الفصل التاسع
استقرار الدورات الكيماوية
ساندرا بوستل
ترجمة
د. فوزي سهاونة

خلال القرنين الماضيين ـ وهما مجرد لحظة من العصور الجيولوجية ـ غيرت المجتمعات الصناعية كيمياء الأرض بطرق عديدة سيكون لها آثار اقتصادية وايكولوجية مذهلة في حياتنا وحياة أحفادنا، ومن بينها ثلاثة تهدد المجتمع، وستكلفه الكثير، وهي: تقلص الأمن الغذائي نتيجة للتغير المناخي، وموت الغابات نتيجة تلوث الهواء بالأمطار الحمضية، والأخطار الصحية الناتجة عن التعرض للملوثات الكيماوية في الطبيعة. وتنشأ هذه الآثار من مجمل النشاطات اليومية التي وصلت إلى درجة كافية تقوض الأنظمة الطبيعية التي تطورت على مَرِّ ملايين السنين.

ويحيط بكل واحدة من هذه التهديدات الكثير من الغموض العلمي، ولهذا فالعالم بحاجة ملحة إلى المزيد من الأبحاث. ومع هذا فإن الانتظار للوصول إلى صورة مؤكدة لكل تهديد سيكون له آثار كارثية ومكلفة. وبحلول الزمن الذي يستطيع فيه الباحثون توثيق التغيرات المناخية، مثلاً، ستكون المشكلة قد تعقدت ولا رجوع فيها. وهكذا يتطلب استرجاع الأمور إلى طبيعتها أن يعمل المواطنون والقادة السياسيون على اتخاذ الاجراءات الضرورية قبل أن تظهر آثار التلوث الكيماوي بشكل واضح.

تستطيع الأنظمة الطبيعية ـ بما فيها المناخ والغابات والبشر ـ امتصاص الضغوط لفترات طويلة من الزمن بدون وجود مظاهر خراب واضحة. ولكن ستصل هذه الضغوط إلى نقطة تبدأ الأمور بعدها بالتدهور بسرعة. هذا ويستطيع

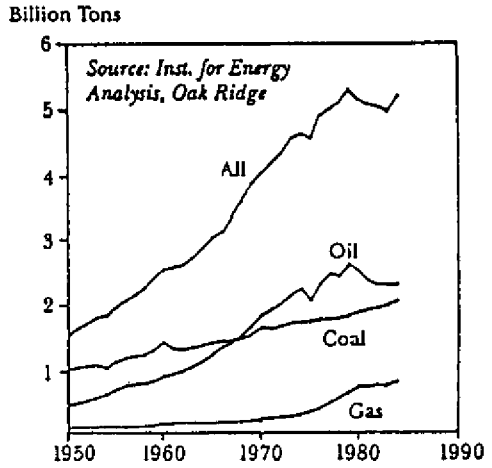
العلماء استباق حدوث مثل هذه التغيرات المفاجئة، ولكنهم لا يستطيعون، إلا نادراً، تحديد زمان حدوثها. وكلما ازدادت سرعة نشاطات الإنسان، زاد احتمال حدوث مثل هذه التجاوزات.

تعطيل الدورات الكيماوية

تشكل ٦ عناصر رئيسة ـ الكربون، والأوكسجين، والنيتروجين، والهيدروجين، والفوسفور، والكبريت ـ ٩٥٪ من الكتلة الحية على الأرض. وبما أن كميات هذه المواد ثابتة، فإن الحياة تعتمد على التدوير الكفؤ لهذه العناصر في الجو والصخور والتربة والمياه والكائنات الحية في المحيط الحيوي الذي يسمى التدوير الكيماوي ـ الأرضي ـ الحيوي (Biogeochemical Cycling). وفي السنوات الأخيرة توصل العلماء إلى أن النشاطات قد عطلت هذه الدورات وخصوصاً دورات الكربون والنيتروجين والكبريت[١].

ومنذ عام ١٩٦٠ أطلق احتراق الوقود الحفري حوالي ١٥٠ بليون طن من الكربون في الجو. وازدادت كمية المواد المنبعثة من ٩٣ مليون طن في عام ١٨٦٠ إلى حوالي ٥ بليون طن في الوقت الحاضر ـ أي زيادة تساوي ٥٣ مرة. وجاءت معظم المواد المنبعثة منذ عام ١٩٥٠ بعد زيادة استعمال الزيت مما أضاف الكثير إلى الكربون المنبعث من الفحم[٢]. (انظر شكل ٩-١).

وفي بداية هذا القرن ساهم قطع وحرق الغابات لزراعة المحاصيل وتوفير المراعي بإرسال المزيد من الكربون إلى الهواء أكثر مما ساهم الوقود الحفري. ويقدر العلماء بأنه بين عام ١٨٦٠ وعام ١٩٨٠ أطلق إزالة الغابات أكثر من ١٠٠ بليون طن من الكربون إلى الجو. ويقدر اليوم بأن إزالة الغابات في المناطق الاستوائية تسبب في إطلاق كمية تتراوح بين ٠,٦ إلى ٢,٦ بليون طن من الكربون سنوياً، وهذا يساوي ما بين ١٢-٥٠٪ مما يطلقه احتراق الوقود الحفري[٣].



شكل ٩ ـ ١ انبعاث الكربون من احتراق الوقود الحفري في العالم ١٩٥٠ ـ ١٩٨٤

وأبدى العلماء اهتمامهم بكمية الكربون المضافة إلى الجو قبل حوالي قرن من الزمان. وحتى مؤخراً، افترض العديد من العلماء أن المحيطات، أكبر خزّان في دورة الكربون، ستُزيل العنصر الذي تضيفه النشاطات البشرية. وفي أواخر الخمسينات بدأ العلماء الموجودون فوق جبل مونالوا في هوائي بقياس تركز ثاني أكسيد الكربون في الجو ووجدوا أنه في تزايد مستمر. وبين عام ١٩٥٩ وعام ١٩٨٥ ازداد متوسط ثاني أكسيد الكربون السنوي من ٣١٦ جزء بالمليون إلى حوالي ٣٤٦ جزء بالمليون، أي بزيادة مقدارها ١٠٪. هذا وقدر تركز ثاني أكسيد الكربون قبل عام ١٨٦٠ بحوالي ٢٦٠ إلى ٢٧٠ جزء بالمليون، ولكن النشاط البشري زاد تركز ثاني أكسيد الكربون في الجو بحوالي ٣٠٪ في غضون ١٢٥ سنة[٤].

كان العلماء ولمدة طويلة يشتبهون بوجود دور رئيس لثاني أكسيد الكربون في تنظيم حرارة الأرض. ويشبه هذا الدور بمصفاة باتجاه واحد حيث يسمح ثاني أكسيد الكربون للطاقة الصادرة من الشمس بالمرور من خلاله، ولكنه يمتص موجات الإشعاع الطويلة التي تنبعث من سطح الأرض. وأطلق العلماء على هذه الظاهرة بـ «تأثير البيوت الزجاجية» ووضعوا نموذجاً رياضياً لها للتنبؤ

بكيفية استجابة المناخ لتركز أعلى من ثاني أكسيد الكربون. ومن نتائج هذا النموذج ظهر اتفاق بأنه إذا وصل تركز ثاني أكسيد الكربون إلى ضعف ما كان عليه قبل مرحلة الصناعة (التي يقدر أن تحدث حسب الاتجاهات الحالية حوالي منتصف القرن القادم) سيرتفع متوسط حرارة الأرض ما بين ١,٥ و ٤,٥ درجة مئوية[٥].

وسيكون لهذا التغير الصغير آثار عميقة على مناخ الكرة الأرضية. ففي خلال العصر الجليدي الأخير، عندما كان الجليد يغطي معظم أوروبا وأمريكا الشمالية، كان متوسط حرارة الأرض أبرد بخمس درجات مما هو عليه اليوم. وسيعمل التغير المتوقع من مضاعفة ثاني أكسيد الكربون على جعل حرارة الأرض أكبر من أي وقت في تاريخ البشرية[٦].

وبدأ العلماء مُؤخَّراً بإظهار اهتمام متزايد بمركب كربون آخر هو الميثان (غاز المستنقعات والمناجم). وتشير دراسات الهواء المحجوز في الجليد القطبي بأن تركز الميثان في الجو بقي ثابتاً لآلاف السنين، ولكن بدأ بالارتفاع حوالي عام ١٦٠٠. وتضاعف التركز منذ ذلك الحين، ويتزايد اليوم بمعدل ١-٢٪ سنوياً. ويبقى سبب هذه الزيادة غير مؤكد[٧].

يتكون معظم غاز الميثان بفعل البكتريا التي تحلل المادة العضوية في البيئات التي ينقصها الأوكسجين. وتنتج البكتيريا في أمعاء الأبقار والتربة التي تزرع بالأرز في العالم حوالي ١٤٠ مليون طن من الميثان سنوياً، وتساوي هذه الكمية ضعف ما تطلقه المستنقعات والأراضي الرطبة. ويعمل غاز الميثان أيضاً كالبيت الزجاجي حيث يمنع حرارة الأرض من التسرب إلى أعلى. ويقدر العلماء بأن مقدار غاز الميثان الذي سيتجمع حتى عام ٢٠٣٠ سيزيد من دفء الكرة الأرضية بمقدا ٢٠-٤٠٪ أكثر مما سيزيده ثاني أكسيد الكربون[٨].

لا تتوفر إلا صورة جزئية عن وضع النيتروجين في العالم، ولكن لا شك بأن نشاطات الإنسان قد غيَّرت دورة هذا العنصر الرئيس أيضاً. يطلق حرق الوقود الحفري أكسيدات النيتروجين إلى الجو، كما تطلق المصانع والسيارات والصناعات المختلفة مثل هذا الغاز أيضاً. ففي الولايات المتحدة، ازدادت

كمية أكسيدات النيتروجين في الجو من ٣,٩ مليون طن عام ١٩٥٠ إلى ٢,٢٠ مليون طن عام ١٩٧٣، وبقيت عند هذا المستوى منذ ذلك الحين. وتشير التقديرات الحديثة إلى أن كميات أكسيدات النيتروجين التي تطلقها النشاطات البشرية إلى الجو في العالم مساوية للكمية الصادرة من البرق والتربة والموارد الطبيعية مجتمعة[٩].

وتسارعت بعض أجزاء دورة النيتروجين بفعل زيادة الإنتاج النباتي والحيواني. فمن أجل الإيفاء بالطلب المتزايد على الغذاء استعمل الفلاحون كميات كبيرة من الأسمدة النيتروجينية لزيادة إنتاج اللحوم عن طريق تربية الأبقار في الحظائر. ويعتقد العلماء بأن استعمال الأسمدة، وتركز فضلات الحيوانات، واحتراق الوقود الحفري تطلق كميات من أكسيد النيتروجين المعروف للعديد من الناس باسم الغاز الضاحك. وبعكس مركبات ثاني أكسيد النيتروجين الذي ينزل مع الأمطار بعد فترة وجيزة في الجو، فإن أكسيد الحامض النيتري قد يبقى في الجو لمدة قرن أو أكثر. وبدأ الاهتمام بهذا الغاز يتزايد بعد اكتشاف حقيقة كونه يعمل عمل البيوت الزجاجية. ومن المتوقع أن ترفع كمية أكسيد الحامض النيتري في عام ٢٠٣٠ حرارة الأرض بنسبة تتراوح بين ١٠ و ٢٠٪ زيادة عن المستوى المتوقع من ثاني أكسيد الكربون[١٠].

بعكس النيتروجين والكربون، لا يحتفظ الكبريت بخزان رئيس في الجو، مع أن جزءاً منه يدور في الهواء في حركته بين اليابسة والماء. وفي كل عام تطلق البراكين والبحار والأراضي الرطبة من ٩٠ إلى ١٢٥ مليون طن من الكبريت إلى الجو. ويأتي التأثير البشري الأكبر على الدورة من النشاط الاقتصادي ـ من حرق الفحم والزيت وصهر خامات المعادن التي تحتوي على الكبريت. وتقذف هذه المصادر مركب ثاني أكسيد الكربون (ويضيف كل طنين من أكسيد الكبريت طناً من الكبريت إلى الهواء). وعلى مستوى العالم، تساهم البشرية جمعاء بنفس القدر الذي تساهم به العوامل الطبيعية مجتمعة ـ حوالي ١٠٠ مليون طن وهذا يضاعف الدورة السنوية من الكبريت في المجال الحيوي[١١].

وبعدما يرتفع ثاني أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت إلى الجو يتفاعلان مع مواد كيماوية أخرى في طبقات الجو السفلي. فمثلاً، ينطلق إلى

الجـو ثاني أكسيد النيتـروجين والهيدروكـربـونـات نتيجـة احتـراق الزيت في السيارات. وفي ظل حرارة الشمس العالية يساعدان على تشكيل الأوزون، وهو عنصر رئيس في الضباب الدخاني الذي يغطي العديد من المناطق الحضرية. ويمكن أن تنتقل هذه الملوثات من المدن إلى الأرياف وتقطع مسافات طويلة بفعل الرياح. وفي العديد من المناطق الريفية من أوروبا وأمريكا الشمالية تصل تركزات الأوزون الصيفي إلى ضعفين أو ثلاثة أضعاف المستويات الطبيعية[١٢].

