

# الجزء الأول

## المخاطر الطبيعية والبيئية : الاحتباس الحراري

### كيث بوشيه

ترجمة بتصرف  
أ.د. مضر خليل عمر

### مجال الدراسة والأدبيات ذات الصلة

الاحتباس الحراري مصطلح دخل مجال الأدبيات العلمية والشعبية خلال ثمانينيات القرن العشرين . ويرتبط ارتباطاً وثيقاً بفكرة تزايد تأثير الاحتباس الحراري ، والتي حسبها الكيميائي السويدي سفينت أوغست أرينبوس لأول مرة عام 1896 (أرينبوس 1997) . يُعتقد أن غلافنا الجوي يعمل كبيت زجاجي ، حيث يسمح الزجاج بمرور الإشعاع الشمسي ، حيث يتحول إلى حرارة . تمتص التربة هذه الحرارة قبل أن تُشعّ كإشعاع طويل الموجة ، ويعترضها الزجاج هذه المرة ، ويعيد إشعاع بعض الطاقة إلى البيت الزجاجي . يتميز الغلاف الجوي بخصائص مشابهة لزجاج البيت الزجاجي ، ومن هنا جاء "تأثير الاحتباس الحراري" ، الذي افترضه في الأصل عالم الرياضيات الفرنسي جان بابتيست فوربيه (1824).

يبدو أن الاحتباس الحراري يعني أن النظام الجوي بأكمله يسخن نتيجةً لتأثير الاحتباس الحراري ، لكن هذا أبعد ما يكون عن اليقين . بمجرد تحديد طبيعة المشكلة ، سيتم تناول ثلاثة مجالات رئيسية للبحث . أولاً ، هناك الأدلة العلمية على الاحتباس الحراري ؛ ثانياً، دراسة الآثار المحتملة ؛ ثالثاً، صياغة وتنفيذ استراتيجيات للتعامل مع هذه الآثار . تركزت مساهمة الجغرافيين بشكل رئيسي في المجال التطبيقي لدراسات الأثر.

### طبيعة المشكلة

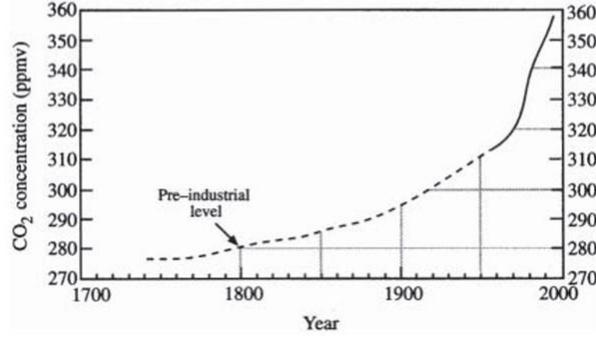
#### تأثير الاحتباس الحراري

يحدث تأثير الاحتباس الحراري "الطبيعي" لأن بعض الغازات الموجودة في الغلاف الجوي شفاقة إلى حد كبير للإشعاع الشمسي الوارد ، ولكنها ليست شفاقة للإشعاع الصادر، الذي يمتصه بخار الماء جزئياً ، وغازات الاحتباس الحراري الرئيسية الثلاثة . تبلغ نسبة مساهمتها الحالية 70% لثاني أكسيد الكربون ، و23% للميثان ، و7% لأكسيد النيتروز . بخار الماء متغير جداً في الزمان والمكان . يجب أيضاً الإشارة إلى مركبات الكلوروفلوروكربون (CFCs) وتفاعلها مع غاز الدفيئة المتغير، الأوزون ، كمساهمين محتملين (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 1990) . تُعرف هذه الغازات مجتمعةً باسم "غازات الدفيئة". تؤدي الكمية الإضافية من هذه الغازات الموجودة في الغلاف الجوي ، كنتيجة مباشرة أو غير مباشرة للنشاط البشري ، مثل توليد الطاقة وانبعاثات المركبات ، إلى تأثير دفيئة "معزز" .

على الرغم من أن ثاني أكسيد الكربون ليس أقوى ممتص للإشعاع الأرضي طويل الموجة الصادر، إلا أنه يُعتقد أن لديه القدرة الأكبر على رفع درجات الحرارة العالمية على المدى الطويل . لذلك ، وُجه معظم الاهتمام إلى زيادة تركيز ثاني أكسيد الكربون من 280 جزءاً في المليون من حيث الحجم في بداية الثورة الصناعية في القرن الثامن عشر إلى المستويات الحالية البالغة 360 جزءاً في المليون من حيث الحجم (الشكل 2.1) . وتبلغ الزيادة السنوية حوالي 1.8 يضيف جزء في المليون من الحجم 3.8 جيجا طن إلى مخزون

الكربون الجوي البالغ 750 جيجا طن (هوتون 1997). ويمثل هذا حوالي نصف الكمية المحسوبة البالغة 7.5 جيجا طن والتي تُطلق في الغلاف الجوي من حرائق الغابات وحرق الوقود الأحفوري .

Figure 2.1 Trend line of carbon dioxide concentrations over the past 300 years based on (a) measurements from Antarctic ice core records prior to 1958 (dashed line), (b) direct measurements from the Mauna Loa observatory in Hawaii (solid line).



Source: After Houghton 1997 and IPCC WGI 1996.

ومن المتفق عليه عمومًا أن الباقي - حوالي 3.7 جيجا طن - تمتصه المحيطات . ويشكل مخزون الكربون الجوي جزءًا من دورة الكربون العالمية ، حيث يبلغ إجمالي إنتاج مكون الغلاف الجوي الطبيعي والمحيط حوالي 90 جيجا طن سنويًا ، بينما يبلغ إجمالي إنتاج دورة الغلاف الجوي الحيوي حوالي 100 جيجا طن سنويًا . ويظهر كلاهما خسارة صافية إجمالية صغيرة ولكنها كبيرة في الغلاف الجوي تبلغ 3.7 جيجا طن . وبالتالي ، فإن إجمالي الإنتاج السنوي للكربون ، وخاصةً على شكل ثاني أكسيد الكربون ، في الغلاف الجوي يُمثل حوالي 25% من مخزون الغلاف الجوي البالغ 750 جيجا طن . يجب مراعاة حساسية التغير في معدل انبعاث الكربون في الغلاف الجوي عند أي نقاش حول الاحتباس الحراري ، إذ يمكن تضخيم التأثير المناخي للتغيرات الصغيرة نسبيًا في الكربون الجوي داخل النظام .

### التأثير الإشعاعي والتوازن

يمكن تعريف التأثير الإشعاعي بأنه تغير في متوسط الإشعاع الصافي عند طبقة التروبوبوز، وهي الحد العلوي لطبقة التروبوسفير، بسبب التغيرات في الإشعاع الشمسي الوارد أو الإشعاع تحت الأحمر الصادر . يحدث هذا التغيير اضطرابًا في توازن إشعاع الأرض ، كما هو موضح في الشكل 2.2، مما يُغير التوازن بين الإشعاع الوارد والصادر . كما أنه يُغير طبيعة تأثير الاحتباس الحراري ، والذي يُعبر عنه عادةً بالدرجات المئوية (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 1995) . في ظل الظروف المناخية الحالية وانبعاثات الكربون ، يبلغ تأثير الاحتباس الحراري الطبيعي حوالي 33 درجة مئوية إذا كانت السحب ، التي تعمل كأغطية إشعاعية ، مُضمنة في الحسابات (هوتون، 1997) . حُسبت درجة حرارة السطح النظرية على أنها 18 درجة مئوية بناءً على قيمة 30% لمتوسط انعكاسية الأرض والغلاف الجوي . تبلغ درجة حرارة السطح العالمية الفعلية حوالي 15 درجة مئوية ، ويمثل الفرق تأثير الاحتباس الحراري الطبيعي . تلعب السحب دورًا مهمًا ولكنه معقد في توازن الإشعاع هذا (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 1990).

