**مأخوذ من التقرير الذي تمت الموافقة عليه من قبل الفريق العامل الأول
المنبثق عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر 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:

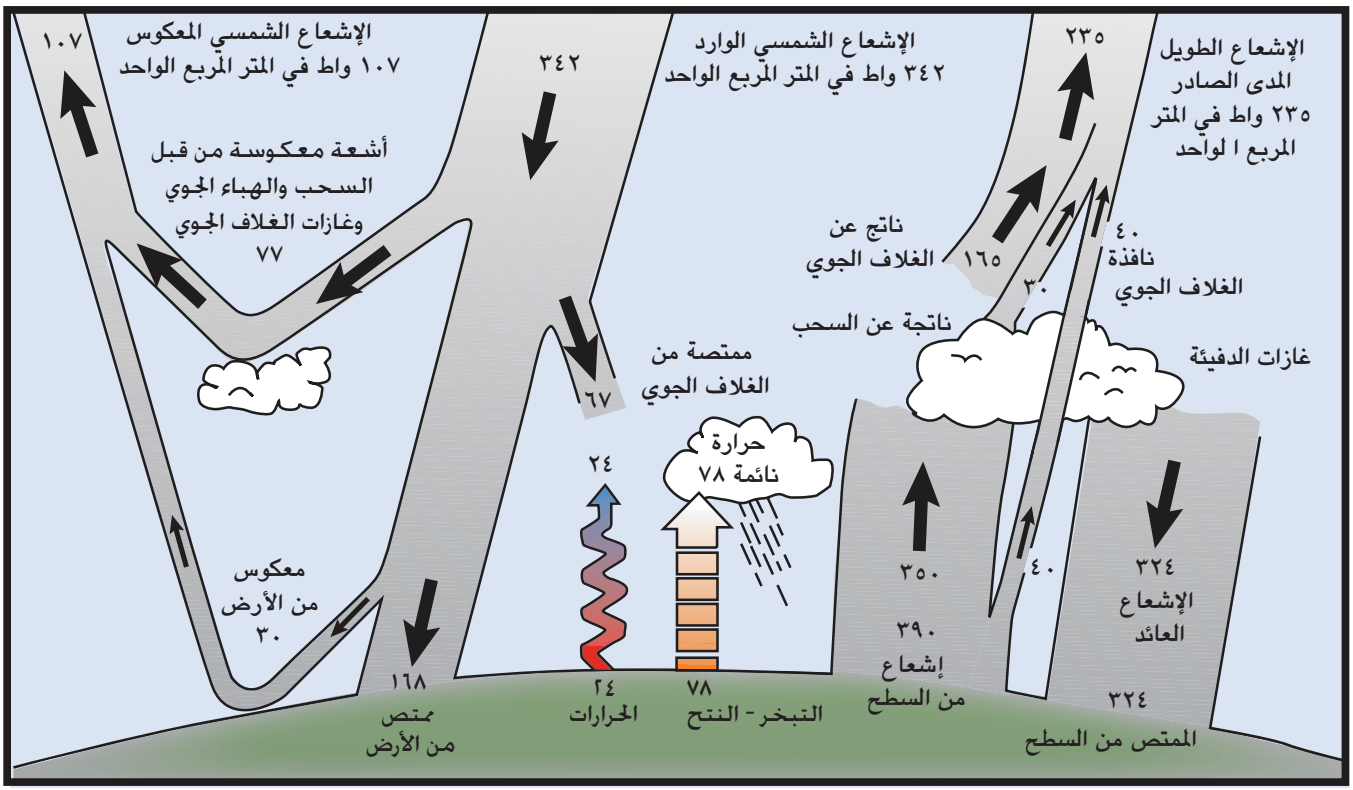
الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ، ٢٠٠٧: قاعدة العلوم الفيزيائية. مساهمة الفريق العامل الأول في التقرير التجميعي الرابع الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ [سولومون س.، د. كين، م. مانّين، ز. شين، م. ماركيس، ك. أفيريت، م. تيغنور، ه. ل. ميلير]. مطبعة جامعة كامبريدج، كامبريدج، المملكة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

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

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 «معدّل الطقس». ويتم وصف المناخ بالنظر إلى تقلبية الحرارة والتهطال 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 ديناميكياته 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 (المسمّى البياض)، (ونذكر، على سبيل المثال، التغيّرات في غطاء السحب وفي جزئيات الغلاف الجوي أو النباتات)، وثالثاً، عبر تعديل إشعاع الموجات الطويلة من الأرض في إتجاه 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 الإنعكاس 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 إنعكاس الهباء

(يتبع)



السؤال١–١ 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 – النتح 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).

الجوي من جراء المواد التي تقذفها البراكين عالياً جداً في الغلاف الجوي. وينظّف 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 إثنتين 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 بإنبعاثها 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 المتوفّرة 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 الوقع، لا يملك النيتروجين والأكسيجين، 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 إبتعاث الغازات من الدفيئة. وقد ازداد حجم ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بنسبة ٣٥٪ في الحقبة الصناعية بسبب النشاطات البشرية، ومنها، على وجه التحديد، إحتراق الوقود الأحفوري وإزالة الغابات. وبالتالي، تسبب الإنسان بتغيير التركيبة الكيميائية للغلاف الجوي العام وبتأثير كبير على المناخ.

وبسبب شكل الأرض الدائري، تصل الطاقة الشمسية إلى الأماكن الواقعة على خطوط الإستواء 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 لتبخر 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 التغيّر في حرارة سطح المحيط ونسبة ملوحته من جراء التهطال والتبخر.

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 إلتقائها 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 تبدّل سعتها مع الوقت. وبسبب أنماط الموج، يمكن أن يرتبط شتاء بارد في أميركا الشمالية بشتاء دافئ في مكان أخر في الجزء الثاني من الكرة الأرضية. وستتأثر أوجه دوران الغلاف الجوي والمحيطات بشكل بارز بالتغيّرات الحاصلة في شتى مميزات النظام المناخي، مثل حجم الغطاء الجليدي ونوع النباتات وتوزعها أو حرارة المحيط والغلاف الجوي.

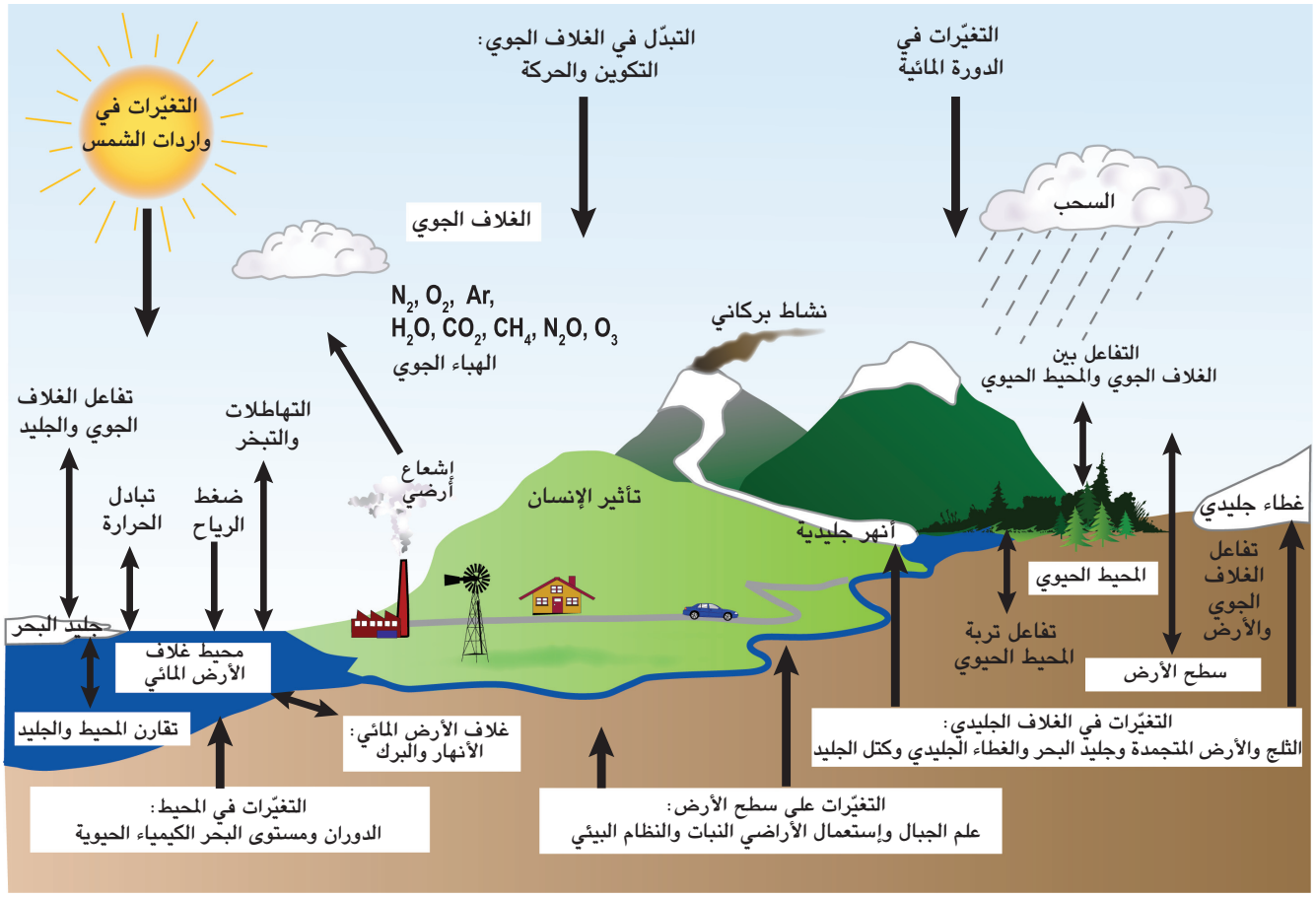
وهناك العديد من الآليات الإرتدادية في المناخ التي يمكن أن تعزز (التأثير التفاعلي الإيجابي) أو تقلّص (التأثير التفاعلي السلبي) مفاعيل التغيّر التأثير المناخي. وعلى سبيل المثال، إن إرتفاع تركيز غازات الدفيئة يؤدي إلى مناخ أرضي دافئ فيبدأ الثلج والجليد بالذوبان. ويُظهر هذا الذوبان أراضٍ ومياه داكنة كانت تحت الجليد والثلج وكانت تمتص الكثير من حرارة الشمس، مسبّبةً 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 المتأتي من إرتفاع مستويات غازات الدفيئة. لقد كان رصد التأثير التفاعلي في المناخ وفهمه وتحليله موضوع بحث العلماء بغية حل تعقيدات مناخ الأرض.

السؤال ١-٢
ما هي العلاقة بين تغيّر المناخ والطقس؟

يعرف المناخ بأنه معدّل الطقس، وبالتالي، يتداخل المناخ والطقس. تشير الدراسات إلى إن تغيّرات قد طرأت على الطقس، وفي الواقع، تُحدّد إحصاءات التغيّرات في الطقس مع الوقت تغيّر المناخ. وعلى الرغم من إرتباط المناخ والطقس إرتباطاً وثيقاً إلا أن اختلافات كبيرة تفصلهما عن بعضهما. وكثيراً ما يتم الخلط بين المناخ والطقس عندما يُسأل العلماء عن إمكانية التنبؤ بطقس خمسين سنة مقبلة فيتعذّر عليهم التنبؤ بالطقس لبضعة أسابيع مقبلة، إذ تجعل طبيعة الطقس المختلطة عملية توقعه مستحيلة على مدى أيام. ويختلف عن ذلك توقع التغيّرات في المناخ (كمعدّل الطقس على المدى البعيد) الذي يتأتى من التغيّرات في تكوين الغلاف الجوي ومن عوامل أخرى، وهو ليس بأمر يصعب التحكم به. فمن المستحيل تحديد موعد وفاة أي شخص من الأشخاص، ولكن يمكن الجزم، بثقة، بأن معدّل الوفاة في الدول الصناعية يناهز ٧٥ عاماً. ومن الأمور التي غالباً ما يخلط الناس فيها هو الإعتقاد بأن شتاء بارداً أو وجود نقطة مبرّدة على الكرة الأرضية يدلّ على عدم وجود إحترار عالمي. إذ أن هناك دائماً حدود للبرد وللحر على الرغم من تبدّل قوتها وتواترها بسبب تغيّر المناخ. لكن، يتبين أن الإحترار العالمي قد يبدأ عندما يكون معدّل الطقس واحداً في مختلف الأزمنة والأمكنة.

يبذل علماء الأرصاد الجوية جهوداً جبارة بغية دراسة التطور اليومي لأنظمة الطقس ومن أجل التوصل إلى إمكانية التنبؤ بها. ويستطيع علماء الرصد الجوي التنبؤ بالطقس لعدة أيام مقبلة من خلال استخدام المبادئ الفيزيائية التي تحدد كيفية تحرك الغلاف الجوي وكيفية إرتفاع حرارته أو إنخفاضها، بالإضافة إلى تساقط الأمطار والثلوج وتبخر المياه. فالعامل الأساسي الذي يعيق التنبؤ بالطقس لأكثر من بضعة أيام هو خاصية دينامية يتميز بها الغلاف الجوي. في العام ١٩٦٠، اكتشف عالم الأرصاد الجوية إدوار لورنز أن تغيّرات بسيطة في الشروط الأساسية قد تؤدي إلى نتائج

(يتبع)



السؤال ٢-١، الرسم ١: رسم حول مكوّنات النظام البيئي وعملها وتفاعلاتها

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 التغيّرات البسيطة، التي يملكها بعض المتحركات، على إحداث تقلبات عشوائية ظاهرة في الأنظمة المركبة.

غير أن النظرية العشوائية الهيّولية 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 معدّل الحرارة والتهطال (المناخ) سيبقى على حاله. ومن المفيد أن تتم دراسة المناخ وكأنه تعاطٍ 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 مثلٌ أخر عند المقارنة العادية بين الصيف والشتاء. وينتج تبدل المواسم عن التغيّرات في الأنماط الجغرافية للطاقة التي يمتصها نظام الأرض ويعاود عكسها. وبهذه الطريقة، ترتسم توقعات المناخ المستقبلي من خلال التغيّرات 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 التغيّرات التي يمكن أن تطرأ على المناخ من جرّاء غازات الدفيئة في الخمسين سنة المقبلة عن عملية توقع أشكال الطقس لأسابيع مقبلة، كما أن الأولى هي مشكلة يمكن حلها بسهولة. وبكلام أخر، يسهل توقع التحولات البعيدة المدى الناتجة عن التغيّرات 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 إنّ تصرفات الإنسان باتت عاملاً أساسياً ومسؤولاً عن الإحتباس الحراري الملحوظ في السنوات الخمسين الأخيرة، إلى جانب عدة عوامل أخرى ما زالت تؤثر بالمناخ. أما التغيّرات المناخية الناتجة عن الإنسان فتتأتى من التغيّرات الحاصلة في كميات غازات الدفيئة في الغلاف الجوي ومن الجزئيات الصغيرة (الهباء الجوي) ومن التغيّر في إستعمال الأراضي مثلاً. ويتسبب تغيّر المناخ بتأثر التوقعات حول بعض أشكال الطقس. وعلى سبيل المثال، بسبب إرتفاع حرارة الأرض، أصبحت بعض ظواهر الطقس أكثر تواتراً وأكثر قوة (كالموج الحار والأمطار الغزيرة) على عكس ظواهر أخرى باتت أقل تواتراً وحدة (كالبرد الشديد).