وبالمثل، تنشأ التركزات الحمضية من مجموعة من التفاعلات التي تشتمل على مركبـات الكبـريت والنيتـروجين. وفي أواسط القـرن التاسع عشر درس الكيميائي الإنكليزي روبرت انغوس سميث التساقط حول مدينة مانشستر في بريطانيا، ووجَـدَ أن مستـويات الحامض الكبريتي في المدينة أعلى منها في الـريف المحيط في المـدينـة. وفي العقـود القليلة الماضية انتشرت الأمطار الحمضية في المناطق الريفية في العديد من الدول الصناعية. إن زيادة كميات الملوثات الحمضية، إضافة إلى ما يخرج من المداخن العالية التي تهدف إلى إبعـاد الـدخـان عن المدن، عملت على تحويل الأمطار الحمضية من كونها مشكلة في المناطق الحضرية إلى مشكلة إقليمية وقارية[١٣].

لقد حولت النشاطات الصناعية المعادن أيضاً إلى ملوثات مزعجة. تتواجد المعادن في التربة والصخور بأشكال وتركزات حددتها الطبيعية، وهي هكذا لا تمثل أي ضرر. ولكن نتيجة للتزايد في إحراق الوقود الحفري وصهر المعادن والتخلص من فضلاتها والعمليات الأخرى التي تتطلب درجات حرارة عالية قد أدت جميعها إلى زيادة تركز المعادن في الطبيعة بشكل واضح. وهكذا أصبحت الأضرار المنبعثة إلى الجو عن عدد قليل من المعادن التي تدخل في نشاطات الإنسـان تزيد عن الأضـرار المنبعثـة من التـرب والبراكين والمصادر الطبيعية الأخـرى. (انـظر جدول ٩-١). فقـد ازدادت منبعثات الكاديوم عشرين مرة ومنبعثـات الـرصـاص ثلاثـاً وعشـرين مرة. وإن استعمـال الرصاص في وقود السيارات، الذي بدأ في العشرينات، قد زاد كميات المنبعثات من الرصاص في العـالم إلى ٢ مليون طن سنـوياً، وهـذه الكمية تساوي ٣٣٣ مرة الكمية المنبعثة من المصادر الطبيعية.

وكمـا هو الحـال بالنسبة للمنبعثات المشكلة للملوّثات الحمضية، تعود المعادن إلى الأرض وتدخل في التربة والجداول والبحيرات. وبما أن العلماء لم يقـومـوا برصد الترسبات المعدنية هذه، فليس لديهم فكرة وافية عن مدى انتشارها الإقليمي أو العالمي. ومع هذا فقد وجد فريق من الباحثين الأمريكيين من مراجعـاتهم لـ ٣٠٠ موقـع في أنحـاء متفرقة من العالم أن معدلات تركيز المعادن في المناطق الريفية تتراوح بين ١٠ إلى ١٠٠ مرة أكثر مما هي عليه في أقصى شمال الأطلسي. وتراوحت المعدلات في المناطق الحضرية بين ١٠٠ إلى ١٠,٠٠٠ مرة أكبر مما هي في شمال الأطلسي. واستنتج هؤلاء العلماء أن

جدول ٩-١. المقادير العالمية السنوية المقدرة لمنبعثات مجموعة مختارة من المعادن إلى الجو من نشاط الإنسان والعوامل الطبيعية، حوالي عام ١٩٨٠

المعدن	نشاط الإنسان	المصادر الطبيعية	نسبة مساهمة الإنسان إلى مساهمة الطبيعة
	(آلاف الأطنـــان)		
الرصاص	٢,٠٠٠	٦	٣٣٣
انتيموني	٣٨	١	٣٨
زنك	٨٤٠	٣٦	٢٣
كاديوم	٦	٠,٣	٢٠
نحاس	٢٦٠	١٩	١٤
سيلينيوم	١٤	٣	٥
ارسينك	٧٨	٢١	٤
نيكل	٩٨	٢٨	٤
فاناديوم	٢١٠	٦٥	٣
كروميوم	٩٤	٥٨	٢

Source: James N. galloway et al., (Trace Metals in Atmospheric Deposition: A Review and Assessment), Atmospheric Environment, Vol. 16, No. 7, 1982.

مقادير ترسبات الرصاص والزئبق «قد وصلت إلى حدود ضارة بالإنسان»، وأن ترسبات الكاديوم، والنحاس، والزئبق، والرصاص، والزنك «وصلت إلى مستويات ضارة بالكائنات الحية الأخرى»[١٤].

بالإضافة إلى تعديل دورات العناصر الطبيعية كالكربون، والنيتروجين، والكبريت، والمعادن، استطاع الإنسان إدخال آلاف المواد إلى البيئة التي ليس لها ندّ في الطبيعة في نصف القرن الفائت. هذا ولم يتخيل مخترعوها الأوائل أنها ستعمل على تدهور الأنظمة الطبيعية. وفي بداية السبعينات حذر العلماء من مجموعة من المركبات الاصطناعية ـ الكلوروفلوروكاربون (CFCs) Chlorofluorocarbons ـ من قدرتها على تدمير طبقة الأوزون الحامية للحياة في طبقات الجو العليا.

ومن سخريات القدر أن الأوزون ـ المركب الكيماوي الذي يشكل الضباب الدخاني المزعج في طبقات الجو السفلى ـ يقوم بدور حيوي في طبقات الجو العليا، حيث يمتص الإشعاع فوق البنفسجي من الشمس، الذي إذا وصل الأرض، سيسبب سرطانات الجلد، ويضر بالمزروعات، وله مضار أخرى. وعندما ترتفع مركبات CFCs تنتقل إلى طبقات الجو العليا حيث تحطمها أشعة الشمس وتعطي ذرات من الكلورين، الذي يؤدي بدوره إلى حدوث تفاعلات مختلفة تحطم الأوزون. وهكذا نتيجة لمنبعثات CFC أصبحت تركزات الكلورين في الطبقات العليا ضعف المستويات الطبيعية[١٥].

ارتفع انتاج CFC-11 و CFC-12 ، وهي الأعضاء الأكثر إزعاجاً من عائلة CFC ، بدرجة متزايدة من بداية الثلاثينات إلى أوائل السبعينات نتيجة ازدياد الطلب عليها كمواد دافعة في علب الرش، وعوامل مشكلة للرغوة، وكمبردات للثلاجات. وانخفض انتاجها منذ منتصف السبعينات إلى أواخر عام ١٩٨٢ بعد أن استجاب عدد من الدول الصناعية إلى تحذير العلماء من مخاطر استعمالها. ولكن وبسبب تزايد الطلب عليها من قبل الدول النامية، والمطالبة بعدم تحديد استعمالها في الدول الصناعية، ارتفع انتاجها بعد ذلك التاريخ. وارتفع الإنتاج المقدر (باستثناء الاتحاد السوفياتي واوروبا الشرقية والصين) حوالي ١٦٪ بين عام ١٩٨٢ وعام ١٩٨٤[١٦].

وبناء على معدلات نمو معتدلة من الانبعاثات للغازات الأخرى و٣٪ زيادة سنوية في انبعاث CFC ، تقدر وكالة الفضاء الأمريكية استنزافاً مقداره ١٠٪ سنوياً في طبقة الأوزون بحلول منتصف القرن القادم. وتشير دراسة أخرى لوكالة حماية البيئة إلى استنزاف كهذا قد ينتج عنه مليونان من سرطانات الجلد الإضافية كل عام، وضرر للبلاستيك والدهانات تصل قيمته إلى ٢ بليون دولار سنوياً، وضرر لا حدود له للمحاصيل والحياة المائية[١٧].

ازداد الاهتمام بسرعة وامكانية استنزاف الأوزون مؤخراً عندما أظهرت نتائج دراسات أن هناك ٤٠٪ انخفاض في طبقة الأوزون فوق القارة الجنوبية كل تشرين أول، بعد ظهور أشعة الشمس بعد الشتاء الطويل في القارة. هذا ولم يتوقع العلماء مثل هذه الخسارة، وفيما إذا كان هذا مؤشراً للمزيد من الاستنزاف يبقى أمراً غير معروف[١٨].

تضيف مجموعة (CFC) إلى التهديد بتغيّر المناخ بشكل غير مباشر بمهاجمتها لطبقة الأوزون ومباشر بلعب دور غاز البيوت الزجاجية. إن استنزاف الأوزون سيغيِّر موازنات الطاقة لطبقات الجو العليا والسفلى مما سيؤدي إلى زيادة دفء الأرض. وبما أن CFC هي نفسها تخزن الحرارة المشعة من الأرض، لذلك ستضيف تدفئة إلى البيوت الزجاجية. وفي تشرين أول عام ١٩٨٥ استنتج علماء من ٢٩ دولة في اجتماعهم في فيلاش، بالنمسا، بأن امكانية قيام غازات البيوت الزجاجية بتغيير المناخ بدلاً من ثاني أكسيد الكربون ـ مثل غاز الميثان وأكسيد النيتروس و CFCs «هي بنفس أهمية ثاني أكسيد الكربون». وإذا اخترنا التركزات المتزايدة لثاني أكسيد الكربون وغازات البيوت الزجاجية الأخرى معاً فستؤدي إلى ما يساوي ضعف مستوى ثاني أكسيد الكربون في فترة ما قبل التصنيع بحلول عام ٢٠٣٠[١٩].

إن تأثيرات آلاف الكيماويات الاصطناعية التي تضاف إلى الأراضي الزراعية والصادرة من المصانع، والتي تلقى على شكل فضلات غير معروفة تماماً. وكما هو الحال مع العديد من المنتجات الصناعية فإنه من الأسهل معرفة فوائد استعمال الكيماويات أكثر من معرفة تكاليفها. فمثلاً ساعدت مبيدات الحشرات على الحد من الأمراض المخيفة كالملاريا والطاعون والتيفوس

ومـرض النـوم التي كانت تزهق ملايين الأرواح. وتستطيع هذه المبيدات قتل الحشـرات التي تفتك بالنباتات، وهكذا تساعد على تخفيف الجوع وتجنب المجاعة. ومع هذا فقد أظهرت الأبحاث أن المبيدات والكيماويات الأخرى تشكل خطراً حقيقياً ومخاطر طويلة الأجل[٢٠].

القليل من الناس كانوا يعرفون أن المبيد د.د.ت الذي شاع استعماله في الأربعينات كان سيتدخل في تكوين الجنين في أحشاء الصقور والنسور والطيور الأخرى مما أدى إلى دفع هذه الأنواع إلى ما يقارب الفناء. وعدد أقل كان يعرف أن الـ د.د.ت سيجد طريقة إلى طيور البطريق في القارة الجنوبية، وأنه في خلال ثلاثة أجيال ستتجمع كميات لا بأس بها في دم ودهن الأمريكي، وأنه بعد منع استعماله في الولايات المتحدة بعقد من الزمان ما يزال يتواجد في نباتات الجزر والسبانخ التي تباع في أسواق سان فرانسيسكو[٢١].

إنه غير معروف بالضبط مدى تأثير تغير كيمياء الأرض على الناس وعلى الأنـظمة الطبيعية. ولكن نتيجة لوجود قدرة ذاتية يستطيع المجال الحيوي أن يحافظ على نوع من التوازن كما يحافظ جسم الإنسان على حرارة ثابتة بغض النظر عن الحرارة الخارجية. ومع هذا فإن أي نظام ذا تحكم ذاتي يمكن أن يتأثر بالضغوط الخارجية مما يفقده المقدرة على العمل.

الأخطار على الأمن الغذائي

على مر العصور، استطاع المزارعون تكييف أنظمة الزراعة مع ما تقدمه الطبيعة من أمطار ودفء. ولهذا فإن أي ابتعاد عن هذه الظروف الموسمية سيضر بإنتاج المحاصيل وحياة المزارعين وفي النهاية أمنهم الغذائي. وبسبب زيادة تركز ثاني أكسيد الكربون و CFCs وغازات البيوت الزجاجية الأخرى، فإنه من المتوقع أن يتغير مناخ الكرة الأرضية في فترة الـ ٥٠ إلى ٧٥ سنة القادمة. إن النماذج المتاحة لا تستطيع تفسير كل تعقيدات مناخ العالم، ولا تستطيع التنبؤ بمقـدار التغيرات في الحـرارة وفي كميات الأمـطار التي ستحدث في أقاليم معينة. ومع ذلك فإنها تشير إلى الحاجة إلى بعض التعديلات المكلفة إذا أردنا المحافظة على الأمن الغذائي العالمي[٢٢].

ومع أن المناخ سيتغير بالتدريج كلما زاد تركز غازات البيوت الزجاجية، إلا أن صانعي النماذج يركزون تنبؤاتهم على ما سيحدث نتيجة وضع يساوي مضاعفة ثاني أكسيد الكربون فوق مستويات ما قبل التصنيع. ويتفق جميع هؤلاء على أن الحرارة سترتفع في كل مكان ولكن بمقادير أكبر في المناطق المعتدلة والباردة. وبما أن الهواء الأدفأ يحمل كمية أكبر من الرطوبة، لذا ستزداد كمية الأمطار بنسبة تتراوح بين ٧-١١٪. وفي العديد من الأقاليم ستعمل درجات الحرارة المرتفعة على تبخير كميات الأمطار الإضافية مما يسبب انخفاض في رطوبة التربة[٢٣].

