

الطاقة والمناخ

توافر الطاقة هي إحدى العوامل المحركة للاقتصاد العالمي. ولكن يتحقق ذلك بثمن. يتمثل تحذف في أن الجهود التي نبذلها لاستخراج الطاقة من الوقود الأحفوري كما أن مصادر الطاقة المتجددة تشغل كميات كبيرة من الأراضي. يؤدي التلوث الناجم عن إنتاج الطاقة واستهلاكها، بما في ذلك حرق الكتلة الحيوية، إلى التغيير في بيئة الكوكب بأسره.

ويشكل تغير المناخ أكبر وأخطر هذه الآثار، التي تنشأ أساسًا بسبب حرق الوقود الأحفوري إلى جانب حدوث الانبعاثات الكبيرة من غازات الإحتباس الحراري الناجمة عن فقدان الغابات ونظام الغذاء. بينما تعتبر الأرض مصدرًا لتغير المناخ إلا أنها ضحية في الوقت ذاته وهي أيضاً جزء من الحل ومن الممكن. أن تسهم ممارسات الإدارة المستدامة للأراضي في إستراتيجيات التخفيف من آثار التغير المناخي عن طريق عكس ووقف فقدان غازات الإحتباس الحراري من المصادر الأرضية، يمكن أن توفر هذه الممارسات خدمات النظم البيئية التي لا يمكن تعويضها والتي تساعد المجتمع على التكيف مع آثار التغير المناخي.

المقدمة

حدث انفجار ضخيم وغير مسبوق في استخدام الطاقة منذ القرن التاسع عشر؛ ازداد استخدام الطاقة على الصعيد العالمي بأكثر من 20 مرة خلال الـ 200 سنة الماضية، وهو ما يفوق بكثير معدل النمو السكاني¹. زاد استخدام الوقود الأحفوري وعلى وجه الخصوص ، كما ظهر الانشطار النووي كمصدر للطاقة على مستوى العالم، وانتقلت مؤخراً مجموعة من تقنيات الطاقة المتجددة من الأسواق المتخصصة إلى الأسواق الرئيسية. وأتى النمو السريع في إنتاج الطاقة واستهلاكها بأثار كبيرة على موارد الأراضي. يشمل ذلك الأثار المباشرة، مثل تغير استخدام الأراضي وتدهورها، والمزيد من التأثيرات الخفية من التلوث المحلي وتلوث مصبات الأنهار فيما يتعلق بالتربة والهواء والماء، وكذلك انبعاثات الكربون التي تسبب تغيرات شاملة على مستوى العالم.

كان أهم تلك الأثار هو التعجيل بالتغير المناخي الذي يسببه الإنسان. حيث افترض العلماء أولاً في القرن التاسع عشر أنه يمكن أن يكون تغير انبعاثات غازات الانحباس الحراري بفعل البشر ممكن أن تكون سبباً لتغير المناخ، ولكن الفكرة لم تلاقى قبولاً على نطاق واسع إلا منذ الستينيات². كان هناك توافق متزايد في الآراء حول واقع التغير المناخي ودرجته ومعدله في السنوات التي تلت ذلك، على الرغم من أنه لا يزال عدد كبير من المشككين ينكرون أي تأثير بشري على المناخ. أدى إنشاء الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ في عام 1988 إلى نمو سريع في المعلومات، حيث شجع العلماء من جميع أنحاء العالم على تجميع الجهود البحثية والعمل معاً لتحليل البيانات وإعداد النماذج المناخية وإجراء التقييمات³.

وقد وضع التوقيع على اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية لتغير المناخ في قمة الأرض في ريو دي جانيرو عام 1992 هذا الموضوع تحت بؤرة الإهتمام السياسي بشكل محدد، وبذلك؛ بدأت عملية تستغرق عشرات السنين من المفاوضات حول كيفية التصدي للتغير المناخي⁴. يرتبط كل من الأراضي والمناخ بعلاقة معقدة؛ فالممارسات المتعلقة بإدارة المحاصيل والثروة الحيوانية هي من أسباب التغير المناخي، وأيضاً حل محتمل، من حيث التخفيف منه والتكيف معه على السواء، مما سيتسبب في تغير النظم البيئية الأرضية إلى حد كبير. يقدم هذا الفصل لمحة عامة موجزة عن بعض قضايا الأراضي المهمة والمتعلقة بالطاقة والتغير المناخي.

الطاقة

يعود أي مصدر للطاقة بآثار على حالة موارد الأراضي، كما أن للكثير منها آثار سلبية من حيث الأضرار التي تلحق بالتنوع البيولوجي والبيئة الأوسع وصحة الإنسان؛ ولكن يختلف مدى هذه الأثار، فلا يأتي مصدر للطاقة دون تبكد بعض التكاليف. وينبغي مراعاة التكاليف البيئية والاجتماعية، وتحليل دورة الحياة، ونسبة الاستثمارات في الطاقة للعودة، فجميعها عوامل هامة.

تعتبر الخيارات السياسات معقدة، ويمتلك كل نوع من إمدادات الطاقة تقريباً مجموعة واحدة على الأقل من منظمات المجتمع المدني تضغط عليها⁵. ورغم وجود محاولات لوضع إستراتيجية بيئية موحدة لإمدادات الطاقة⁶، لا يزال المجال متشظياً ومعقداً ومثيراً للجدل. مع ذلك، يزداد الإقبال على الطاقة المتجددة، وسيعززها أيضاً اتفاق باريس بشأن التغير المناخي الذي يسعى إلى "إزالة الكربون" على الصعيد العالمي⁷.

يعتبر الغرض من الهدف 7 من أهداف التنمية المستدامة "ضمان الحصول على الطاقة بأسعار معقولة وموثوق بها ومستدامة وحديثة للجميع" مع الأهداف ذات الصلة 7-1 إلى "ضمان حصول الجميع على خدمات الطاقة بأسعار معقولة وموثوق بها وحديثة" و 7.2 إلى "زيادة كبيرة لحصة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة العالمي".

يتم تناول الكثير من هذه القضايا في حيز آخر من هذه التوقعات، على سبيل المثال. يُناقش الوقود الأحثائي في الفصل 7 والطاقة الكهرومائية في الفصل 8. يلخص الجدول 10-1 بعض الأثار الرئيسية لمصادر الطاقة المختلفة التي تعمل على موارد الأراضي أو التي تؤثر فيها.



