

الطريق

إلى

الصففر

يمكن الوصول بصافي الانبعاثات إلى مستوى الصففر وحصر الاحترار العالمي في حدود ١,٥ درجة مئوية من خلال إجراءات شاملة وسريعة على مستوى السياسات.

كريستوف بيرترام وأوتمار إدينهوفر وغونار لودرير

التوظيف في قطاع الطاقة وتحسين الآفاق الوظيفية على المدى الطويل.

خفض المحتوى الكربوني في قطاع الكهرباء

تظل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عالقة في الغلاف الجوي لمئات السنين، ويكون للانبعاثات المتراكمة من غازات الدفيئة تلك دور كبير بالتالي في تحديد حجم الاحترار الناتج عنها. ويعني ذلك أن حجم الخفض في الانبعاثات على المدى القريب أهم من تحديد السنة التي يمكن الوصول فيها بحجم الانبعاثات إلى الصففر. ولتحقيق هدف كبح الاحترار العالمي في حدود ١,٥ درجة مئوية بنسبة أرجحية متوسطة، يتعين خفض الانبعاثات على الفور. وتتمثل الوسيلة الأقل تكلفة على الإطلاق لتحقيق هذا الهدف في تخفيض الانبعاثات بحلول عام ٢٠٣٠ إلى نصف مستواها تقريبا عام ٢٠٢٠.

التقدم الهائل في التكنولوجيات الخضراء بأفاق واعدة لتحقيق الخفض غير المسبوق في حجم الانبعاثات اللازم لحصر الاحترار العالمي في حدود ١,٥ درجة مئوية كما تنص اتفاقية باريس للمناخ. ولكن الأمر سيتطلب إعادة هيكلة كاملة لنظم الطاقة واستخدام الأراضي العالمية، إلى جانب تطبيق المزيج الصحيح من السياسات التحفيزية. ويمكن لصناع القرار الاسترشاد بالمعارف والخبرات المتزايدة في هذا المجال للتشجيع على استخدام التكنولوجيات الخضراء الحالية والتعجيل باستحداث تكنولوجيات جديدة.

والوصول إلى مسار خفض الاحترار العالمي إلى أقل من ١,٥ درجة مئوية لن يسهم في الحد بدرجة كبيرة من المخاطر المصاحبة لتغير المناخ فحسب، بل ينطوي أيضا على عدد من المزايا المهمة، بدءا من تحسن جودة الهواء وتحديث البنية التحتية والاقتصادات وحتى زيادة

يبشر

والخطوة الأولى في هذا المسار هي قطاع الكهرباء الذي يساهم حالياً بحوالي ثلث مجموع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (انظر الرسم البياني). وبينما لا يزال توليد الكهرباء يعتمد على الفحم والغاز في المقام الأول، فإن مكاسب إضافة قدرة توليد جديدة من الرياح والطاقة الشمسية تفوق على نحو متزايد تلك المتحققة من الوقود الأحفوري. واتضح من الجائحة أن نظم الكهرباء تصبح أكثر نظافة عادة مع تراجع الطلب، حيث تُغلق في البداية محطات توليد الكهرباء الأعلى تكلفة التي تعمل بالفحم والغاز، وتواصل المحطات التي تعمل بالرياح والطاقة الشمسية والنووية والمائية توليد أكبر قدر ممكن من الكهرباء يمكن للأسواق استيعابه (راجع دراسة Bertram and others 2021). ومن الواضح أن زيادة كفاءة استخدام الكهرباء من شأنها المساهمة بدرجة كبيرة في التعجيل بخفض الانبعاثات دون المساس بطاقة النظام. وهو أمر مهم لا سيما خلال العقد القادم حيث سيظل الوقود الأحفوري كثيف الكربون يستحوذ على نصيب كبير من توليد الكهرباء.

غير أن الأهم من ذلك هو زيادة كفاءة استهلاك الوقود السائل والصلب والغازي في الصناعات والنقل والمباني، نظراً لأن مكاسب الكفاءة تؤدي إلى خفض فوري في حجم الانبعاثات.