تشير نتائج نماذج حديثة إلى جفاف متزايد في فصل الصيف في أواسط القارات في أقاليم العروض الوسطى من نصف الكرة الشمالي[٢٤]. وتشير أيضاً إلى انخفاض في رطوبة التربة المتوفرة للمحاصيل الصيفية في أماكن إنتاج الحبوب في أمريكا الشمالية والاتحاد السوفياتي. تنتج الولايات المتحدة وكندا أكثر من نصف صادرات الحبوب في العالم، وتصدر الولايات المتحدة لوحدها ٧٢٪ من مجموع صادرات العالم من الذرة. (انظر جدول ٩-٢).

جدول ٩-٢. حصة الدول الرئيسة من صادرات الحبوب في العالم في المناطق التي يتوقع أن تنخفض فيها الرطوبة الصيفية

البلد	الذرة	الأرز	القمح	كل الحبوب
		(بالمئة)		
كندا	١	صفر	١٩	١١
الاتحاد السوفياتي	صفر	صفر	٢	١
الولايات المتحدة	٧٢	١٧	٣٧	٤٤
المجموع	٧٣	١٧	٥٨	٥٦

Source: U.N. Food and Agriculture Organization, 1984 FAO Trade Yearbook (Rome, 1985).

وفي أجزاء كبيرة من هذه المناطق، تعمل كمية المياه القليلة على الحد من إنتاج المحاصيل. وقد تؤدي المواسم الأكثر جفافاً بالإضافة إلى موجات متعاقبة

من الحرارة الشديدة، إلى خسارة كبيرة في المحاصيل في مناطق الإنتاج الرئيسة. ومن الأمور البديهية مثلاً، ينخفض إنتاج الذرة ١٠٪ لكل يوم شديد الحرارة خلال مرحلة النضج. وهكذا فإن خمسة أيام من انخفاض الرطوبة أو زيادة الحرارة خلال تلك المرحلة الحرجة ستعمل على خفض محصول الذرة إلى النصف في منطقة حزام الذرة في الولايات المتحدة[٢٥].

وبالرغم من احتمال جفاف بعض المناطق المنتجة للغذاء إلا أنه يمكن أن يحدث توسع في الإنتاج في مناطق أخرى. فالظروف الرطبة والدافئة في الهند وفي معظم أجزاء جنوب شرق آسيا قد تعمل على زيادة انتاج الأرز فيها. أما الصورة بالنسبة لأفريقيا فهي غير واضحة. ولكن الدلائل القديمة، عندما كانت درجات الحرارة أعلى مما هي عليه اليوم، تشير إلى احتمال سقوط أمطار أكثر في شمال وشرق إفريقيا. وإذا صَحَّ هذا فسيزداد متوسط جريان أنهر النيجر والسينغال وفولتا والنيل الأزرق مما يزيد من كمية المياه المتوفرة للري. أما في العروض الشمالية فإن ارتفاع الحرارة واعتدال فصول الشتاء قد يعملان على استغلال المزيد من الأراضي. ولهذا سينتشر الإنتاج في كل من كندا وشمال أوروبا والاتحاد السوفياتي إلى الأراضي الشمالية[٢٦].

ولسوء الحظ فإن نقل إنتاج الحبوب إلى مناطق تستفيد من التغير المناخي سيكون مُكلفاً، وسيواجه العديدَ من الصعوبات. فالتربة الرقيقة والفقيرة التي تغطي معظم شمال ولايات وسكنسن ومنيسوتا وميتشجان تجعل من توسيع نطاق الذرة إلى الشمال استجابة لارتفاع درجات الحرارة أمراً مستبعداً وسيؤدي إلى انخفاض المحصول. وسيعمل فقر التربة على الحد من التوسع الزراعي شمالاً في اسكندنافيا وكندا، لأن تكون التربة المنتجة يحتاج إلى قرون عديدة. ومع أن مناطق الصحراء في شمال إفريقيا اليوم كانت أراضي أعشاب ومناسبة للرعي إلا أنها ستحتاج إلى زمن طويل حتى تستعيد خصوبتها السابقة[٢٧].

تواجه الأراضي الزراعية المنخفضة خطر ارتفاع مستوى مياه البحر نتيجة التغير المناخي. وبما أن المياه تتمدد عندما تسخن، لذا سترتفع مستويات المحيطات مع زيادة الحرارة في العالم. وستعمل الحرارة المرتفعة على إذابة

جليد الجبال وأجزاء من جليد المناطق القطبية، وهكذا تنتقل كميات من المياه من اليابسة إلى البحر. ومن جراء الدفء العالمي المتوقع بحلول منتصف القرن القادم سيرتفع مستوى المحيطات بحوالي متر مهدداً بغرق الأراضي الزراعية المنخفضة حيث يزرع معظم أرز العالم. ومن المناطق الهامة التي ستتأثر هي المناطق المكتظة بالسكان في أقاليم دالات الأنهار الخصبة من نهر الكانج في بنغلادش ونهر الهندوس في باكستان ونهر اليانجتزي في الصين[٢٨].

ستستجيب إنتاجية محاصيل الغذاء الرئيسة ليس فقط إلى التغيرات المناخية، بل إلى التركزات العالية من ثاني أكسيد الكربون في الجو. فثاني أكسيد الكربون عنصر أساسي في عملية التمثيل الكلوروفيلي، وهي العملية التي يقوم النبات الأخضر بموجبها بتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية من النشويات. وتشير التجارب إلى أنه طالما أن المياه والغذاء والعوامل الأخرى متوفرة، فإن كل ١٪ ارتفاع في تركيز ثاني أكسيد الكربون يمكن أن يزيد عملية التمثيل الكلوروفيلي بحوالي ٥, ٠٪[٢٩].

ومع هذا هناك عوامل أخرى قد تزيل الزيادة في عائدات الإنتاج، لأن النباتات قد تحتاج إلى المزيد من النيتروجين ومواد غذائية أخرى للوصول إلى إنتاجية أعلى أصبحت ممكنة بوجود مستويات أعلى من ثاني أكسيد الكربون. وفي نفس الوقت قد يزداد الضرر من الحشرات لأن المناخ الأدفأ يساعد على تكاثر الحشرات. هذا وقد يعاني إنتاج بعض المحاصيل، كالذرة، من منافسة الأعشاب الضارة[٣٠].

ومهما تكن النتائج بالنسبة للأقاليم الفردية، فإن التكيف مع التغير المناخي سيفرض تكاليف عالية على الحكومات والمزارعين. إن أنظمة الري المكلفة التي توفر الماء لحوالي ٢٧٠ مليون هكتار من أراضي المحاصيل المروية قد بنيت في ظل الظروف المناخية الراهنة. وتمثل الأراضي المروية هذه ١٨٪ من مجمل أراضي المحاصيل مع أنها تعطي ثلث المردود. وهكذا تلعب الزراعة المروية دوراً أكبر في سد احتياجات العالم الغذائية. إن أي تحول في أنماط سقوط الأمطار سيجعل من أنظمة الري الحالية ـ بما فيها الخزانات والأقنية والمضخات والآبار ـ غير ضرورية في بعض الأقاليم وغير كافية في أخرى.

أضف إلى هذا أن الانخفاض الموسمي في كميات المياه الناتجة عن التغير المناخي قد تؤثر على الزراعة المروية خصوصاً في المناطق التي تتزايد فيها المنافسة عن الأمطار المحدودة[٣١].

وإذا ألقينا نظرة على أحد الأقاليم الرئيسة في إنتاج الغذاء ـ إقليم غرب الولايات المتحدة ـ يُوضح لنا ما يمكن أن تكون عليه تكاليف التغير المناخي. وتشير نماذج المناخ إلى أن معظم هذه الأراضي قد تواجه انخفاضاً في كميات الأمطار وارتفاعاً في الحرارة. وبما أن معدلات التساقط والتبخر تقرر كميات المياه المتجددة، فإن توفر المياه في الغرب قد يتضاءل. وإذا افترضنا زيادة درجتين في الحرارة و ١٠٪ انخفاض في التساقط، سينخفض توفر المياه في كل حوض من أحواض الأنهار السبعة الغربية بنسبة تتراوح بين ٤٠ و ٧٦٪. (انظر جدول ٩-٣).

إن تخفيضات كهذه ستخلق عدم توازن حاد في موازنات المياه الإقليمية. فاستهلاك الماء المقدر بعد ثلاثة عشر عاماً من الآن ستزيد عن الكميات المتوفرة في ظروف المناخ الحالية في منطقة إقليم الكولورادو الأدنى. وحسب التغير المناخي المفترض سيزيد استهلاك عام ٢٠٠٠ الكميات المتجددة في أربع أقاليم، مع حدوث نقص محلي محتمل في الأقاليم الثلاثة الأخرى[٣٢].

وبما أن الزراعة هي أكبر مستهلك للماء فإن موازنة ميزانيات الماء الإقليمية يتطلب توقف الري في جزء كبير من الأرض. وهذا ما يحدث بالفعل في أجزاء من نهر الكولورادو الأدنى حيث تزيد كمية الاستهلاك عن الموارد المائية المتجددة. ومن أجل تصحيح عدم التوازن الناتج عن تغيرات مناخية كهذه يتطلب الأمر إخراج ما يقارب من ٤,٦ مليون هكتار من الري في الأقاليم الغربية السبعة، وهذا يساوي ٣٥٪ من الأراضي المروية حالياً[٣٣].

إن لمثل هذا التخفيض الهائل تكاليف عالية تقاس بمقدار الاستثمار في السدود والأقنية وأنظمة الري القديمة غير المستعملة أو بالقيمة الإحلالية للبنية التحتية. تتفاوت الاحتياجات الاستثمارية للري بشكل كبير، وإذا افترضنا تكاليف تتراوح بين ١٥٠٠ دولار و ٥٠٠٠ دولار للهكتار، ستصل تكاليف

جدول ٩-٣. كميات المياه في ظروف المناخ الحالية والمفترضة في غرب الولايات المتحدة

إقليم مصادر المياه	متوسط الكمية السنوية: المناخ الحالي	المناخ المتغير[1]	التغير	نسبة الطلب في عام ٢٠٠٠ إلى
	بليـــون متر مكعب		بالميه	الكمية المتغيرة
ميسوري	٨٥,٠	٣٠,٧	-٦٤	١,٢
اركنساس ـ وايت ـ رد	٩٣,٥	٤٣,٢	-٥٤	٠,٤
تكساس غلف	٤٩,٢	٢٤,٧	-٥٠	٠,٧
ريو غراند	٧,٤	١,٨	-٧٦	٣,٧
كولورادو الأعلى	١٦,٤	٩,٩	-٤٠	١,٧
كولورادو الأدنى	١١,٥	٥,٠	-٥٧	٢,٧
كاليفورنيا	١٠١,٨	٥٧,١	-٤٤	٠,٧
جميع الأقاليم	٣٥٠,٩[2]	١٦٥,٣[2]	-٥٣	٠,٩

(١) تفترض زيادة درجتين مئويتين في الحرارة و ١٠٪ انخفاض في التساقط.
(٢) لا تساوي مجموع العمود لأن جزءاً من كولورادو الأدنى يأتي من كولورادو الأعلى.

Source: Roger R. Revelle and Paul E. Waggoner, (Effects of a Carbon Dioxide-Induced Climatic Change on Water Supplies in the Western United States), in National Research Council, Changing Climate (Wahshington D.C.: National Academy Press, 1983).

الإحـلال إلى رقم يتـراوح بين ٧ بليون دولار و ٢٣ بليون دولار في الولايات المتحدة لوحدها. أما بالنسبة للعالم فإن المحافظة على الأمن الغذائي في كل ظروف المنـاخ المتغيرة قد يتـطلب أنظمة ري جديدة أكثر مما يمكن إضافته لمـواجهـة الـطلب المتـزايد على الغذاء. وإذا احتجنا إلى مثل هذه الأنظمة الإضـافية التي تسـاوي ١٥٪ من مسـاحة الأراضي المروية الحالية، ستكون

تكاليف التغير المناخي أكثر من ٢٠٠ بليون دولار لتعديل أنظمة الزي لوحدها على مستوى العالم[٣٤].

إن الحاجة إلى أنظمة تصريف جديدة، وتشييدات جديدة للحد من الفيضانات، وأنماط زراعية وتنوع في المحاصيل ستضخم تكاليف التكيف مع التغير المناخي. وبناء على بعض التقديرات تصل تكاليف ارتفاع درجات الحرارة درجتين ونصف مئوية إلى ٣٪ من الناتج الإجمالي العالمي. وسينتج جزء كبير من هذه التكاليف من فقدان الموجودات الرأسمالية في الزراعة. هذا وستواجه الدول الفقيرة صعوبات جمة في عملية التكيّف، وبما أن إنتاج الغذاء يولد جُزءاً كبيراً من دخولهم، لذا فإنهم سيعانون الكثير[٣٥].

ويبيّن خبير المناخ وليم كيلوج بأن هذا التكيّف سيظهر في ظل «تزايد في سكان العالم، وزيادة في الطلب على الطاقة، واستنزاف التربة والغابات وموارد طبيعية أخرى في أماكن عديدة». إن الفوضى الناتجة عن التغير المناخي ستخلق جيوباً جديدة من المجاعة، وخسارة في الدخل، وحاجة ماسة لاستثمارات رأسمالية هائلة لن تستطيع العديد من الدول تأمينها[٣٦].