© Thomas Richter

المصدر	الآثار المترتبة
النفط	هناك مخاطر تلوث كبيرة على الأرض ⁸ وفي البحر أثناء استخراج وتوزيع النفط. حيث أدى أكبر تسرب للنفط في العالم حتى الآن، والذي وقع في خليج المكسيك، إلى تسرب 4-9 مليون برميل من النفط الخام. ⁹ مما يؤثر على المناطق الساحلية الكبيرة. ويمكن أن يؤدي تسرب النفط المعتاد أيضًا إلى إلحاق الضرر بالغطاء النباتي مثل أشجار المنغروف. ¹⁰ يساهم حرق النفط بشكل رئيسي في تلوث الهواء؛ وإطلاق أكاسيد وجسيمات النيتروجين. وتأتي معظمها من النقل. ومن شأنها أن تتسبب في وقوع أكثر من 50000 حالة وفاة مبكرة سنويًا في المملكة المتحدة. ¹¹ كما أن الوقود الأحفوري هو أكبر مساهم في العالم في انبعاثات الغازات الدفيئة. ¹² تعد قضية تعدين رمال القطران (صيغة لزجة من النفط) في كندا قضية متنازع عليها بشدة. ¹³ كما هو حال عمليات الحفر في القطب الشمالي والغابات المطيرة. ¹⁴
الغاز	أدى دور التفسير الهيدروليكي ("تقنية التفسير الهيدروليكي") في استخراج الوقود الأحفوري، بما في ذلك الغاز الطبيعي المحتجز بشكل خاص، إلى معارضة واسعة النطاق لأسباب صحية وبيئية. ¹⁵ يمكن أن تكون الآثار التراكمية على الأراضي ضارة بالتنوع البيولوجي. ¹⁶ يشكل حرق الغاز أيضًا مصدرًا هامًا للغازات الدفيئة؛ حيث يولد حرق الغاز غير المستخدم خلال إنتاج النفط وحده انبعاثات تصل إلى حوالي 250 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا. ¹⁷
الفحم	يحدث التلوث أثناء عملية استخراجه. لا سيما من مناجم التعدين المكشوف، حيث يلحق أضرارًا واسعة النطاق بالهواء والماء وصحة الإنسان. ¹⁸ لكن في الواقع تمتلك المناجم التي تقع تحت الأرض تأثيرات ذات وقع شديد الوطأة على الأراضي بسبب الحاجة إلى الدعائم الخشبية للحفر، وما إلى ذلك. ¹⁹ هناك آثار مترتبة خطيرة تتعلق بالصحة والسلامة بالنسبة لعمال مناجم الفحم، والأشخاص الذين يعانون من مجموعة من الأمراض القاتلة بسبب استنشاق غبار الفحم على المدى الطويل. ²⁰ تؤدي حفر الفحم ومقالب النفايات إلى تدمير الموائل. يعد الفحم مصدرًا رئيسيًا للتلوث المحلي والضباب الدخاني. ويرتبط بمجموعة من الأمراض البشرية؛ ²¹ وتأثيرات الرواسب الجافة والرطبة طويلة المدى ("الأمطار الحمضية") على المياه العذبة ²² والغابات، وتلوث المياه ²³ وانبعاثات الغازات الدفيئة. تتسبب مناجم الفحم المهجورة في تصريف المناجم الحمضية لعمود طويلة. ²⁴
الطاقة النووية	يعتبرها البعض خيارًا مناسبًا بسبب انخفاض انبعاثات الغازات الدفيئة منها. ²⁵ بينما ينتقد آخرون هذا المنظور بشدة. ²⁶ وتأثيرها العام على الأرض منخفض هو الآخر رغم أن تعدين اليورانيوم قد يكون له آثار وخيمة على التنوع البيولوجي ويسبب التلوث ويخلق مشاكل صحية خطيرة لعمال المناجم. ²⁷ ومع ذلك، هناك قلق واسع النطاق حول الآثار المتعلقة بالسلامة والتي أبرزتها الحوادث الكبرى في هاريسبورغ في الولايات المتحدة، وتشيرنوبيل في أوكرانيا، ²⁸ و فوكوشيما في اليابان. والتي تعرضت للضرر خلال زلزال عام 2011 ²⁹ ولا تزال غير مستقرة تمامًا حتى الآن. بالإضافة إلى أن النفايات عالية الإشعاع الناتجة عن الانشطارات النووي تطلب تخزينها لفترة طويلة بشكل غير مسبق وهي مشكلة لم تحلها الصناعات النووية بعد. ومن المرجح تركها للحكومات. ³⁰
الطاقة الكهرمائية	تتطلب تكاليف عالية فيما يتعلق بتغيرات مجرى النهر، فتؤثر على التنوع البيولوجي (مثل الأسماك المهاجرة). وتوافر المغذيات عند المصب، وخدمات النظام البيئي مثل فيضانات الري الموسمية. ³¹ كما تتطلب إنشاء خزانات لوديان الفيضانات الكهرمائية والمناطق المنخفضة، وتحل إما محل النباتات الطبيعية أو محل الأراضي والمجمعات الزراعية. ³² وتعتبر محتجزات الطاقة الكهرمائية، في بعض الأحيان، مصادر هامة لغاز الميثان. ³³
الطاقة المدية - الجزرية	لم تستخدم حتى الآن إلا في بضعة أماكن. فهناك جدل كبير حول الآثار المحتملة المترتبة على مشروع محطة المد والجزر عند مصب نهر سيفرن في المملكة المتحدة بسبب أضراره المحتملة على الطيور. ³⁴ للتكنولوجيا الجديدة لتيارات البحيرات والمد والجزر آثار بيئية أقل وقد توفر بدائل قابلة للتطبيق.
طاقة الرياح	لأنظمة طاقة الرياح آثار كبيرة على استخدام الأراضي. وقد تمت معارضتها لأسباب جمالية من حيث تأثيراتها على المظهر الطبيعي بالإضافة إلى آثارها المحتملة على أعداد الطيور ³⁵ والمناطق الغنية بالتنوع البيولوجي. ³⁶ ونظريًا يمكن أن تتم الزراعة داخل منشآت مزارع الرياح. ³⁷ وتوجد إستراتيجيات تخطيطية لتجنب المناطق التي يجب الحفاظ عليها. ³⁸ تعتبر مزارع الرياح البحرية أقل إثارة للجدل كما أنها تصبح أكثر شهرة. ومن الممكن أن تعود بأثار سلبية على الطيور البحرية ولكنها توفر في المقابل ملاجئ للموائل القاعية والأحياء البحرية. ³⁹

المصدر	الآثار المترتبة
الطاقة الشمسية	توجد ثلاثة أنواع رئيسية من الطاقة الشمسية: أنظمة تسخين المياه بالطاقة الشمسية، وأنظمة الطاقة الشمسية المركزة، والخلايا الفولطاضوئية (PV). ⁴⁰ آثار ظهور محطات الطاقة الشمسية - خلقت البنوك الضخمة للخلايا الفولطاضوئية أو المرايا المركزة المولدة للحرارة في الأراضي الزراعية والمناطق القاحلة مخاوف بشأن المفاضلة بين الطاقة من جهة وكلا من الإنتاج الغذائي والحفاظ على البيئة من جهة أخرى. ⁴¹ ومع ذلك يمكن دمج محطات الطاقة الشمسية، إذا ما صممت بعناية، مع النظم الزراعية، ⁴² ويتزايد إنشاء هذه النظم الشمسية الزراعية أكثر فأكثر. ⁴³ ومن المهم أن نلاحظ أن انبعاثات الغازات الدفيئة من تصنيع الخلايا الفولتوضوئية هي نفسها ذات أهمية كبيرة.
الوقود الحيوي	يعتمد أكثر من 2.4 مليار شخص على الحطب والوقود في أغراض الطهي، وعند قطع هذه الأشجار بنسبة كبيرة فإن ذلك يسهم في فقدان الغابات وتدهورها. ⁴⁴ كما أن لمزارع الوقود الحيوي آثار كبيرة على استخدام الأراضي، وذلك عن طريق إزالة الكساء الخضري الطبيعي ونصف الطبيعي بشكل مباشر من أجل زراعة محاصيل الوقود الحيوي، أو عن طريق استبدال المحاصيل الغذائية باستخدامها لإنتاج الوقود بدلا من استخدامها في التغذية، وعلى النقيض، فإن الإدارة المستدامة لحصاد الكتلة الحيوية العشبية يمكن أن توفر نظريا حافزا لحماية الأراضي العشبية المهتدة. ⁴⁵ وتوجد معايير ونظم ترخيص مختلفة ⁴⁶ كما أن بعض أنواع الوقود الحيوي قد يكون لها آثار صحية خطيرة، إذ يقدر أن ما يقرب من 420.000 شخص يموتون في سن مبكر كل عام في الصين وحدها جراء تلوث الهواء الداخلي من الفحم وحطب الوقود. ⁴⁷ ولا تكفي مجرد الاستعاضة عن الوقود الأحفوري بالوقود الحيوي نظراً لكمياته الكبيرة. ⁴⁸
الطاقة الحيوية واحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه	إذا اقترنت الطاقة الحيوية مع احتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه (BECCS)، فقد يؤدي ذلك إلى انبعاثات غازات دفيئة سلبية: زراعة محاصيل الكتلة الحيوية بسحب ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي، يتم تحويل الكتلة الحيوية إلى طاقة، ويتم احتجاز وتخزين ثاني أكسيد الكربون المنبعث من احتراق الكتلة الحيوية، وهو ما يوفر للطاقة الحيوية واحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه ميزة فريدة من حيث خفض انبعاثات الغازات الدفيئة إذا كان بالإمكان التحكم في خفض الانبعاثات الدفيئة من امدادات المواد الأولية. تعتبر الطاقة الحيوية واحتجاز ثاني أكسيد الكربون وتخزينه عمليا محور جميع الاستراتيجيات للعالم الأقل من 2 درجة مئوية والذي يتطلب انبعاثات سلبية كبيرة من الكربون في نهاية القرن الواحد والعشرين. ⁴⁹ ومع ذلك، فإن هذه التكنولوجيا لا تزال غير مثبتة. ⁵⁰
الطاقة الحرارية الجوفية	هي مصدر طاقة مهم وطويل الأجل في البلدان التي لديها إمدادات كبيرة، مثل أيسلندا، ويمكن أيضا تسخير مستوى أقل من الطاقة الجيوحرارية من خلال تكنولوجيا المضخات الحرارية. ⁵¹
تحويل النفايات إلى طاقة	هي مصدر من مصادر الطاقة النامية من خلال أنظمة المعالجة الحرارية ⁵² والمولدات الكهربائية التي تعمل بالغاز الحيوي على سبيل المثال. ⁵³ وتعتبر آثار هذه النظم على الأرض والبصمة البيئية منخفضة نسبيا.