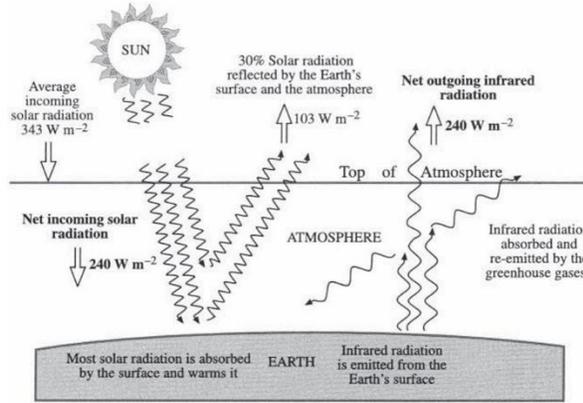


Figure 2.2 Simplified diagram showing the mean annual radiative balance of the atmosphere. Radiative equilibrium is maintained since net incoming solar radiation is balanced by net outgoing infrared radiation (240 Wm<sup>-2</sup>). Total earth-atmosphere albedo is about 30 per cent (103/343x100). The natural greenhouse effect (33°C), shown qualitatively as infrared radiation, is absorbed and partially re-radiated back to the surface.

من المعتاد في دراسة السيناريوهات المحتملة للمناخ العالمي المستقبلي نمذجة مضاعفة تركيز ثاني أكسيد الكربون قبل العصر الصناعي (١٧٥٠) البالغ ٢٨٠ جزءاً في المليون من حيث الحجم ، أو ما يعادله إشعاعياً . وبالمعدل الحالي للزيادة في انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في ظل سيناريو العمل كالمعتاد ، قد يحدث تضاعف بين عامي ٢٠٧٠ و ٢١٠٠ (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ١٩٩٥) . تشير نماذج الإشعاع المحافظة للنظام المناخي إلى ارتفاع أولي قدره 1.3 درجة مئوية لمضاعفة ثاني أكسيد الكربون ، وهو ما يعادل 4 واط/م<sup>2</sup> (واط لكل متر مربع) . يعني هذا انخفاضاً أولياً في الإشعاع الصادر من 240 إلى 236 واط/م<sup>2</sup> ، والذي يجب استعادته إلى 240 واط/م<sup>2</sup> للحفاظ على توازن الإشعاع .

يفترض هذا عدم وجود تغيير في متوسط كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى الحافة الخارجية للغلاف الجوي ، والتي تبلغ حوالي 1370 واط/م<sup>2</sup> (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 1990). يُشار إلى هذه القيمة باسم **"الثابت الشمسي"** . إحدى طرق الإشارة إلى تأثير غازات الدفيئة والمكونات الأخرى على التوازن الإشعاعي هي التعبير عن ذلك من حيث القوة الإشعاعية (واط/م<sup>2</sup>) من عصور ما قبل الصناعة إلى الوقت الحاضر . يوضح الشكل 2.3 تقديرات المتوسط السنوي للتأثير الإشعاعي الناتج عن النشاط البشري خلال هذه الفترة . كما يوضح التغييرات الطبيعية في ناتج الطاقة الشمسية من عام 1850 حتى الوقت الحاضر (الفريق العامل الأول التابع للفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ، 1996).

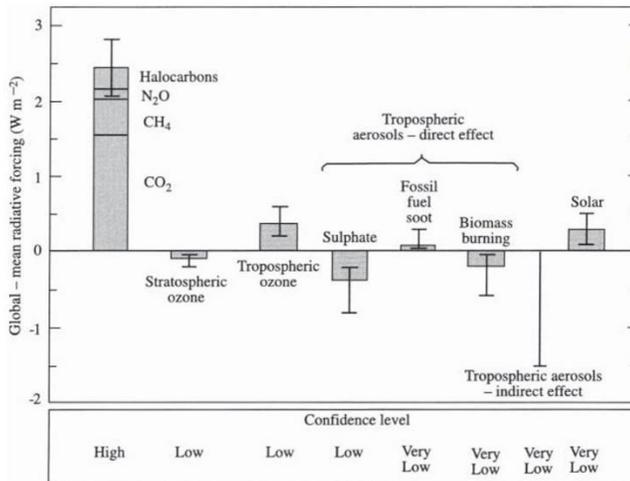


Figure 2.3 Estimates of the globally and annually averaged anthropogenic radiative forcing in W m<sup>-2</sup> due to changes in concentrations of greenhouse gases and aerosols from a pre-industrial base (CO<sub>2</sub> concentration of 280 ppmv) to 1992. Estimated solar output changes are from 1850 to 1990 (0.02% of the mean solar constant). The shaded rectangular bars represent mid-range estimates of radiative forcing—both positive and negative.

Source: Houghton 1997.

يوضح العمود الأول التأثير الإجمالي لثاني أكسيد الكربون ، والميثان ، وأكسيد النيتروز، ومركبات الهالوكربون (CFCs) . يبلغ التأثير الإشعاعي حوالي 2.6 واط/م<sup>2</sup> أو 0.8 درجة مئوية ، مع شريط خطأ قدره 0.8 واط/م<sup>2</sup> . يشير شريط الخطأ إلى نطاق التقديرات الحالية للنماذج ، بينما يُظهر هوتون (1997) مستوى الثقة كتقييم شخصي . يتضح أن مستوى الثقة منخفض لكل من الهباء الجوي التروبوسفيري والتقلبات الشمسية . أدى التعبير عن تأثير القوة الإشعاعية بهذه الطريقة إلى مفهوم إمكانية الاحترار العالمي (GWP) ، والذي يُعرّف بأنه نسبة تأثير الاحتباس الحراري المُعزز لأي غاز مقارنةً بثاني أكسيد الكربون. ويُستخدم هذا المفهوم كأساس للمقايضات ، حيث يُمكن تعويض زيادة تأثير الاحترار العالمي لغاز واحد مقابل انخفاض مماثل في إمكانية الاحترار العالمي لغاز آخر (ينظر الملحق 2.3). يُشبه هذا إلى حد كبير مبدأ "الفقاعة" في أرصدة التلوث في الولايات المتحدة الأمريكية (السوم 1992)، وهو جزء لا يتجزأ من اتفاقية كيوتو لعام 1997 بشأن تنظيم الانبعاثات.

### التغذية الراجعة الداخلية في النظام المناخي - أمثلة

ينشغل النقاش حول التغيرات الداخلية بشكل كبير بعمليات التغذية الراجعة ، والتي قد تبدأ أو تُعزز من خلال التأثير الإشعاعي . تميل التغذية الراجعة الإيجابية إلى زيادة معدل عملية ما ، مثل الاحترار العالمي . وقد تكون آليات التغذية الراجعة الإيجابية طويلة المدى مدمرة . يقدم تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (1990) مثلاً على تغذية راجعة إيجابية من نوع الجفاف في منطقة الساحل ، حيث يؤدي جفاف السطح الناتج عن ارتفاع درجات الحرارة إلى انخفاض التبخر ، مما يقلل بدوره من الرطوبة والغطاء السحابي ، مما يُعزز ارتفاع درجة الحرارة وجفاف السطح . إذا لم تكن هناك عمليات مُقَيّدة أو مُضادة ، فقد تُواجه الأرض تأثيراً دقيماً "جامحاً" كما حدث على كوكب الزهرة ، حيث سجّلت مسابير الفضاء الروسية درجات حرارة سطحية تبلغ حوالي 525 درجة مئوية (هوتون 1997).