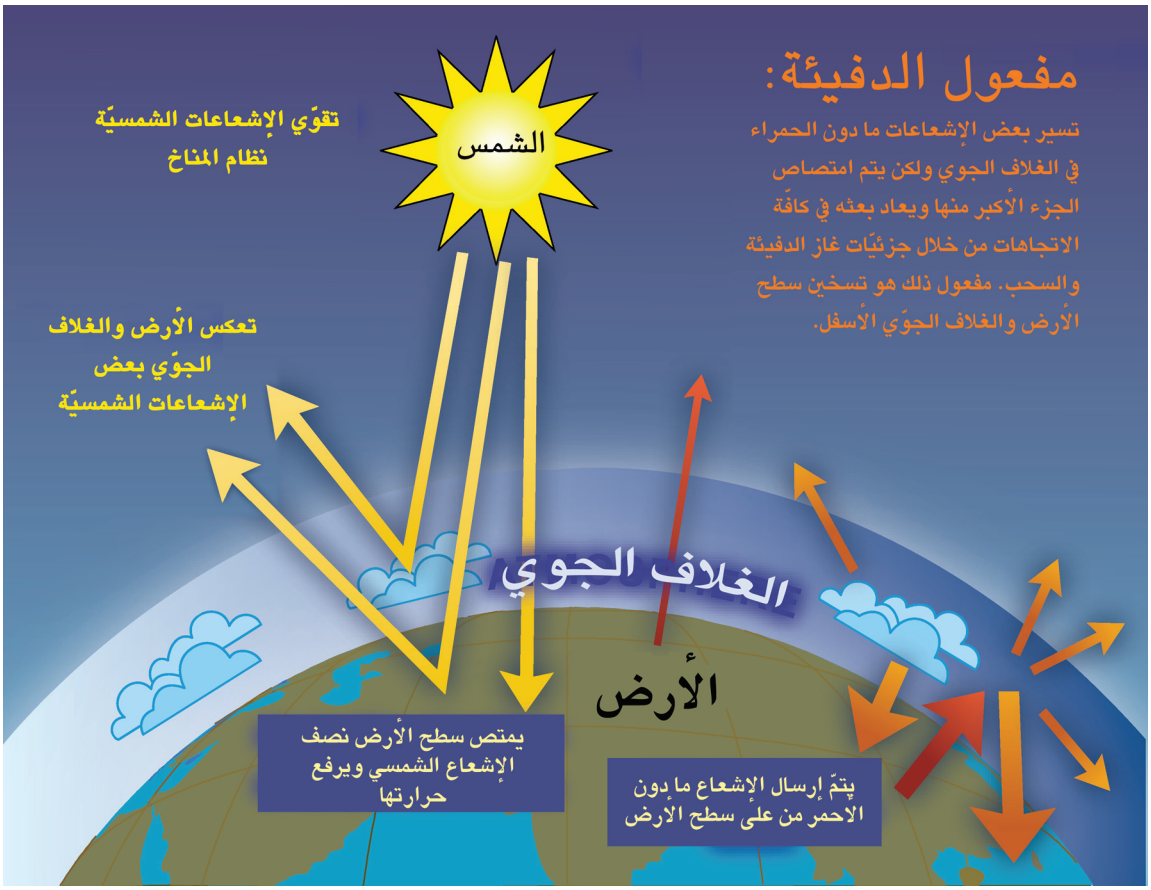
السؤال ١–٣
ما هو مفعول الدفيئة؟

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 تعاود 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 إسم الدفيئة. وتقلّص الجدران الزجاجية تدفق الهواء داخل الدفيئة وترفع حرارة الهواء في داخلها.

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 معدّل حرارة سطح الأرض إلى ما دون نقطة تجمّد 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 وأدّى إلى الإحترار العالمي.

ولا ينتج الغازان الأكثر تواجداً في الغلاف الجوي أي النيتروجين والأكسيجين مفعول الدفيئة (ويشكل النيتروجين ٧٨٪ من الغلاف الجوي الجاف بينما يشكل الأكسيجين ٢١٪ منه). وفي المقابل، يتأتى مفعول الدفيئة من الجزئيات الأكثر تعقيداً والأقل عمومية. ويشكّل 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)



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

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 مكوّنات النظام المناخي خاصة بالمحيطات وبالكائنات الحيّة. وخير دليل على ذلك هي النباتات التي تأخذ ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي وتحوّله (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 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 لتبخر 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 الجزئيات فيها وشكلها ومدة حياتها إلى تبدّل درجة تبريد الأرض وتسخينها. إذ تؤدي بعض التغيّرات إلى تعزيز الإحترار في حين تساهم أخرى في تقليصه. يتم إجراء العديد من الدراسات في الوقت الراهن من أجل فهم كيفية تغيّر الغيوم كرد على إحترار المناخ وكيفية تأثير هذه التغييرات في المناخ من خلال عدة آليات تأثير تفاعلي.

السؤال ٢–١

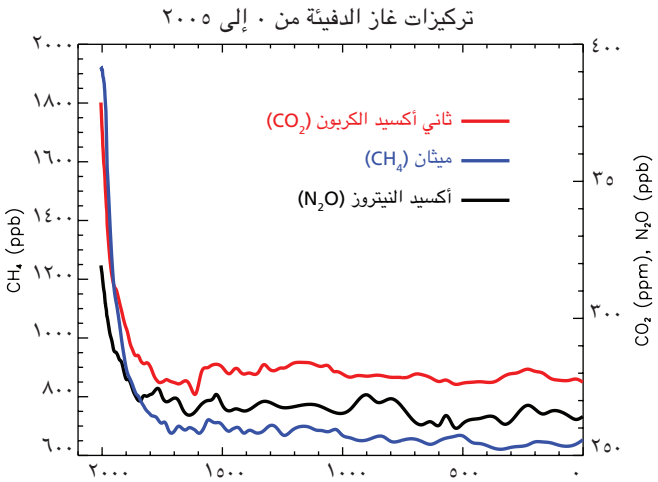
كيف تساهم النشاطات البشرية بتغيّر المناخ وكيف تتم مقارنتها مع تأثيرات الطبيعة؟

يساهم النشاط الإنساني في تغيّر المناخ من خلال التسبب بتغيّرات 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 التغيّر في غزارة الغلاف الجوي أو في مبادئ هذه الغازات والجزئيات إلى تسخين النظام المناخي أو تبريده. ولم ينتج عن النشاط البشري منذ بدء الثورة الصناعية في السبعينيات من القرن الماضي إلا تأثير واحد هو الإحترار. وقد تسارع التأثير البشري على المناخ في هذه الحقبة بسبب تغيّرات في الآليات العادية مثل:

غازات الدفيئة:

ينتج عن النشاطات البشرية تسرّب أربعة غازات دفيئة أساسية هي: ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز والهلوكربون (وهو مجموعة غازات تحتوي على الفلويورين والكلورين والبرومين). تتجمع هذه الغازات في الغلاف الجوي وتتسبب بزيادة تركيزها مع الوقت. وقد سجّلت 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 المكيّفات الهوائية وفي صناعة الإسمنت وسلع أخرى. وتبعث إزالة الغابات ثاني أكسيد الكربون وتقلّص قدرة النباتات على إمتصاصه. 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 معدّلات الزيادة قد انخفضت على مدى العقدين المنصرمين.
- ينبعث أكسيد النيترس أيضاً بسبب النشاطات الإنسانية مثل استعمال الأسمدة وحرق الوقود الأحفوري، كما ينبعث من عمليات أخرى في التربة



السؤال ٢–١ 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 و٢ من التقرير)

والمحيطات.

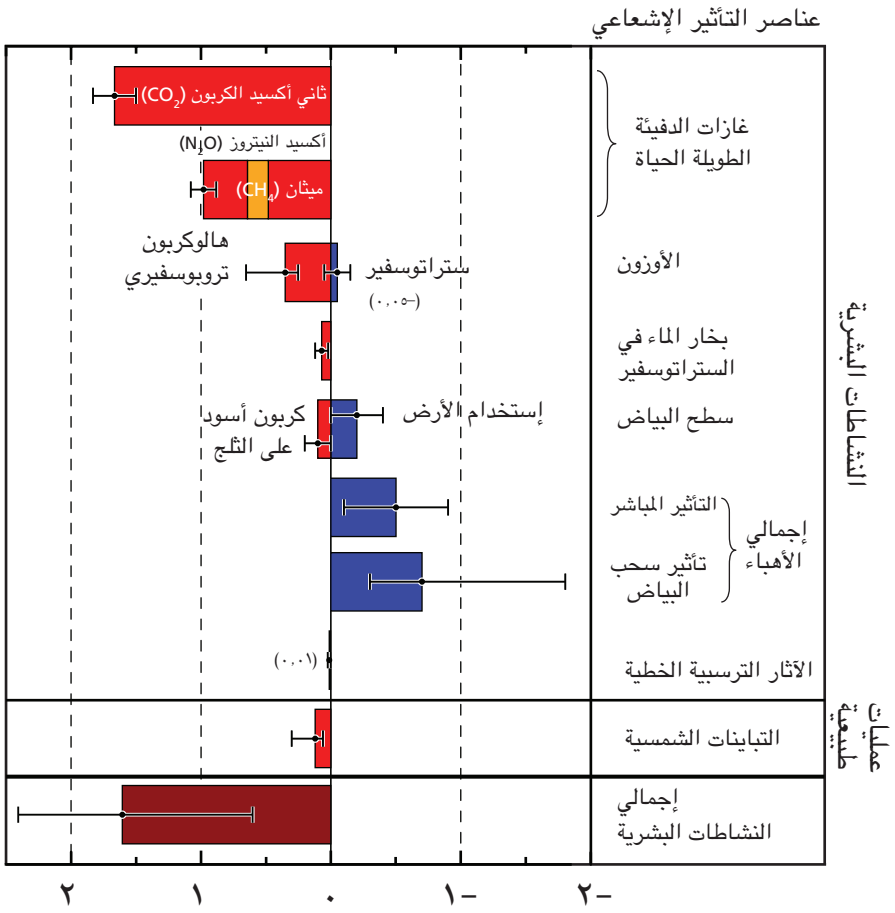
- لقد تنامت تركيزات الهلوكربون بنسبة كبيرة بسبب النشاطات الإنسانية، ونتيجة العمليات الطبيعية أيضاً لكن بنسبة أقل. وتشمل الهلوكربونات الكلوروفلورو كربون (مثل CFC -11 و CFC -12) الذي جرى إستعمالها كثيراً كعوامل تجليد وفي العمليات الصناعية الأخرى قبل أن يكتشف العلماء أن وجودها يؤدي إلى استنزاف الجزء الأعلى من الغلاف الجوي للأوزون. وأخذت غزارة غازات الكلوروفليوكربون تنخفض في الآونة الأخيرة بفضل التعديلات الدولية من أجل حماية طبقة الأوزون.
- يشكل الأوزون أحد غازات الدفيئة التي يتم إنتاجها وتدميرها بإستمرار نتيجة التفاعلات الكيميائية. ولقد زادت النشاطات الإنسانية نسبة الأوزون في الجزء الأعلى من الغلاف الجوي من خلال نفث بعض الغازات كمونوكسيد 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)

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 جزئيات صغيرة تتواجد في الغلاف الجوي بأحجام وتركيز وتركيبات كيميائية مختلفة. بعض الهباء الجوي يتم بثه مباشرة في الغلاف الجوي في حين يتشكل جزء أخر من خلال التركيبات الصادرة. يشمل الهباء الجوي التركيبات الطبيعية والتركيبات الناتجة عن النشاط البشري. لقد زاد إحتراق الوقود الأحفوري والكتلة الأحيائية من تركيبات الكبريت في الهباء الجوي إلى جانب التركيبات العضوية والكربون الأسود. وأدّت 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 الإنبعاثات البيوجينية من الأرض والمحيطات والكبريت، بالإضافة إلى غبار الهباء الجوي الناتج عن الإنفجارات البركانية.

التأثير الإشعاعي للمناخ بين العامين ١٧٥٠ و ٢٠٠٥



السؤال ٢-١ الرسم ٢: ملخّص حول المكوّنات الرئيسية للتأثير الإشعاعي في تغيّر 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 تغيّر ملحوظ في الغازات المعمّرة وفي الأوزون وتبخر الماء وسطح البياض والهباء الجوي والنزر الخطية. لقد سجّل الإزدياد في التأثير الطبيعي الأكثر أهمية بين العامين ١٧٥٠ و٢٠٠٥ بسبب الإشعاع الشمسي. أدّى التأثير الإشعاعي الإيجابي إلى الإحترار في حين أدّى التأثير الإشعاعي السلبي إلى التبريد. يرمز الخط الأسود السميك المتصل بالجداول الملوّنة 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 تأثّر توازن الطاقة في نظام الأرض–الغلاف الجوي عند تغيّر العوامل المؤثّرة بالمناخ. وتُستعمل مفردة «إشعاعي» لأن تلك العوامل تغيّر التوازن بين الإشعاع الشمسي الوارد والإشعاع ما دون الأحمر الخارج في الغلاف الجوي. ويسيطر 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 تغيّر الطاقة للوحدة المكانية الواحدة على الكرة الأرضية تُقاس في أعلى الغلاف الجوي، بالواط للمتر المربّع 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 تولّد 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

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 أدّت 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 أدّى 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 التغيّرات التي يحدثها في خصائص السحب.

لقد بدّلت نشاطات الإنسان طبيعة سطح الأرض منذ الحقبة الصناعية من جراء التغيّرات في النباتات والمراعي والغابات والأراضي الزراعية بشكل رئيسي. كما عدّلت 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 تأثيرٍ سلبي.

وتحدث السفن الهوائية تركيز نزر خطيّة في المناطق التي تتمتع بحرارة منخفضة وبرطوبة مرتفعة. وتعرّف الآثار الترسبية بأنها نوع من السحب 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 التغيّرات الطبيعية

تحدث التأثيرات الطبيعية من جراء التغيّرات الشمسية والإنفجارات البركانية. لقد تكاثرت المخرجات الشمسية تدريجياً إبان الثورة الصناعية محدثة تأثيراً إشعاعياً إيجابياً بسيطاً (راجع الرسم ٢). وذلك إلى جانب التغيّرات 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 الإنفجارات 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 آخر انفجار بركاني في العام ١٩٩١(جبل بيناتوبو).

إن التأثير الإشعاعي المتوقع حصوله في الوقت الحاضر وفي بداية الحقبة الصناعية بسبب تغيّرات الإشعاع الشمسي والبراكين هو أقل بكثير من تغيّر 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 التغيّر في عمليات طبيعية.

السؤال ٣–١
كيف تتغيّر درجات الحرارة على الأرض؟

يشير الرصد الآلي الممتد على مدى ١٥٧ عاماً إلى إرتفاع درجة الحرارة على سطح الأرض عموماً على الرغم من وجود تباينات مناطقية. 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 حراً من في الـ ١٢ سنة الماضية. كما تدل على إرتفاع درجة الحرارة في التروبوسفير فوق سطح الأرض (١٠ كيلوميترات تقريباً) أكثر قليلاً من إرتفاعها 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 إرتفاع درجة حرارة المحيطات وإرتفاع 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 يومياً آلاف 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 تغيّرات ثابتة على مر الزمن، تتركز التحاليل حول أنواع الشذوذ (وهي إنحرافات ناتجة عن النسبية المناخية في كل إتجاه) لأنها أكثر فاعلية في تغيّر توافر المعلومات. يمكن في الواقت الراهن إستخدام 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 ١٩٥٧عندما بدأ تسجيل القياسات في القطب الجنوبي، وإزداد التحسن مع العام ١٩٨٠ عند بدء استعمال قياسات الأقمار الصناعية.