© Dean Morley

الجدول 10-2: كثافة الأراضي في مختلف نظم الطاقة

مصادر البيانات

- (أ) ترينور وآخرون. (2016)
 (ب) فنيناكيس وكيم (2009)
 (ج) معهد IINAS (2017)
 (د) برنامج الأمم المتحدة للبيئة (2016)
 (هـ) التقدير العام

كثافة استخدام الأراضي [م ² /ميجاوات]					المصدر الرئيسي للطاقة	المنتج
النموذجي (هـ)	برنامج الأمم المتحدة للبيئة (د)	بيانات الاتحاد الأوروبي (ج)	بيانات الولايات المتحدة (ب)	بيانات الولايات المتحدة (أ)		
0.1		1.0	0.1	0.1	الطاقة النووية	الكهرباء
0.2	0.2	0.1	0.3	1.0	الغاز الطبيعي	
0.2		0.2	0.2	0.6	الفحم تحت الأرض	
5.0	15.0	0.4	0.2	8.2	السطح ("السطح المفتوح")	
1.0	0.3	0.7	1.0	1.3	طاقة الرياح	
2.5	0.3	2.5		1-5	الطاقة الحرارية الجوفية	
10	3.3	3.5	1-4	16.9	الطاقة الكهرومائية (السدود الكبيرة)	
10	13.0	8.7	0.3	15.0	الطاقة الشمسية الفولطاضوئية	
15	14.0	7.8		19.3	الطاقة الشمسية	
500		450	13	810	الكتلة الحيوية (من المحاصيل)	
0.4		0.1		0.6	الزيت الأحفوري	الوقود السائل
230		220		237	الذرة (الذرة الشامية)	
250		239		274	قصب السكر (من العصير)	
0.1					قصب السكر (المخلفات)	
400		479		296	فول الصويا	
500		410		265	السليولوز SRC	
0.1		0.10			السليولوز المخلفات	

وتأتي أكبر التأثيرات من حيث التغيير المباشر في استخدام الأراضي من الوقود الحيوي واستخراج الوقود الأحفوري. مع احتمال أن يكون لإستخراج رمال القطران والنفط الصخري البصمة الأكبر والمباشرة للوقود الأحفوري من حيث مساحة الأرض لكل واحدة من الطاقة المنتجة. وتأتي الآثار غير المباشرة على الأراضي من أشكال مختلفة من التلوث، حيث يكون الوقود الأحفوري أيضا الأكثر أهمية من حيث المساحة المتأثرة. سواء من أكاسيد الكبريت أو النيتروجين أو على صعيد أوسع من خلال إنبعاثات غازات الإنبعاث الحراري. ويوضح الجدول 10.2⁵⁴ ملخصا لكثافة استخدام الأراضي المتعلقة بأنظمة الطاقة.

وبوجه عام، فإن الطاقات غير المتجددة تنطوي على آثار على الأراضي تبلغ مساحتها 0.1 - 1 متر²/مليوات في الساعة (باستثناء الإستخراج السطحي للفحم). في حين أن استخدام الأراضي من مصادر الطاقة المتجددة غير الكتلة الحيوية يتراوح بين 1 - 10 أمتار²/مليوات في الساعة، و 100 - 1.000 متر²/مليوات في الساعة.

فبالخيارات المتعلقة بإمدادات الطاقة ليست بسيطة ويجب ان يراعي التخطيط كل دورة حياة التقنيات والوقود. فمن المهم مثلا التمييز بين التقنيات المركزية (غير المتجددة) التي تتطلب توصيل الوقود وغيره من الموارد إلى مرفق الإنتاج ومن ثم توزيعها. وبين تكنولوجيات الطاقة المتجددة التي تعتمد إما على الوقود المخزن في الموقع أو تستخدم الطاقة محليا أو تعتمد عليهما معا. مما يقلل بدرجة كبيرة الحاجة إلى البنية التحتية للنقل والإرسال.⁵⁶

التغير المناخي

ينص الهدف الثالث عشر من أهداف التنمية المستدامة على "اتخاذ إجراءات عاجلة لمكافحة التغير المناخي وآثاره" والاعتراف بأن تغير المناخ سيؤدي إلى تغييرات أساسية في أداء النظام البيئي تزيد من المخاطر التي يتعرض لها الأمن العام للبشر. وتتسم الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بالصرامة في تقييمها للأدلة المتعلقة بالتغير المناخي وأسبابه والآثار المستقبلية المحتملة على البيئة والمجتمع البشري.

3 - آثار التغير المناخي

تحدد الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ الآثار المحتملة بشأن مجموعة من القضايا ذات الصلة بهذه التوقعات:

■ **الأمن الغذائي:** انخفاض متوقع في الأمن الغذائي. ستؤثر محاصيل القمح والأرز والذرة التي تزرع في الأقاليم المدارية والمعتدلة بالسلب على التوازن في ظل ارتفاع درجة الحرارة المحلية بمقدار درجتين مئويتين. برغم أن بعض المناطق قد تستفيد من ذلك (ثقة متوسطة). ومن شأن زيادة ارتفاع درجات الحرارة أن تشكل مخاطر كبيرة على الأمن الغذائي على الصعيد العالمي (ثقة عالية).

- **الأمن المائي:** من المتوقع وجود انخفاض في موارد المياه السطحية المتجددة و المياه الجوفية في معظم الأقاليم شبه الاستوائية الجافة (أدلة قوية. اتفاق عالي المستوى)
- **الكوارث:** ستتعرض المناطق الساحلية والمناطق المنخفضة للخطر من ارتفاع مستوى سطح البحر الذي سيستمر لعدة قرون حتى لو استقر متوسط درجة الحرارة على الأرض (درجة ثقة عالية). وتشير دلائل زيادة الظواهر الحادة لهطول الأمطار إلى زيادة مخاطر الفيضانات على النطاق الإقليمي (درجة متوسطة). وتكشف الآثار الناجمة عن الظواهر المناخية الحادة الأخيرة، بما في ذلك موجات الحرارة والجفاف والفيضانات والأعاصير وحرائق الغابات، عن نقطة ضعف كبيرة وتعرض بعض النظم البيئية وكثير من الناس للتقلبات المناخية الحالية (درجة عالية جداً).
- **التنوع البيولوجي:** يواجه جزء كبير من الكائنات مخاطر الانقراض المتزايدة خلال القرن الواحد والعشرين وما بعده. ولن تتمكن معظم الكائنات النباتية والحيوانية من تغيير نطاقها الجغرافي بسرعة كافية لمواكبة المعدلات المتوقعة لتغير المناخ في معظم النظم البيئية (درجة عالية). ومن المرجح أن تكون هناك أيضاً تغييرات على نطاق واسع في تركيبة وهيكل ووظيفة ومرونة العديد من النظم البيئية
- **صحة البشر:** ستؤدي الآثار المتوقعة على صحة الإنسان إلى تفاقم المشاكل الصحية القائمة حتى



الشكل 10-1: تأثيرات التغير المناخي

الإطار 10-1: الآثار المحتملة للتغير المناخي

أصدرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ تقريرها الأخير في عام 2014، وفيما يلي بعض النتائج الرئيسية

"احترار النظام المناخي بات مسألة لا لبس فيها وأن كثيراً من التغيرات التي لوحظت ابتداءً من خمسينات القرن الماضي لم يسبق ملاحظتها في فترة تتراوح بين عقود وآلاف من السنين. فقد ارتفعت حرارة الغلاف الجوي والمحيطات وانخفضت كميات الثلوج والجليد، وارتفعت مستويات سطح البحار..