تحدث ردود الفعل السلبية عند وجود فحوصات مُستمرة لمعدل عملية ما . على سبيل المثال ، من شأن ارتفاع درجات حرارة سطح البحر أن يزيد من التبخر، مما سيزيد بدوره من محتوى بخار الماء في الطبقات السفلى من الغلاف الجوي . قد يؤدي هذا إلى زيادة التغطية السحابية المكانية ، مما يُقلل من كمية الإشعاع الوارد الذي يصل إلى السطح ، مما سيؤدي بدوره إلى تبريد سطح الأرض . يهيمن على نظام المناخ العديد من ردود الفعل الإيجابية والسلبية ، بعضها لا يعمل إلا بعد تجاوز عتبة معينة ، مثل درجة حرارة سطح البحر البالغة 27 درجة مئوية لتطور العواصف المدارية ، بينما يعمل البعض الآخر بطريقة غير خطية أو شبه عشوائية .

### أدلة على الاحتباس الحراري

#### مجموعات البيانات العالمية: الأرض

كان جمع السجلات المناخية ومراقبة جودتها ، وخاصة بيانات درجة الحرارة القريبة من السطح على المدى الطويل ، من المتطلبات الأساسية للمجتمع العلمي في مهمته المتمثلة في تجميع الأدلة على تغير المناخ . ونظراً لقلّة السجلات الآلية لدرجات حرارة سطح الأرض حتى عام 1850 تقريباً ، فمن الممارسات المتبعة حالياً التركيز على اتجاهات درجات الحرارة العالمية من عام 1861 فصاعداً ، عندما بدأت شبكات رصد السطح في التأسيس في أجزاء كثيرة من العالم . في أواخر ثمانينيات القرن العشرين ، أنتجت ثلاث مجموعات بحثية تحليلات مماثلة لتغيرات درجة حرارة هواء سطح الأرض في نصف الكرة الأرضية - جونز وآخرون

(1986 أ و ب) في جامعة إيست أنجاليا ، المملكة المتحدة ؛ هانسن وليبيديف (1987) في معهد غودارد لدراسات الفضاء ، الولايات المتحدة الأمريكية ؛ وفينيكوف وآخرون (1987) من معهد SHI في الاتحاد السوفيتي السابق ، والتي تضمنت مجموعة بيانات جونز وآخرون المُحدثة والمُعاد تحليلها . استُخدمت في دراسات حديثة (الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 1996).

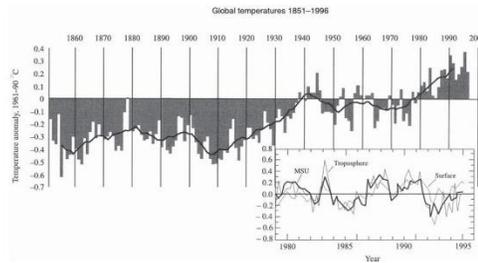
### مجموعات البيانات العالمية: المحيطات

بما أن المحيطات تُشكل أكثر من 60% من نصف الكرة الشمالي وأكثر من 80% من نصف الكرة الجنوبي ، فمن المهم تجميع مجموعة بيانات دقيقة . وقد قام فولاند وباركر (1995) من مكتب الأرصاد الجوية في المملكة المتحدة مؤخرًا بجمع وتصحيح بيانات درجة حرارة سطح البحر العالمية . وقد أنتج فولاند وباركر تعديلات مُحسنة على سجلات درجات الحرارة ، حيث استُخدمت دلاء من القماش والخشب لأخذ عينات من درجات حرارة مياه البحر من السفن من حوالي عام 1860 إلى عام 1941. ويُعتقد الآن أن أخذ عينات من درجات حرارة سطح البحر ليلاً قد يكون أكثر موثوقية . سيؤدي ذلك إلى تجنب أي تحيز ناتج عن ارتفاع درجة حرارة أسطح السفن نهارًا . كما توجد فجوات مكانية في البيانات ، لا سيما فوق المحيطات الجنوبية ، وفجوات زمنية ، لا سيما في القرن التاسع عشر وخلال الحربين العالميتين . باستثناء ما حدث منذ عام 1975 ، يبدو أن درجات حرارة سطح البحر قد تأخرت عن التغيرات في درجات حرارة اليابسة لسنوات عدة (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 1996).

### مجموعات البيانات العالمية: بيانات اليابسة والمحيطات مجتمعة

يظهر الشكل 2.4 سجل البيانات العالمية لدرجات حرارة سطح الأرض والبحر. ويشير إلى فترتي الاحترار الرئيسيتين اللتين حدثتا منذ عام 1870، الأولى من عام 1910 إلى عام 1941، والثانية من عام 1978 حتى الوقت الحاضر. على الرغم من عدم ظهوره في الرسم البياني ، كان عام 1997 هو العام الأكثر دفئًا حتى الآن . إن ارتباط هذا السجل بارتفاع ثاني أكسيد الكربون المطرد (انظر الشكل 2.1) تقريبي فقط . ويشير ذلك إلى أن النظام المناخي يستجيب بطريقة معقدة للتأثير الإشعاعي المباشر من خلال زيادة ثاني أكسيد الكربون. وعلى مدى فترة زمنية أقصر ، قدم هوتون (1997) مقارنة مثيرة للاهتمام لشذوذ درجات الحرارة الموسمية العالمية من ثلاثة مصادر مختلفة - الأقمار الصناعية (MSU) ، والمسبارات الراديوية (من باركر وكوكس 1995) ، ودرجات حرارة الهواء السطحي . وبينما لا يمكن توقع توافق تام ، فإن علامة الشذوذ (+/-) متشابهة . على سبيل المثال، تُظهر كل مجموعة بيانات تبريدًا عالميًا ، خاصةً في عام 1992 ، والذي ارتبط بثوران بركان جبل بيناتوبو في الفلبين عام 1991.

Figure 2.4 Changes in global average surface air temperature over land and sea (1851–1996) relative to the averaging period 1981–90. The solid curve represents the ten-year RM plotted mid-period. Inset: Comparison of globally averaged temperatures shown as departures from the 1979–84 average for (a) the MSU (Microwave Sounding Unit) channel of the NOAA meteorological satellites sensing temperature in the lower to mid-troposphere—1–10 km altitude (bold line); (b) radiosonde measurements in the troposphere (thin line); (c) surface air temperature data (dashed line).



Source: Houghton 1997.

## مجموعات البيانات الإقليمية

ما تزال المجموعات الإقليمية لبيانات درجات الحرارة مهمة ، لا سيما تلك التي جُمعت مع بعض ضوابط الجودة ، مثل تلك التي جُمعت لوسط إنجلترا بواسطة جوردون مانلي ، والتي وُسِّعت لاحقًا من قِبَل مكتب الأرصاد الجوية في المملكة المتحدة (جونز وهولم، 1997) . كما أنتجت مجموعات من البيانات غير الشبكية لأجزاء أخرى من العالم (هولمي وآخرون، 1994) ، عادةً مع بعض التعديلات لمراعاة تأثيرات الجزر الحرارية الحضرية . يمكن أيضًا تقسيم السلاسل الزمنية الإقليمية إلى مربعات شبكية ، عادةً ما تكون 20 درجة عرض × 60 درجة طول . تُظهر هذه المربعات تباينًا إقليميًا كبيرًا ، ولكنها تكشف أيضًا عن اتجاهات متماسكة بين المناطق المتجاورة داخل نصف الكرة الأرضية نفسه (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 1990: الصفحات 214-215) .