الضغوط الكيماوية على الغابات

تشكل التهديدات المتزايدة من التغيرات في كيمياء الجو على الغابات مشكلة أخرى مكلفة في العقود القليلة القادمة. وفي خريف عام ١٩٨٣ ابهرت وزارة الزراعة والغذاء والغابات في ألمانيا الغربية العلماء والمواطنين بحقائق مثيرة، وهي: اصفرار ٣٤٪ من الأشجار في البلاد حيث تخسر أوراقها وتظهر عليها أعراض المرض. وتشير الدلائل الأولية إلى تلوث الهواء والمطر الحمضي كعوامل مساعدة أو مسؤولة عن هذه الخسارة. وأكدت دراسة تفصيلية في عام ١٩٨٤ أن مرض الأشجار الغريب هذا آخذ في الانتشار. ويؤكد المشرفون على الغابات أن نصف الغطاء الغابي البالغ ٧,٣٧ مليون هكتار قد تضرر بما في ذلك ثلثا ولاية بادن ورتنبيرغ في الجنوب الغربي، موطن الغابة السوداء الخرافية[٣٧].

ونتيجة لكشف ألمانيا الغربية لهذه الأوضاع المزعجة اتخذت دول أوروبية

أخـرى إجـراءات لتقييم أوضاع الغابات فيها. واستعملت أساليب أخرى في مسـح وتقـدير الأضـرار المستعملة في دول مختلفـة حتى تكون النتائج قابلة للمقارنة. وبالرغم من هذا تشير التقديرات مجتمعة بأن ٨٪ من الـ ١٣٦ مليون هكتار من الغابات عليها مظاهر الضرر. (انظر الجدول ٩-٤). إن الأعراض الـرئيسـة بالنسبـة لأشجار الصنوبر تشبه الأعراض في ألمانيا الغربية، وهي: اصفرار الأوراق الإبرية، سقوط الأوراق الإبرية القديمة، وأضرار للجذور الرفيعة التي تتغـذى منهـا الأشجـار. وتتـراوح نسبة الغابات المتضرّرة في ست دول ـ النمسـا وتشيكـوسلوفاكيا ولكسمبورغ وهولندا وسويسرا وألمانيا الغربية ـ بين الربع والنصف[٣٨].

إن التقديرات الوطنية في بعض الحالات تخفي مدى الضرر الحاصل في بعض الأقاليم. يقدر مجموع الضرر في السويد بحوالي ٤٪، ولكن يقدر بأن ٢٠٪ من غابات الجنوب تضررت. وفي عام ١٩٨٤ قام مراقبو الغابات في فرنسا بمسح أجزاء من الجورا الفرنسية ومنطقة الساس-لورين المجاورة إلى الغابة السوداء في ألمانيا الغربية، ووجدوا بأن أكثر من ثلث الأشجار كانت متضررة و ١٠٪ على الأقل متضررة بشكل كبير[٣٩].

وفي الحقيقة أن إقليم الألب الذي يغطي أجزاء من النمسا وفرنسا وإيطاليا وسويسرا وألمانيا الغربية يظهر أسوأ الضرر. وقد حذر المسؤولون السويسريون بأن الانهيارات والانزلاقات الناجمة عن فقدان الغطاء الشجري ستضر بالبيوت والمزارع، وقد تجبر الناس على هجر بعض المناطق. وتشتمل التقديرات في دول أوروبا الشرقية على أشجار ميتة وأشجار متضررة، ولكن لا تشتمل على الأشجار التي ما تزال أوراقها الابرية في مراحلها الأولى من الاصفرار والسقوط. ولسـوء الحظ لا تتـوفـر بيانـات عن مدى الأضرار التي لحقت بغابات اليونان وإيرلندا والبرتغال أو إسبانيا[٤٠].

يقتصر وجود الأشجار المتضررة في أمريكا الشمالية على غابات المناطق

جدول ٩-٤ . الضرر المقدر في غابات أوروبا، ١٩٨٥

البلد	مجمل مساحة الغابات (آلاف الهكتارات)	المساحة المتضررة المقدرة (الهكتارات)	النسبة من المجموع المتضرر بالمئة
النمسا	٣٧٥٤	٩١٠	٢٤
بلجيكا	٦١٦	١١١	١٨
تشيكوسلوفاكيا	٤٦٠٠	١٢٥٠	٢٧
المانيا الشرقية	٢٩٠٠	٣٥٠	١٢
فرنسا	١٥٠٧٥	(١)_	(١)_
هنغاريا	١٦٠٠	١٧٦	١١
إيطاليا	٦٣٦٣	٤٠٠	٦
لوكسمبورغ	٨٢	٤٢	٥١
هولندا	٣٠٩	١٣٨	٤٥
النرويج	٨٣٣٠	٤٠٠	٥
بولونيا	٨٦٧٧	٦٠٠	٧
السويد	٢٦٥٠٠	١٠٠٠	٤
سويسرا	١٢٠٠	٤٠٨	٣٤
ألمانيا الغربية	٧٣٧١	٣٨٢٤	٥٢
يوغسلافيا	٩٥٠٠	١٠٠٠	١١
أخرى	٣٩٠٨٧	-	-
المجموع	١٣٥٩٦٤	١٠٦٠٩	٨

(١) تم إجراء المسوح في أقاليم مختارة فقط .

Sources: Allgemeine Forstzeitschrift, No. 46, Munich, West Germany, November 16, 1985; West German data from Federal Ministry of Food, Agriculture, and Forestry; (1985 Forest Damage Survey), Bonn, October 1985;

Italian data from U.N. Food and Agriculture Organization, Forestry Department, (Long-Range Air Pollution: A Threat to European Forests), Unasylva, No. 37, 1985.

المـرتفعة في سلسلة الجبال الشرقية. وأكثر الأنواع تأثراً هي أشجار الصنوبر الحمراء، وهناك مؤشرات عن الضرر الذي لحق بالأشجار عندما اكتشف أن أشجار الصنوبر في إقليم واسع في جنوب شرق الولايات المتحدة انخفض نموه بين ٢٠ و ٣٠٪ في الفتـرة ١٩٧٢-١٩٨٢ عمـا كان عليه بين عام ١٩٦١ و ١٩٧٢. وفي تقريرٍ صَدَرَ في شهر تشرين ثاني عام ١٩٨٥ يقول محللو خدمات الغابات في الولايات المتحدة بأن صافي النمو السنوي من الأخشاب اللينة في الجنوب الشرقي قد «وصل إلى قمته وبدأ يتراجع بعد اتجاه إلى الأعلى دام فترة طويلة»[٤١].

ومع أنه من الصعب توثيق هذا إلا أن الانخفاض غير المتوقع كان قد حدث في سلسلة جبال الابلاش وامتد إلى نيوانجلند. وفي شهادة مكتوبة قدمها عالم التربة آرثر. هـ. جونسون إلى مجلس الشيوخ الأمريكي في شباط عام ١٩٨٤ يقول فيها: إن انخفاضات مماثلة في النمو قد سبقت «الحوادث المفزعة» في دمار غابات أوروبا[٤٢].

يستمر مئات العلماء في الدول المتأثرة بالبحث عن أسباب هذا التدهور الـذي لم يسبق له مثيل. ويقـدمـون العديد من الفرضيات التي تتحدث عن صعوبة اكتشاف الأسباب في النظم الطبيعية المعقدة. ومع هذا يتفق معظمهم على أن تلوث الهـواء ـ مصحـوبـاً بالعـوامـل الـطبيعية كالحشـرات والبـرودة والجفاف ـ هو السبب الرئيس. وتتركز التفسيرات على الأمطار الحمضية وثاني أكسيد الكبريت الغازي، ومركبات النيتروجين، والأوزون والتي يعمل كل واحد منها أو مجتمعة على إلحاق الضرر بالنباتات الخضراء وتربة الغابات أو كليهما[٤٣].

تمثل التغيرات في التربة أصعب المشاكل، لأنه من الصعب عكسها في المستقبل القريب. وتبين غابة متضررة إلى حد بعيد في شرق أوروبا الدلائل على التغيرات التي حدثت للتربة والتي مازالت تحدث. وهناك أجزاء واسعة من جبـال ارزبيرج في شمـال غرب براغ في تشيكـوسلوفـاكيا هي أراض مقفرة. وبالقرب من مدينة موست الصناعية، حيث تحرق المصانع هناك الفحم الغني بالكبـريت، تصـل تركـزات ثاني أكسيد الكبريت إلى ١١٢ ميكروغرام للمتر

المكعب، وهذا أعلى من المعدلات في المناطق الصناعية الأخرى، و١٣ مرة أعلى من غابة غير متضررة تقع على بعد ١٦٠ كم إلى الجنوب الشرقي. وهكذا نجد العديد من الأشجار تحتضر في هذا الإقليم الصناعي تحت ضغط التلوث الجوي الذي يحدث قرب المصادر الكبيرة للتلوث غير المقيد[٤٤].

وتشير القياسات التفصيلية لكيمياء الماء في منطقة جبال ارزبيرغ إلى أن التحمض قد غير قدرة التربة على إعالة الأشجار. ووجد الكيميائي التشيكي توماس باسيس أن خسارة المواد المغذية من المغنيزيوم والكالسيوم من الغابات المتضررة كانت على التوالي ٦,٨ و ٧,٥ مرة أكبر في الغابات الريفية غير المتضررة. (انظر جدول ٩-٥). ويمكن تفسير نصف الخسارة في المواد

جدول ٩-٥. الكيماويات في المياه الجارية من مناطق الغابات في تشيكوسلوفاكيا

المادة الكيماوية	الغابة الريفية غير المتضررة[١]	الغابة المتضررة[٢]	نسبة المتضرر إلى غير المتضرر
	كغم/ هكتار/ سنة		
بوتاسيوم	١,٩	٦,٨	٣,٦
ماغنيزيوم	٣,٨	٢٦,٠	٦,٨
كالسيوم	٩,٩	٧٤,٠	٧,٥
سلفيت	٩,٠	٩٦,٠	١٠,٧
نيترات	٠,٦	١٢,٠	٢٠,٠
المنيوم	٠,١	٣,٢	٣٢,٠

(١) متوسط ٧ سنوات، ١٩٧٦-١٩٨٢.

(٢) متوسط ٥ سنوات، ١٩٧٨-١٩٨٢.

Source: Tomas Paces, (Sources of Acidification in Central Europe Estimated From Elemental Budgets in Small Basins), Nature, May 2, 1985.

المغذية بأنها ناتجة عن المعدلات العالية من التساقط التي تحمل معها المواد الكيماوية وتسقط على الغابة[٤٥].

كان الجريان من الألمنيوم، الذي يبقى عادة محجوزاً مع المعادن في التربة، ٣٢ مرة أكبر في الغابة المتضررة منه في الغابة غير المتضررة. وبفقدان الكالسيوم والعناصر الأخرى التي يمكن أن تمنع الحموضة، يمكن أن يعمل الألومنيوم كعامل عازل. وفي أشكاله المحلولية يمكن أن يشكل هذا المعدن تهديداً للأشجار. ويعتقد بيسس بأن هذا يعكس عدم مقدرة الغابة المتضررة على إعادة تدوير النيتروجين، وهذا خسارة لعمل النظام الطبيعي الأساسي.

وتعرضت الغابات في الأقاليم الصناعية في أوروبا الشرقية إلى أحمال ثقيلة من التلوث في العقود القليلة الماضية. ومع هذا تدعم النظرية الايكولوجية إمكانية المزيد من انتشار الدمار كلما زاد تراكم الضغوط الكيماوية على مر الزمن. ويقول س. ز. هولينج من جامعة بريتش كولومبيا بأن من الممكن أن تمتص الأنظمة الطبيعية الضغوط بنجاح، ولهذا سيكون التغير بطيئاً. وفي النهاية يمكن أن تصل الأنظمة إلى نقطة حرجة من الضغط لن تكون قادرة على تحملها بعد ذلك[٤٦].

وتتعرض البلدان إلى خسائر اقتصادية كبيرة من المستويات الحالية للضغوط الكيماوية على الغابات، وستزداد الخسائر بشكل ملحوظ إذا استمرت الأمور على ماهي عليه. وتقدر الأكاديمية التشكوسلوفاكية للعلوم تكاليف التلوث الحمضي بحوالي ١,٥ بليون دولار سنوياً، ويشكل دمار الغابات الجزء الأكبر من هذه الخسارة. وفي ألمانيا الغربية يقدر الباحثون في الجامعة الفنية في برلين بناء على الاتجاهات الحالية أن صناعة الغابات الألمانية ستتحمل خسائر مباشرة تصل إلى ١ بليون دولار سنوياً حتى عام ٢٠٦٠. فبالإضافة إلى توفير الأخشاب، تعمل الغابات على حماية نوعية الجداول والمياه الجوفية، وتحد من انجراف التربة وتوفر المتعة الترفيهية للسكان المحليين وللزائرين. وإذا أضفنا الخسائر المقدرة من هذه الأمور، يقدر الباحثون البرلينيون بأن مجموع الضرر في غابات ألمانيا الغربية في العقود القليلة القادمة سيصل إلى ٢,٤ بليون دولار في العام[٤٧].