"وقد ازدادت انبعاثات الغازات الدفيئة بشرية المنشأ منذ عصر ما قبل الثورة الصناعية، مدفوعةً إلى حد كبير بالنمو الاقتصادي والسكاني، وهي الآن أعلى من أي وقت مضى. وقد أدى ذلك إلى زيادة تركيزات غازات ثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النيتروز في الغلاف الجوي بشكل لم يسبق له مثيل في آخر 800,000 سنة على الأقل. من المرجح أن تكون آثارها جنباً إلى جنب مع تأثيرات العوامل البشرية الأخرى في جميع أنحاء النظام المناخي السبب الرئيسي للإحتباس الملاحظ منذ منتصف القرن العشرين.

"في العقود الأخيرة، أحدثت التغيرات في المناخ آثاراً على النظم الطبيعية والبشرية في جميع القارات. وعبر المحيطات. تُعزى الآثار إلى تغير المناخ الملاحظ. بغض النظر عن سببه، مما يدل على حساسية النظم الطبيعية والبشرية إزاء تغير المناخ...⁵⁷

"سيسبب استمرار انبعاث الغازات الدفيئة مزيداً من الإحتباس والتغيرات الطويلة الأمد في جميع مكونات النظام المناخي، مما يزيد من احتمالية حدوث آثاراً حادة وواسعة الانتشار ولا يمكن محوها بالنسبة للأشخاص والنظم الإيكولوجية. سيتطلب الحد من تغير المناخ انخفاضات كبيرة ومستدامة في انبعاثات الغازات الدفيئة التي يمكن أن تحد. من مخاطر تغير المناخ، إلى جانب التكيف معها."

الكربون (مثل التحول من الغابات إلى الأراضي العشبية أو من الأراضي الزراعية إلى البنية التحتية للتخزين والنقل) ويمكن أن تؤدي أنشطة إدارة الأراضي إلى زيادة فقدان الكربون عن طريق اختلال التربة، وانخفاض استقرارها الكلي، وزيادة حدوث الحرائق، وفقدان الغطاء النباتي.

تعد الزراعة، والحراجة، واستخدام الأراضي الأخرى مسؤولة عن أقل بقليل من ربع غازات الإحتباس الحراري في العالم، وظلت مساهمتها الإجمالية ثابتة لبعض الوقت. وتتمثل العوامل الرئيسية في: إزالة الغابات والانبعاثات الزراعية من الثروة الحيوانية، وإدارة التربة والعناصر الغذائية، كما أن حرق الكتلة الحيوية هو عامل مؤثر أيضاً.⁶⁰ وتشير التقديرات إلى أنه في إطار

منتصف هذا القرن (درجة عالية جداً)، مما يؤدي إلى زيادة اعتلال الصحة في العديد من المناطق طوال القرن، لا سيما في البلدان النامية ذات الدخل المنخفض (درجة عالية).

- **المدن:** من المحتمل أن تكون هناك مخاطر متزايدة في المناطق الحضرية على الناس والأصول والاقتصاديات والنظم البيئية، بما في ذلك المخاطر الناجمة عن الإجهاد الحراري والعواصف والهطول الشديد للأمطار والفيضانات الداخلية والساحلية والانهيارات الأرضية وتلوث الهواء والجفاف وندرة المياه وارتفاع مستوى سطح البحر، وهبوب العواصف (درجة عالية جداً)، وستكون هذه المخاطر أسوأ بالنسبة لأولئك الذين يفتقرون إلى البنية التحتية والخدمات الأساسية أو الذين يعيشون في المناطق المعرضة للخطر.
- **المناطق الريفية:** من المتوقع أن تواجه آثاراً كبيرة على توافر المياه وإمداداتها، والأمن الغذائي، والبنية والدخل من الزراعة، والدخول الزراعية، بما في ذلك التحولات في مناطق إنتاج المحاصيل الغذائية وغير الغذائية في جميع أنحاء العالم (درجة عالية).
- **الهجرة:** من المحتمل زيادة تهجير السكان (أدلة متوسطة، اتفاق عال). السكان غير القادرين على القيام بالهجرة المخطط لها سيكونون أكثر تعرضاً للظواهر الجوية الحادة لا سيما في البلدان منخفضة الدخل.

- **الأمن السياسي والاجتماعي:** "يمكن أن يزيد التغير المناخي بشكل غير مباشر من مخاطر الصراعات العنيفة من خلال تضخيم دوافع مؤثقه جيداً لهذه الصراعات مثل الفقر والصدمة الاقتصادية (درجة متوسطة)"⁵⁸

تتجه الأرض إلى فترة من عدم الاستقرار المناخي لم يشهدها التاريخ من قبل، حيث ستتغير النظم البيئية وتصبح الظواهر الجوية الحادة أكثر شيوعاً، مما يقوض الأمن العام البشري، ونحن نشعر بالفعل بتلك الآثار؛ يمكن أن يؤدي استمرار الاتجاهات الحالية إلى تغيرات أكبر بعدة مرات في الحجم من تلك التي عايننا منها بالفعل.

إدارة الأراضي هي المحرك للتغير المناخي

فبالإضافة إلى الأراضي المتأثرة، تمثل ممارسات استخدام وإدارة الأراضي أحد العوامل الهامة في التغير المناخي. حيث يحدد تغير استخدام الأراضي، وإدارة الأراضي والمياه، والمناخ كمية الكربون التي يمكن تخزينها أو احتجازها أو إطلاقها في شكل غازات دفيئة. وفي عام 2019، ستنشر الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ تقريراً خاصاً عن التغير المناخي والتصحر وتدهور الأراضي والإدارة المستدامة للأراضي والأمن الغذائي وتدفقات غازات الإحتباس الحراري في النظم البيئية الأرضية.⁵⁹ وغالباً ما يستتبع تغير استخدام الأراضي التحول الطبيعي من الأنظمة الغنية بالكربون إلى استخدام أراضي ذات إمكانات أقل لتخزين

المحتجز في التربة أو تجاهله كإستراتيجية للحد منه في العديد من مبادرات التغيير المناخي.⁶⁷

كما تمثل الغابات أيضًا مستودعات ضخمة لتخزين الكربون. حيث تتراوح تقديرات الكربون المخزن في الغابات المدارية الرطبة بين 170 إلى 250 طن من الكربون / الهكتار (ط ك / هكتار)⁶⁸ ويرجع ذلك جزئيًا إلى كمية الكائنات النباتية الخشبية الكبيرة:⁶⁹ حيث أن حوالي 160 ط ك / هكتار من الكتلة الحيوية فوق الأرض. و 40 ط ك / هكتار تحت الأرض و 90-200 ط ك / هكتار في التربة.⁷⁰ تبدأ الغابات المدارية الرطبة في عزل الكربون بمجرد وصولها إلى المرحلة المعمرة. في كلا من غابات الأمازون⁷¹ وأفريقيا.⁷² وتحتوي الغابات الشمالية على ثاني أكبر مخزونات الكربون الأرضية ويتم تخزينها في الغالب في التربة وبقايا أوراق الشجر. حيث يبلغ متوسطها 60-100 ط ك / هكتار.⁷³ وتستمر في عزل الكربون عند نضجها.⁷⁴ وتعتبر الأراضي الخثية الموجودة تحت الغابات الشمالية هي السبب الرئيسي في اختزان هذا النوع من النظم البيئية للكثير من الكربون. ومع ذلك، يتم فقدان الكربون إذا ارتفع معدل تكرار احتراق الغابات.⁷⁵ ومن المرجح ازدياد هذه الحالة في ظل التغيير المناخي.⁷⁶ وإذا زادت أحجام قطع الغابات.⁷⁷ حيث من الممكن جدًا أن تتحول المنطقة الأحيائية من مستودع كربون إلى مصدر للكربون في المستقبل.