تشير النتائج المنشورة إلى حدوث تبريد معتدل (-0.4 درجة مئوية) في نصف الكرة الشمالي خلال العقدين التاليين لعام 1950، وخاصة في القطاع الغربي (0-180 درجة غربًا) . خلال الفترة نفسها ، لم يُظهر نصف الكرة الجنوبي أي اتجاه متماسك ، ولكن اتسمت سبعينيات القرن الماضي بارتفاع درجات الحرارة ، واستمر هذا الاتجاه حتى عام 1990 في القطاع الشرقي (0-180 درجة شرقًا) . ويتضح تجدد الاحترار في جميع أنحاء نصف الكرة الشمالي منذ أوائل سبعينيات القرن الماضي.

## الإسناد

يُطرح السؤال الآن حول ما إذا كان الارتفاع العام في درجات الحرارة العالمية يُعزى مباشرةً إلى ظاهرة الاحتباس الحراري . لقد تغيرت الآراء على مدى العقدين الماضيين ، كما يتضح من الاقتباسات الاتية . عكس جريبين (1978) حالة عدم اليقين التي سادت في سبعينيات القرن الماضي ، والتي تمثلت في عدم معرفة ما إذا كان المناخ يبرد أم يسخن ، بينما كان بيان مكتب مجلس الوزراء البريطاني ، جزئيًا ، رد فعل على الجفاف الطويل غير المتوقع الذي ضرب غرب أوروبا في الفترة 1975-1976 ، والرغبة في تهدئة مخاوف الجمهور من تأثير موجة جفاف أكبر . على الرغم من عدم امتلاكنا بيانات تمتد إلى مئات السنين ، إلا أنه بمقارنة ملاحظات متوسط درجات الحرارة العالمية مع التقلبات الطبيعية المُقدرة من نماذج المناخ ، نجد أن الاحترار قد تجاوز ، على مدى العقدين الماضيين ، حدود تقديراتنا للتقلبات الطبيعية. (مايو 1997)

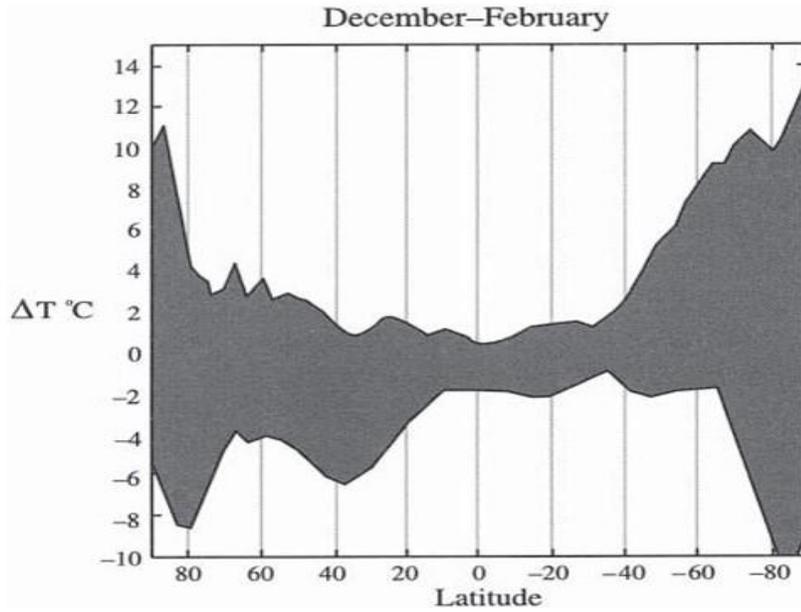
## الشدوذ المناخي.

وقد مالت تصريحات الجغرافيين إلى تكرار الرأي العلمي السائد في ذلك الوقت (ينظر جودي 1990) . ومع ذلك ، بحلول نهاية عام 1990 ، كانت السنوات الثماني الأكثر دفئًا في السجل العالمي (1860-1990) قد حدثت جميعها خلال فترة الثلاثة عشر عامًا 1983-1990 (ينظر الشكل 2.4). أدى هذا أخيرًا إلى أول بيان واضح بشأن الإسناد من قِبَل الفريق العلمي العامل التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) في اجتماعه أواخر عام 1995 في مدريد . حتى في أواخر عام 1997 - وهو العام الأكثر دفئًا حتى الآن في السجل العالمي للأجهزة - كان ما يزال هناك بعض الحذر في منشورات الحكومة البريطانية بشأن قبول الإسناد .

## نمذجة تغير المناخ

تقع النمذجة الآن في صميم التحقيقات في ظاهرة الاحتباس الحراري . وقد أدى طلب الحكومات للتنبؤات المناخية إلى استخدام النماذج ، من بين أمور أخرى ، لمحاكاة آثار مضاعفة ثاني أكسيد الكربون على المناخ المستقبلي . تُنتج كل مجموعة من الافتراضات ضمن تشغيل النموذج ما أصبح يُعرف باسم "السيناريو" المتمثل في سيناريو IS 92a "العمل كالمعتاد" (ينظر المربع 2.3) . منذ عام ١٩٩٤ تقريباً، أصبحت نماذج التوازن الأكثر تقدماً "كاملة" من حيث أنها لا تشمل الغلاف الجوي الفيزيائي فحسب ، بل تشمل أيضاً المحيط والغلاف الجليدي وسطح الغطاء النباتي الأرضي والتركيب الكيميائي للغلاف الجوي . وعلى الرغم من تزايد القدرة على نمذجة المكونات المعقدة، إلا أن بعض المشاكل الأساسية ما تزال قائمة . على سبيل المثال ، لتحقيق الربط بين نماذج الغلاف الجوي والمحيط ، من المعتاد "تدوير" مكون المناخ ومكون المحيط بشكل منفصل قبل ربطهما . يوضح الشكل 2.5 مثلاً على غلاف أداء عرضي لتسعة نماذج مقترنة بالغلاف الجوي والمحيط للأشهر من ديسمبر إلى فبراير. ويكشف أن بعض النماذج لديها "انجرافات مناخية" كبيرة (توافق ضعيف) في خطوط العرض العليا ، كما هو موضح في المنطقة المظلمة الأوسع . ويرجع ذلك في الغالب إلى مشاكل الحساسية للعوامل الإشعاعية في النماذج . وعلى عكس نماذج التوازن الموضحة أعلاه ، تسمح النماذج العابرة بإجراء تعديلات سنوية في تركيزات غازات الدفيئة ، ويمكن... تُعد أقرب إلى الواقع . تُقيّم نتائج النماذج التي حصل عليها هانسن وليبيديف من قبل هندرسون-سيلرز (1994) والهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (1990 إلى 1996).

Figure 2.5 An envelope (shaded area) enclosing the results of nine ocean-atmosphere coupled models simulating present mean latitudinal surface temperature conditions expressed as departures from observed values for December to February.



Source: Adapted from Houghton 1997.

## آثار الاحتباس الحراري

يتزايد الاهتمام بالعواقب البيئية لتغير المناخ مع تزايد وضوح ارتفاع درجات الحرارة العالمية ، مهما كان السبب . ومن المحتمل أن تكون أخطر العواقب مرتبطة بالتأثيرات على الغطاء النباتي والتغيرات في مستوى سطح البحر . وسيتم تناول هذه الأمور هنا .