وفي الولايات المتحدة أوضحت التجارب المخبرية والحقلية إضافة إلى الانخفاض في نمو الأشجار بأن الأوزون يخفض إنتاجية بعض أنواع الأخشاب التجارية بالإضافة إلى ما هو معروف عنه في تخفيض إنتاجية المحاصيل. وقام الباحثون في جامعة كورنل، وعرضوا أربع أنواع من الأشجار ـ الصنوبر الأبيض، والحور وسكر القيقب والبلوط الأحمر ـ إلى مجموعة من تركزات الأوزون كتلك التي نجدها في الولايات المتحدة. وفي جميع هذه الأنواع انخفض صافي التمثيل الضوئي، وهو مقياس نمو الأشجار، مع ازدياد تركز الأوزون. وهكذا وبدون وجود أي ظواهر خارجية على الضرر، تفقد هذه الأشجار، التي تغطي مساحات واسعة، حيويتها وتنمو ببطء. إن تخفيض النمو بمقدار ١-٢٪ سنوياً يصل إلى خسارة كبيرة من الخشب أثناء حياة الشجرة[٤٨].

تضع ضغوط التلوث المزمنة جزءاً كبيراً من غابات العالم الصناعي في خطر، ففي سنة واحدة قفز الضرر الذي لحق بغابات ألمانيا الغربية من ٣٤٪ إلى ٥٠٪. وأظهر مسح الأضرار الذي أجري عام ١٩٨٥ ارتفاعاً طفيفاً، وصل الى ٥٢٪، وقد يكون هذا بسبب الظروف المناخية المناسبة للغابات في تلك السنة. ولا أحد يعرف مدى الزيادة في الضرر الذي سيلحق بالغابات في كل أوروبا ـ يقدر الآن بما لا يقل عن ٨٪، ولا أحد يعرف كم من أشجار الغابات المتضررة ستموت، أو متى ستصل إلى الحدود التي لا رجعة بعدها. إنه من غير المعروف فيما إذا كان النقص في النمو في غابات شرق الولايات المتحدة سيماثله نقص في النمو في الدول الأوروبية. وفي هذه الأثناء ومع مرور الزمن واستمرار ضغوط التلوث تزداد تكاليف الخسارة في الغابات، ويزداد تدهور الغابات واحتمال موتها.

التهديدات على صحة الإنسان

في عام ١٧٧٥، خلال الثورة الصناعية في بريطانيا، عرف عالم الأوبئة بيرسيغال بوت أول مادة محدثة للسرطان في البيئة. ووجد معدلات عالية مفاجئة من السرطان في وعاء الخصيتين بين منظفي المداخن الإنكليز، وبين أن السبب هو تعرضهم للكثير من السخام الناتج عن الاحتراق[٥٠].

ومنذ ذلك الحين انتشرت الأخطار الصحية للملوثات البيئية بشكل واسع بين الناس، وإن نفس الملوثات الناتجة عن الوقود الحفري الذي يؤذي النبات يؤذي الإنسان أيضاً. وأصبحت المعادن التي تطلق إلى الجو محط اهتمام متزايد، ومؤخراً أصبح انتشار الكيماويات الاصطناعية التي تستعمل في انتاج المحاصيل، والتي تنتشر في الهواء، ويتم التخلص منها على الأرض، إضافة جديدة للمخاطر الصحية البيئية.

من الصعب على العلماء أن يثبتوا بدون أدنى شك بأن ملوثات الهواء تسبب الأضرار للغابات كما أنه من الصعب إثبات أن التلوث يسبب أنواعاً معينة من المرض والوفاة. ومع هذا تعمل الضغوط الإضافية على الجسم البشري مع ملوثات الهواء على تقليل إنتاجية الإنسان وتقصير حياة المعرضين له كما هو الحال بالنسبة للأشجار. ويقدر مكتب التقييم التقني بأن الخلطة الحالية من الكبريت والمواد الأخرى في الهواء قد تسبب ٥٠ ألف حالة وفاة مبكرة في الولايات المتحدة كل عام ـ ٢٪ من الوفيات السنوية. هذا ويتعرض ٤ من كل ١٠ من الأمريكيين إلى تركزات عالية من الأوزون خلال فصول الربيع والصيف عندما تكون ظروف الطقس ملائمة لتكون الأوزون. ويعاني أكثر ما يعاني الأشخاص البالغ عددهم ١٦ مليون نسمة المصابون بانتفاخ الرئة وداء الربو وأمراض تنفسية مزمنة أخرى[٥١].

وفي مدن العالم الثالث النامية أضافت الأشياء المنبعثة من محطات الطاقة والمصانع والسيارات الكثير إلى تلك الأشياء المنبعثة من حرق الخشب والفحم في البيوت. وبين عامي ١٩٧٦ و ١٩٨٠ بلغ متوسط تركزات ثاني أكسيد الكبريت السنوية في مدينة ساوباولو في البرازيل حوالي ٢٥٪ أعلى من المستوى الذي وضعته الولايات المتحدة لحماية صحة الناس. وبالمثل فقد بلغ متوسط تركزات ثاني أكسيد الكبريت في بكين في الصين حوالي ٨ مرات أعلى من المعدل للدولة، وبلغ متوسط التركزات في مدينة جونغ جينج ٢١ مرة أعلى من المعدل للدولة. ويعزي موظفو الصحة في شنغهاي المعدل العالي لوفيات السرطان إلى تلوث الهواء أكثر من أي مكان آخر في الدولة[٥٢].

يتزايد الاهتمام بالمعادن الثقيلة التي تنطلق إلى البيئة من خلال عمليات

الحرق والصهر والتخلص من الفضلات وعناصر صناعية أخرى، وهناك بعض المعـادن ـ بما فيها النحاس والحديد والزنك ـ التي تعدُّ موادّ مغذية ضرورية يحتـاجهـا الجسم بكميات قليلة. أما المعادن الأخرى كالرصاص والكادميوم والزئبق فهي لا تفيد من الناحية الغذائية. وإذا دخلت إلى الجسم بكميات كبيرة فإن أيّاً من النوعين يمكن أن تكون له آثار سيئة بما فيها السرطان، ويمكن أن تتلف الكبد والكلى والجهاز العصبي المركزي[٥٣].

أدرك العلمـاء منذ زمن بعيدٍ أن وجود مستوى عالٍ من الرصاص في دم الإنسان يمكن أن يسبب أضراراً صحية خطيرة. ومنذ العشرينات عندما بدأت المصـافي بإضـافـة الـرصاص إلى البنزين، ازداد تعرض الناس لأخطار هذا المعدن الثقيل. ويقدر بأن هناك ٦٧٥ ألف طفل في الولايات المتحدة يعانون من تركـزات عالية من الـرصـاص في دمـاءِهم. وتختلف التأثيرات باختلاف الكميات الموجودة ولكنها تشتمل على أضرار للكلى والكبد والجهاز العصبي والتنـاسلي، ويعيق النمـو ويؤثـر على عملية تجـدد الدم. ونتيجة للاستعمال المتزايد للسيارات في العقود القليلة الماضية فقد تعرض ملايين الأطفال في جميع أنحاء العالم إلى كميات ضارة من الرصاص[٥٤].

تتزايد مخاطر بعض المعادن ـ الكاديوم والرصاص والزئبق ـ نتيجة مقدرتها على التزايد في التركز كلما ارتفعت إلى أعلى في سلسلة الغذاء. وفي الولايات المتحدة، ونتيجة للمستويات العالية من الزئبق فقد قامت دائرة الموارد الطبيعية في ولاية وسكونسن بإصدار تحذير في عام ١٩٨٥ ضد تناول أنواع معينة من السمك من ١٥ بحيرة في تلك الولاية. وبالمثل، فقد وجد أن كميات الزئبق في السمك المفلطح والزيكة والقد في خليج غدانسك في بولندا قد زادت عن المستويات المسموح بها بكثير[٥٥].

وفي السنـوات الأخيرة، وجـد العلمـاء بأن الأمـطار الحمضية تزيد من المخاطر الصحية الناتجة عن المعادن. وأظهرت المسوحات في أقاليم تسقط فيها الأمطار الحمضية، إضافة إلى تجارب أخرى حيث أضيف الحامض إلى بعض البحيرات، إن الألمنيوم والكاديوم والزئبق والرصاص تصبح قابلة للذوبان

كلما زادت المادة الحمضية. وهكذا تستطيع المياه الحمضية إذابة المعادن من التربة وترسبات البحيرات وتتسرب إلى الينابيع والجداول والخزانات المائية، وتقوم بتلويث السمك ومصادر المياه، وتستطيع كذلك إذابة المعادن الضارة في الأنابيب والمجاري البلدية أو أنظمة المياه المنزلية كما يلوث مياه الشرب. وفي جبال أديروندك في نيويورك، وهو إقليم تسقط عليه معدلات عالية من التساقط الحمضي، وجد من عينات مياه الشرب أن تركزات الزئبق قد وصلت إلى ١٠٠ مرة أعلى من المستوى الذي وضع لحماية صحة الناس[٥٦].

إن مقدرة الأمطار الحمضية في تحريك الألمنيوم، أكثر معدن يتوفر في الطبقات العليا من الأرض، هي أمر مزعج لأن الألمنيوم يبقى عادة مرتبطاً بالمعادن في التربة، وهكذا فلا ضرر منه على الكائنات الحية، وبما أنه يذوب في المياه الحمضية فقد ارتفعت تركزاته إلى مستويات، أصبحت ضارة للحياة المائية، وقد يضر ببعض الأشجار التي تنمو في بعض أنواع من الترب[٥٧].

واقترح بعض الباحثين مؤخراً احتمال وجود صلة بين الألمنيوم ومرض الالزيمير الذي يصاحبه فقدان الذاكرة. وجاءت هذه العلاقة من دراسات على أورام الخلايا الليمفاوية، وجدت عند تشريح مخ ضحايا مرض الالزيمير. وباستعمال أساليب أشعة اكس الحساسة وجد الدكتور دانيال بيرل ـ باحث في جامعة فيرمونت ـ تركزات من الألمنيوم في تشابكات الخلايا. ووردت دلائل مدعمة من دراسات بيرل على السكان الأصليين في جزيرة غوام ومكانين آخرين في غرب المحيط الهادي. وأظهر أن السكان في المناطق الثلاث فيه نسب عالية من التدهور العصبي، ووجد أن الأقاليم الثلاثة هذه تحتوي تربتها على كميات كبيرة من البوكسايت وهو خامات الألمنيوم[٥٨].

ولكن كيف يدخل الألمنيوم إلى خلايا الأعصاب المتضررة لضحايا الالزيمير، وفيما إذا كان وجوده سبباً أو مسبباً، يبقى أمراً غير معروف. وتشير آثار الألمنيوم المهلكة للسمك بأن هذه الكائنات لم تتكيف بنجاح مع الكيمياء المتغيرة في بيئاتها. ويقول بيرل بأنه يمكننا التكهن فيما إذا سيجد البشر أنفسهم في وضع مشابه[٥٩].

هنـاك مجمـوعة ثالثة من الأخطار الصحية، بالإضافة إلى ملوثات الوقود الحفري والمعادن، تنبع من إدخال الكيماويات الاصطناعية إلى البيئة. وهناك اليوم ما يزيد على ٧٠ ألف مادة كيماوية نستعملها في حياتنا اليومية، ويضاف إليها بين ٥٠٠-١٠٠٠ مادة جديدة كل عام. هذا وتختلف التقديرات المتعلقة بوفيات السرطان التي تسببها هذه المواد، ولكن التقديرات تشير إلى نسبة تتراوح بين ١ و ١٠٪[٦٠].

وإذا قورنت هذه المواد مع التبغ، الذي يسبب ٣٠٪ من وفيات السرطان وخمس الـوفيات جميعهـا في الولايات المتحدة، فإن المخاطر المعروفة من الكيماويات الاصطناعية ليست بنفس الأهمية. وبالرغم من هذا يعتقد بعضُ الباحثين بأنَّ هذه المركبات مسؤولة عن عشرات الآلاف من الوفيات كل عام في الولايات المتحدة لوحدها. وبسبب الفارق الزمني، يتراوح بين ٢٠-٤٠ سنة، بين التعرض للكيماويات المسببة للسرطان وظهور المرض، فإن عدد حالات السرطان التي سببتها هذه المواد المصطنعة قد يتزايد بشكل كبيرٍ في العقود القادمة[٦١].

أضف إلى هذا أن أكبر المخاطر الناتجة عن الكيماويات المصنعة لا ينبع مما نعرفه عن مخاطرها الصحية بل مما لا نعرفه. وهكذا لا يتوفر إلا القليل من البيانـات المتعلقة بأضرار هذه الكيماويات المستعملة الآن وأثرها على البشر المعرضين لها، وإن أي حكم عليها هو عبارة عن تخمين لا أكثر.