هناك مجموعة من أنشطة إدارة المحاصيل والثروة الحيوانية التي تحمي وتستعيد إنتاجية الموارد الأرضية وتعمل في نفس الوقت على خفض الانبعاثات وعزل الكربون (انظر الشكل 10-2). تعتبر الأراضي الرطبة الداخلية، وخاصة الأراضي الخثية، مخازن كربون كبيرة جدًا. في حين لا تغطي الأراضي الخثية سوى 3 في المائة من سطح اليابسة إلا أنه يُعتقد أنها تحتوي على أكبر مخزون الكوكب من الكربون.⁷⁹ وتحتوي الأراضي الخثية السليمة على ما يصل إلى 1300 طن من الكربون لكل هكتار⁸⁰ مع تقديرات بوجود 550 غيغا طن من الكربون مخزنة في الأراضي الخثية على مستوى العالم.⁸¹

تعتبر الأراضي العشبية هي الأخرى مستودعات رئيسية للكربون⁸² حيث تحتجز ما يتجاوز الـ 10 في المائة من إجمالي الكربون الأرضي.⁸³ أما الأراضي العشبية المدارية وأراضي السافانا فتحتوي على مخزون كربون يتراوح بين أقل من 2 ط ك / هكتار عند انعدام الأشجار ويصل إلى 30 ط ك / هكتار من السافانا الخشبية.⁸⁴ كما تعد الأراضي والسهوب العشبية المعتدلة مستودعات كربونية كبيرة.⁸⁵

سيناريو العمل المعتاد. فإن التكلفة الاقتصادية العالمية للتغيير المناخي من فقدان الغابات قد تصل إلى تريليون دولار أمريكي في السنة بحلول عام 2100.⁶¹ وفي حين أن خفض الانبعاثات من الوقود الأحفوري لا يزال على رأس أولويات العالم، فإن وقف وعكس مسار خسارة الغابات وتدهور الأراضي يعدان من أكثر المهام إلحاحًا في التخفيف من آثار التغيير المناخي باعتراف تام من الباحثين⁶² والحكومات.⁶³ والمنظمات غير الحكومية.⁶⁴

تخزين الكربون في النظم البيئية الأرضية

في نفس الوقت، نجد أن النظم البيئية في العالم لديها أيضًا القدرة على التخفيف من التغيير المناخي عن طريق تخزين وحجز غازات الإحتباس الحراري ومساعدة البشرية على التكيف مع التغييرات من خلال الحفاظ على خدمات النظم البيئية الحيوية والتنوع البيولوجي الذي يدعمها.

وبالنسبة إلى قضية التخفيف من آثار التغيير المناخي، يتمثل التحدي والفرصة المتاحة في كيفية تحويل الأرض من كونها مصدرًا للكربون لتصبح مكانًا للتخزين للكربون. وإذا تطلب الأمر مساهمة إدارة الأراضي مساهمة كبيرة في التخفيف من آثار التغيير المناخي، فإن ذلك يتطلب فهمًا جيدًا لآثار الأنشطة المختلفة لخدمات وإدارة الأراضي على معدلات عزل الكربون، وإنتاجية النبات، وإجمالي سعة التخزين.⁶⁵ وهناك حاجة إلى وجود حوافز كافية لتشجيع استخدامات الأراضي التي تمنع الانبعاثات وتحجز الكربون الإضافي. ويمكن للتغييرات في أنشطة إدارة الأراضي أن تقلل من انبعاثات غازات الإحتباس الحراري وتساعد أيضًا على عزل الكربون من الغلاف الجوي (انظر الجدول 10.3)، ولكن لا يزال الغموض يكتنف هذه الاحتمالات.

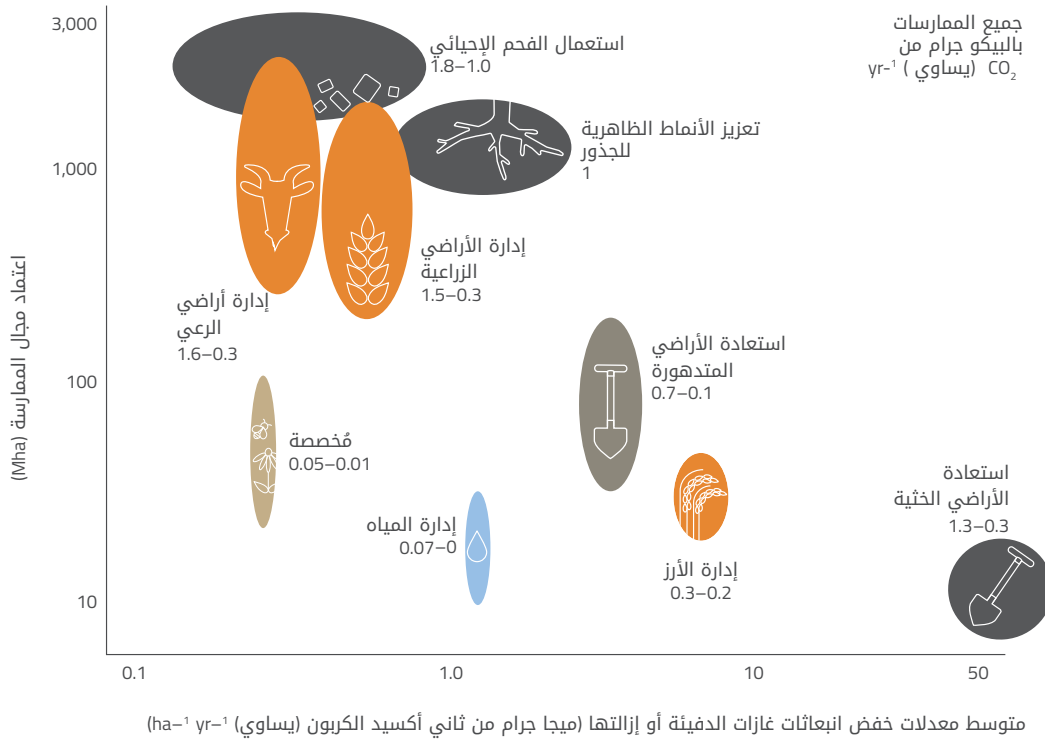
ويُعتقد أن التربة، بما في ذلك الأراضي الخثية، هي أكبر مستودعات تخزين للكربون على اليابسة حيث تحتجز أكثر من كل من الغلاف الجوي والغطاء النباتي مجتمعين.⁶⁶ ورغم تباين التقديرات، يتم احتجاز الكربون في التربة من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي الذي تحصل عليه النباتات من خلال عملية البناء الضوئي وتحتويه مخلفات المحاصيل والمواد الصلبة العضوية الأخرى. وتزيد نظم الإدارة من العزل الذي يضيف مزيدًا من الكتلة الحيوية إلى التربة، ويقلل من اختلالها، ويحافظ على المياه، ويحسن بنية التربة، ويعزز نشاط حيوانات اليابسة. وعلى النقيض يمكن فقدان الكربون المخزن بالتربة عن طريق سوء الإدارة كما نوقش في الفصول 7 و 8 و 9. وعلى الرغم من حجم مخزون الكربون، إلا أنه كثيرًا ما يتم التقليل من دور الكربون

المنطقة الأحيائية	جيغا طن كربون
الغابات المدارية وشبه المدارية	547.8
الأراضي العشبية المدارية وشبه المدارية، السافانا، وأراضي الأدغال.	2850.3
الصحارى وأراضي الأدغال الجافة.	178.0
الأراضي العشبية المعتدلة، السافانا، وأراضي الأدغال.	183.7
الغابات المعتدلة	314.9
الغابات الشمالية	384.2
التندرا	755.4
المجموع	2049.3

الجدول 10-3: الكربون المخزن في المنطقة الأحيائية⁸⁶



© Angela Benito



الشكل 10-2: الإمكانية العالمية لممارسات الحد من الغازات الدفيئة القائمة على الزراعة حيث تعادل الصفحة 1 (النجمة الخماسية) 1 مليار طن متري وتعادل الميغا (ميغ غرام) 1 طن متري: أعداد رسمها من 78

مضاعفة كمية الكربون المخزنة في النظم البيئية البرية⁸⁷

1. الحد من الانبعاثات الناجمة عن تغيرات إدارة الأراضي والزراعة المكثفة التي تشكل مصدراً لغازات الإحتباس الحراري:

- فالأراضي الاحتياطية التي تنطوي على إمكانات أعلى لتخزين الكربون من تحويلها عن طريق التكتيف المستدام للأراضي الموجودة بالفعل في الإنتاج (بصورة أساسية أراضي زراعية)
- تجنب أو الحد من التغيرات الكبرى في استخدام الأراضي (كإزالة الغابات، والتوسع الحضري السريع، والتمدد العمراني العشوائي، ومزارع الوقود الحيوي)
- حماية الأراضي الرطبة والعشبية من التحويل
- تحسين نظم الإنتاج التي ينبعث منها حالياً كميات كبيرة من غازات الإحتباس الحراري (كخفض انبعاثات غازات الإحتباس الحراري عن طريق تجفيف وترطيب حقول الأرز غير المقشور)

2. حماية التربة التي تحتوي على كميات كبيرة من الكربون:

- تجنب الإفراط في الصرف الذي يؤدي إلى أكسدة وتمعدن التربة العضوية؛ والحفاظ على معدل الارتفاع الأمثل لمستويات المياه الجوفية عن طريق تنظيم مستويات المياه الجوفية؛ وحماية واستعادة الأراضي الرطبة
- تجنب الممارسات الزراعية ونظم الإنتاج التي تسرع تآكل التربة وتحلل المواد العضوية فيها؛

كاستبدالها بنظم الزراعة بدون حرث أو قليلة الحرث، والتغطية الدائمة للتربة، وتدوير الرعي، وما إلى ذلك.