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

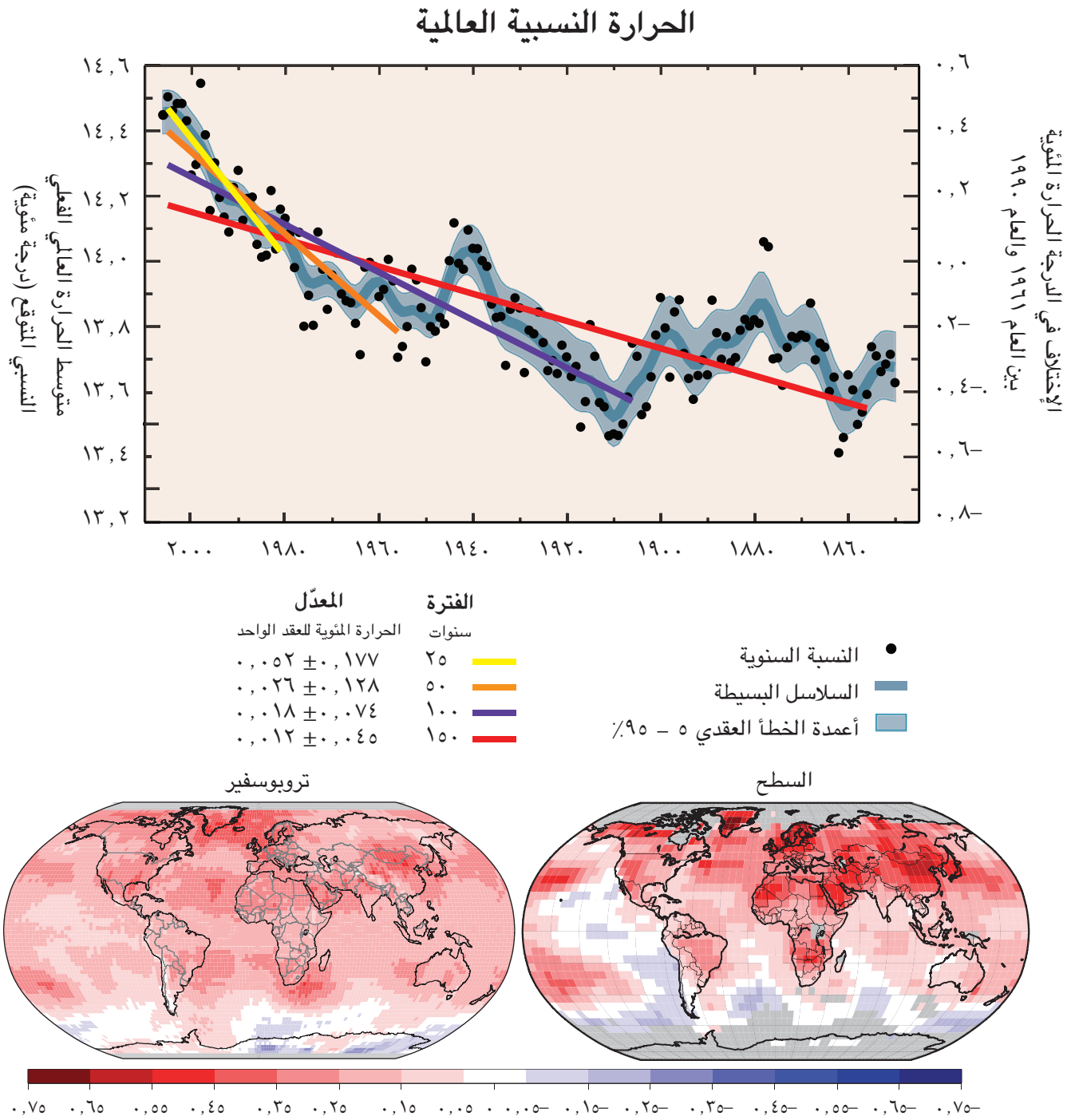
أما السنوات الأكثر حرارة بين المجموعات فامتدت بين العامين ١٩٩٨ و٢٠٠٥ (لا تظهر في الإحصاءات)، ومن السنوات الـ١٢ الأكثر حرارة، سجّلت ١١ في السنوات الـ١٢ المنصرمة (من ١٩٩٥ حتى ٢٠٠٦). وكان الإحترار أقوى على الأرض منه على المحيطات منذ العام ١٩٧٠. وعلى صعيد المواسم، كان الإحترار أكبر في الشتاء. وحصلت إحترارات 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 مؤشر 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 التغيّرات 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 إرتفاع عدد النهارات الشديدة الحرارة والليالي الدافئة منذ العام ١٩٥٠ على وجه التحديد (راجع السؤال ٣–٣). وإزداد 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 مهيأة لتقبّل التغيير في وسائل القياس ولمراقبة الممارسات عند الحاجة. لقد تم إستخدام الأقمار الصناعية القصيرة الموج بغية إنشاء «التسجيل الحراري للأقمار الصناعية» من أجل الطبقات السميكة في الغلاف الجوي إلى جانب التروبوسفير

(يتبع)



السؤال ٣–١، الرسم ١: (في الأعلى) متوسط درجة الحرارة العالمية السنوية[١] (النقاط السوداء)، مع ملاءمات بسيطة للمعلومات. يدل المحور الأيسر على الشذوذ في معدّل السنوات ١٩٦١ إلى ١٩٩٠، ويدل المحور الأيمن على الحرارة الفعلية المتوقعة بالدرجة المئوية. 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 إحترار متزايد. أما الخط المنحني الأزرق فهو تصوّر بسيط لإلتقاط التقلبات العقدية. تبدو التموجات معبّرة من أجل إعطاء فكرة واضحة حول الطقس: العقدية ٥٪ إلى ٩٥٪ (باللون الرمادي الفاتح) كما تم تحديد هوامش الخطأ حول الخط (بالتالي تتخطى القيم السنوية هذه الحدود). تقول النتائج المناخ المثالية التي تم التوصل إليها من خلال التأثيرات الإشعاعية المقدرة للقرن العشرين (القسم ٩) إن ثمة تحولاً بسيطاً سبق العام ١٩١٥ وإنكساراً فعلياً حصل في التغيّر في بداية القرن العشرين بسبب التأثيرات الطبيعية الحاصلة بما فيها التغيّرات في الإشعاع الشمسي والقوة البركانية والتقلبية الطبيعية. وإرتفعت نسبة التلوث في القسم الشمالي من الكرة الأرضية بسبب حركة التصنيع التي تلت الحرب العالمية الثانية من العام ١٩٤٠ حتى العام ١٩٧٠ وأدّى هذا التلوث إلى التبريد وإلى إزدياد ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة الأخرى وقد طبع هذا الإزدياد الإحترار الحاصل في منتصف السبعينيات.

[١] من مجموعة معاومات *HadCRUT3*

(يتبع)

(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 برد 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 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.

(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 المسجّل في القمر الصناعي في التروبوسفير حصل عند تغيّرات حرارة السطح ويتعلق الأمر بالارض والمحيط.

السؤال ٣–٢
كيف يتغيّر التهطال؟

تشير الملاحظات إلى تغيّرات في كمية التهطال وفي حدّته وتواتره وأشكاله. وغالباً ما تدل مميزات التهطال هذه على تقلبية طبيعية كبيرة. ويملك النينيو تأثيراً كبيراً، وكذلك هو الأمر بالنسبة إلى أنماط التغيّرات في دوران الغلاف الجوي، كالتذبذب في شمال الأطلسي على سبيل المثال. وقد تمت ملاحظة بعض التوجّهات 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 إرتفاعات واسعة الإنتشار لعدة ظواهر تهطال غزير حتى في مناطق إنخفضت فيها الكميات الإجمالية للمتساقطات. وترتبط هذه التغيّرات بإرتفاع تبخّر المياه في الغلاف الجوي الناتج عن إحترار محيطات العالم وخاصة عند الخطوط العرض السفلى. كما تم رصد إرتفاعات 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. ويتشكّل التهطال عند تكاثف بخار المياه الذي يمتد بعيداً في الغالب في الهواء المتصاعد ثم يبرد. ويتأتى 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، يعدّل أي تغيّر في هذه المظاهر التهطال. تشير خرائط التهطال أنّه متقطّع ومتفاوت لذلك تمّت الإشارة إلى إتجاهات التهطال في دليل بالمر لقسوة الجفاف (راجع الرسم ١)، وهو قياس لرطوبة الأرض من خلال استخدام التهطال والتوقعات البسيطة للتغيّرات في التبخر.

وقد أدّى الإحترار المتزايد والناتج عن إرتفاع 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 إرتفعت في مناطق أخرى (راجع السؤال ٣–٣: الرسم ١ التغيّرات في الأيام الدافئة). ويرتبط التهطال بحرارت أكثر إرتفاعاً في الشتاء وفي القارات الشمالية، ويعود ذلك إلى أن قدرة الماء التماسكية في الغلاف الجوي ترتفع في الظروف الدافئة.

عندما يتغيّر المناخ، يتأثّر التهطال بطريقة مباشرة، فتتبدل كميته وتواتره وشكله. يسرّع الإحترار جفاف سطح الأرض ويزيد من إمكانية حدوث جفاف ومن حدّته إذا ما حصل، وقد تمت ملاحظة هذا الأمر في عدة مناطق من العالم (راجع الرسم ١). لكن، يفيد أحد القوانين الفيزيائية الثابتة (علاقة كلوزيوس – كلابيرون) بأن قدرة تماسك الماء في الغلاف الجوي هي نحو ٧ درجات مئوية، وهي تزداد كلما إرتفعت درجة الحرارة درجة مئوية واحدة. تشير مراقبات إتجاهات الرطوبة النسبية إلى أنها غير ثابتة، غير أنها بقيت على حالها في المجمل من السطح إلى داخل التروبوسفير، وعليه فإن الحرارات المتزايدة نتجت عن تزايد تبخر الماء. طوال القرن العشرين كان متوقعاً أن يزيد بخار الماء في الغلاف الجوي فوق المحيطات بنسبة تقريبية هي ٥٪، وذلك إستناداً إلى تغيّرات في حرارات سطح البحر. يتأتى 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 تُتوقع 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 النينيو خاصة في المناطق المدارية وعلى خطوط العرض الوسطية وفي البلدان المطلة على المحيطات.

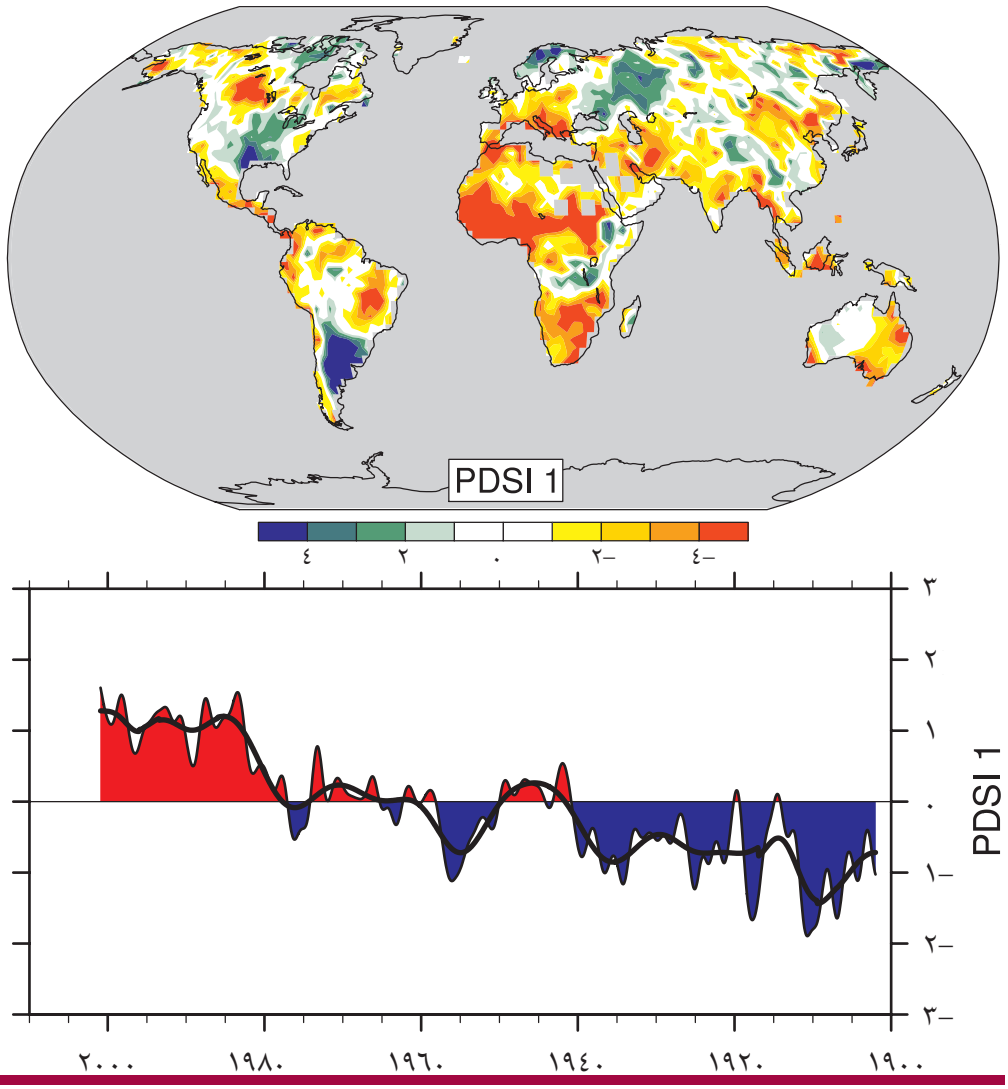
يقلّص إنخفاض التبخر مخزون الترطيب العام في الغلاف الجوي في المناطق التي يحجب فيها تلوث الهباء الجوي الأرض عن ضوء الشمس المباشر. وبينما يمكن حصول متساقطات أقوى تنتج عن تزايد كميات البخار، بات يمكن أن تتقلص مدة هذه الظواهر وكميتها في الوقت عينه لأن إعادة شحن الغلاف الجوي بالبخار تتطلب وقتاً أكثر.

ترتبط التغيّرات المحلية والإقليمية بشكل التهطال إرتباطاً وثيقاً في اتجاهات حركة الغلاف الجوي التي يحددها النينيو والتذبذب الشمال الأطلسي

(يتبع)

(NAO) (وهوعبارة عن قياس قوة الرياح الغربية في المحيط الأطلسي الشمالي خلال الشتاء)، بالإضافة إلى بعض أنماط التقلبية. ترتبط بعض التغيّرات بالحركة المشار إليها سابقاً بتغيّر المناخ. إن التبديل المرتبط ببدء الإعصار يجعل بعض المناطق أكثر رطوبة – وأحياناً تميل إلى أن تكون أكثر جفافاً – ما يجعل أنماط التغيّر معقّدة. 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 بالتغيّرات في حركة الغلاف الجوي وبالتغيّرات في أنماط حرارة سطح البحر الإستوائي على نطاق المحيط الهادئ والهندي والأطلسي. وأمسى الجفاف منتشراً في معظم مناطق أفريقيا وعادياً في المناطق الإستوائية وشبه الإستوائية.

يتسبب إرتفاع الحرارة بإزدياد إحتمال إنهمار التهطال على شكل مطر وليس على هيئة ثلج، خاصةً في الخريف والربيع، مع بداية موسم الثلج وانتهائه في المناطق التي تقارب فيها الحرارة درجة التجلد. تجري ملاحظة هذه التغيّرات 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 التهطال النسبي وتقطعها فإن أنماط التغيير معقّدة. ويشدد التسجيل الطويل المدى على إختلاف أنماط التهطال 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 المعدّل.



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 التهطال السابق ومن خلال توقّع مستوى الترطيب في الغلاف الجوي (إستناداً إلى حرارت الغلاف الجوي). يشير اللوح البياني السفلي إلى كيفية تغيّر إشارة الإتجاه وقوته منذ العام ١٩٠٠. المناطق الملونة بالأحمر والبرتقالي هي أكثر جفافاً (رطوبة) من المعدّل، أما المناطق الزرقاء والخضراء فتكون أكثر جفافاً (رطوبة) عندما تكون الأرقام المذكورة في الأسفل إيجابية (سلبية). يشير الخط الأسود المتموج 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. ويُلاحظ تزايد الجفاف في افريقيا وخاصة عند الساحل. تجدر الإشارة إلى وجود مناطق رطبة أخرى خاصة في غرب أميركا الشمالية والجنوبية وشمال أوراسيا. تمت الأقلمة من Dai et al (2004b).

السؤال ٣–٣
هل حصل تغيّر في الظواهر المتطرفة مثل الأمواج الدافئة والجفاف والفياضانات والاعاصير؟

منذ العام ١٩٥٠، إزداد عدد الأمواج الحارة والليالي الدافئة. كما إرتفع عدد المناطق التي طالها الجفاف في حين إنخفض التهطال على الأرض قليلاً في ظل تزايد التبخر من جراء الشروط الباعثة على الإحترار. كما إرتفع عدد التهطال 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 يدلّ 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 تغيّر في مختلف أشكال الظواهر المناخية المتطرفة. أما قصوتها فلا تتخطى غالباً ١,٥ و١٠٪ من الوقت (من الحد الأول) و٩٠,٩٥ و٩٩٪ 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 بالتهطال الغزيرة على أنه كميات يومية تزيد عن ٩٥ بالمئة من المستوى (و٩٩ بالمئة منه بالنسبة إلى المتساقطات الشديدة الغزارة).