ويقدر مجلس الأبحاث الوطني الأمريكي بأن هناك حوالي ٥٣,٥٠٠ مادة كيماوية تستعمل على نطاق تجاري في الولايات المتحدة اليوم. ومن القوائم المتـوفـرة يمكن تصنيف هذه المـواد إلى خمس فئـات: المبيدات وعنـاصر المبيدات، ومواد التجميل، والأدوية، والمواد المضافة للأغذية، وفئة واسعة من الكيماويات التجارية التي تشتمل على مركبات تدخل في قوائم المواد الضارة التي حضرتها وكالة حماية البيئة الأمريكية. وتشتمل الفئة الأخيرة على معظم الكيماويات الصناعية.

تمثل هذه المواد ومواد المبيدات أكبر تهديدٍ للسكان من خلال التعرض

نتيجة الإهمال. هذا وتترك المبيدات بقايا في الغذاء، وتصل إلى موارد المياه الجوفية، أو تنتشر في الهواء. وبالمثل يمكن أن تنطلق الكيماويات الصناعية إلى الهواء أو تتسرب إلى مياه الشرب عندما يتم تخزينها أو التخلص منها على سطح الأرض[٦٢].

وبالرغم من إمكانية التعرض البشري الواسع لها، لم تجرِ أي فحوص، أو عدد قليل منها، لمعرفة مدى السُّمية بها. هذا ولا تتوفر أي معلومات عن التأثير السُّمي لحوالي ٧٩٪ من الكيماويات التجارية. وقد تمَّ فحص أقل من خمسها لمعرفة تأثيراتها الحدّة وأقل من العشر لمعرفة تأثيراتها المزمنة، (المسببة للسرطان مثلاً)، وعلى الإنجاب وغير ذلك. ووجد مركز البحث الوطني الأمريكي بأن الكيماويات التي تنتج بكميات كبيرة لا يتم فحصها أكثر من الكيماويات التي تنتج بكميات أصغر[٦٣]. إن معرفتنا القليلة عن مدى تعرض وتأثر الناس بهذه المواد، يشبه لعبة الروليت الروسية بصحة الناس.

لاقت المبيدات فحوصات أكثر، ولكن ليس بالقدر الكافي. ويقدر شارل بينبروك المدير التنفيذي للمجلس الزراعي التابع لأكاديمية العلوم الوطنية بأنه بين ٦٠ و ٧٥٪ من المبيدات المستعملة في الغذاء والتي طُرحت في السوق في العقد الماضي تناسب المستوى الحالي الذي وضعته وكالة حماية البيئة. ودعت جميع مشاريع القوانين التي مرت على مجلسي الكونغرس في خريف عام ١٩٨٦ إلى الإسراع في إعادة فحص مئات المركبات القديمة التي سمح لها قبل معرفة الأخطار الصحية الكاملة لهذه المبيدات. وبما أن تكاليف المبيدات القديمة أقل من تكاليف المواد الجديدة فإنها ما زالت شائعة الاستعمال بين مزارعي العالم الثالث[٦٤].

وفي غياب فحوصات كافية، تأتي معرفتنا للآثار السيئة للكيماويات من نشوء مخاطر صحية حقيقية. ومن الأمثلة الكلاسيكية استعمال الـ Diethylstilbestrol الذي سبب السرطان المهبلي عند بنات النساء اللواتي استعملن هذا المركب خلال فترة حرجة من حملهن. وعانى الرجال تأثيرات انجابية من التعرض للعديد من الكيماويات أثناء الحمل بما فيها كلوريد الفينيل، والكيبون، والرصاص، وبعض المبيدات الأخرى. وفي الحقيقة أن

هنـاك عشـرين مادة كيمـاوية لها علاقة بتأثيرات الإنجاب الضارة في الرجال والنسـاء من خلال ظروف العمل. ومن الصعب التعرف وإثبات الضرر الذي يلحق بالسكان ككل[٦٥].

اشارت نتائج حديثة إلى وجود تلوث بشري والتي أثارت الانتباه إلى وجود أخطار صحية. ويعتقد بعض المحققين على سبيل المثال بأن الديوكسين ـ من الكيماويات المعروفة جيداً ـ موجود في كل إنسان يعيش في الدول الصناعية، وأن المستويات المكتشفة بين الناس هي دون المستوى الذي يسبب حالات تسمم حادة، ولكن التأثيرات طويلة المدى للتلوث ذات المستوى المتدني تبقى غير واضحة[٦٦].

عمل الديوكسين على خلق أورام في الحيوانات وله علاقة بأنواع نادرة من السرطان في الناس. وتشير أدلة حديثة إلى أن الديوكسين يمكن أن يتلف نظام المقاومة، الذي يضعف قدرة الناس على مقاومة المرض. ويتأثر الأطفال الذين يرضعون للأخطار من أي تأثيرات سامة. وأجرى الباحثون تقديرات تفيد بأنه من خلال الدهن الملوث بالديوكسين في حليب الأم يمكن أن يحصل الطفل الذي أرضعته أمه لمدة سنة على ١٨ مرة من المستوى المسموح به الذي وضعه مركز مراقبة الأمراض في الولايات المتحدة[٦٧].

ويأتي المزيد من الأدلة على انتشار أخطار الكيماويات من الأبحاث التي تجري في جامعة ولاية فلوريدا التي تشير إلى مساهمة الكيماويات البيئية في انخفـاض خصـوبة الذكور. فعند الذكور الأمريكيين انخفضت كثافة السائل المنـوي ـ وهـو قياس الخصوبة ـ بشكل كبير منذ منتصف القرن. وأوضحت دراسة أجريت على ١٣٢ طالب جامعي في عام ١٩٧٩ بأن ذكراً من كل أربعة كانت منخفضة بما فيه الكفاية لتؤثر على نجاحهم الإنجابي. فقد احتوت كل عينة من السائل المنوي على كيماويات اصطناعية بما فيها Pentachlorophenol (مبيد واسـع الانتشار ويستعمل للمحافظة على الخشب و Polychlorobiphenyls وايضاً الـ د. د. ت. وبناء على ما قاله الباحثون شكلت المواد السامة أكثر من ربع الفرق في كثافة السائل المنوي الذي وجد بين الطلبة[٦٨].

يبين آرثر ج. فاندر استاذ الفسيولوجيا في جامعة متشغان أنه عندما ندرس كيف يؤيض الجسم للكيماويات البيئية، «يجب أن لا نفترض بأن الأطفال هم كبارٌ صغار الحجم». إن أنظمة الدفاع الاكزيمية لا تنضج تماماً في الأطفال حديثي الولادة أو الأطفال الرضع. إن صلة الأطفال بالبيئة قد تكون محدودة، ولكنهم معرضون إلى الكيماويات البيئية من خلال أمهاتهم. فكل مادة كيماوية موجودة في دم الأم ستصل إلى حليبها حيث يستوعبها الطفل الذي يرضع. أضف إلى هذا وبما أن السخد مصمم للانتشار يمكن أن تمر المواد الكيماوية الموجودة في دم المرأة الحامل، بكميات متفاوتة، إلى الجنين الذي ينمو ويتطور. إن تركز الـ د. د. ت في دم الجنين، مثلاً، يكون نصف تركزه في الدم المستمد من الأم[٦٩].

ونتيجة للتقدم في التقنيات الطبية والمزيد من الدراسات الجيدة في مجال الأوبئة، تتبين العلاقة بين المواد الكيماوية وتأثيرها على الصحة. ويحاول الباحثون الآن إمكانية ربط مرض باركنسون بالتعرض للكيماويات البيئية[٧٠]. إن العالم بحاجة إلى المزيد من الأبحاث للكشف عن الطرق المعقدة التي تؤثر بها المواد الكيماوية على جسم الإنسان. وبما أن العديد من تأثيرات المواد السامة لا تظهر إلا بعد عدة عقود من تعرض الإنسان لها، لذا فإنه سيمر وقت طويل قبل أن ندرك مخاطر المواد الكيماوية بالكامل.

الإقلال من الأخطار

أحدثت الدول الصناعية تغيرات عديدة ومتسارعة في كيمياء الأرض، ولهذا فإن التهديدات الناتجة المتعلقة بالأمن الغذائي والغابات وصحة الإنسان تشكل مخاطر كبيرة في السنوات القادمة. إن وضع استراتيجية لتقليل الأضرار الكيماوية على البشر، حيثما أمكن، من خلال حل العديد من المشاكل يستحق المساندة الفورية.

وبسبب اعتماد المجتمعات في الماضي والحاضر على الوقود الحفري، فلا بد إذن من حدوث تغير في المناخ. وبما أن ثاني أكسيد الكربون هو المتغير الأساسي في معادلة المناخ، فإن مدى التغير المناخي وسرعة التغير سيعتمدان

على استعمال الفحم والبترول والغاز الطبيعي في المستقبل. وإذا عادت كمية الكربون الذي تقـذف إلى الجو من جراء حرق الوقود الحفري في العالم إلى مستوياتها قبل عام ١٩٧٣ - ٤٪ في السنة ـ سيصل تركز ثاني أكسيد الكربون في الجو إلى ضعف المستويات التي كانت سائدة في فترة ما قبل التصنيع في غضون أربعين عاماً. (انظر جدول ٩-٦). وفي المقابل فإن إيقاف النمو عند ١٪ في السنة سيؤجل مضاعفة ثاني أكسيد الكربون في الجو لأكثر من قرن من الزمان.

جدول ٩-٦. المدة المقررة لمضاعفة ثاني أكسيد الكربون فوق مستويات ما قبل التصنيع في ظل معدلات نمو متفاوتة في الكميات المنبعثة من الوقود الحفري

معدل النمو للمواد المنبعثة من الوقود الحفري	السنة التي يتضاعف فيها تركز ثاني أكسيد الكربون
(بالمئة)	
٤	٢٠٢٦
٣	٢٠٣٦
٢	٢٠٥٤
١	٢١٠٠

Source: Adapted from William W. Kellogg and Robert Schware, Climate Change and Society (Boulder, Colo. : Westview Press, 1981).

إنَّ هدف تحديد النمو السنوي لانبعاث الكربون إلى ١٪ كان يظهر وكأنه هدف غير معقول قبل عشر سنوات. ولكن يظهر أنه ممكن اليوم. ففي العقد الذي جاء بعد عام ١٩٧٣ نما انبعاث الكربون عالمياً بمعدل منخفض ومشجع وصل إلى ١,١٪ في السنة، وهذا يساوي ربع ما كان عليه قبل عام ١٩٧٣. وفي الحقيقة أن انبعاث الكربون في الواقع قد انخفض لمدة أربع سنوات متتالية

بين عام ١٩٨٠ وعام ١٩٨٣ . ولكن نتيجة لانخفاض أسعار البترول والانتعاش الاقتصادي القوي في العديد من الدول، فإن المحافظة على هذا المعدل المنخفض سيتطلب استثمارات كبيرة في كفاءة الطاقة وفي مصادر الطاقة البديلة أكثر مما يحتاجه السوق. إضافة إلى هذا، فإن المحافظة على معدل ١٪ في العالم يعني وضع غطاء على انبعاث الكربون من الدول الصناعية من أجل السماح للدول النامية بمتابعة مسيرتها التنموية[٧١].

هذا ولم تتخذ أي أمة خطوات محددة وموجهة نحو تحديد انبعاث الكربون إلى الجو، لأن تحديدات كهذه ستحد من ملوثات الوقود الحفري الأخرى مما يقلل من الأمطار الحمضية وتلوث الهواء، وهكذا يزول الخطر الذي يهدد الغابات وصحة الناس. وفي الحقيقة أنه لولا الانخفاض الذي بلغ ٨٪ في مجمل استهلاك الطاقة في ألمانيا الغربية لاستمر ضرر تلوث الهواء يؤثر على الغابات أكثر من ذي قبل[٧٢]. وبالتركيز فقط على التقنيات للحد من التلوث ـ كمنظفات محطات الطاقة ومحولات غازات السيارات ـ فإننا نجد أن معظم الدول قد أهملت الفرص التي أتيحت لها للحد من الملوثات الحمضية ومن تكون ثاني أكسيد الكربون في آن واحد.

وكما سبق وأشرنا فإن الكلوروفلوروكاربون المصنعة تتلف طبقة الأرض الواقية من الأوزون، وتساهم بشكل فعال في تغير المناخ. إن تخفيف هذه التهديدات يتطلب كخطوة أولى تخفيضات في انبعاث CFC وحظر دولي على استعمال المرشوش المنزلي (الهباء الجوي) غير الضروري للـ CFC . هذا وقام عدد قليل من الدول بتحديد أو حظر مثل هذه الاستعمالات. وأثبت هذا الاجراء فائدته للاقتصاد الأمريكي حيث توفر في الوقت نفسه بدائل وفرت على المستهلك مبالغ تقدر بـ ١٦٥ مليون دولار في عام ١٩٨٣ لوحده. وفي أيلول عام ١٩٨٦ أعلنت مجموعة تجارية تمثل صانعي ومستعملي CFC في الولايات المتحدة بأنها ستساعد التحديدات الدولية على إنتاج CFC ، وهذه نقلة رئيسة في السياسة. هذا وتجري الآن مباحثات دولية تتعلق بـ CFC تحت مراقبة برنامج البيئة التابع للأمم المتحدة، ولكن النتائج التي حصلت للآن لم تتعدَّ وضع إطار لتبني أساليب تقييدية إذا رأت الدول ضرورة لذلك[٧٣].