### تغير مستويات سطح البحر

على الرغم من وجود مشاكل في قياس مستوى سطح البحر بالنسبة للأرض بمرور الوقت ، يبدو أن هناك شكًا ضئيلاً في أن مستويات سطح البحر العالمية قد ارتفعت بنحو 1.2 ملم سنويًا خلال القرن الماضي (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 1990) . تتفق دراستان رئيسيتان أُجريتتا قرب نهاية ثمانينيات القرن العشرين على الزيادة الإجمالية منذ عام 1890، إلا أن دراسة غورنيتز وليبيديف (1987) التي استخدمت بيانات جيولوجية أظهرت زيادة شبه خطية خلال تلك الفترة ، بينما تشير دراسة بارنيت (1988) إلى ارتفاع أكثر حدة بنحو 1.7 ملم سنويًا منذ عام 1910 . وأشار غورنيتز (1995) إلى قيمة أقرب إلى 2 ملم سنويًا ، باستخدام نموذج ارتداد ما بعد الجليد (توشينغهام وبيليتييه 1991) لتفسير مُكوّن الثبات في تغيرات مستوى سطح البحر. وهذا قريب جدًا من السجل طويل الأمد المُلاحظ (1851 - حتى الآن) لمحطات مثل سان فرانسيسكو.

ويُقدَّر مُكوّن الثبات ، أي الانخفاض النسبي في مستوى سطح البحر كما تم حسابه من أحد نماذج بيليتييه ، بنحو 0.5 ملم سنويًا لعدد من المواقع حول العالم ، بما في ذلك سان فرانسيسكو . قد يعني هذا أن الارتفاع العالمي في مستوى سطح البحر (المكون غير المتوازن) قد يقترب من 2.5 ملم سنويًا . تشير النماذج البسيطة نسبيًا إلى أن ارتفاع مستوى سطح البحر، والذي يُعزى مباشرةً إلى الاحتباس الحراري ، تراوح بين 0.28 و0.52 ملم سنويًا ، بمتوسط الفترة 1880-1990 (ويجلي وراير، 1993) . يفترض هوتون (1997) أنه في ظل سيناريو بقاء الأمور على حالها ، من المرجح أن يُمثل التمدد الحراري للمحيطات حوالي 60% من ارتفاع مستوى سطح البحر في المستقبل .

ومن المتوقع أن يكون المساهم الرئيسي الآخر في ارتفاع مستوى سطح البحر هو استمرار ذوبان العديد من الأنهار الجليدية ، كما يتضح من حسابات أرصدة الكتلة التراكمية السلبية . ربما ساهمت مياه ذوبان الأنهار الجليدية بنحو 20% من ارتفاع مستوى سطح البحر الملحوظ هذا القرن ، حيث ارتفع من حوالي 0.35 ملم سنويًا حوالي عام 1900 إلى 0.5 ملم سنويًا في الفترة 1985-1993 (ديورجиров و ماير، 1995) . وفي حال ذوبان جميع الأنهار الجليدية الجبلية (باستثناء أنتاركتيكا وجرينلاند)، وهو أمر غير مرجح ، يُتوقع أن يبلغ ارتفاع مستوى سطح البحر حوالي 50 سم . وقد أسفرت نتائج نموذج حديث لنضوب جليد الأنهار الجليدية الجبلية عن ارتفاع قدره 0.5 ملم سنويًا في مستوى سطح البحر على مدى المائة عام الماضية (الفريق العامل الأول التابع للفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ، 1996) . وما يزال من الصعب تقدير مساهمة ذوبان الجليد البحري . ولم يشهد أي من نصفي الكرة الأرضية تغيرات كبيرة في مدى الجليد البحري منذ عام 1973، ولكن إذا توفرت بيانات عن الكتلة الإجمالية للجليد البحري ، فقد يكون هذا مؤشرًا أكثر دلالة على أي تغيير .

أظهر مانابي وستوفر (1980) أن الامتداد الأفقي الكبير والسماك الصغير للجليد البحري يجعلان من الصعب تحديد أي من هذه العوامل . حساس بشكل خاص للتغير المناخي وانعكاسات البياض . يبلغ سُمك

الجليد في السنة الأولى في حوض ويديل إندربي حوالي 0.5 متر، بينما فُيس سُمك الجليد لعدة سنوات حوالي 1.4 متر في أنتاركتيكا (الفريق العامل الثاني التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 1996). انقسمت الآراء العلمية حول درجة الاحترار العالمي اللازمة لإذابة جليد بحر القطب الشمالي بشكل شبه دائم (أونترشتاينر، 1984). يُعتقد أن إجمالي مساهمة أي ذوبان للصفائح الجليدية في جرينلاند وأنتاركتيكا في ارتفاع مستوى سطح البحر يقترب من الصفر حاليًا. تُظهر نتائج النماذج التي تُحاكي ارتفاعًا بمقدار درجة مئوية واحدة في درجات الحرارة العالمية ارتفاعًا محتملاً في مستوى سطح البحر بمقدار 0.3 ملم سنويًا، ناتجًا عن ذوبان الجليد فوق جرينلاند وانخفاض مُقابل في أنتاركتيكا بسبب تراكم الجليد (الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 1996).

الفرق في تقديرات النموذج بين الصفيحتين الجليديتين هو دالة على كيفية عمل آليات التغذية الراجعة الجوية. ومن العناصر التي يصعب نمذجتها انفصال حواف الجليد البحري وتكوين الجبال الجليدية، التي تدوب في النهاية. ويُعتقد أن فقدان الجليد في جرينلاند من ذوبان السطح والجريان السطحي يتساوى في حجمه مع فقدان الجليد من انفصال الجبال الجليدية (الفريق العامل الأول التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 1996). وترتبط هذه العملية بتواتر العواصف ومساراتها أكثر من ارتباطها المباشر بالاحترار العالمي.

ومع ذلك، هناك قلق بشأن احتمال عدم استقرار الصفيحة الجليدية في غرب أنتاركتيكا، والتي يعتقد بعض العلماء أنها قد تنفصل عن قاعها على عمق 2500 متر تحت مستوى سطح البحر. وإذا ذاب هذا الحجم الهائل من الجليد، فسيؤدي ذلك إلى ارتفاع مستوى سطح البحر العالمي بمقدار 5-6 أمتار، مقارنةً مع ذوبان 8 أمتار للغطاء الجليدي في جرينلاند و55 مترًا للغطاء الجليدي في شرق أنتاركتيكا (أونترشتاينر 1984). السيناريو الأكثر احتمالاً لذوبان الجرف الجليدي في غرب أنتاركتيكا نتيجةً لارتفاع درجة حرارتها درجة مئوية واحدة هو ارتفاع مستوى سطح البحر بمقدار 0.1 ملم سنويًا حتى عام 2050 تقريبًا (باد وآخرون 1987).

### آثار ارتفاع مستوى سطح البحر

تتنوع الآثار البيوجيوفيزيائية بشكل كبير، وليست بالضرورة موحدة في جميع أنحاء العالم. وتشمل هذه الآثار غمر الأراضي الرطبة والأراضي القريبة من مستوى سطح البحر، وزيادة ملوحة مصبات الأنهار، وزيادة خطر فيضانات العواصف وتآكل الشواطئ، والتغيرات في نطاقات المد والجزر وترسب الرواسب. وقد ثبت صعوبة تحديد أو التنبؤ بالاستجابات الإقليمية لارتفاع مستوى سطح البحر من خلال النظم الجيومورفولوجية والبيئية (الفريق العامل الثاني التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ 1996). على الرغم من عدم اليقين بشأن درجة ارتفاع مستوى سطح البحر، فإن أي ارتفاع من شأنه أن يشكل تهديدًا مباشرًا للمناطق الساحلية المنخفضة والجزر - وخاصة الجزر المرجانية، وجزر الشعاب المرجانية، والأراضي الرطبة الساحلية الاستوائية، حيث تتعرض النظم البيئية لأشجار المانغروف للخطر (الفريق العامل الثاني التابع للفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ، 1996). وعندما يقترن ارتفاع مستوى سطح البحر بالهبوط التكتوني و/أو الإجراءات البشرية التي قد تؤدي إلى تفاقم المشكلة، فإن الوضع قد يكون خطيرًا للغاية.

