمر تغير المناخ ونتائجه، بما في ذلك الطلاب والباحثين في العلم المحيطي، وعلوم الأرصاد الجوية، وعلوم المناخ، وعلوم الأحياء، وعلوم البيئة، والكيمياء الجوية، وصانعي السياسات في الحكومات والقطاع الصناعي، في أصقاع العالم.

تحتوي هذه النشرة ملخص صانعي السياسات، وملخص التقرير الفني والأسئلة.