تجنب إزالة الأدغال أو الغابات عن طريق الحرق، والرعي الجائر والاستغلال المفرط للكساء الخضري، مما يقلل من المواد العضوية فوق سطح الأرض وتحت.

3. زيادة عزل الكربون وتحسين القدرة التخزينية.

- إعادة الأراضي الزراعية المستخدمة بشكل مكثف أو أراضي الرعي إلى نظم أكثر شمولاً، مثل إعادة ترطيب التربة العضوية أو قلب استخدام الأراضي (كإعادة أراضي المحاصيل إلى أرض عشبية أو كاستعادة الأراضي الرطبة)
- زيادة عزل الكربون ومخزونه من التربة المعدنية؛ وتطبيق ممارسات الإدارة الزراعية التي تعمل على تحسين إنتاج الكتلة الحيوية فوق سطح الأرض وتحت، واستبقاء مخلفات المحاصيل
- الحفاظ على "حرائق الفصول الباردة"، إذا اقتضت الضرورة، وذلك عن طريق حرق مناطق محددة وتجنب الحرائق البرية الكبيرة والمكثفة.

ويعتبر التخفيف من آثار التغير المناخي من خلال تحسين استخدام الأراضي وإدارتها استثماراً طويلاً الأجل ينطوي على مفاضلات في بعض الحالات، بسبب الوقت اللازم وعدم وجود فوائد فورية مستحقة لمستخدمي الأراضي المحليين. فعلى سبيل المثال،

الخاتمة

تبدو الاستجابات لهذه التحديات بسيطة: مصادر طاقة أقل تلويثًا، وأكثر كفاءة، وحلول موفرة للطاقة، وممارسات لاستخدام الأراضي وإدارتها تعطي الأولوية لحفظ الكربون في التربة.⁸⁹ ومع ذلك، فإن الاتفاق على ما يعنيه ذلك هو أمر صعب من الناحية العملية، ولا يزال من الصعب تنفيذ إستراتيجيات عادلة للطاقة النظيفة وتوسيع نطاق الإدارة المستدامة للأراضي.

ويعتبر التوفيق بين الطلب على الغذاء الذي يتزايد بوتيرة سريعة وبين الحاجة الماسة إلى معالجة التغير المناخي العالمي عن طريق تثبيت أو خفض الانبعاثات الناجمة عن الزراعة مشكلة معقدة تتطلب تدابير سياسية مبتكرة تعمل على تحفيز أفضل الممارسات، ولذلك ينبغي توجيه سياسات التخفيف من آثار التغير المناخي إلى المواقع التي تحتوي فيها المحاصيل على انبعاثات وكثافة عالية. وتشير النتائج بوضوح إلى أن على سياسات التخفيف من آثار تغير المناخ بالنسبة لأراضي المحاصيل إعطاء الأولوية للقضاء على استنزاف الأراضي الخثية.⁹⁰ كما أن للتحول في أنماط الأنظمة الغذائية إمكانات عالية للمساعدة في تقليل خسائر الكربون.⁹¹

ويعتقد البعض أنّ الطاقة النووية، أيا كانت مخاطرها، أفضل من اعتمادنا المتواصل على الوقود الأحفوري.⁹² بينما يتناقش آخرون حول مستقبل غير نووي للطاقة المتجددة.⁹³ كما يعتقد بعض المحللين أن إمدادات النفط بلغت ذروتها وأن العالم يواجه نقصًا حقيقيًا في الطاقة.⁹⁴ بينما يعترض آخرون على ذلك.⁹⁵ ولا يزال المدى الذي يتعين على الدول الاعتماد عليه من الطاقة الكهرومائية مثار جدال حاد، وهناك زخم هائل لمواصلة اتباع نهج العمل المعتاد، ولدى الأطراف الفاعلة بالصناعات الرئيسية القدرة على خلق مستقبل للطاقة يخدم صناعاتها الخاصة، وبدأت الاستراتيجيات التي تعالج التحدي المزيج المتمثل في الطاقة والمناخ في الظهور، ولكنها في المجمل تفعل ذلك بوتيرة تدريجية وأبطأ بكثير مما نحتاج.

يمكن لتحسين إدارة التربة المعدنية عن طريق زراعة المحاصيل الغطائية والحد من اختلال التربة أن يحسن من القدرة على تخزين الكربون دون زيادة ارتفاع مستويات المياه الجوفية. مما يقلل من خطر انبعاثات غاز الميثان في كلا من التربة العضوية والمعدنية، ويبرهن على ضرورة حساب توازن الكربون الكلي بعناية. تعود بعض إستراتيجيات تخفيف آثار التغير المناخي، بما في ذلك إعادة ترطيب التربة العضوية واستعادة الأراضي العشبية، بفوائد مشتركة واضحة على حفظ التنوع البيولوجي وزيادة قدرة النظام برمته على التأقلم.

إدارة الأراضي من أجل زيادة القدرة على التأقلم.

بالإضافة إلى عزل الكربون وتخزينه، توفر النظم البيئية الطبيعية وشبه الطبيعية المدارة إدارة سليمة لمجموعة من خدمات النظم البيئية الهامة، على النحو المبين في الفصل الرابع. ويشمل ذلك دورها في منع أو الحد من آثار الكوارث الناجمة عن الأحوال الجوية، وتوفير إمدادات مياه آمنة وصالحة للشرب، والتصدي للقضايا الصحية الناجمة عن التغير المناخي، وحماية الإمدادات الغذائية، بما في ذلك الأغذية البرية ومصائد الأسماك والفصائل البرية للمحاصيل. والأهم من ذلك، دورها في الحفاظ على مناخ بيولوجي سليم يعمل من خلال حماية دورات المغذيات والمياه وتكوين التربة، حيث يمكن للنظم البيئية التي تعمل بشكل جيد أن توفر للبنات الأساسية لضمان الأمن الغذائي والمائي على المدى الطويل.

ويعتمد التكيف الفعال على استمرارية النظام البيئي نفسه في العمل. لذا يبحث المسؤولون عن إدارة المناطق الطبيعية بصورة متزايدة عن خيارات لزيادة القدرة على التكيف أمام التغير المناخي وأشكال الإجهاد الأخرى.⁸⁸ ويقلل ضمان أن يكون رأس المال الطبيعي القائم على الأرض قويًا قدر الإمكان وأن يدار على نحو مستدام من انبعاث غازات الاحتباس الحراري ويساهم في عزل الكربون وتحسين قدرة الإنسان على التكيف مع آثار التغير المناخي.