يشير الجدول 2.1 إلى النتائج المجمعة من دراسات حالة قطرية تستند إلى ارتفاع مستوى سطح البحر بمقدار متر واحد بحلول عام 2100، استنادًا إلى التقدير المرتفع للاحتباس الحراري العالمي في ظل سيناريو

بقاء الأمور على حالها كما كان عليه الحال في عام 1900. قد يُعد هذا أمرًا متطرفًا ، لكن تقليص النطاق ما يزال ينطوي على مشاكل كبيرة لدول مثل بنغلاديش والصين ، لا سيما حيث ما يزال النمو الاقتصادي من حيث الناتج القومي الإجمالي منخفضًا .

Table 2.1 Estimates of impact of 1-metre rise in sea level (based on data in table 9.3, IPCC WGII 1996).

Country/source	People affected		Land affected	
	People in millions	% of total	km <sup>2</sup>	% of total
China	72	7	35,000	—
Bangladesh	71	60	25,000	17.5
Japan	15	15	2,300	0.6
The Netherlands	10	67	2,165	5.9
India	7.1	1	5,800	0.4
Egypt	4.7	9	5,800	1.0
Nigeria	3.2	4	18,600	2.0
Benin	1.3	25	230	0.2
United States	not known	—	31,600	0.3

يُثير النقاش حول الآثار غير المباشرة من خلال آليات التغذية الراجعة في النظام المناخي الكثير من الشكوك . في الوقت الحالي ، تُظهر النماذج ارتفاعًا في متوسط درجة حرارة الهواء السطحي ، وخاصةً فوق اليابسة ، وتشير غالبية النماذج إلى زيادة طفيفة في هطول الأمطار الموسمية الآسيوية . إذا ازداد حدوث الأعاصير المدارية والعواصف العاتية ، أو تغير اتجاه مسارات العواصف ، فقد يكون لأيٍ منهما آثارا مدمرة على السكان والموائل الساحلية . على الرغم من تأثير العواصف الفردية ، فإن الأدلة المستمدة من الملاحظات والنماذج العددية والنظرية غير قاطعة في الوقت الحالي . ويزداد صعوبة تفسير نمط العواصف بسبب أحداث النينيو (التذبذب الجنوبي) ، التي تميل إلى إغراق تفسير بسيط للاحتباس الحراري . ومن شبه المؤكد أن فهم حدوث العواصف الاستوائية يجب أن يتم من خلال نمذجة الآثار المحتملة للاحتباس الحراري على النينيو .

### الغطاء النباتي ودورة النيتروجين

تشير الأبحاث الحالية إلى أن المحيط الحيوي الأرضي يُمثل حاليًا مصدرًا للكربون ، حيث يصل إلى 2.6 جيجا طن من الكربون سنويًا (1992-1993) ، ولكن مع تباين كبير بين السنوات . إذا كانت المناطق الاستوائية مصدرًا صافيًا للكربون ، وهو ما يبدو ممكنًا ، فإن مصدر الكربون في خطوط العرض المتوسطة / العالية قد يتجاوز هذه القيمة . هناك أيضًا رابط معقد بين النيتروجين ، الذي يأتي أساسًا من المواد العضوية في التربة ، وتخزين الكربون في النظام البيئي . إذا تغيرت نسبة الكربون إلى النيتروجين ، التي تتراوح حاليًا بين 10 و 25 ، مع بلوغ الظروف المحددة ، فسيؤثر ذلك على تخزين الكربون . ومن المعروف أيضًا أن ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون يُحفز عملية التمثيل الضوئي ، مما يزيد من قدرة النباتات على تثبيت الكربون .

وتتكيف مجموعة نباتات C3 ، بما في ذلك القمح والأرز، جيدًا مع تأثير التسميد هذا . ويتميز المسار الكيميائي الحيوي "الطبيعي" لـ C3 بتميز قدره 18 جزءًا في الألف ، بينما يُعد التمثيل الضوئي C4 أكثر

تعقيداً بكثير وغير تمييزي في جوهره (الفريق العامل الثاني التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 1996). وتشمل المناطق الأحيائية C4 المراعي الاستوائية والسافانا. ومن النقاط التي تجدر الإشارة إليها من هذه النظرة العامة الموجزة ، أولاً، أن التغييرات الطفيفة في مُدخلات قيمة التمييز في نماذج الإنتاج الأولي الصافي تُنتج اختلافات كبيرة في قيمة بالوعة الكربون ؛ وثانياً، قد يكون هناك حد أقصى لتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي يتوقف عنده تأثير التسميد . وكلاهما له آثار على مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي في المستقبل.

## الإنتاجية الزراعية

أكد الفريق العامل الثاني التابع للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (1996: ص 429) على الرأي الذي أعرب عنه الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ (IPCC) في تقريره الصادر عام 1990 ، والذي يفيد بأنه "يمكن الحفاظ على الإنتاج الزراعي العالمي مقارنةً بالإنتاج الأساسي في مواجهة التغييرات المناخية التي يُحتمل حدوثها خلال القرن المقبل" ، بمستوى ثقة متوسط . من ناحية أخرى ، **من المرجح أن تتسم غلة المحاصيل وإنتاجيتها بتغييرات إقليمية كبيرة** . وبشكل عام ، من المرجح أن يكون هذا التغيير مفيداً ، نظراً لهيمنة محاصيل C3 مثل الشعير والقمح والأرز وفول الصويا . تُظهر محاصيل C3 السنوية زيادات في الغلة تصل إلى 30% عند مضاعفة تركيزات ثاني أكسيد الكربون (700 جزء في المليون) في ظل ظروف تجريبية مُتحكم فيها (الجدول 2.2).

Table 2.2 Trends in world crop production along with modelled results of the impact of climate change on productivity.

Crop	World percentage change in yield 1967-97 (FAO 1998 www)	Current world crop yield in 1997 (FAO, 1998 www) tonnes/ha	Crop yield model (GISS) % change in yield with 2 × CO <sub>2</sub> climate change only *not GISS, limited regional studies (IPCC WGII ch13)	Crop yield model (GISS) % change in yield with 2 × CO <sub>2</sub> climate change plus direct effects of CO <sub>2</sub> *not GISS limited regional studies (IPCC WGII ch 13)
C3 Barley	+35.8	2.3	*(-40)	*(-30) Uruguay
Wheat	+96.1	2.63	-16	+11
Rice (paddy)	+74.5	3.79	-24	-2
Soybeans	+56.2	2.11	-19	+16
Potatoes	+20.3	16.6		*(+20) W Europe
C4 Maize	+70.3	4.13	-20	-15
Sorghum	+28.2	1.42		*( 0 ) USA
Millet	+45.0	0.96		*(-66) Senegal
Sugar cane	+19.6	62.38		*(+9) Australia/Japan

يمكن تعزيز هذه الإنتاجية بشكل أكبر، حيث إن أربعة عشر من أصل ثمانية عشر من أسوأ الأعشاب الضارة في العالم هي نباتات C4 ولن تستفيد بشكل مباشر من تأثير التسميد بثاني أكسيد الكربون . **تشمل العوامل المُحددة المحتملة التغييرات في دورات حياة الحشرات وزيادة معدلات بقاء ونمو وانتشار مسببات الأمراض** . على سبيل المثال ، يرتبط تواتر تفشي البياض الدقيقي والصدأ على المحاصيل باعتدال فصول الشتاء في خطوط العرض الوسطى . قد تؤثر التغييرات في الظروف المناخية أيضاً على الزراعة الحيوانية من خلال توافر حبوب الأعلاف ، وتوافر المياه في المراعي ، ومعدلات الإصابة بأمراض الماشية .