إن المحـافـظة على الغـابات وعلى زراعة الأشجار يعمل الكثير لتقليل تهديدات التغير المناخي ـ يضيف إزالة وحرق الغابات الاستوائية حوالي ٢٠٪ إلى كمية الكربون المنبعثة إلى الجو كل عام من خلال حرق الوقود الحفري. هذا وتقوم الأشجار بإزالة ثاني أكسيد الكربون من الجو خلال عملية التمثيل الضـوئي، ولهـذا فإن زيادة الغـطاء الغـابي في العالم سيساعد على استقرار مستـويات ثاني أكسيد الكربون في الجو. وفي أواسط عام ١٩٨٥ ظهر تطور وأعـد عندما أعلن عن خطة طموحة لحماية الغابات الاستوائية، وتم تصميم الخطة من قبل فريق دولي وتنسيق معهد الموارد العالمي في واشنطن العاصمة، ودعمتـه وكـالات رئيسـة، ودعت الخطة إلى استثمار ٨ بليون دولار خلال ٥ سنوات في مشاريع زراعة الأشجار وفي الجهود المبذولة لوقف تدهور الغابات[٧٤].

يمكن التقليل من التهديدات الصحية الناتجة عن التعرض للرصاص عن طريق إخراج الرصاص من البنزين. وفي عام ١٩٧٣ وضعت الولايات المتحدة قُيوداً على الرصاص في الوقود مما أدى إلى تخفيض كمية الرصاص في البيئة. وقررت وكالة حماية البيئة في عام ١٩٨٥ أن تخفيضاً آخر في محتوى الرصاص المسموح به في البنزين من ١,١ غرام للغالون إلى ٠,١ غرام سيعطي فوائد صحية تزيد قيمتهـا بكثير عن التكـاليف التي تتحملها مصافي البترول لإزالة الرصاص. وقدرت الوكالة أن الفوائد قد تصل إلى ١,٣ بليون دولار (دولارات عام ١٩٨٣) لعام ١٩٨٦ لوحدها. والحد الأدنى هذا هو الحد السائد اليوم. وقد بدأت العديد من الدول الأوروبية إدخال الوقود الخالي من الرصاص، ولا وجود لمثـل هذه الأسس في دول العالم الثالث. فبالإضافة إلى تخفيض المخاطر الصحية، يعـد استعمال الوقود الخالي من الرصاص ضرورياً في المحولات المركبة على السيارات لإزالة أخطار مركبات أول أكسيد الكربون والنيتروجين الصادرة عن احتراق الوقود في السيارات[٧٥].

إن العالم بحاجة إلى فحوص شاملة للسموم في الكيماويات المصنعة. فإجراء فحوص شاملة لمادة كيماوية باستعمال الفئران أو الجرذ قد يستغرق ٥ سنوات ويكلف ما يقارب ٥٠٠ ألف دولار. إن فحوصات المدى القصير التي

تكلف بضع مئات من الدولارات فقط تعطي وسيلة مفيدة للفحوصات الأولية والتوصية بإجراء المزيد من الفحوصات عند اللزوم. تتطلب حماية الجمهور بشكل كافٍ ان تقوم الصناعات التي تجني أرباحاً من بيع الكيماويات بتحمل المزيد من المسؤولية لضمان الصحة الكيماوية[٧٦].

وفي ظل القانون المعدل الذي ينظم استعمال المبيدات في الولايات المتحدة، يجب على أرباب الصناعة التأكيد بأن المنتوجات الجديدة لا تشكل تهديداً للصحة. أما القوانين التي تنظم فئات أخرى من الكيماويات فتتطلب من المشرفين الحكوميين أن يبينوا فيما إذا كانت المادة الكيماوية الجديدة تشكل خطراً غير مقبول قبل اتخاذ اجراءات للحد من استعمالها أو منعها. فبالإضافة إلى خلق تراكمات كبيرة تتطلب سياسة كهذه مصروفات هائلة من دولارات الضرائب، وتسمح بإبقاء الكيماويات الضارة في الاستعمال لسنوات عديدة. ويشير ج كلارنس ديفيس من مؤسسة المحافظة إلى أن فحوصات السموم الإضافيّة، مع أنها مكلفة، لا تصل تكاليفها في معظم الحالات إلى أكثر من نصيب صغير من مجمل التكاليف لإنتاج المادة الكيماوية[٧٧].

إن تقليل الاعتماد على الكيماويات الضارة قد يساعد على تخفيض المخاطر الصحية. وفي العقدين الماضيين، مثلاً، طور الباحثون الزراعيون طرقاً وأساليب تسمى ادارة الحشرات المتكاملة (IPM) Integrated Pest Management التي تحاول الحد من ضرر الحشرات في نفس الوقت التقليل من استعمال المبيدات. ويمكن أن يشتمل على إدخال المفترسات لتأكل الحشرات، ومراقبة مستوى إعداد الحشرات، واستعمال الكيماويات عند الضرورة فقط، أو استعمال المبيدات في المراحل الحرجة من دورة حياة الحشرات. وعن طريق تخفيض أثمان الكيماويات تستطيع IPM أن تفيد المزارعين بصورة اقتصادية. وفي السهول العليا في تكساس استطاعت برامج IPM القضاء على خنفساء القطن زيادة صافي أرباح المزارعين بمبلغ ٢٧ مليون دولار[٧٨].

لا تستطيع دولة لوحدها تجنب النتائج المكلفة في تغيير كيمياء الأرض. فالملوثات في الهواء والأمطار الحمضية تعبر بسهولة الحدود السياسية للدول، ويستطيع ثاني أكسيد الكربون أن يساعد في تغيير المناخ، ويمكن الإتجار

بالمبيدات التي تنتجها دولة ما وبيعها واستعمالها في دولة أخرى. ومع هذا فإن ترجمة المخاطر المشتركة إلى تعاون يهدف إلى تخفيضها أمراً ليس سهلاً. إن قرار فرض ضرائب عالية على إحراق الوقود الحفري، على سبيل المثال، له أبعاد سياسية واقتصادية جدية. وهناك عدد قليل من الدول تجد من مصلحتها تبني إجراء رادع كهذا بدون ضمانات إن الآخرين سيحذون حذوها.

تستطيع العديد من المعاهد أو المؤسسات المساعدة في بناء التعاون اللازم بين الحكومات. فبرنامج البيئة التابع للأمم المتحدة واللجنة الاقتصادية لأوروبا التابعة للأمم المتحدة أيضاً والمجموعة الاقتصادية الأوروبية ومنظمة الأرصاد العالمية وغيرها لعبت دوراً في إحراز تقدم نحو إدارة أفضل للبيئة الدولية. ولن تتخذ إجراءات فعالة بدون توفر القيادة من بعض الدول. ومن الأمثلة على مثل هذه القيادة الفردية جهود السويد لجعل الأمطار الحمضية الموضوع الأهم على جدول أعمال البيئة الدولية، ودعوة ألمانيا لوضع قيود صارمة على محطات الطاقة الأوروبية وسياراتها.

إن الأعمال التي تقوم بها بعض الدول ستؤدي إلى المزيد من الأعمال من قبل دول أخرى (انظر الفصل الحادي عشر). قامت عشر دولٍ في بادىء الأمر باتخاذ قرار في آذار عام ١٩٨٤ بتخفيض المنبعثات من ثاني أكسيد الكربون ٣٠٪ خلال عقد من الزمان، ووصل العدد إلى واحد وعشرين دولة اليوم. هذا ويمكن أن تبدأ تخفيضات معقولة في انبعاث ثاني أكسيد الكربون في العالم باتخاذ إجراءات فعالة من قبل ثلاث دول فقط هي الصين، والاتحاد السوفياتي، والولايات المتحدة وهي أكبر دول مستهلكة للفحم.

لقد لعبت الكيماويات والوقود الحفري دوراً هاماً في اندفاعة المجتمعات نحو النمو الاقتصادي ومستويات المعيشة الأعلى. ومع هذا فإن التغيرات في كيمياء الأرض الناتجة عن استعمال الكيماويات تهدد الأنظمة الطبيعية التي يعتمد عليها النمو المستقبلي وبقاء الإنسان. هناك بدائل متوفرة للطريق الحالي. ولكن الإخفاق في اتخاذ الإجراءات فإنا نضع على أنفسنا وعلى الأجيال القادمة مشاكل محتملة نستطيع تجنبها نحن.

Chapter 9. Stabilizing Chemical Cycles

1. G. Tyler Miller, Jr., Living in the Environment: Concepts, Problems, and Alternatives (Belmont, Calif.: Wadsworth Publishing Company, Inc., 1975).

2. A.M. Solomon et al., "The Global Cycle of Carbon," R.M. Rotty and C.D. Masters, "Carbon Dioxide from Fossil Fuel Combustion: Trends, Resources, and Technological Implications," and R.A. Houghton et al., "Carbon Dioxide Exchange Between the Atmosphere and Terrestrial Ecosystems," in John R. Trabalka et al., Atmospheric Carbon Dioxide and the Global Carbon Cycle (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1985).

3. G.M. Woodwell et al., "Global Deforestation: Contribution to Atmospheric Carbon Dioxide," Science, December 9, 1983; range from Solomon et al., "The Global Cycle of Carbon."

4. Roger Revelle, "Carbon Dioxide and World Climate," Scientific American, August 1982; Roger Revelle, "The Oceans and the Carbon Dioxide Problem," Oceans, Summer 1983; preindustrial concentration from Eric W. Wolff and David A. Peel, "The Record of Global Pollution in Polar Snow and Ice," Nature, February 14, 1985.

5. Revelle, "Carbon Dioxide and World Climate"; Carbon Dioxide Assessment Committee, National Research Council (NRC), Changing Climate (Washington, D.C.: National Academy Press, 1983); Stephen Seidel and Dale Keyes, Can We Delay a Greenhouse Warming? (Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, 1983).

6. Ice Age comparison from National Aeronautics and Space Administration (NASA), Goddard Space Flight Center, "Potential Climatic Impacts of Increasing Atmospheric CO_2 With Emphasis on Water Availability and Hydrology in the United States," prepared for U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, D.C., 1984.

7. NRC, Global Change in the Geosphere-Biosphere (Washington, D.C.: National Academy Press, 1986).

8. D.H. Ehhalt, "Methane in the Global Atmosphere," Environment, December 1985; estimates of warming from Gordon J. MacDonald, "Climate Change and Acid Rain," The MITRE Corporation, McLean, Va., December 1985, and from V.

Ramanathan et al., "Trace Gas Trends and their Potential Role in Climate Change," Journal of Geophysical Research, June 20, 1985.

9. Global estimates from P.J. Crutzen and M.O. Andreae, "Atmospheric Chemistry," in T.F. Malone and J.G. Roederer, eds., Global Change (Cambridge: Cambridge University Press, 1985); U.S. figures from EPA, National Air Pollutant Emission Estimates, 1940-1984 (Research Triangle Park, N.C.: 1986).

10. MacDonald, "Climate Change and Acid Rain"; Ramanathan et al., "Trace Gas Trends."

11. Crutzen and Andreae, "Atmospheric Chemistry."

12. Walter W. Heck et al., "A Reassessment of Crop Loss from Ozone," Environmental Science & Technology, Vol. 17, No. 12, 1983; Environmental Resources Limited, Acid Rain: A Review of the Phenomenon in the EEC and Europe (London: Graham & Trotman Ltd., 1983).

13. Jack G. Calvert et al., "Chemical Mechanisms of Acid Generation in the Troposphere," Nature, September 5, 1985; Ellis B. Cowling, "Acid Precipitation in Historical Perspective," Environmental Science & Technology, Vol. 16, No. 2, 1982.

14. A.H. Johnson et al., "Spatial and Temporal Patterns of Lead Accumulation in the Forest Floor in the Northeastern United States," Journal of Environmental Quality, Vol. 11, No. 4, 1982; James N. Galloway et al., "Trace Metals in Atmospheric Deposition: A Review and Assessment," Atmospheric Environment, Vol. 16, No. 7, 1982.

15. NRC, Causes and Effects of Changes in Stratospheric Ozone: Update 1983 (Washington, D.C.: National Academy Press, 1984).

16. NRC, Changes in Stratospheric Ozone; Peter H. Sand, "The Vienna Convention is Adopted," Environment, June 1985; recent production increase from Chemical Manufacturers Association, "Production and Release of Chlorofluorocarbons 11 and 12," Washington, D.C., October 1985.

17. NASA, "Knowledge of the Upper Atmosphere," draft, January 1986; EPA, "Analysis of Strategies for Protecting the Ozone Layer," prepared for Working Group Meeting, Geneva, Switzerland, January 1985.

18. NASA, "Present State of Knowledge of the Upper Atmosphere"; Paul Brodeur, "Annals of Chemistry," The New Yorker, June 9, 1986.

19. Ramanathan et al., "Trace Gas Trends"; "An Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts," statement from conference cosponsored by United Nations Environment Programme, World Meteorological Organization, and International Council of Scientific Unions, Villach, Austria, October 1985.

20. Miller, Living in the Environment; NRC, Testing for Effects of Chemicals on Ecosystems (Washington, D.C.: National Academy Press, 1981); David Pimentel and Clive A. Edwards, "Pesticides and Ecosystems," BioScience, July/August 1982.