ولم تعد محدودية تكنولوجيات الطاقة النظيفة المتاحة تشكل عائقاً أمام خفض المحتوى الكربوني في قطاع الكهرباء — لا سيما في ظل تطور النظم المدمجة — ولكن العائق الحقيقي ينشأ عن التباطؤ في خفض استخدام الطاقة المتولدة عن الوقود الأحفوري. ومن الضروري تنظيم انبعاثات غازات الدفيئة، من خلال آلية لتسعير الكربون والتي تعد الحل الأمثل لهذا الغرض، لتحويل الاستثمارات الجديدة إلى تكنولوجيات الطاقة الخضراء وإتاحة حوافز للتشجيع على سحب محطات الطاقة من الخدمة تدريجياً. وإذا ما نجح المجتمع العالمي في استغلال الفرصة المتاحة في ظل التراجع السريع للمحتوى الكربوني في قطاع الطاقة، سيتمكن تخفيض انبعاثات القطاع بأكثر من الثلث بحلول عام ٢٠٣٠ كما يتضح من سيناريو صافي الانبعاثات الصفري لعام ٢٠٥٠ في الرسم البياني.

ماذا عن استخدام الأراضي ودوره في تحقيق هدف صافي الانبعاثات الصفري؟ يتضمن قطاع الأراضي في الوقت الحالي مصارف لثاني أكسيد الكربون (أي الاستخدامات التي تسحب الكربون من الغلاف الجوي، كزراعة غابات جديدة) ومصادر لثاني أكسيد الكربون، لا سيما إزالة الغابات وغيرها من استخدامات الأراضي. ومن شأن تغيير ممارسات استخدام الأراضي تحقيق حيادية الكربون في هذا القطاع بحلول عام ٢٠٣٠ (بالرغم من أن استخدام الأراضي — لا سيما الزراعة — سيظل حتماً من العوامل المساهمة في الاحترار من خلال انبعاثات الميثان وأكسيد النيتروز).

وحسب السيناريوهات، يصبح الطلب على الطاقة من الصناعات والمباني والنقل هو المساهم الأول في انبعاثات

ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن الوقود الأحفوري في عام ٢٠٣٠ وما بعده، وذلك تماشياً مع هدف حصر الاحترار العالمي في حدود ١,٥ درجة مئوية. ووفقاً لهذه السيناريوهات، يتعين خفض مجموع انبعاثات هذه القطاعات بأكثر من النصف بحلول عام ٢٠٤٠ والوصول إلى حوالي ربع المستويات الحالية عام ٢٠٥٠ لتحقيق حيادية الكربون قرب هذا التاريخ.

ويتطلب تعويض هذه الانبعاثات المتبقية المنخفضة نسبياً اتخاذ إجراءات سريعة وصعبة للغاية للتوسع في استخدام خيارات إزالة ثاني أكسيد الكربون، كزراعة غابات جديدة، وحبس الهواء مباشرة — أي سحب ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي وتخزينه في الوسائط الجيولوجية — وتكنولوجيات الطاقة الحيوية المزودة بأليات لحبس الكربون وتخزينه التي تنتج طاقة نظيفة من الكتلة الحيوية مع حبس الكربون وتخزينه بشكل دائم.

توجد خيارات متنوعة لتنفيذ نظام طاقة عالمي صفري الكربون يسمح بموازنة جميع الكربون المضاف إلى الغلاف الجوي من خلال سحب قدر مماثل من الكربون.