## أنماط الغطاء النباتي المتغيرة

في حين أن هناك العديد من الدراسات حول استقلاب النباتات في ظل زيادة ثاني أكسيد الكربون ، إلا أن الجغرافيين أكثر اهتمامًا بإعادة توزيع الأنواع وتكيف المناطق الحيوية مع بيئة مناخية متغيرة . طرح ويب (1986) السؤال حول ما إذا كان الغطاء النباتي في حالة توازن مع المناخ . إحدى طرق تقييم إمكانية التغير في المحيط الحيوي هي دراسة الغطاء النباتي ومستويات البحيرات منذ العصر الجليدي الأخير . يمكن بعد ذلك الحصول على فكرة عن سرعة استجابة بعض المناطق الحيوية . ويُفترض أن ديناميكيات سنجير النظم البيئية مع تغير المناخ خلال القرن المقبل ، وأن الأداء السابق لتكيف النباتات سينطبق في المستقبل . هناك بعض الفلق من أن أنواعًا نباتية مختارة قد تموت قبل أن تستقر أنواع أكثر تكيفًا . قد يؤدي هذا التأثير الهستيريسيس العابر في الغطاء النباتي إلى ذروة مؤقتة أو "ارتفاع مفاجئ" في تراكيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (سميث وشوجارت، 1993). شكّلت حرائق الغابات تهديدًا دوريًا من خلال الإضافات غير المنظمة لثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي . يسلط الملحق 2.2 الضوء على مشاكل حرائق الغابات خلال الفترة 1997-1998.

## الخلاصة

لم تُبذل أي محاولة هنا للتعامل مع جميع الأنظمة المعقدة المتعلقة بالاحتباس الحراري ، ولكن هذا لا يعني أن التأثيرات ستقتصر على تغير مستويات سطح البحر وأنماط الغطاء النباتي . من المرجح أيضًا حدوث تغييرات في الأنظمة الهيدرولوجية ، والممارسات الزراعية ، والأنشطة الاقتصادية المرتبطة بها : الأنشطة ، وخيارات الطاقة ، وتقييمات الأثر. يجب وضع سياسات للتخفيف من أسوأ آثار الاحتباس الحراري . وقد تم تسليط الضوء على بعض هذه السياسات في الملحق 2.3.

للأسف ، لا توجد حتى الآن أي مؤشرات على أن معظم دول العالم ستُظهر عزمًا أو قدرة كافية على خفض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في المستقبل القريب . ومن أصعب جوانب الاحتباس الحراري تقدير تأثيره المناخي الإقليمي (هوتون 1997) وتأثيره على إمدادات المياه والغذاء في اتجاه مجرى النهر . وقد يتعقد التأثير المُقدر بسبب أحداث أخرى ، مثل شذوذ ظاهرة النينو الجنوبية (ENSO) عام 1997 ، الذي عكس أنماط هطول الأمطار في مناطق واسعة من المناطق الاستوائية . كما أن الصلة بين الاحتباس الحراري وظاهرة النينو الجنوبية المعززة أصعب في إثباتها ، وهي "ليست واضحة بشكل بديهي" (ميهل وبرانستاتور 1992).

إنه تحذيرٌ من أن هناك العديد من "الجهات الفاعلة" في المشهد المناخي ، بل هناك أيضًا العديد من الطرق ، وربما غير المتوقعة ، التي قد يستجيب بها النظام المناخي من حيث ردود الفعل الإيجابية والسلبية . ويُؤمل أن يكون التطور المتزايد لنماذج المناخ أداةً قيّمةً في كشف غموض النظام المناخي العالمي واستجابته للتأثيرات الناجمة عن الاحتباس الحراري . ويجب أن يُواكب هذا التقدم العلمي فهمٌ أفضل للمسؤوليات الاقتصادية والاجتماعية والسياسية في إدارة الموارد العالمية المحدودة.

## الملحق 2.1

### تغير المواقف تجاه الاحتباس الحراري

منذ أوائل ستينيات القرن الماضي ، رأينا بوضوح شديد التحول نحو... انخفاض طفيف في درجة حرارة نصف الكرة الشمالي ، والذي نعلم الآن أنه يشير إلى عودة نحو ظروف الدوامة القطبية الموسعة التي سادت خلال العصر الجليدي الصغير. (جريبين 1978: ص 54) يرى علماء مكتب الأرصاد الجوية أن التغيرات في الطقس في السنوات الأخيرة متوافقة مع الأنماط المناخية الراسخة . ولا يرون أي سبب للاستنتاج من السجل التاريخي أن تغيرات كبيرة بشكل خاص من المرجح حدوثها في العقود القليلة القادمة. (مكتب مجلس الوزراء ١٩٨٠) يشير توازن الأدلة إلى تأثير بشري واضح على المناخ العالمي. (الفريق العامل الأول التابع للفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ ١٩٩٦)

## الملحق 2.2

### ثاني أكسيد الكربون المنبعث من حرائق الغابات

شهد عام 1997 بعضًا من أسوأ حرائق الغابات والشجيرات المسجلة على الإطلاق . لا توجد تقديرات دقيقة حتى الآن لكمية الكتلة الحيوية التي تم تحويلها إلى ثاني أكسيد الكربون ، ولكن بُذلت محاولة لتقييم تأثير حرائق 1997-1998. تُعد عملية حرق الغابات في المناطق الاستوائية جزءًا لا يتجزأ من الزراعة التقليدية ، المعروفة عالميًا باسم "القطع والحرق". تشمل المصطلحات الإقليمية "لادانغ" في إندونيسيا و"روكا" في البرازيل . حاولت بعض الحكومات ، مثل حكومة ماليزيا ، حظر الحرق أو السيطرة عليه ، ولكن في إندونيسيا المجاورة ، لم تُكبح هذه الممارسة .

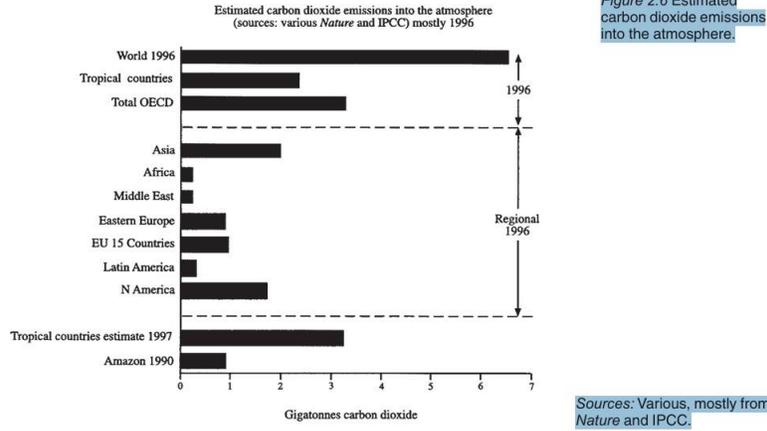
بينما تشير الأبحاث إلى أن الزراعة الحراجية يمكن أن تُساعد في عزل الكربون عن طريق تحويل مراعي "إمبيراتا" إلى أنظمة أكثر إنتاجية قائمة على الأشجار ، فإن الحرق بالجملة يفشل في تحقيق هذه الغاية . هناك أبعاد أخرى للمشكلة ، إلى جانب استخدامها في الزراعة المتنقلة ، مثل تصرفات شركات قطع الأشجار في السماح بالحرق أو الترويح له ، والحاجة إلى مزيد من الأراضي لزراعة الأرز والمحاصيل الغذائية ، كما هو الحال في السماح بحرق 40,000 هكتار جنوب شرق بالانجكارايا (كاليمانتان) . يُضاف إلى ذلك مرحلة النينيو النشطة من ظاهرة النينو في عامي 1997-1998 ، والتي تسببت في جفاف غير مسبوق تقريبًا في العديد من أجزاء جنوب شرق آسيا الاستوائية .