- 26 Henle, K., Gawel, E., Ring, I., and Strunz, S. 2016. Promoting nuclear energy to sustain biodiversity conservation in the face of climate change: Response to Brook and Bradshaw 2015. *Conservation Biology* **30** (3): 663-665.
- 27 Samet, J.M., Kutvirt, D.M., Waxweiler, R.J., and Key, C.R. 1984. Uranium mining and lung cancer in Navajo men. *The New England Journal of Medicine* **310** (23): 1481-1484.
- 28 Alexievich, S. 1997 (translation 2016). *Chernobyl Prayer*. Penguin, Harmondsworth.
- 29 Holt, M., Campbell, R.J., and Nikitin, M.B. 2012. Fukushima Nuclear Disaster. Congressional Research Service, Washington, DC.
- 30 Srinivasan, T.N. and Gopi Rethinaraj, T.S. 2013. Fukushima and thereafter: Reassessment of the risks of nuclear power. *Energy Policy* **52**: 726-736.
- 31 World Commission on Dams. 2000. Dams and Development: A new framework for decision-making. Earthscan, London.
- 32 Scherer, L. and Pfister, S. 2016. Global water footprint assessment of hydropower. *Renewable Energy* **99**: 711-720.
- 33 Kemenes, A., Rider Forsberg, B., and Melack, J.M. 2007. Methane release below a tropical hydropower dam. *Geophysical Research Letters* **34** (12).
- 34 Pethick, J.S., Morris, R.K.A., and Evans, D.H. 2009. Nature conservation implications of a Severn tidal barrage – A preliminary assessment of geomorphological change. *Journal for Nature Conservation* **17**: 183-196.
- 35 Drewitt, A.L. and Langston, R.H.W. 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* **148**: 29-42.
- 36 Wu, G., Torn, M., and Williams, J. 2015. Incorporating land-use requirements and environmental constraints in low-carbon electricity planning for California. *Environmental Science and Technology* **49**: 2013-2021.
- 37 Hertwich, E., Gibon, T., Boumana, E.A., Arvesen, A., Suh, S., et al. 2015. Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **112** (20): 6277-6282.
- 38 Kaza, N. and Curtis, M. 2014. The land use energy connection. *Journal of Planning Literature* **29** (4): 1-16.
- 39 Hammar, L., Perry, D., and Gullström, M. 2016. Offshore wind power for marine conservation. *Open Journal of Marine Science* **6**: 66-78.
- 40 Ong, S., Campbell, C., Denholm, P., Margolis, R., and Heath, G. 2013. *Land-Use Requirements for Solar Power Plants in the United States*. National Renewable Energy Laboratory Technical Report NREL/TP-6A20-56290. Golden, CO, USA.
- 41 Hernandez, R.R., Easter, S.B., Murphy-Mariscal, M.L., Meestre, F.T., and Tavassoli, M. 2014. Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **29**: 766-779.
- 42 Dinesh, H. and Pearce, J. 2016. The potential of agrivoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **54**: 299-308.
- 43 <http://www.agrophotovoltaik.de/english/agrophotovoltaics/>, accessed May 10, 2017.
- 44 van Dam, J. 2017. The charcoal transition: *Greening the charcoal value chain to mitigate climate change and improve local livelihoods*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- 45 Donnison, I. and Fraser, M. 2016. Diversification and use of bioenergy to maintain future grasslands. *Food and Energy Security* **5** (2): 67-75.
- 46 Thrän, D. and Fritsche, U. 2016. Standards for biobased fuels and resources – status and need. In: IEA Bioenergy Conference 2015 Proceedings: 148-158.
- 47 Zhang, J. and Smith, K.R. 2007. Household air pollution from coal and biomass fuels in China: Measurements, health impacts and interventions. *Environmental Health Perspectives* **115** (6): 848-855.
- 48 Haberl, H., Erb, K.-H., Krausmann, F., Running, S., Searchinger, T.D., and Smith, W.K., 2013. Bioenergy: How much can we expect for 2050? *Environmental Research Letters* **8**: 031004.
- 49 Kartha, S. and Dooley, K. 2016. *The risks of relying on tomorrow's 'negative emissions' to guide today's mitigation action*. Stockholm Environment Institute Working Paper 2016-08. Stockholm.
- 50 Creutzig, F. 2016. Economic and ecological views on climate change mitigation with bioenergy and negative emissions. *GCB Bioenergy* **8**: 4-10.
- 51 Zarruk, S.J. and Moon, H. 2014. Efficiency of geothermal power plants: A worldwide review. *Geothermics* **51**: 142-153.
- 1 Grubler, A. 2004. Transitions in Energy Use. In: *The Encyclopedia of Energy* volume 6, Elsevier, pp. 163-177.
- 2 Anon. 2015. Climate milestones leading to 1965 PCAST Report. *Science* **350**: 1046.
- 3 Hulme, M. and Mahony, M. 2010. Climate change: What do we know about the IPCC? *Progress in Physical Geography* **34** (5): 705-718.
- 4 Knopf, B., Fuss, S., Hansen, G., Creutzig, F., Minx, J., and Edenhofer, O. 2017. From targets to action: Rolling up our sleeves after Paris. *Global Challenges* **1** (2): 1600007.
- 5 Dudley, N. 2008. Back to the energy crisis: The need for a coherent policy towards energy systems. Policy Matters issue 16. IUCN Commission on Environmental, Economic and Social Policy, Switzerland.
- 6 See for example Singer, S. (ed.) 2011. *The Energy Report: 100% renewable energy by 2050*. WWF International, Gland, Switzerland.
- 7 UNCCD. 2016. *Land Matters for Climate: Reducing the gap and approaching the target*. UNCCD, Bonn.
- 8 Rowell, A., Marriott, J., and Stockman, L. 2005. *The Next Gulf: London, Washington and Oil Conflict in Nigeria*. Constable and Robinson, London.
- 9 Mendelssohn, I.A., Andersen, G.L., Baltz, D.M., Caffey, R.H., Carman, K.R., et al. 2012. Oil impacts on coastal wetlands: Implications for the Mississippi river delta ecosystem after the Deepwater Horizon oil spill. *BioScience* **62** (6): 562-574.
- 10 UNEP 2011. *Environmental assessment of Ogoniland*. United Nations Environment Programme, Nairobi.
- 11 Department of Environment, Food and Rural Affairs. 2015. Draft Plans to Improve Air Quality in the UK: Tackling nitrogen dioxides in our towns and cities. HM Government, London.
- 12 <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>, accessed February 12, 2017.
- 13 Gosselin, P., Hruday, S.E., Naeth, M.A., Plourde, A., Therrien, R., et al. 2010. Environmental and Health Impacts of Canada's Oil Sands Industry. The Royal Society of Canada. Ottawa; Timoney, K.P. and Lee, P. 2009. *Does the Alberta tar sands industry pollute? The scientific evidence*. *The Open Conservation Biology Journal* **3**: 65-81.
- 14 Jones, N., Pejchar, L., and Kiesecker, J. 2015. The energy footprint: How oil, natural gas, and wind energy affect land for biodiversity and the flow of ecosystem services. *BioScience* **65** (3): 290-301.
- 15 Jackson, R.B., Vengosh, A., Carey, J.W., Davies, R.J., Darrah, T.H., O'Sullivan, F., and Pétron, G. 2014. The environmental costs and benefits of fracking. *Annual Review of Environment and Resources* **39**: 1-655.
- 16 Dannwolf, U. and Heckelsmüller, A. 2014. *Environmental Impacts of Hydraulic Fracturing Related to the Exploration and Exploitation of Unconventional Natural Gas, in Particular of Shale Gas Part 2 – Groundwater Monitoring Concept, Fracking Chemicals Registry, Disposal of Flowback, Current State of Research on Emissions/ Climate Balance, Induced Seismicity, Impacts on Ecosystem, Landscape and Biodiversity – Summary*. Umweltbundesamt, Dessau.
- 17 Olivier, J.G.J., Janssens-Maenhout, G., Muntean, M., and Peters, J.A.H.W. 2014. *Trends in Global CO2 Emissions: 2014 Report*. PBL and IJC, The Hague.
- 18 Younger, P.H. 2004. Environmental impacts of coal mining and associated wastes: A geochemical perspective. In: Gieré, R. and Stille, P. (eds.) *Energy, Waste and the Environment: A geochemical perspective*. Geological Society London, Special Publications **236**: 169-209.
- 19 Berrill, P., Arvesen, A., Scholz, Y., Gils, H.C., and Hertwich, E.G. 2016. Environmental impacts of high penetration renewable energy scenarios for Europe. *Environmental Research Letters* **11**: 014012.
- 20 Chen, H., Feng, Q., Long, R., and Qi, H. 2013. Focusing on coal miners' occupational disease issues: A comparative analysis between China and the United States. *Safety Science* **51**: 217-222.
- 21 Burt, E., Orris, P., and Buchanan, S. 2013. *Scientific Evidence of Health Effects from Coal Use in Energy Generation*. University of Illinois at Chicago School of Public Health, Chicago.
- 22 National Swedish Environment Protection Board. 1983. *Ecological Effects of Acid Deposition*. Report SNV PM 1636. Solna, Sweden.
- 23 Wang, C. and Mu, D. 2014. An LCA study of an electrical coal supply chain. *Journal of Industrial Engineering and Management* **7**: 311-335.
- 24 Simate, G.S. and Ndlovu, S. 2014. Acid mine drainage: Challenges and opportunities. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2** (3): 1785-1803.
- 25 Brook, B. and Bradshaw, C. 2015. Key role for nuclear energy in global biodiversity conservation. *Conservation Biology* **29** (3): 702-712.