21. NRC, Testing for Effects of Chemicals; Robert M. Garrels et al., Chemical Cycles and the Global Environment: Assessing Human Influences (Los Altos, Calif.: William Kaufmann, Inc., 1975); Arthur J. Vander, Nutrition, Stress, and Toxic Chemicals (Ann Arbor: University of Michigan Press, 1981); Lawrie Mott and Martha Broad, "Pesticides in Food: What the Public Needs to Know," Natural Resources Defense Council, Inc., Washington, D.C., March 1984.

22. For a comprehensive review of climate issues see, NRC, Changing Climate.

23. Michael E. Schlesinger and John F.B. Mitchell, "Model Projections of the Equilibrium Climatic Response to Increased Carbon Dioxide," in Michael C. MacCracken and Frederick M. Luther, eds., The Potential Climatic Effects of Increasing Carbon Dioxide (Washington, D.C.: U.S. Department of Energy, 1985).

24. S. Manabe and R.T. Wetherald, "Reduction in Summer Soil Wetness Induced by an Increase in Atmospheric Carbon Dioxide," Science, May 2, 1986; "The Role of Greenhouse Gases in Climate Variations," statement from Villach conference.

25. Dean Abrahamson, "Responses to Greenhouse Gas Induced Climate Change," testimony before the U.S. Senate, Committee on Environment and Public Works, Subcommittee on Toxic Substances and Environmental Oversight, Hearings, Washington, D.C., December 10, 1985; rule of thumb cited by Loyd Stone, Department of Agronomy, Kansas State University, Manhattan, private communication, June 1986.

26. Revelle, "Carbon Dioxide and World Climate"; William W. Kellogg and Robert Schware, "Society, Science and Climate Change," Foreign Affairs, Summer 1982.

27. Dean Abrahamson and Peter Ciborowski, "North American Agriculture and the Greenhouse Problem," Hubert H. Humphrey Institute of Public Affairs, University of Minnesota, Minneapolis, April 1983; Kellogg and Schware, "Society, Science and Climate Change."

28. M. Barth and J. Titus, eds., Greenhouse Effect and Sea Level Rise: A Challenge for This Generation (New York: Van Nostrand Reinhold Co., 1984); "The Role of Greenhouse Gases in Climate Variations," statement from Villach conference; Erik Eckholm, "Significant Rise in Sea Level Now Seems Certain," New York Times, February 18, 1986.

29. Sylvan H. Wittwer, "Carbon Dioxide and Climate Change: An Agricultural Perspective," Journal of Soil and Water Conservation, May/June 1983; Sylvan H. Wittwer, "Rising Atmospheric CO_2 and Crop Productivity," Hortscience, October 1983.

30. Paul E. Waggoner, "Agriculture and a Climate Changed by More Carbon Dioxide," in NRC, Changing Climate; Sylvan H. Wittwer, "Carbon Dioxide Levels in the Biosphere: Effects on Plant Productivity," CRC Critical Reviews in Plant Sciences, Vol. 2, Issue 3, 1985.

31. Irrigation figures from W.R. Rangeley, "Irrigation and Drainage in the World," paper presented at the International Conference on Food and Water, Texas A&M University, College Station, May 26-30, 1985.

32. Roger R. Revelle and Paul E. Waggoner, "Effects of a Carbon Dioxide-Induced Climatic Change on Water Supplies in the Western United States," in NRC, Changing Climate.

33. Trend in Lower Colorado from U.S. Department of Agriculture, Agricultural Statistics 1983 (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1983), and from Bureau of the Census, "1985 Census of Agriculture," U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., 1984; present overconsumption in Lower Colorado from U.S. Geological Survey, National Water Summary 1983--Hydrologic Events and Issues (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1984); irrigated area calculation assumes an annual consumptive demand of 5,300 cubic meters per hectare, which is 55 percent of the average per hectare withdrawals for irrigation estimated in Revelle and Waggoner, "Effects of a Carbon Dioxide-Induced Climatic Change"; existing irrigated area from ibid.

34. Global calculation based on average investment needs for new large-scale irrigation projects in the Third World of $5,000 per hectare, from Rangeley, "Irrigation and Drainage."

35. Cost estimate from John A. Laurmann, "Strategic Issues and the CO_2 Environmental Problem," in W. Bach et al., eds., Carbon Dioxide: Current Views and Developments in Energy/Climate Research (Dordrecht, The Netherlands: D. Reidel Publishing Co., 1983).

36. William W. Kellogg, "The Socio-Economic Response: Human Factors in Environmental Change," paper presented at the annual meeting of the American Association for the Advancement of Science, Los Angeles, Calif., May 26-31, 1985.

37. Der Bundesminister Für Ernährung, Landwirtschaft, und Forsten, "Neuartige Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland," Bonn, West Germany, October 1983; Federal Ministry of Food, Agriculture, and Forestry, "1984 Forest Damage Survey," Bonn, West Germany, October 1984.

38. Allgemeine Forstzeitschrift, Munich, West Germany, November 11, 1985; G.H.M. Krause et al., "Forest Decline in Europe: Possible Causes and Etiology," paper presented at the International Symposium on Acid Precipitation, Ontario, Canada, September 1985; see also Susan Tifft, "Requiem for the Forest," Time (international edition), September 16, 1985.

39. Krause et al., "Forest Decline in Europe."

40. Dieter Deumling, Wissen, West Germany, private communication, March 1986; "Swiss Forests are Depleted Further by Pollution," New York Times, December 9, 1985.

41. Arthur H. Johnson and Thomas G. Siccama, "Acid Deposition and Forest Decline," Environmental Science & Technology, Vol. 17, No. 7, 1983; Raymond M. Sheffield et al., "Pine Growth Reductions in the Southeast," Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, N.C., November 1985.

42. Arthur H. Johnson, "Assessing the Effects of Acid Rain on Forests of the Eastern U.S.," testimony before the U.S. Senate, Committee on Environment and Public Works, Hearings, February 7, 1984.

43. Sandra Postel, Air Pollution, Acid Rain, and the Future of Forests, Worldwatch Paper 58 (Washington, D.C.: Worldwatch Institute, March 1984).

44. Nico van Breeman, "Acidification and Decline of Central European Forests," Nature, May 2, 1985; Tomas Paces, "Sources of Acidification in Central Europe Estimated from Elemental Budgets in Small Basins," Nature, May 2, 1985.

45. Paces, "Sources of Acidification in Central Europe."

46. C.S. Holling, "Resilience of Ecosystems: Local Surprise and Global Change," in Malone and Roederer, Global Change; see also F.H. Bormann, "Air Pollution and Forests: An Ecosystem Perspective," BioScience, July/August 1985.

47. Andrew Csepel, "Czechs and the Ecological Balance," New Scientist, September 27, 1984; H.J. Ewers et al., "Zur Monetarisierung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland," paper presented at Symposium on Costs of Environmental Pollution, Bonn, West Germany, September 12-13, 1985.

48. Peter B. Reich and Robert G. Amundson, "Ambient Levels of Ozone Reduce Net Photosynthesis in Tree and Crop Species," Science, November 1, 1985.

49. Federal Ministry of Food, Agriculture, and Forestry, "1985 Forest Damage Survey," Bonn, West Germany, October 1985; Dieter Deumling, Wissen, West Germany, private communication, October 1985.

50. Michael Castleman, "Toxics and Male Infertility," Sierra, March/April 1985.

51. Office of Technology Assessment (OTA), U.S. Congress, Acid Rain and Transported Air Pollutants: Implications for Public Policy (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1984); NRC, Epidemiology and Air Pollution (Washington, D.C.: National Academy Press, 1985).

52. Brazil figures from NRC, Epidemiology and Air Pollution; Dianwu Zhao and Bozen Sun, "Air Pollution and Acid Rain in China," Ambio, Vol. 15, No. 1, 1986; Shanghai reference from Michael Weisskopf, "Shanghai's Curse: Too Many Fight for Too Little," Washington Post, January 6, 1985.

53. Vander, Nutrition, Stress, and Toxic Chemicals; Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), State of the Environment (Paris: 1985).

54. Joel Schwartz et al., Costs and Benefits of Reducing Lead in Gasoline: Final Regulatory Impact Analysis (Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, 1985); figure on U.S. children from NRC, Epidemiology and Air Pollution; see also Richard Rabin, "Lead Poisoning: Silent Epidemic," Science for the People, July/August 1985.

55. Don L. Johnson and Quincy Dadisman, "Acid Helps Mercury Contaminate Lakes," Milwaukee Sentinel, October 2, 1985; Eugeniusz Pudlis, "Poland: Heavy Metals Pose Serious Health Problems," Ambio, Vol. 11, No. 1, 1982.

56. Tri-Academy Committee on Acid Deposition, Acid Deposition: Effects on Geochemical Cycling and Biological Availability of Trace Elements (Washington, D.C.: National Academy Press, 1985); Thomas H. Maugh II, "Acid Rain's Effects on People Assessed," Science, December 21, 1984; OTA, Acid Rain and Transported Air Pollutants.

57. Magda Havas et al., "Red Herrings in Acid Rain Research," Environmental Science & Technology, Vol. 18, No. 6, 1984; Bernhard Ulrich, "Dangers for the Forest Ecosystem Due to Acid Precipitation," translated for EPA by Literature Research Company, Annandale, Va., undated.

58. Daniel P. Perl, "Relationship of Aluminum to Alzheimer's Disease," Environmental Health Perspectives, Vol. 63, 1985, pp. 149-153; Daniel P. Perl et al., "Intraneuronal Aluminum Accumulation in Amyotrophic Lateral Sclerosis and Parkinsonism-Dementia of Guam," Science, September 10, 1982.

59. Perl, "Relationship of Aluminum to Alzheimer's Disease."

60. "The Quest for Chemical Safety," International Register of Potentially Toxic Chemicals Bulletin (UNEP, Geneva, Switzerland), May 1985; Michael Shodell, "Risky Business," Science '85, October 1985; Philip M. Boffey, "After Years of Cancer Alarms, Progress Amid the Mistakes," New York Times, March 23, 1984.

61. William U. Chandler, Banishing Tobacco, Worldwatch Paper 68 (Washington, D.C.: Worldwatch Institute, January 1986); Arthur J. Vander, University of Michigan Medical School, Ann Arbor, private communication, April 1986.

62. NRC, Toxicity Testing (Washington, D.C.: National Academy Press, 1984).

63. Ibid.

64. Charles Benbrook, Executive Director, Board on Agriculture, National Academy of Sciences, Washington, D.C., private communication, May 1986; see Philip Shabecoff, "Senate Votes Tougher Pesticide Law," New York Times, October 7, 1986.

65. Ian C.T. Nisbet and Nathan J. Karch, Chemical Hazards to Human Reproduction (Park Ridge, N.J.: Noyes Data Corporation, 1983).

66. Janet Raloff, "Dioxin: Is Everyone Contaminated?" Science News, July 13, 1985.

67. Thomas H. Umbreit et al., "Bioavailability of Dioxin in Soil from a 2,4,5-T Manufacturing Site," Science, April 25, 1986; Susan Okie, "Dioxin May Weaken Ability to Fight Disease," Washington Post, April 18, 1986; Janet Raloff, "Infant Dioxin Exposures Reported High," Science News, April 26, 1986.

68. Ralph C. Dougherty et al., "Sperm Density and Toxic Substances: A Potential Key to Environmental Health Hazards," in J.D. McKinney, Environmental Health Chemistry--The Chemistry of Environmental Agents as Potential Human Hazards (Ann Arbor, Mich.: Ann Arbor Science Publishers, Inc., 1980).

69. Vander, Nutrition, Stress, and Toxic Chemicals.

70. Roger Lewin, "Parkinson's Disease: An Environmental Cause?" Science, July 19, 1985; for a fascinating sketch of how the link was discovered, see J. William Langston, "The Case of the Tainted Heroin," The Sciences, January/February 1985.

71. Emissions rates based on data from Ralph Rotty, Institute for Energy Analysis, Oak Ridge Associated Universities, Oak Ridge, Tenn., private communication, May 1986.

72. Eike Röhling and Jochen Mohnfeld, "Energy Policy and the Energy Economy in FR Germany," Energy Policy, December 1985.

73. Sand, "Vienna Convention is Adopted"; EPA, "Strategies for Protecting Ozone Layer"; Cass Peterson, "Chlorofluorocarbon Group Supports Production Curbs," Washington Post, September 17, 1986; status of negotiations from EPA, "Stratospheric Ozone Protection Plan," Federal Register, January 10, 1986.

74. World Resources Institute (WRI), World Bank, and United Nations Development Programme, "Tropical Forests: A Call for Action," WRI, Washington, D.C., June 1985.

75. Schwartz et al., Costs and Benefits of Reducing Lead in Gasoline; Warren Brown, "End Nears for Leaded Gasoline--And Bargain Fuel Prices," Washington Post, December 29, 1985; Robert McDonald, "European Ministers Set Timetable for Auto Emission Standards," World Environment Report, April 17, 1985.

76. NRC, Toxicity Testing.

77. J. Clarence Davies, "Coping with Toxic Substances," Issues in Science and Technology, Winter 1985.

78. R.L. Frisbie and P.L. Adkisson, "IPM: Definitions and Current Status in U.S. Agriculture," in Marjorie A. Hoy and Donald C. Herzog, Biological Control in Agricultural IPM Systems (Orlando, Fla.: Academic Press, Inc., 1985).