ومنذ أواخر العام ١٩٥٠، حصل إنخفاض ملحوظ في التكرر السنوي في الليالي الباردة وتزايد ملموس في التكرر السنوي في الليالي الدافئة. ولكن لم يتم ذكر الكثير حول الإنخفاضات في تكرر الأيام الباردة وإرتفاع التكرر في الأيام الحارة على الرغم من انتشارها الواسع (راجع الرسم ١). لم ينتقل توزيع الحرارت القصوى والدُنيا إلى أعلى مستوياتها الثابتة مع الإحترار العالمي فحسب، بل إحترّت 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 تغيّر الحدود ملاحظة الزيادات في ظواهر التهطال الغزير في مناطق خطوط العرض الوسطى منذ السنوات الخمسين الماضية حتى في المناطق التي لا يتم فيها تسجيل كميات من التهطال النسبية (راجع السؤال ٣–٢) كما يتم رصد إرتفاعات متزايدة لظواهر التهطال الشديد الغزارة. غير أن النتائج متوافرة حول بعض المناطق فقط.

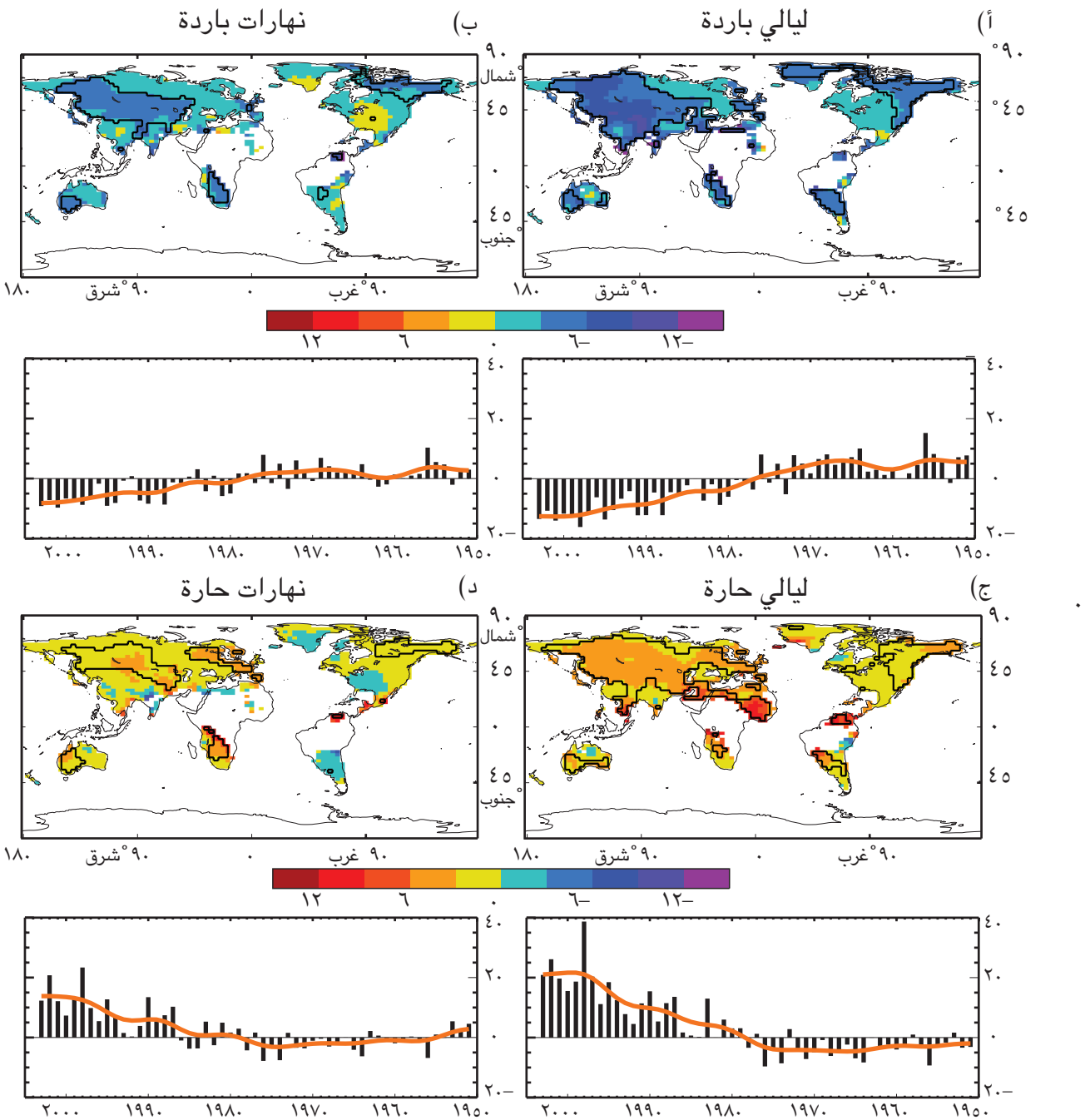
إن قياس الجفاف أسهل من غيره بسبب طول مدته. بينما يوجد عدد من المؤشرات وأجهزة قياس حول الجفاف. تلجأ بعض الدراسات إلى مجموع التهطال الشهري وإلى معدّلات الحرارة وهما يشكّلان، متحدتين مع بعضهما البعض، مقياساً يدعى دليل حدة الجفاف بالمير. ويشير هذا المقياس الذي تم وضعه في منتصف القرن العشرين إلى إتجاه كبير نحو الجفاف في عدة مناطق من الجزء الشمالي للكرة الأرضية منذ منتصف الخمسينيات ويدل على جفاف واسع في مناطق جنوب أوراسيا وشمال أفريقيا وكندا وألاسكا (راجع السؤال ٣–٢: الرسم ١). ويدل أيضاً على إتجاه معاكس في شرق أميركا الجنوبية والشمالية. أما في الجزء الجنوبي من الكرة الأرضية فكانت أسطح الأرض رطبة في السبعينيات وجافة في التسعينيات الستينيات، كما سُجّل إتجاه نحو الجفاف بين عامي ١٩٧٤ و١٩٩٨. وتشير التسجيلات ذات المدة الطويلة حول أوروبا على مدى القرن العشرين إلى عدد قليل من الإتجاهات الهامة. وهي تبين أن إنخفاض التهطال على الأرض منذ الخمسينيات يشكل السبب الأول في الإتجاهات نحو الجفاف، غير أن الإحترار الحاصل على مساحات كبيرة في العقود الثلاثة الماضية ساهم بدوره في إحداث الجفاف. وتشير إحدى الدراسات إلى أن عدد المناطق الكثيرة الجفاف حول العالم تضاعف أو بالأحرى إزداد منذ السبعينيات (تعرف هذه المناطق بمناطق يكون فيها دليل حدة الجفاف بالمر ٣,٠–)، ويرتبط هذا الواقع بإنخفاض سابق في التهطال نتج عن التذبذب الجنوبي/النينيو وبتزايدات فعلية نتجت عن إحترار الأرض.

تحجب التقلبية الطبيعية الواسعة التغيّرات في تواتر العواصف والأعاصير الإستوائية وفي حدتها. ويؤثر النينيو بشدة في حركة العواصف الإستوائية حول العالم. وتدل توقعات القدرة التدميرية للأعاصير حول العالم على إتجاه متصاعد فعلي منذ منتصف السبعينيات. وهو إتجاه 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 إنخفضا 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 المسجّلة على سطح التروبوسفير وفي داخله، تبيّن أنه يمكن أن يكون تبدلاً على صعيد القطب قد طرأ مع إحتمال إرتفاع

(يتبع)

حركة بدء عواصف الشتاء في القسم الشمالي من الكرة الأرضية إبان الجزء الثاني من القرن العشرين. وتشكل هذه التغيّرات جزءاً من التقلبات الحاصلة بالترابط 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 تنحي تدفق المجاري المائية عن خطها على صعيد القطب ومع تزايد العواصف. إن البراهين التي يمكن مراقبتها في التغيّرات خلال الظواهر الطبيعية الضيقة النطاق (مثل أعاصير التورنيدو 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.



السؤال ٣–٣، الرسم ١. الإتجاهات التي تمت مراقبتها (النهارات في العقود) من العام ١٩٥١ إلى العام ٢٠٠٣ حول تواتر الحرارات 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 تجمعت 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 و١٩٩٠). يشير الخط الأحمر إلى التقلبات العقدية. إن الإتجاهات الخاصة بالمؤشرات الإجمالية المشار إليها هامة بمستوى ٥٪. أقلمة عن Alex et al. (٢٠٠٦)

السؤال ٤–١

هل تشهد كمية الثلج والجليد على الأرض تراجعاً؟

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 ١,٢±٠,٤ بالسنة في الفترة الممتدة بين العامين ١٩٩٣ و٢٠٠٣.

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 أمكنة على الرغم من إرتفاع التهطال.

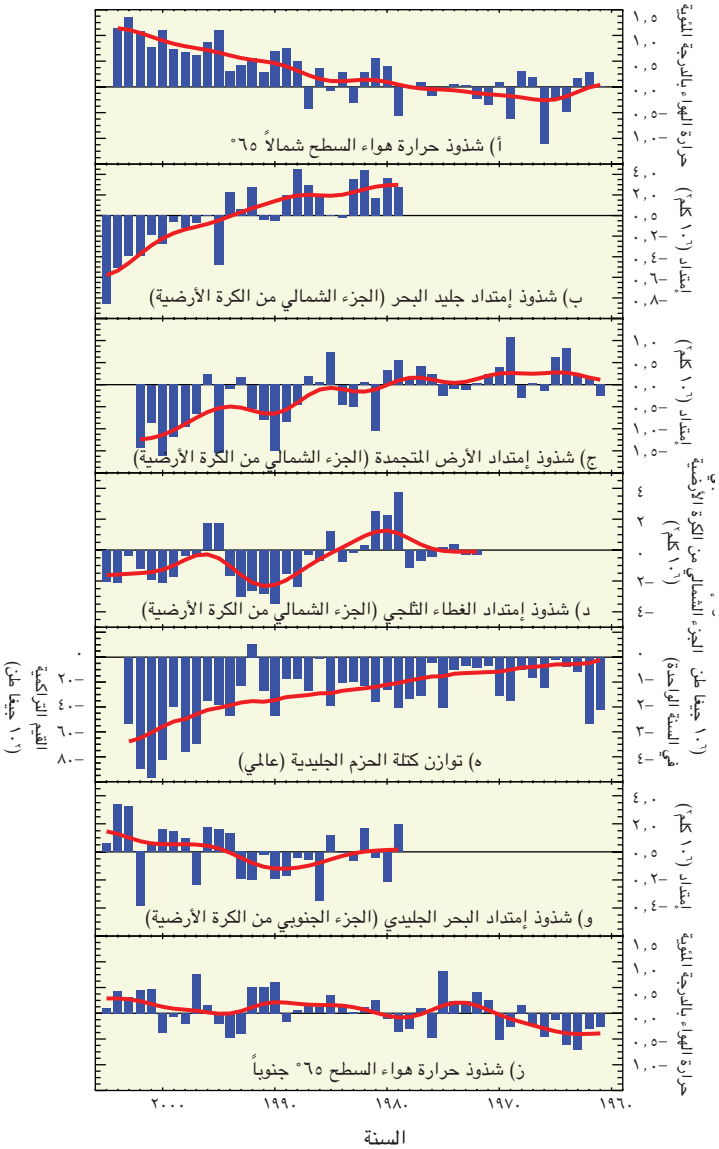
ولا تعطي المعلومات المتوافرة من الأقمار الصناعية حتى الآن قياسات دقيقة حول ظروف الجليد والبحيرات والأنهار أو حول الأرض المتجمدة بشكل موسمي أو دائم.

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 ٢,٧ ±٠,٦٪ في العقد وبنسبة ٧,٤ ±٢,٤٪ 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، خاصة بواسطة الغواصات إلا إنها تنحصر في وسط القطب الشمالي حيث تشير إلى حصول تقلص بنسبة ٤٠٪ تقريباً بين سنة ١٩٥٨ و١٩٧٧. ويشكل ذلك تقديراً مبالغاً فيه حول الذوبان في منطقة القطب الشمالي كلها.

وقد بدأت االجبال 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.

أن يكون هذا التناقص قد بدأ منذ العام ١٨٥٠. وعلى الرغم من بقاء العديد من مجلّدات الجزء الشمالي للكرة الأرضية شبه متوازنة لسنوات في السبعينيات، تبع ذلك إرتفاع في التقلص. وأدى ذوبان الحزم الجليدية والقلنسوات الجليدية إلى إرتفاع مستوى البحر بنسبة ٠,٧٧ ± ٠,٢٢ ميليمتر في السنة، بين سنتي ١٩٩١ و٢٠٠٤.

كما أدى ذوبان الغلافات الجليدية في غرينلاد والقطب الجنوبي إلى إرتفاع مستوى سطح البحر بنسبة ٠,٢ ± ٠,١ ميليمتر في السنة، في حين أدّى التناقص الحاصل في القطب الجنوبي إلى رفع مستوى سطح البحر بنسبة ٠,٢ ± ٠,٣٥ 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 والذوبان في سطح غرنلاند. ويتفاعل الجليد مع المناخ المحيط بطرق معقدة، لذا تبقى دائماً أسباب التغيّرات 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 إرتفاع تهطال الثلج في عدة حالات، ما تسبب بإرتفاع حرارة الهواء. تؤثر تغيّرات الغطاء الثلجي في الأرض المتجمدة وفي البحيرات والأنهر الجليدية إلا أن هذا الأمر لا يشكل شرحاً كافياً للتغيّرات الحاصلة التي تفضي إلى القول بأن تزايد حرارات الهواء كان هاماً. يمكن أن تتماشى التقلصات في النهر الجليدي في القطب الشمالي مع الأمثلة المستقاة من الدوران التاريخي ومن تغيّرات 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.

السؤال ٥–١

هل يرتفع مستوى البحر؟

نعم. من المؤكد أن مستوى سطح البحر العالمي إرتفع في القرن العشرين بتدرج وما زال حتى اليوم يزداد بمعدّل تصاعدي بعد فترة تغيّر بسيطة بين صفر و١٩٠٠ بعد الميلاد ومن المتوقع أن يرتفع مستوى البحر بمعدّل أكبر في هذا القرن. أما السببان الرئيسيان في إرتفاع مستوى البحر فهما: التمدد الحراري للمحيطات (تتمدد المياه عندما تسخن) والنقص في الجليد القاري الناتج عن الذوبان المتنامي.

لقد إرتفع مستوى البحر بنسبة ١٢٠ متراً خلال عدة ألفيات 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 يتغيّر فعلياً منذ ذلك الوقت حتى القرن التاسع عشر. ويشير التسجيل الآلي لتغيّر مستوى البحر الحديث إلى بدء إرتفاع مستوى البحر في القرن العشرين. ومن المتوقع أن يرتفع معدّل مستوى البحر العالمي في القرن العشرين بمعدّل ١,٧ ميليمتراً في السنة.

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

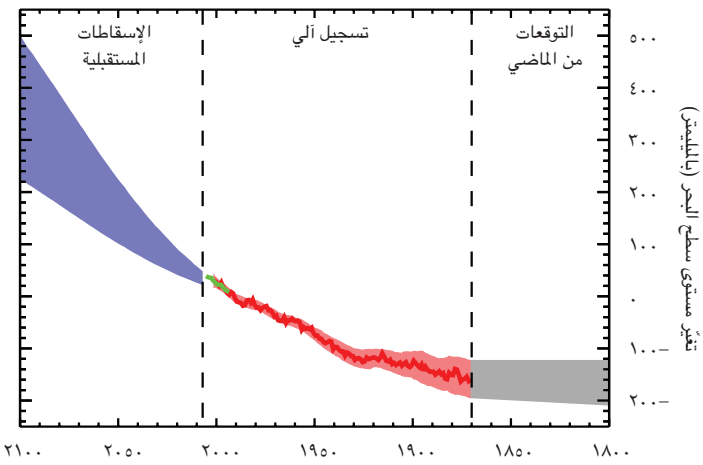
بالإضافة إلى النماذج المناخية، تدل معلومات الأقمار الصناعية والمشاهدات الهيدروغرافية على أن الإرتفاع في مستوى البحر لم يحصل بشكل موحد حول العالم. ففي بعض المناطق كانت المعدّلات أعلى من الإرتفاع النسبي العالمي بينما كان مستوى البحر ينخفض في مناطق أخرى. ويتم إستنتاج التقلبية المكانية الفعلية لتغيّر معدّلات إرتفاع مستوى البحر من المشاهدات الهيدروغرافية. ويتأتى إرتفاع التقلبية المكانية في معدّل مستوى البحر بسبب التغيّرات 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 و٢٠٠٣ أدّى بالمعدّل إلى ربع إرتفاع مستوى البحر الحالي، في حين أدّى الذوبان في الأرض الجليدية إلى أقل من نصف هذا الإرتفاع. وبالتالي، فإن الحجم الفعلي لإرتفاع مستوى سطح البحر المشاهد لم يكن يفسر بشكل مرض بواسطة هذه المعلومات كما أشار التقييم التجميعي الثالث للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيّر المناخ.