تستند تقديرات الكربون المنبعث من الحرق إلى التقديرات التقريبية الآتية : في حين أنه من الصعب جدًا الحصول على تقديرات للانبعاثات لعام محدد ، فإن حرائق عامي 1997-1998 ، والتي كان أسوأها تلك التي اندلعت في البرازيل ، لا بد أنها تثير القلق ، حيث من غير المرجح أن تُوازن إضافة ثاني أكسيد الكربون بـ يحتوي الهكتار الواحد على 200-5001 طن من الكتلة الحيوية ، حوالي 50% منها كربون.

- يبلغ متوسط انبعاثات الغابات الاستوائية الناضجة في إندونيسيا حوالي 365 طنًا للهكتار.
- يُحتمل أن يُطلق الحرق ثلثي الكربون في الغلاف الجوي على شكل ثاني أكسيد الكربون.
- تسببت شدة الحرائق في اشتعال خث أرض الغابة ، مما زاد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بكمية غير معروفة.

تُؤخذ قيمة 365 طنًا للهكتار لتشمل هذا التأثير في التقديرات الآتية ، ويُستخدم الرقم نفسه للبرازيل . بيانات مقارنة حول الحرق الأخير وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون :

- سيؤدي حرق 40,000 هكتار إلى إطلاق حوالي 0.5 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون.
- فُقد حوالي مليوني هكتار بسبب الحرائق في عام 1997 في إندونيسيا وحدها، مما أدى إلى إطلاق حوالي 0.25 جيجا طن من ثاني أكسيد الكربون (1 جيجا طن = 1,000 طن = 109 أطنان) (دادلي 1997).
- تشير تقديرات الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC) لانبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن تغيرات استخدام الأراضي الاستوائية - ومعظمها إزالة الغابات - في أواخر ثمانينيات القرن الماضي إلى حوالي  $0.4 \pm 1.6$  جيجا طن سنويًا. وكما يتضح من الشكل 2.6، يمكن مقارنة هذا بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون البالغة 1.75 جيجا طن الناتجة عن احتراق الوقود في أمريكا الشمالية عام 1996.



## 2.3 الملحق

### سياسات خفض ثاني أكسيد الكربون

تُعدّ اتفاقية المناخ محاولةً من قِبَل حكومات العالم للتوصل إلى اتفاق بشأن الحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. وقّعت أكثر من 160 دولة على اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ في مؤتمر ريو بشأن البيئة والتنمية عام 1992. وقد قدّم هوتون (1997) تفاصيلها. وقد عُدلت هذه الاتفاقية لاحقًا في مؤتمر كيوتو عام 1997 بعد ضغوط كبيرة. ومن غير الواضح مدى فعالية اتفاقية كيوتو نظرًا لمشاكل رصد وتنفيذ اتفاقيات انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. ومع ذلك، كان الهدف من اتفاقية المناخ هو إبطاء الانبعاثات العالمية ثم تثبيتها عند مستويات عام 1990.

وكان من المقرر تحقيق ذلك من خلال التحول إلى أنواع وقود أكثر كفاءة في استخدام الطاقة. فالغاز الطبيعي، على سبيل المثال، يُؤدّ انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أقل بنسبة 40% من الفحم لنتاج الطاقة نفسه، ولكن هذا التحول في استخدام الوقود ليس خيارًا متاحًا للعديد من البلدان. هناك أيضًا مصلحة راسخة لعدد من الشركات العابرة للحدود الوطنية في زيادة مستويات استهلاك النفط سعياً لتحقيق نمو اقتصادي أكبر. بحلول عام 1998، كانت التغيرات في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أقل ارتباطاً بتوفير الطاقة منها بالتغيرات السياسية، على الرغم من محاولة بعض الدول الصناعية تثبيت الانبعاثات.

تشير الاتجاهات خلال التسعينيات إلى أن الدول الصناعية (منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية) شهدت زيادات بنحو 4%، بينما بلغت الزيادة في الدول النامية حوالي 25%، ولكن من مستوى انبعاثات أقل لعام 1990. ولم يسمح سوى انخفاض بنسبة 25% في أوروبا الشرقية، مرتبطاً بالانهيار الاقتصادي، للانبعاثات العالمية بالبقاء ثابتة تقريباً. من غير المرجح أن يستمر هذا الاستقرار "العرضي"، حتى لو عانت

اقتصادات "النمور" في شرق آسيا من تدهور اقتصادي في ظل سيناريو "الازدهار والكساد". ولسوء الحظ ، ربما جددت الانبعاثات الإضافية غير المنضبطة (ينظر الملحق 2.2) الاتجاه العالمي التصاعدي الذي شهدناه في الثمانينيات .

### عنصر الوقت

الخيارات الأساسية المطروحة في نماذج الاحتماس الحراري العالمي هي (1) التصرف الآن ، و(2) التأجيل إلى وقت لاحق - وهو ما يُطلق عليه عادةً "العمل كالمعتاد" أو BaU. هناك احتمالات بين هذين الخيارين ، لكن مشاكل الجمود الاقتصادي وقصر النظر السياسي تجعل هذه الاحتمالات غير جذابة نسبيًا . على أي حال ، تشير نماذج المناخ ، مثل النموذج الهولندي IMAGE 2 ، إلى أسباب علمية وجيهة للتصرف الآن . هذا لأن الانتظار حتى عام 2010 للتصرف سيكون متأخرًا جدًا في محاولة الحد من المعدل المرتفع للانبعاثات المتوقعة .

وفي معارضة لهذا الرأي العلمي والقانوني ، تُصرّ جماعات الضغط المؤيدة للعمل كالمعتاد على أن الانتظار حتى عام 2010 هو الخيار الوحيد القابل للتطبيق للدول الصناعية (المشار إليها بدول الملحق 1) ، حيث ستتوفر حينها تقنيات جديدة . يمكن للدول غير المدرجة في الملحق 1 الانتظار حتى عام 2030. هناك دعم علمي جزئي للعمل كالمعتاد . (Wigley et al. 1997)

### قضايا أخرى

- تُفضّل الولايات المتحدة الأمريكية نهجًا "صافيًا" ، حيث يشمل جرد الدولة لانبعاثات الكربون حرق الغابات وبرامج عزل الكربون (التشجير) . كما تدعم حل "الفقاعة العالمية" الذي يسمح بتداول أرصدة التلوث .
  - يُفضّل الاتحاد الأوروبي سياسة "السلة" ، التي تُؤخذ فيها الآثار المُجمعة لثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز في الحسبان .
  - تُعارض مجموعة الدول النامية في مجموعة الـ 77 سياسة "السلة" ، وترغب في وضع أهداف لتحقيق انبعاثات كل غاز على حدة محليًا .
- تُعارض معظم هذه الدول تداول حصص التلوث ، وتريد تخفيضات جذرية بحلول عام 2020 وإنشاء صندوق تعويضات اقتصادية . من بين النهج الآخر الذي طُرح في مؤتمر كيوتو فكرة تحديد معدل انبعاثات للفرد الواحد ، بحيث يقترب من قيمة طن واحد من ثاني أكسيد الكربون للفرد سنويًا بحلول عام 2030. ومن شأن ذلك أن يُنبت تركيزات ثاني أكسيد الكربون عند حوالي 450 جزءًا في المليون من حيث الحجم. ويفضل آخرون 560 جزءًا في المليون من حيث الحجم ، لأن هذا يُمثل مضاعفة لمستويات ما قبل الثورة الصناعية ، ويتوافق مع سيناريوهات النماذج .