- 77 Holtsmark, B. 2013. Boreal forest management and its effect on atmospheric CO₂. *Ecological Modelling* **248**: 130-134.
- 78 Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., and Smith, P. 2016. Climate-smart soils. *Nature*, **532**: 49-57.
- 79 Parish, F., Sirin, A., Charman, D., Jooster, H., Minayeva, T., and Silvius, M. (eds.) 2007. *Assessment on Peatlands, Biodiversity and Climate Change*. Global Environment Centre, Kuala Lumpur and Wetlands International, Wageningen, Netherlands.
- 80 Pena, N. 2008. *Including peatlands in post-2012 climate agreements: Options and rationales*, Report commissioned by Wetlands International from Joanneum Research, Austria.
- 81 Sabine, C.L., Heimann, M., Artaxo, P., Bakker, D.C.E., Chen, C.T.A., et al. 2004. Current status and past trends of the global carbon cycle. In: Field C.B. and Raupach, M.R (eds.) *The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World*. Island Press, Washington, DC, USA, pp. 17-44.
- 82 Schuman, G.E., Janzen, H.H., and Herrick, J.E. 2002. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. *Environmental Pollution* **116**: 391-396.
- 83 Nosberger J., Blum, H., and Fuhrer, J. 2000. Crop ecosystem responses to climatic change: Productive grasslands. In: Hodges H.F. (ed.) *Climate change and global crop productivity*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 271-291.
- 84 Grace, J., San José, J., Meir, P., Miranda H.S., and Montes, R.A. 2006. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography* **33**: 387-400.
- 85 Amundson, R. 2001. The carbon budget in soils. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **29**: 535-562.
- 86 Trumper, K., Bertzyk, M., Dickson, B., van der Heijden, G., Jenkins, M., and Manning, P. 2009. *The Natural Fix? The Role of Ecosystems in Climate Mitigation*. A UNEP rapid response assessment. United Nations Environment Programme, UNEP-WCMC, Cambridge, UK.
- 87 Liniger, H.P., Mekdaschi Studer, R., Moll, P., and Zander, U. 2017. *Making sense of research for sustainable land management*. Centre for Development and Environment (CDE), University of Bern, Switzerland and Helmholtz-Centre for Environmental Research GmbH – UFZ, Leipzig, Germany.
- 88 Andrade Pérez, A., Herera Fernández, B., and Cazzolla Gatti R. (eds.) 2010. *Building Resilience to Climate Change: Ecosystem-based adaptation and lessons from the field*. IJCN Commission on Ecosystem Management, Ecosystem Management Series number 9, IUCN, Gland, Switzerland; Epplé, C. and Dunning, E. 2014. *Ecosystem resilience to climate change: What is it and how can it be addressed in the context of climate change adaptation?* Technical report for the Mountain EbA Project. UNEP World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK.
- 89 Swingland, I.R. (ed.) 2002. *Capturing Carbon and Conserving Biodiversity: The market approach*. Earthscan and The Royal Society, London.
- 90 Carlson, K. M., Gerber, J. S., Mueller, N. D., Herrero, M., MacDonald, G. K., et al. 2017. Greenhouse gas emissions intensity of global croplands. *Nature Climate Change* **7**, 63-68.
- 91 Erb, K.-H., Lauk, C., Kastner, T., Mayer, A., Theurl, M.C., and Haberl, H. 2016. Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation. *Nature Communications* **7**: 11382.
- 92 Walker, G. and King, D. 2008. The Hot Topic: *How to tackle global warming and still keep the lights on*. Bloomsbury, London.
- 93 Centre for Alternative Technology. 2013. *Zero Carbon Britain: Rethinking the future*. CAT, Machynlleth, Wales, UK.
- 94 Roberts, P. 2004. *The End of Oil: The decline of the petroleum economy and the rise of the new energy order*. Bloomsbury, London; Leggett, J. 2005, *Half Gone: Oil, gas, hot air and the global energy crisis*. Portobello Books, London.
- 95 Clarke, D. 2007. *The Battle for Barrels: Peak oil myths and world oil futures*. Profile Books, London.
- 52 Lombardi, L., Carnevale, E., and Corti, A. 2015. A review of technologies and performance of thermal treatment systems for energy recovery from waste. *Waste Management* **37**: 26-44.
- 53 Budzianowski, W.M. 2016. Renewable and sustainable. *Energy Reviews* **54**: 1148-1171.
- 54 Fritsche, U.R., Berndes, G., Cowie, A.L., Dale, V.H., Kline, K.L., Johnson, F.X., Langeveld, H., Sharma, N., Watson, H., and Woods, J. 2017. *Sustainable Energy Options and Implications for Land Use*. Working Paper for the UNCCD Secretariat and IRENA, Darmstadt.
- 55 Ibid.
- 56 Kaza, N. and Curtis, M. 2014. Op. cit.
- 57 IPCC. 2014. Climate Change 2014: *Synthesis Report*.
- 58 Ibid.
- 59 <http://www.ipcc.ch/report/sr2/>
- 60 Smith, P., Bustamante, M., Ahammad, H., Clark, H., Dong, H., et al. 2014. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kłodner, S., et al. (eds.) *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- 61 Eliasch, J. 2008. *Climate Change: Financing global forests – the Eliasch Review*, Earthscan, London. See also: Canadell, J.G., Le Quéré, C., Raupach, M.R., Field, C.B., Buitenhuis, E., et al. 2007. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **104**: 18866-18870.
- 62 Malhi, Y., Roberts, J.T. Betts, R.A., Killeen, T.J., Li, W., and Nobre, C.A. 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science* **319**: 169-172.
- 63 For example European Climate Change Programme. 2002. Working group on forest sinks: Conclusions and recommendations regarding forest related sinks & climate change mitigation.
- 64 Sandwith, T. and Suarez, I. 2009. *Adapting to Climate Change: Ecosystem-based adaptation for people and nature*, The Nature Conservancy, Arlington, VA, USA.
- 65 Erb, K.-H., Fetzl, T., Plutzer, C., Kastner, T., Lauk, C., et al. 2016. Biomass turnover time in terrestrial ecosystems halved by land use. *Nature Geosciences* **9**: 674-678.
- 66 Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science* **304**: 1623-1627.
- 67 Scherr, S.J. and Sthapit, S. 2009. *Mitigating Climate Change through Food and Land Use*. World Watch Report 179. World Watch Institute, USA.
- 68 Malhi, Y., Wood, D., Baker, T.R., Wright, J., Phillips, O.L., et al. 2006. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology* **12**: 1107-1138; Chave, J., Olivier, J., Bongers, F., Chatelet, P., Forget, P.M., et al. 2008. Aboveground biomass and productivity in a rain forest of eastern South America. *Journal of Tropical Ecology* **24**: 355-366; Lewis, S.L., Lopez-Gonzalez, G., Sonké, B., Affum-Baffoe, K., Baker, T.R., et al. 2009. *Increasing carbon storage in intact African tropical forests*. *Nature* **457**: 1003-1006.
- 69 Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., et al. 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology* **10**: 545-562.
- 70 Amundson, R. 2001. The carbon budget in soils. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* **29**: 535-562.
- 71 Baker, T.R., Phillips, O.L., Malhi, Y., Almeida, S., Arroyo, L., et al. 2004. Increasing biomass in Amazon forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* **359**: 353-365.
- 72 Lewis, S.L., Lopez-Gonzalez, G., Sonké, B., Affum-Baffoe, K., Baker, T.R., et al. 2009. Increasing carbon storage in intact African tropical forests. *Nature* **457**: 1003-1006.
- 73 Malhi, Y., Baldocchi, D.D., and Jarvis, P.G. 1999. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant, Cell and Environment* **22**: 715-740; Luyssoert, S., Inghima, I., Jung, M., Richardson, A.D., Reichsteins, M., et al. 2007. CO₂ balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database. *Global Change Biology* **13**: 2509-2537.
- 74 Luyssoert, S. E., Schulze, D., Börner, A., Knohl, D., Hessenmöller, D., et al. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* **455**: 213-215.
- 75 Bond-Lamberty, B., Peckham, S.D., Ahl, D.E., and Gower, S.T. 2007. Fire as the dominant driver of central Canadian boreal forest carbon balance. *Nature* **450**: 89-93.
- 76 Stocks, B.J., Fosberg, M.A., Lynham, T.J., Mearns, L., Wotton, B.M., et al. 1998. Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forests. *Climatic Change* **38**: 1-13.