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

خلال الأعوام الأخيرة، اشترط التوافق المنطقي بين إرتفاع معدّل مستوى البحر وبين كمية التمدد الحراري وخسارة الجليد القاري وضع حد أعلى لحجم تغيّر مخزون الماء الأرضي الذي كان بالكاد معروفاً. وأظهرت النتائج النموذجية عدم وجود توجه واضح في مخزون الماء على الأرض بسبب تغيّرات 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 إرتفاع مستوى سطح البحر وكمية المؤثرات فيه، يمكن أن يكون

(يتبع)



السؤال ٥–١، الرسم ١. سلاسل الوقت المتعلقة بمستوى سطح البحر النسبي العالمي (الإنحرافات في نسبة الأعوام بين ١٩٨٠ و١٩٩٩) الماضي والمتوقع في المستقبل. المعلومات حول فترة ما قبل ١٨٧٠ غير متوافرة. يدل الظل الأخضر على الشكوك في التقدير الطويل المدى لتغيّر 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 معدّل التقلبات من منحنى بسيط. يدل الخط الأخضر إلى نسبة مستوى البحر النسبي العالمي من خلال قمر صناعي لقياس الإرتفاعات. يمثل الظل الأزرق معدّل التوقعات النموذجية من سيناريو SRES ب١ 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 إرتفاع مستوى سطح البحر وسيناريوهات أخرى في التقرير). يمكن أن يرتفع مستوى سطح البحر بضعة أمتار على مر العصور والألفيات (القسم ١٠–٧–٤).

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 بمعدّل يفوق معدّل الفترة الممتدة بين العامين ١٩٦١ و٢٠٠٣. وبحسب التقرير الخاص حول إصدار السيناريوهات من قبل الهيئة الحكومية الدولية، يشير السيناريو أ١ب 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 التغيّر في مستوى البحر موحداً على الصعيد الجغرافي، وسيبلغ تغيّر مستوى البحر الإقليمي نحو ٠,١٥ متراً من نسبة التوقع النموذجي. ومن المتوقع أن يتسبب التمدد الحراري بأكثر من نصف معدّل 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 أخر على مستوى سطح البحر. لكن، لا يمكن أن تتم التوقعات التحليلية حول كمية الزيادة بمصداقية نظراً للفهم المحدود للعملية المذكورة.

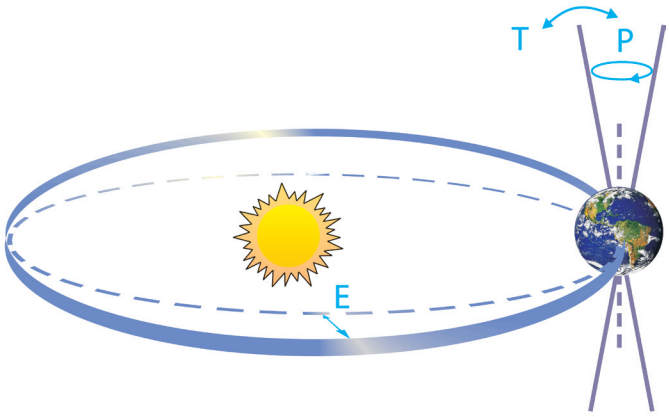
يشير الرسم الأول إلى التطور في مستوى سطح البحر النسبي العالمي في الماضي وتوقع سيناريو SRES أ١ب للقرن الواحد والعشرين.

السؤال ٦–١
ما الذي تسبّب بالعصور الجليدية والتغيّرات المناخية الهامة الأخرى قبل الثورة الصناعية؟

لقد تبدل المناخ على الأرض في مختلف الأوقات بما فيها فترات لم يكن يؤدي الإنسان خلالها أي دور. وحصل تطور كبير في معرفة أسباب التغيّرات المناخية وآلياتها. وكانت التغيّرات في ميزان الأرض الإشعاعي السبب الرئيسي خلف التغيّرات المناخية، ولكن أسباب هذه التغيّرات مختلفة ومتعددة وهي: العصور الجليدية والحرارة في زمن الديناصورات وتقلبات الألفيات السابقة. وينبغي تفصيل كل سبب من الأسباب على حدى. يمكن القيام بهذا الأمر بمصداقية في هذه الأيام، إذ بات مستطاعاً تجسيد عدد كبير من التغيّرات السابقة بواسطة نماذج تحليلية.

يتحدد المناخ العلمي من خلال ميزان الإشعاع الأرضي (راجع السؤال ١–١). يمكن أن يتغيّر الميزان الإشعاعي وبالتالي يتغيّر المناخ من خلال ثلاث طرق هي: أولاً، التغيّر في الإشعاع الشمسي الوارد (من خلال التغيّرات في حلقة الأرض أو في الشمس بحد ذاتها)، ثانياً، التغيّرات في كسر الإشعاع الشمسي المعكوس (ويسمى هذا الكسر البياض، ويمكن أن ينتج هذا التغيّر من جراء التغيّرات في غلاف السحب أو في سلائف صغيرة تدعى الهباء الجوي أو في غطاء الأرض)، ثالثاً، تبدّل الطاقة الطويلة الموج المنعكسة مجدداً إلى الفضاء (من خلال التغيّرات في تركيزات غاز الدفيئة مثلاً). ومن جهة أخرى، يعتمد المناخ المحلي على كيفية توزيع الحرارة من قبل الغيوم وعلى تيارات المحيط. وقد أدّت هذه العوامل كلها دوراً في التغيّرات 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 إستخدام نماذج بسيطة مفهومية بغية تجسيد بدء هذه التجلّدات بالإستناد إلى التغيّرات في الحلقات. وستحدث المرحلة الثانية من تقلص التشميس في الصيف في المناطق الشمالية،



السؤال ٦–١، الرسم ١. رسم حول التغيّرات في حلقات الأرض (دورات ميلانكوفيتش) التي أدّت إلى دور العصر الجليدي. T يدل على (الإنحناء) في محور الأرض. E يدل على تغيّر الإختلاف المركزي للحلقة (بسبب التغيّرات في المحور الصغير لشكلها البيضاوي)P يدل على التغيّرات 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.

وأدّى 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 (~١٩٠ جزءاً بالمليون) في حين كان عالياً في الفترات البينية الجليدية الحارة (~٢٨٠ جزءاً بالمليون). ويتبع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تغيّرات الحرارة في القطب الجنوبي بفارق مئات السنين. تحصل التغيّرات المناخية في بداية العصور الجليدية وفي نهايتها وتتطلب مئات السنين لتأخذ مجراها، ولهذا السبب تتأثر معظم التغيّرات المناخية بالتأثير التفاعلي الإيجابية لثاني أكسيد الكربون. وبنتيجة هذا التأثر، 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 تبدلاً 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 تغيّرات واسعة في الحرارة النسبية العالمية: لا تتزامن التغيّرات في غرينلاند والقطب الجنوبي في حين أنها متزامنة في شمال

(يتبع)

وجنوب المحيط الأطلسي. وتدل هذه النتيجة على أن هذه التغيّرات لا تحتاج إلى تغيّر كبير في ميزان الإشعاع العالمي بل تكتفي 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 التغيّرات 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، تغيّرت مستويات ثاني أكسيد الكربون بسبب النشاط التكتوني، ما يؤثرعلى معدّلات تبادل ثاني 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 التغيّرات المناخية. تشير القياسات في العقود القريبة إلى أن الصادرات الشمسية إختلفت 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 تغيّرات 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.

تسلّط هذه الأمثلة الضوء على التغيّرات المناخية المختلفة في الماضي وأسبابها المختلفة. والحقيقة هي أن العوامل الطبيعية تسببت بتغيّرات مناخية في الماضي لا تعني أن التغيّر 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 إرتباط التغيّرات المناخية بتأثير البشر مقارنة مع تأثير الطبيعة ومدى مساهمة العنصرين فيها.

السؤال ٦–٢
هل يعتبر تغيّر المناخ الحالي غير إعتيادي مقارنة بالتغيّرات السابقة التي حدثت في تاريخ الكرة الأرضية؟

تغيّر المناخ في كافة السنوات طوال تاريخ الكرة الأرضية. وتعتبر بعض مظاهر تغيّر 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 معدّلاً 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 لتغيّر المناخ في خلال هذا القرن نتائج غير إعتيادية على الأصعدة الجيولوجية. ويعتبر السبب في تغيّر المناخ مظهراً آخر من مظاهر تغيّر المناخ الحالي، كون تغيّرات المناخ السابقة كانت طبيعية المنشأ (راجع السؤال ٦–١)، أما معظم الإحترار الذي سُجّل في خلال الخمسين سنة الماضية فمردّه الأنشطة البشرية.

ويجب تسجيل ثلاثة إختلافات عندما تتم مقارنة تغيّر 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 معدّل التغيّر؟ ثانياً، من الضروري التمييز بين التغيّرات المحلية والتغيّرات العالمية. فغالباً ما تكون تغيّرات المناخ المحلية أوسع من التغيّرات العالمية كون العوامل المحلية كالتغيّرات في دوران المحيطات والغلاف الجوي يكمن أن تحوّل إتجاه وصول الحرارة أو الرطوبة من مكان إلى أخر فضلاً عن تغيير التغذية المرتدة المحلية كالتغذية المرتدة للجليد البحري. ومن جهة أخرى، تتطلب التغيّرات الواسعة في نسب درجات الحرارة العالمية بعض المجهود العالمي كتغيّر تركيز غاز الدفيئة أو النشاط الشمسي. ثالثاً، من الهام التمييز بين الأطر الزمنية. فمن الممكن أن تكون تغيّرات المناخ عبر ملايين السنين أكبر ولها أسباب مختلفة كالإنجراف القاري مقارنة بتغيّرات المناخ في خلال مئة عام.

ويعزى السبب الرئيسي للقلق الحالي على تغيّر المناخ إلى إرتفاع 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 المليوني 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 و٣٠٠ جزء في المليون خلال الإحترار بين عصرين جليديين. وقد إرتفع بشكل سريع في خلال القرن الأخير حتى بلغ حالياً ٣٧٩ جزءاً في المليون (راجع الفصل ٢). ومن باب المقارنة، إن إرتفاع نسبة تركيز ثاني أكسيد الكربون إلى ٨٠ جزءاً في المليون خلال نهاية العصر الجليدي الماضي قد إستغرق تقريباً أكثر من ٥٠٠٠ عاماً. وسُجّلت نسب أعلى من النسب الحالية خلال عدة ملايين من السنوات (راجع السؤال ٦–١). وتشكّل 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 معدّلات النطاق الواسع أي على المستوى العالمي أو النصف الكروي، أكثر إفادة بالنسبة إلى التغيّرات 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 إنخفاض الغطاء الفضائي في فترات سابقة (الفقرة ٦,٥). في الوقت الذي تبرز فيه الإختلافات 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 تغيّرات درجات الحرارة في معدّلات على صعيد واسع، لكنها لا تقدم أي دليل على إرتفاع 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 بتقليص للعينات الجوفية من الجليد القطبي وبإرتفاع 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)

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 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 إنحلال الترسبات المركزية وغيرها من العوامل لا يؤدي إلى تحوّل هذه التغيّرات بالسرعة التي يسجّلها 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 إرتفاع في درجات الحرارة العالمية التي سُجلت في مدة ٥٠ مليون عاماً.

السؤال ٧-١
هل تعتبر الأنشطة البشرية في العصر الصناعي مسؤولة عن زيادة نسب ثاني أكسيد الكربون وسائر غازات الدفيئة الموجودة في الغلاف الجوي؟

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 الإنبعاثات كافة التي يتسبب بها النشاط البشري الذي يشكّل نسبة ٥٥ بالمئة فقط من نسبة ثاني أكسيد الكربون المنبعث منذ العام ١٩٥٩. أما النسبة المتبقية فمتأتية 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 إنبعاثات الغاز من الأنشطة البشرية ومن الأنظمة الطبيعية وبين الترسبات أي إزالة الغاز من الغلاف الجوي عن طريق تحوّله إلى مركّب كيميائي أخر. وإن إحراق الوقود الأحفوري، بالإضافة إلى مساهمة صغيرة من صناعة مادة الإسمنت، هما مسؤولان عن نسبة تفوق الـ٧٥ بالمئة من إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون البشري المنشأ. أما تغيّر إستخدام الأراضي وبشكل أساسي إزالة الغابات فهو المسؤول عن النسبة المتبقية. أما بالنسبة إلى الميثان وهو غاز دفيئة أخر هام فإن الإنبعاثات التي سببتها الأنشطة البشرية قد تخطت الإنبعاثات الطبيعية على مر ٢٥ عاماً. وفي ما يتعلق بأكسيد النيتروز فإن الإنبعاثات التي سببتها الأنشطة البشرية تساوي الإنبعاثات 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 لملوثات 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 و٣٠٠ جزء في المليون والميثان تراوح بين ٣٢٠ و٧٩٠ جزءاً في المليار. أما معدّل التغيّر الحالي فهو درامي ولم يسبقه مثيل. فالزيادة في نسبة ثاني أكسيد الكربون لم تتخطَّ 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.

ثاني أكسيد الكربون

تعتبر إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون (الرسم ١أ) 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 تغيّر إستخدام 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 جيغا طن من الكربون في السنة الواحدة على شكل ثاني أكسيد الكربون خلال الخمس وعشرين سنة الأخيرة (يساوي واحد جيغا 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، وتُقدّر بحوالي ١٢٠ جيغا طن من الكربون في السنة الواحدة، وبين المحيط والغلاف الجوي المقدّرة بنحو ٩ جيغا طن من الكربون (الرسم ٧,٣). وتنتج ترسبات الكربون الطبيعي عن إمتصاص كمية صغيرة من ثاني أكسيد الكربون بحوالي ٣,٣ جيغا طن من الكربون في السنة الواحدة على مر الـ ١٥ سنة الأخيرة، معوضاً بشكل جزئي الإنبعاثات الناتجة عن الأنشطة البشرية. ولولا الترسب الطبيعي الذي يمتص نصف كمية ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن الأنشطة البشرية على مر ١٥ سنة لكانت الترسبات الطبيعية الموجودة في الغلاف الجوي إزدادت 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 تبدّلت بشكل يمكن ربطه بإضافة كربون الوقود الأحفوري. بالإضافة إلى ذلك، تدنت نسبة الأكسيجين والنتروجين الموجودة في الغلاف الجوي فيما إزدادت نسبة ثاني أكسيد الكربون. وهذا الأمر متوقع لأن الأكسيجين يستنفد عندما يحرق الوقود الأحفوري. ويقل وجود نظير الكربون ١٣ في النباتات بينما يكثر في النباتات والوقود الأحفوري الذي يتشكل من النباتات ويكثر الكربون في المحيطات وفي الفورات البركانية وفي الإنبعاثات الحرارية الأرضية. وقد تدنى مستوى

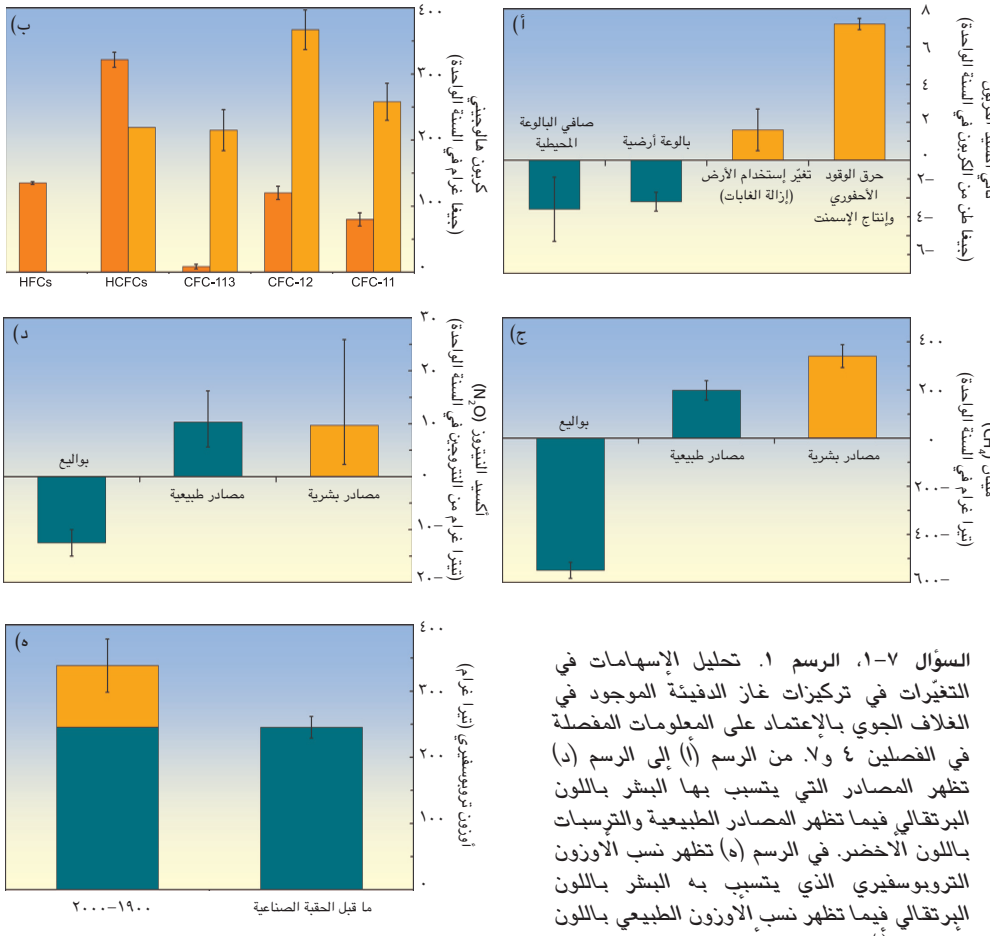
(يتبع)

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 أضيف 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. وتوفّر 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 ١ب إنبعاثات لغازات أساسية تحتوي على الهالوجين والناتجة عن الأنشطة البشرية. ويحدد هنا مدى عمر المركب الكربوني الفلوري الكلوري الذي يتراوح ما بين ٤٥ إلى ١٠٠ عام. أما عمر المركب الكربوني الفلوري الهيدروليجي الكلوري فيتراوح ما بين العام و١٨ عاماً ويتراوح عمر المركّب الكربوني الفلوري الهيدروليجي ما بين العام و٢٧٠ عاماً. ويبقى مركّب الكربوني الفلوري الهيدروليجي 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 المركّب

(يتبع)



السؤال ٧–١، الرسم ١. تحليل الإسهامات في التغيّرات في تركيزات غاز الدفيئة الموجود في الغلاف الجوي بالإعتماد على المعلومات المفصلة في الفصلين ٤ و٧. من الرسم (أ) إلى الرسم (د) تظهر المصادر التي يتسبب بها البشر باللون البرتقالي فيما تظهر المصادر الطبيعية والترسبات باللون الأخضر. في الرسم (ه) تظهر نسب الأوزون التروبوسفيري الذي يتسبب به البشر باللون البرتقالي فيما تظهر نسب الأوزون الطبيعي باللون الأخضر. (أ) مصادر ثاني أكسيد الكربون وترسباته (جيغا طن من الكربون). في كل عام، ينبعث ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي من جراء الأنشطة البشرية بما في ذلك إحتراق الوقود الأحفوري وتغيّر إستخدام الأراضي. ويبقى ٥٧ إلى ٦٠٪ من ثاني أكسيد الكربون المنبعث من الأنشطة البشرية موجوداً في الغلاف الجوي. ويذوب البعض في المحيطات ويدخل البعض الآخر في نمو النباتات. وتعود التدفقات المتعلقة بالأراضي إلى التسعينيات. وإن الوقود الأحفوري وصهر الإسمنت والإمتصاص 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 الهيدروليجية الكلورية المركب الكربوني الفلوري الهيدروليجي الكلوري–٢٢ – ١٤١ب و–١٤٢ب فيما تضم المركبات الكربونية الفلورية الهيدروليجية المركّب الكربوني الفلوري الهيدروليجي–٢٣، –١٢٥، –١١٣٤ و–١١٥٢. واحد جيغا 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 المتأتية من البشر إنتاج الطاقة وردم الأراضي والحيوانات المجترة 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 النتروز وترسباته. تضم مصادر أكسيد النتروز المتأتية من البشر تحوّل السماد النتروجيني إلى أكسيد النتروز 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 النتروز من الفصل ٧,٤. (ه) الأوزون التروبوسفوري 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 بتغيّر المناخ، المقدّرة من مراقبات أعيد بناؤها. ويشكل المجموع الحالي والنسبة المشكوك فيها المعدّل والإنحراف المعياري لنتائج النموذج الموجودة في الجدول ٧,٩ في هذا التقرير بإستثناء تلك المتأتية من تقرير التقييم الثالث.

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 بالفليور وهي غازات بروتوكول كيوتو.

الميثان

تفوق مصادر الميثان الموجودة في الغلاف الجوي المتأتية من الأنشطة البشرية، مصادر الميثان المتأتية من الأنظمة الطبيعية (الرسم ١ج). بين العام ١٩٦٠ والعام ١٩٩٩، إزدادت تركيزات الميثان بمعدّل حوالي ست مرات أسرع من الأربعين سنة الماضية في الألفيتين قبل العام ١٨٠٠ على الرغم من إنعدام أي معدّل نمو منذ العام ١٩٨٠. وتشكل الأراضي الرطبة المصدر الطبيعي الرئيسي لوجود الميثان في الغلاف الجوي. وتضم المصادر الطبيعية الإضافية النمل الأبيض والمحيطات والنبتات 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 ترسبات 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 ١د). بين العام ١٩٦٠ والعام ١٩٩٩، إزدادت تركيزات أكسيد النتروز مرتين 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 إستخدام الأرض وإحتراق 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 بإتجاه المناطق الحضرية وفي مناطق حرق الكتلة الإحيائية. وتسبب البشر بزيادة ٣٨٪ (٢٠–٥٠٪) في الأوزون التربوسفيري منذ العصر ما قبل الصناعي (الرسم ١ه).

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.

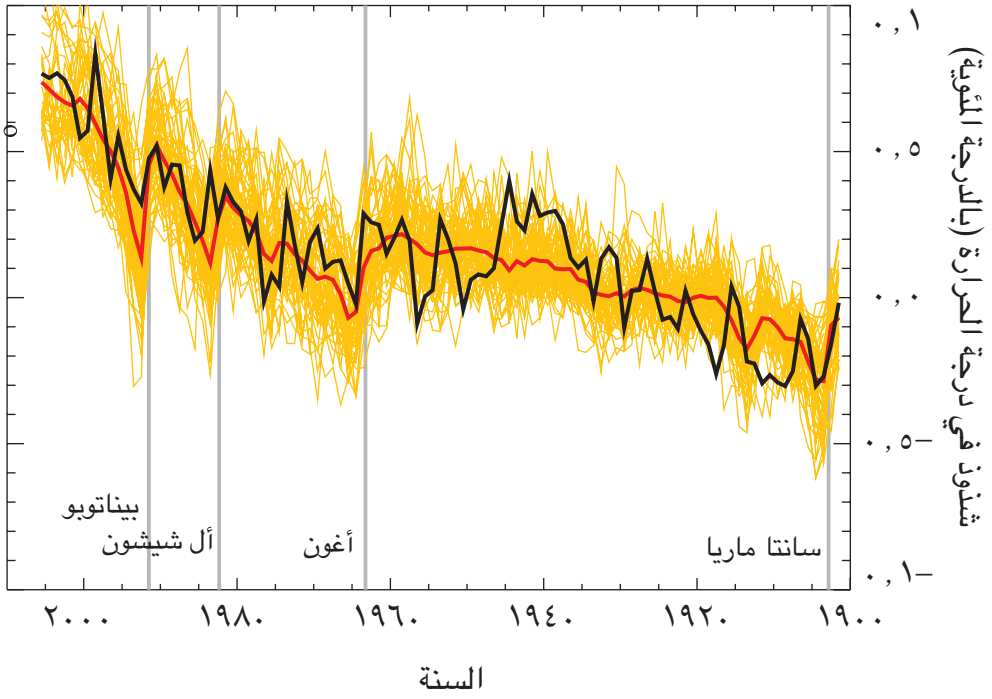
السؤال ٨–١
إلى أي مدى يمكن الإعتماد على النماذج المستخدمة للتنبؤ بتغيّر المناخ في المستقبل؟

برزت ثقة كبيرة بنماذج المناخ التي تقدم تقديرات عددية موثوقة لتغيّر المناخ في المستقبل خاصة على المستويات القارية وعلى نطاق أوسع. ويُعزى سبب هذه الثقة إلى إنشاء النماذج من مبادئ فيزيائية مقبولة ومن قدرتها على نقل الخصائص التي رصدت في تغيّرات المناخ الحالية والسابقة. وتعتبر نسبة الثقة في تقديرات النموذج أعلى بالنسبة إلى التقلبات المناخية كدرجة الحرارة مثلاً، أكثر من الآخرين كالتهطال مثلاً. وعلى مر عدة عقود من التطور، قدمت النماذج دوماً صورة كبيرة وواضحة عن إحترار المناخ من جراء إزدياد غازات الدفيئة.

وتأتي النماذج المتعلقة بالمناخ دقيقة على شكل رموز حاسوب معتمدة على الحواسيب القوية. ويأتي مصدر الثقة الأول في النماذج من واقع أن أساسيات النموذج تعتمد على قوانين فيزيائية رسمية كالمحافظة على الكتلة والطاقة وكمية الحركة بالترافق مع وفرة في المراقبات.

ويأتي مصدر الثقة الثاني من قدرة النماذج على محاكاة خصائص هامة في المناخ الحالي. ويتم تقييم النماذج بشكل روتيني ومكثف عبر مقارنة المحاكاة مع مراقبات الغلاف الجوي والمحيط والكرايوسفير وسطح الأرض. وقد تم إجراء مستويات تقييم لا سابق لها في خلال العقد الماضي، أتت على شكل مقارنات منظمة لنموذج متعدد. وتظهر النماذج مهارة واضحة ومتزايدة في نقل خصائص المناخ الهامة كالتوزيعات في نطاق واسع لدرجة حرارة الغلاف الجوي والتهطال والإشعاع والرياح فضلاً عن درجة حرارة المحيطات والأنهار وغطاء الجليد البحري. وتستطيع النماذج أن تحاكي خصائص هامة لعدد من الأمثلة المتعلقة بتقلبية المناخ الذي رصد على مدى أطر زمنية. وتضم الأمثلة تقدم وتراجع أنظمة الرياح الموسمية الهامة وتغيّرات درجة الحرارة الموسمية ومسارات العواصف وأحزمة المطر وتأرجح المستوى النصفي الكروي لضغط السطح فوق المداري (الأنماط الحلقية الجنوبية والشمالية). وقد تمت تجربة بعض نماذج المناخ أو متقلبات أخرى تتعلق بها عبر إستخدامها لتوقع حالة الطقس وإجراء التوقعات الموسمية. وتبرهن هذه النماذج عن مهارة في التوقعات المماثلة فتظهر أنها تبين خصائص هامة للدوران العام في خلال الأطر الزمنية الأقصر فضلاً عن خصائص التقلّب الموسمي والحلقي. وتزيد قدرة النماذج على إظهار ذلك وعلى إظهار خصائص المناخ الهامة الأخرى، من ثقتنا بأنها تمثل العملية الفيزيائية الأساسية لمحاكاة تغيّر المناخ في المستقبل. (إن التقييدات في قدرة النماذج على توقع حالة الطقس أبعد من بضعة أيام لا تحد من قدرتها على توقع تغيّرات المناخ على المدى الطويل فضلاً عن أن هذه هي أنواع مختلفة من التوقعات. (راجع السؤال ١,٢)

(يتبع)



سؤال ٨–١، الرسم ١. درجة حرارة سطح الأرض العالمية على مر القرن العشرين من المراقبات (الأسود) كما تم الحصول عليها من المحاكاة الـ٥٨ المتأتية من ١٤ نموذجاً مختلفاً عن المناخ تسبب بها العوامل البشرية والطبيعية التي تؤثر على المناخ (الأصفر). يتم إظهار معنى هذه التقييمات (الخط الأحمر العريض). يظهر شذوذاً في درجة الحرارة بين العام ١٩٠١ والعام ١٩٥٠. وتدل الخطوط العمودية الرمادية إلى توقيت الفورات البركانية المهمة.
(الرسم بحسب الفصل ٩، الرسم ٩,٥. راجع الفصل المناسب لمعلومات إضافية)

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 أثّرت 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 الإنفجارات 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 التهطال 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 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 وديناميةطبقة الجليد في بعض نماذج المناخ العالمي.

بإختصار، 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.

السؤال ٩–١
هل من الممكن تفسير وقوع الأحداث المتطرفة الفردية عن طريق الإحترار الدفيئي؟

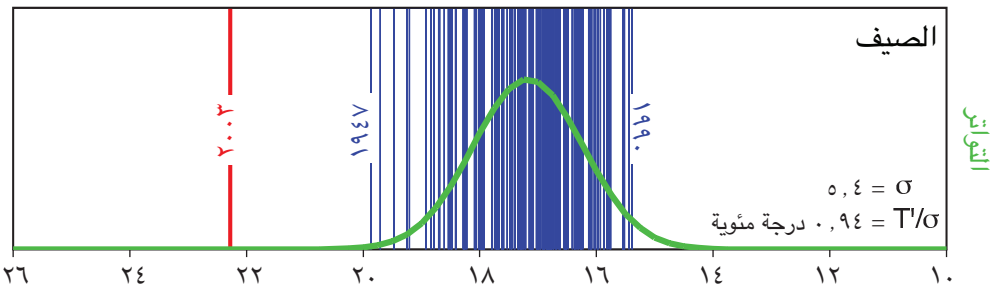
يتوقع أن تكون التغيّرات المناخية العنيفة متعلقة بإحترار المناخ وذلك نتيجة إرتفاع كمية غازات الدفيئة الموجودة في الغلاف الجوي والناتجة عن الأنشطة البشرية كإستخدام الوقود الأحفوري مثلاً. لذلك، إن تحديد ما إذا كان لحادثة متطرفة معينة سبباً محدداً كإرتفاع غازات الدفيئة، هو أمر صعب لا بل مستحيل لسببين. أولاً، 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 المتغيّرة. وفي جميع الأحوال، يشير تحليل الإحترار على مدى القرن الماضي إلى أن نسبة إحتمال وقوع بعض الأحداث المتطرفة كالأمواج الحرارية قد إرتفعت بسبب الإحترار الدفيئي، كما أن نسبة إحتمال وقوع بعض الأحداث الأخرى كالتجمّد 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 وتربة جافة، ما أدّى إلى توفر كمية من الطاقة الشمسية الكافية لتسخين الأرض، لأن نسبة أقل من الطاقة قد استُهلكت في تبخّر 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 إكتشاف 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 إستخدام النماذج المناخية لتحديد ما إذا كانت التأثيرات البشرية قد بدّلت بعض أنواع الأحداث المتطرفة. فعلى سبيل المثال، وفي ما يتعلق بموجة الحر التي ضربت أوروبا في العام ٢٠٠٣، لم يتضمن النموذج المناخي سوى التغيّرات التاريخية في العوامل الطبيعية التي أثرت على المناخ كالنشاط البركاني فضلاً عن تغيّرات في التوليد الشمسي. كما إشتمل النموذج على العوامل البشرية والطبيعية معاً التي أنتجت محاكاة لتطور المناخ الأوروبي الذي بدا 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 التغيّر في الخطر لوقوع أحداث متطرفة محددة كظهور سلسلة من الليالي الحارة جداً في منطقة حضرية كباريس.

(يتبع)



سؤال ٩–١، الرسم ٩–١: بلغت درجات الحرارة الصيفية في سويسرا في الفترة الممتدة من العام ١٨٦٤ إلى العام ٢٠٠٣ معدّل ١٧ درجة مئوية كما يظهره الخط المنحني الأخضر. تخطت درجات الحرارة خلال الصيف الحار جداً في العام ٢٠٠٣ معدّل ٢٢ درجة مئوية كما يشير الخط الأحمر (يشير الخط العمودي إلى كل عام من ١٣٧ 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.

ومن الممكن إستخدام مقاربة مبنية على أرجحية – «هل يغير التأثير البشري في مسار أرجحية حادثة ما؟» – لتقدير تأثير العوامل الخارجية كإرتفاع 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 لتبدّل بسبب التغيّرات في التقلبية المناخية فضلاً عن التغيّرات في الشروط المناخية. وتعتمد مثل هذه التحليلات على النموذج المناخي المبني على التقلبية المناخية، ويجب تالياً على النماذج المناخية المستخدمة أن تمثل بشكل صحيح هذه التقلبية.

ومن الممكن إستخدام هذه المقاربة التقريبية لتفحّص التغيّرات في تواتر تساقط الأمطار العنيف أو الفيضانات. وتتوقع النماذج المناخية أن التأثيرات البشرية ستسبب إرتفاعاً 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 إرتفاع في نسب الفيضانات.

السؤال ٩-٢

هل من الممكن تفسير إحترار القرن العشرين عن طريق التقلبية الطبيعية؟

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 مثالاً جغرافياً لتغيّر درجات الحرارة حول الكرة الأرضية وهو أمر مماثل لما جرى في العصور الحديثة. ويختلف النموذج الفضائي هذا وذاك الذي أظهر إحتراراً كبيراً على مستوى المناطق الشمالية العالية، عن أهم نماذج تقلبية المناخ الطبيعي والمتعلق بعمليات المناخ الداخلية كالتذبذب الجنوبي / النينيو.

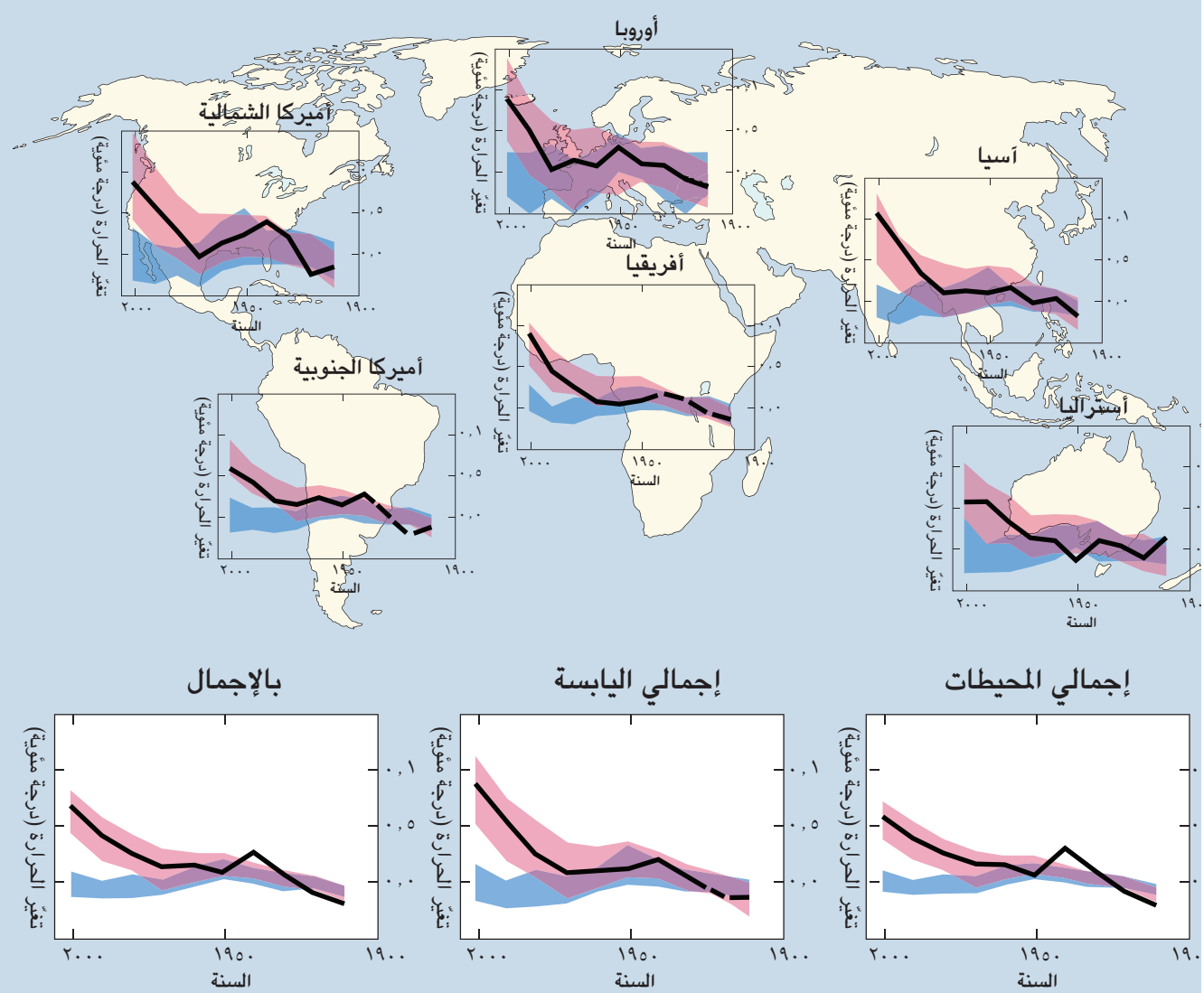
تتسبب العمليات الداخلية الطبيعية كالتذبذب الجنوبي/ النينيو والتغيّرات في التأثيرات الخارجية بالتقلبات في مناخ الأرض على مر الزمن. ومن الممكن أن تكون هذه التأثيرات الخارجية طبيعية كالنشاط البركاني والتقلبات في التوليد الشمسي، أو من الممكن أن يتسبب بها النشاط البشري كإنبعاثات غازات الدفيئة والأهباء البشرية المنشأ وثقب الأوزون وتغيّر 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 التقلّب 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.

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 / النينيو قد تتسبب بتقلبات في درجة الحرارة العالمية لفترات قصيرة بعض الشيء، تشير التحليلات إلى أن جزءاً كبيراً منها مرده إلى العوامل الخارجية. وتلت 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 معدّل 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 تغيّر 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 بالتقلّبات في التوليد الشمسي والنشاط البركاني. لكن كما يظهر في الرسم ١، تستطيع النماذج أن تحاكي التغيّرات 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 كافة. وسيطر تأثير البشر

(يتبع)



السؤال ٩-٢. الرسم ١. التغيّرات في درجات الحرارة بحسب المعدّل من العام ١٩٠١ إلى العام ١٩٥٠ (درجة مئوية) من قرن إلى قرن من العام ١٩٠٦ إلى العام ٢٠٠٥ في قارات الأرض فضلاً عن الكرة الأرضية كلها ومنطقة الأرض العالمية والمحيط العالمي (الصور الأدنى). يشير الخط الأسود إلى تغيّر في درجة الحرارة المرصود، فيما تشير الأشرطة الملونة إلى المعدّل الذي غطى ٩٠٪ 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 المفصّل لهذا الرسم والمنهجية المتبعة في تصميمه في المادة الإضافية في الملحق ٩ ت.

على المناخ على كل أسباب تغيّر معدّل درجة حرارة سطح الأرض العالمية في خلال نصف القرن الماضي.

ويأتي الشك من عدم إكتمال 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 المتأتي من الأنشطة البشرية وهو شبيه بالمثل الذي رصد في التغيّر. ويضم هذا النموذج إحتراراً أكبر على الأرض من الإحترار في المحيطات. ويساعد نموذج التغيّر هذا، الذي يختلف عن النماذج الأساسية المتعلقة بتغيّر درجة الحرارة المتصلة بالتقلبية الداخلية الطبيعية، على التفريق تُبيّن الإستجابة إلى غازات الدفيئة وتُبيّن العوامل الخارجية الطبيعية. وتبين النماذج والمراقبات الإحترار في الجزء الأدنى من الغلاف الجوي (التروبوسفير) والتبريد الأعلى في الستراتوسفير. ويشكل ذلك دليلاً على التغيّر الذي يُبيّن تأثير البشر على المناخ. وإذا كان الإزدياد في التوليد الشمسي مسؤولاً عن إحترار المناخ الأخير، فإن كل من التروبوسفير والتراتوسفير يعاني من الإحترار. فضلاً عن ذلك، تساعد الإختلافات 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 الطبيعة كانوا السبب المباشر للإحتباس الحراري

(يتبع)

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 تتغيّر 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 والتغيّرات 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 يُتوقع أن تتغيّر الظواهر المتطرفة، كموجات الحر والجفاف والفيضان، بتغيّر مناخ الأرض؟

نعم، من المتوقع أن يتغيّر نوع الظواهر وتواترها وكثافتها بتغيّر مناخ الأرض، وقد تطرأ هذه التغيّرات حتى متوسّط صغير نسبياً لتغيّر المناخ. سبق وطرأت تغيّرات على بعض أنواع الظواهر المتطرفة كإرتفاعات في تواتر موجات الحر وكثافتها وكذلك ظواهر التهطال الحاد. (راجع السؤال ٣,٣)

ففي مناخ مستقبلي أكثر إحتراراً، من المحتمل أن يزداد خطر موجات حر طويلة الأمد وأكثر كثافةً 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 يُتوقّع أن تزداد كلما دفئ 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 أطلسي وجنوب أوروبا وآسيا بسبب تغيّرات 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، تزايدٌ في فرصة تدفق الأمطار والفيضان بسبب قدرة أعظم على حفظ المياه في جو أكثر إحتراراً. كان هذا مُلاحظاً ويُتوقع أن يستمر لأن، في عالم أكثر إحتراراً، التهطال يميل إلى أن يكون مركّزاً في ظواهر أكثر حدّة، مع فترات من تهطال قليل بين ظاهرتين متطرّفتين. لذلك، سيتخلل الإنهمارات الحادة والثقيلة فترات طويلة الأمد من الجفاف النسبي. وجه أخر من أوجه التغيّرات المتوقعة هو أن تصبح من المتوقع أن تصبح درجات الرطوبة القصوى أكثر حدةً في مناطق متعددة حيث يُتوقع للمطر المتوسط أن يزداد ولمستويات الجفاف القصوى أن تصبح أكثر حدّةً في المناطق حيث يُتوقع إنخفاض متوسط التهطال. وتوافقاً مع نتائج «الظواهر المتطرّفة» المتزايدة من التهطال الشديد، وحتى إن لم تتغيّر 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 إرتفاع كثافة التهطال خلال ظواهر العواصف، مرجحةً حصول فيضان في أوروبا ومناطق أخرى ذات خط العرض المتوسط بسبب كثافة هطول الأمطار وظواهر تساقط الثلوج منتجةً المزيد من المتساقطات.

تنطبق نتائج مماثلة على أمطار الصيف متضمنةً 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 مجرّد تداعيات التوجّهات الحالية. وأشارت بعض دراسات النمذجة إلى إن الأعاصير الإستوائية المستقبلية قد تصبح أكثر حدة مع سرعة رياح أكبر وأمطار أكثر غزارة. واقترحت الدراسات أن تغيّرات مماثلة قد تكون جارية: حتى أن بعض المؤشرات تدل على أن الأعاصير التي بلغت درجتها ٤ و٥ في السنة قد إزدادت خلال السنوات الثلاثين الأخيرة.

توقّعت 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 المتطرّفة وأمواج محيطات أعلى في عدة مناطق مرتبطة بتلك الأعاصير التي إزدادت حدّتها. كما تُسقِط النماذج نقلة قطبية الإتجاه لعوائم العواصف في نصفي الكرة وذلك بدرجات عدة من خطوط الطول.

السؤال ١٠-٢
ما هي أرجحية تغيّرات المناخ الرئيسي والمفاجئ كفقدان الأغطية الجليدية أو تغيّرات الدوران العالمي للمحيطات؟

لا يُعتبر مرجّحاً إحتمال حدوث تغيّرات مفاجئة في المناخ كإنهيار الغطاء الجليدي القطبي الغربي والفقدان السريع لغطاء غرينلاند الجليدي أو تغيّرات أنظمة دوران المحيط على نطاقٍ واسع في القرن الواحد والعشرين إستناداً إلى النتائج النموذجية المتوفرة حالياً. وعلى أية حال، فإن حدوث هذه التغيّرات 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 الريح ودورات المياه أن تتغيّر بسرعة خلال بضعة سنوات فقط.

وتُظهر مقارنة النتائج من السجلات في مختلف المواقع في العالم حدوث تغيّرات أساسية تطال المستوى العالمي. ما أدّى إلى فكرة مناخ ماضٍ غير مستقر مر بمراحل التغيّر المفاجئ. لذا، برز قلق جديد وهو أن النمو المستمر لنسب الغازات الدفيئة في الجو قد يشكل إضطراباً قوياً بما يكفي ليسبب التغيّرات المفاجئة في النظام المناخي. قد يُعتبر تدخّلاً مماثلاً مع النظام المناخي خطراً إذ قد يكون له نتائج عالمية كبيرة.

وقبل مناقشة بعض الأمثلة للتغيّرات المماثلة، من المفيد أن نعرّف مصطلحي «حاد» (abrupt) و«كبير» (major). «الحاد» يعني أن التغيّر يحدث بسرعة أكبر من الإضطراب الذي يتسبب بالتغيّر، بمعنى أخر، يكون غير خطي. أما التغيّر «الكبير» فيتضمن تغيّرات تتخطى نسبة التغيّر الطبيعي الحالي وله مدى مكاني يتراوح من عدة آلاف الكيلومترات ليصل إلى المستوى العالمي. من المدى المحلي إلى المدى الإقليمي، تُعتبر التغيّرات المفاجئة خاصية مشتركة للتغيّر المناخي الطبيعي. وهنا، لا تُؤخذ الظواهر المعزولة والقصيرة الأمد التي يُشار إليها بـ«الظواهر المتطرفة» بعين الاعتبار، ولكن بالأحرى تغيّرات 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 مثلان عن ظواهر مفاجئة ذات نتائج محلية وإقليمية، في مقابل النطاق الواسع الذي يشمل الظواهر الطويلة الأمد التي يُركّز عليها هنا. أحد الأمثلة عنها هو الإنهيار المحتمل، أو إغلاق جدول الخليج الذي يلقى إهتماماً واسعاً لدى الرأي العام. فجدول الخليج هو تيار أفقي أولي في المحيط الأطلسي الشمالي تقوده الرياح.

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 بتغيّرات كثافة المياه السطحية في هذه المناطق.

يشكل هذا التيار الإنتهاء الشمالي للدوران التقلبي 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 التقلبي الجنوبي ومعها توزيع الحرارة في هذه المناطق. وقد تُحدث بعض الإنخفاضات القوية والمدعومة في الملوحة وحتى المزيد من الإنخفاضات الكبيرة أو تكمل إغلاق دوران التقلبي الجنوبي في كافة تقديرات نمذجة المناخ. إن تغيّرات مماثلة طرأت بالفعل في الماضي البعيد. المشكلة اليوم تكمن في ما إذا كان التأثير البشري المتزايد على الجو يشكل إضطراباً قوياً وكافياً لدوران التقلبي الجنوبي كي يُحدث هذا التغيّر.

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 منتَجة الدوران التقلبي 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 التقلبي الجنوبي الذي يتراوح عملياً من حالة اللاإستجابة 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 التقلبي الجنوبي الطويل الأمد غير مؤكد. وتُظهر العديد من النماذج إسترداد دوران التقلبي الجنوبي عند إستقرار المناخ. إلا أن لبعض النماذج المناخية عتبات لدوران التقلبي الجنوبي يتم تخطيها في حال كان التأثير قوياً بما يكفي ويدوم وقتاً أطول.

(يتبع)

بالتالي، تُظهر محاكاة مماثلة إنخفاضاً تدريجياً لدوران التقلبي 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 التقلبي الجنوبي. وتبدو السيناريوهات الكارثية التي تقترح بدء العصر الجليدي الذي بدوره يُحدثه وقف دوران التقلبي الجنوبي مجرد محاكاة. ولم يحدث أن ولّد مناخاً نموذجياً حصيلة مماثلة. في الواقع، إن العمليات المؤدية إلى العصر الجليدي واضحة ومفهومة فيه الكفاية وهي بالتالي مختلفة تماماً عن تلك المُناقشة هنا، ما يمكّننا بثقةٍ من إستثناء هذا السيناريو.

وبصرف النظر عن تطوّر دوران التقلبي 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 بتبدّل خصائص الكتل المائية الوسطى شمال الأطلسي ويؤثر بدوره على قعر المحيط. ومن الأمثلة المُناقشة على نحوٍ واسع بما يتعلق بتغيّرات المناخ المفاجئة، يحضر تحطّم 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 يعجّل ذوبان غطاء غرينلاند الجليدي وإن تساقط الثلوج المتزايد بسبب الدورة الهيدرولوجية القوية عاجز عن تعويض هذا الذوبان. وما قد يؤدي إلى تقلّص غطاء الأرض الجليدي بشكلٍ كبير في القرون المقبلة. فضلاً عن ذلك، تقترح النتائج وجود عتبة خطر لدرجات الحرارة، إن تم تخطيها، ستعرّض غطاء غرينلاند الجليدي إلى الزوال التام، وتؤكد بالتالي إحتمال 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.

تُلقي الأقمار الصناعية والأرصاد الحديثة للتيارات الثلجية المسببة لتحطم الطبقات الثلجية، الضوء على إستجابات أنظمة الغطاء الثلجي السريعة، ما يثير مخاوف كبيرةً حول إجمالي إستقرار غطاء شمال الأطلسي الثلجي والإنهيار الذي قد يؤدي إلى إرتفاع مستوى البحر إلى ٦ أمتارٍ أخرى. وبينما تَظهر هذه التيارات مدعّمةً 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 الأغطية الجليدية بدأت للتو تبني العمليات الدينامية الصغيرة النطاق التي تتضمن تفاعلات معقدة مع الأنهر الجليدية والمحيط على نطاق الغطاء الجليدي، فلا تتوفّر معلومات كميّة مستقاة من الجيل الحالي لنماذج الغطاءات الجليدية لجهة أرجحية ظاهرة مماثلة أو توقيتها.

السؤال ١٠–٣
إذا تم خفض معدّل إنبعاث غازات الدفيئة، بأي سرعة يتراجع معدّل تركيزها في الغلاف الجوي؟

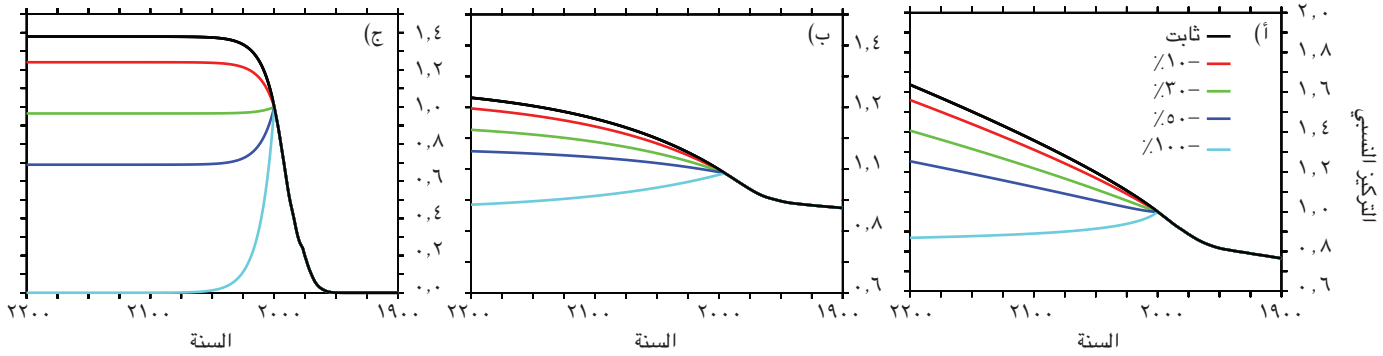
إن تعديل معدّل تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي عبر الحد من الإنبعاثات يعتمد على العمليات الكيميائية والفيزيائية التي تزيل كل غاز من الغلاف الجوي. فمعدّل تركيز بعض غازات الدفيئة يتراجع بشكل شبه فوري نتيجة الحد من الإنبعاثات، في حين أن معدّل تركيز أنواع أخرى من الغازات يستمر في التزايد لقرون عديدة حتى بعد الحد من الإنبعاثات.

يعتمد معدّل تركيز الغازات في الغلاف الجوي على سباق بين معدّلات إنبعاث الغاز في الغلاف الجوي ومعدّلات إزالته من الغلاف الجوي. على سبيل المثال، يتم تبادل ثاني أكسيد الكربون CO_2 بين الغلاف الجوي والمحيطات والأرض عبر عمليات معينة كنقل الغاز بين الغلاف الجوي والمحيطات وعمليات كيميائية (كالتجوية مثلاً) وبيولوجية (كالتمثيل الضوئي). في حين أن أكثر من نصف إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون يستغرق قرناً ليزول من الغلاف الجوي حالياً، يبقى جزء من هذه الإنبعاثات في الغلاف الجوي لآلاف السنين. بسبب بطء عمليات الإزالة، سيستمر معدّل ثاني أكسيد الكربون الجوي في التزايد حتى ولو شهد معدّل الإنبعاثات الحالي تراجعاً كبيراً. ويزول غاز الميثان CH4 مثلاً بفعل عمليات كيميائية في الغلاف الجوي، في حين أن الإشعاعات الشمسية تدمّر 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 الإضطرابات إلى نسبة ٣٧٪ من كميّته الأصلية. يسهل تحديد هذا المعدّل لبعض الغازات كالميثان CH_4 وأكسيد النيتروز N2O وغيرها من الغازات النزرة كالمركّبات الكربونية الفلورية الهيدرولوجية–٢٢ (HCFC-22) وهو سائل مبرد (عمر الميثان في الغلاف الجوي هو ١٢ سنة، وأكسيد النيتروز ١١٠ سنوات، والمركبات الكربونية الفلورية الهيدرولوجية–٢٢ حوالي ١٢ سنة) إلا أنه يستحيل تحديد هذا المعدّل بالنسبة إلى ثاني أكسيد الكربون.

إن تغيّر معدّل تركيز أي غاز نزر يعتمد جزئياً على كيفية تطوّر إنبعاثاته مع الوقت. فإذا إزدادت الإنبعاثات مع الوقت، سيزداد أيضاً معدّل التركيز في الغلاف الجوي، بغض النظر عن عمر الغاز في الغلاف الجوي. ولكن، إذا اتخذت إجراءات للحد من الإنبعاثات، سيعتمد معدّل تركيز غاز نزر في الجو على التغيّرات النسبية ليس في الإنبعاثات فحسب، بل في عمليات إزالة الغاز أيضاً. يظهر هنا دور عمر الغاز وعمليات إزالته في تحديد تطور تركيز الغاز في الغلاف الجوي عند خفض الإنبعاثات.

على سبيل المثال، يظهرالرسم ١ تجارب تحدد كيف سيتجاوب معدّل التركيز المستقبلي لثلاثة أنواع من الغازات النزرة مع تغييرات تجريبية في الإنبعاثات (مصورة هنا كرد فعل على تغيير مفروض في الإنبعاثات). أخذنا مثالاً: 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 أوHCFC-22 أو غيرها من أنواع الكربون الهالوجيني).

(يتبع)



السؤال ١٠–٣. الرسم ١. أ) محاكاة تغيّرات في معدّل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بالنسبة إلى المعدّل الحالي في ما يتعلق بإنبعاثات تم تثبيتها على المستوى الحالي (اللون الأسود) أو على مستوى أدنى من المستوى الحالي بنسبة ١٠٪ (أحمر) و٣٠٪ (أخضر) و٥٠٪ (كحلي) و١٠٠٪ (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 نزر ذي عمر ١٢ سنة، بتأثير من عوامل من بشرية المنشأ فقط.

لكل غاز، تعرض خمس حالات من الإنبعاثات المستقبلية: تثبيت الإنبعاثات على معدّلها الحالي، وخفض فوري لمعدّل الإنبعاثات بنسبة ١٠٪، ٣٠٪، ٥٠٪ و١٠٠٪.

يختلف رد فعل ثاني أكسيد الكربون (راجع الرسم ١أ) تماماً عن غازات النذر ذات العمر المحدد. فتثبيت إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون على معدّلها 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 ١ب) أو عقداً (راجع الرسم ١ ج) إلى ثبات معدّل تركيزهما في الغلاف الجوي بمستوى يفوق المعدّل الحالي في غضون قرنين للغاز الأول وعقدين للغاز الثاني. في الواقع، لا يمكن تثبيت معدّل 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 معدّل التركيز بسبب عمليات التبادل النموذجية المرتبطة بدورة الكربون في النظام المناخي.

بالتحديد، يفوق معدّل إنبعاث ثاني أكسيد الكربون حالياً معدّل إزالته بشكل كبير، والإزالة البطيئة وغير المكتملة تعني أن خفض الإنبعاثات بشكل ضئيل أو معتدل لن يؤدي إلى ثبات معدّلات التركيز بل سيحد فقط من معدّل نموها في العقود المقبلة. فخفض معدّل إنبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة ١٠٪ يتوقع أن يؤدي إلى تراجع معدّل نموه بنسبة ١٠٪، كما أن خفض هذا المعدّل بنسبة ٣٠٪ يؤدي إلى تراجع معدّل نمو تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو بنسبة ٣٠٪. ويؤدي الخفض بنسبة ٥٠٪ إلى تثبيت معدّل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ولكن لمدة أقل من عقد من الزمن فقط. بعد ذلك، يتوقع أن يعود معدّل ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى الإرتفاع نظراً لتراجع الترسبات في الأرض والمحيطات نتيجة تغيّرات كيميائية وبيولوجية معروفة. أما الوقف الكلي لإنبعاثات ثاني أكسيد الكربون فيتوقع أن يؤدي إلى إنخفاض بطيء في معدّل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي يبلغ ٤٠ جزءاً بالمليون تقريباً خلال القرن ٢١.

يختلف الوضع تماماً بالنسبة إلى غازات نزرة المحددة العمر في الغلاف الجوي. فبالنسبة إلى الغاز ذي العمر البالغ قرناً (مثلاً N_2O)، يجب خفض الإنبعاثات بنسبة تفوق ٥٠٪ لتثبيت معدّلات التركيز على مستوى قريب من مستواها الحالي (راجع الرسم ١ب). يؤدي تثبيت الإنبعاثات إلى تثبيت معدّل 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 معدّل التركيز، ولكن على عكس ثاني أكسيد الكربون، تكون النتيجة تثبيت معدّل التركيز في غضون عقود (راجع الرسم ج). أي أنه يجب خفض الإنبعاثات بنسبة تفوق ٣٠٪ لتثبيت معدّلات التركيز على مستويات أقل بكثير من المستويات الحالية. أما وقف الإنبعاثات بشكل كامل فيسمح بالعودة إلى معدّلات التركيز السابقة للثورة الصناعية في أقل من قرن بالنسبة إلى غاز نزر ذي العمر البالغ عقداً.

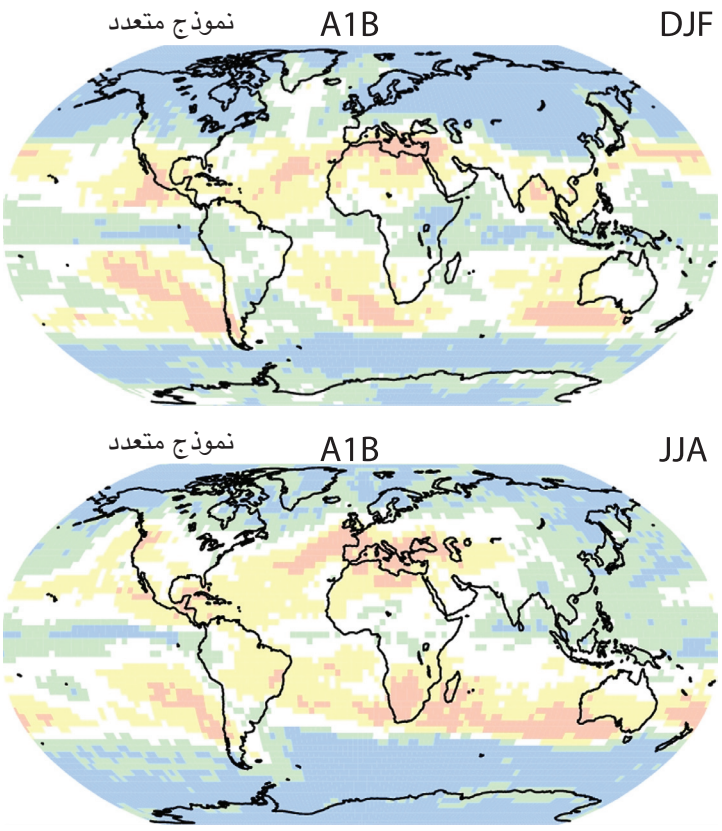
السؤال ١١-١
هل تختلف التغيّرات المناخية المرتقبة من منطقة إلى أخرى؟

يختلف المناخ بين منطقة وأخرى. ينبع هذا الإختلاف من التوزيع غير المتساوي لحرارة الشمس، ورد فعل كل من الغلاف الجوي والأرض والمحيطات والتفاعل بين هذه العناصر والخصائص الفيزيائية التي تميّز كل منطقة. تؤثر الإضطرابات التي تصيب مكوّنات الغلاف الجوي على بعض جوانب هذه التفاعلات المعقّدة. إن بعض العوامل البشرية 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 بالإحترار، ينتشر بالتساوي في مختلف أنحاء الأرض بغض النظر عن موقع مصدر الإنبعاثات، في حين أن توزيع الأهباء الجوية من السلفات (جزئيات صغيرة) التي تزيل بعض الإحترار 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 التغييرات المناخية المرتقبة أيضاً من منطقة إلى أخرى.

لدراسة تأثير التغيّرات المناخية على منطقة معينة، يمكن الإنطلاق من موقع المنطقة بالنسبة إلى خط الإستواء (latitude). فعلى سبيل المثال، وفي حين يتوقع حصول الإحترار في كافة أنحاء الأرض، تزداد كمية الإحترار المتوقع عادة بين المنطقة الإستوائية والقطب في النصف الشمالي من الكرة الأرضية. الأمر أكثر تعقيداً في ما يتعلق بمعدّل التهطال، إلا أنه يخضع أيضاً لعوامل متعلّقة بموقع المنطقة بالنسبة إلى خط الإستواء. في المناطق القريبة من القطبين، يتوقع إرتفاع معدّل التهطال، في حين يتوقع إنخفاض هذا المعدّل في مناطق عديدة متاخمة للمنطقة الإستوائية (راجع الرسم ١). يتوقع إرتفاع معدّل 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 الإحترار أكبر في المناطق القارية الداخلية من المناطق الساحلية. لا يتأثر معدّل 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 التغيّرات الممكنة في دوران الغلاف الجوي والمحيطات وأنماط تغيّرها من أصعب الجوانب التي تسمح بفهم وتوقع التغيّرات 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 المتوسطية جنوب المدارية، أو المناخ القاسي في داخل أميركا الشمالية الذي يعتمد على نقل الرطوبة من خليج المكسيك، أو التفاعلات بين توزّع 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.



السؤال ١١-١، الرسم ١ : يتوقع أن تشهد المناطق الزرقاء والصفراء على الخريطة إرتفاعاً في معدّل التهاطل بحلول نهاية القرن، في حين يتوقع أن ينخفض هذا المعدّل في المناطق الصفراء والزهرية اللون. يظهر الجدول الأعلى توقعات أشهر كانون الأول وكانون الثاني وشباط، في حين يظهر الجدول الأسفل توقعات أشهر حزيران وتموز وآب.