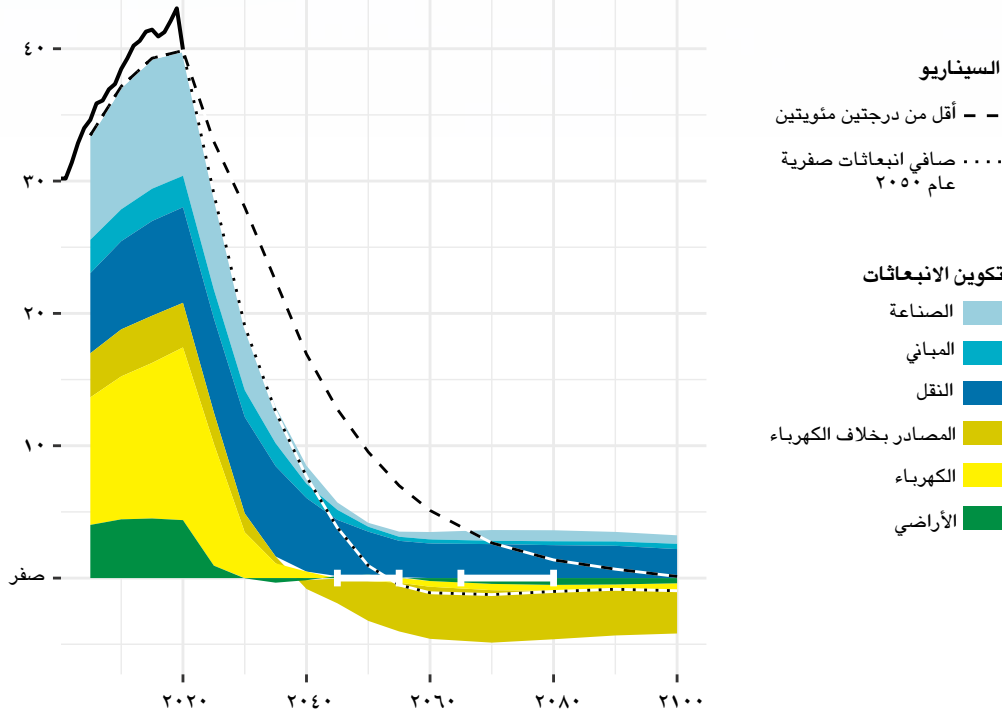
والعديد من التكنولوجيات اللازمة لخفض المحتوى الكربوني في قطاعات الطلب تعتمد بشكل مباشر أو غير مباشر على توليد الكهرباء من خلال الوقود الهيدروجيني، مثل تكنولوجيات خلايا الوقود والوقود الاصطناعي (راجع دراسة Ueckerdt and others 2021). غير أن هذه التكنولوجيات لم تستخدم بعد على نطاق واسع في الأسواق وستواجه على الأرجح تحديات مؤسسية وبيئية. لذلك يوجد قدر كبير من عدم اليقين بشأن الأداء المستقبلي لهذه التكنولوجيات وتكلفتها مقارنة بالتكنولوجيات المستخدمة اليوم (مثل السيارات الكهربائية التي تعمل بالطاقة المتجددة والبطاريات).

وتعني حالة عدم اليقين تلك وجود خيارات متنوعة لتنفيذ نظام طاقة عالمي صفري الكربون يسمح بموازنة جميع الكربون المضاف إلى الغلاف الجوي من خلال سحب قدر مماثل من الكربون. وفي حالة تطور جميع هذه الخيارات على نحو أفضل من المتوقع، قد يكون من الممكن (والمجدي) تحقيق انبعاثات سالبة صافية أكبر (من خلال سحب قدر أكبر من الكربون يتجاوز حجم الكربون المضاف). مما يؤدي إلى تراجع وسيط درجات الحرارة العالمية عقب بلوغ ذروتها. أما في حالة تطور بعض الخيارات التكنولوجية على نحو أسرع من المتوقع وتأخر البعض الآخر، فقد يختلف مزيج الخيارات المتبقية عن المتوقع، ولكن يظل من الممكن تحقيق هدف الانبعاثات

الوصول إلى الصفر

يجب أن تساهم مختلف القطاعات في الوصول بانبعثات ثاني أكسيد الكربون إلى مستوى الصفر بحلول عام ٢٠٥٠، بما يتماشى مع قصر الاحترار العالمي على ١,٥ درجة مئوية في الوقت الحالي ثم درجتين مئويتين بحلول عام ٢١٠٠ بعد عقود قليلة من الآن.

(انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، غيغا طن ثاني أكسيد الكربون/السنة)



المصدر: تقديرات المؤلف استنادا إلى بيانات السيناريو الصادرة عن «شبكة تخضير النظام المالي» والبيانات التاريخية المستمدة من «مشروع الكربون العالمي».

ملحوظة: المصادر بخلاف الكهرباء تتضمن الانبعاثات الناتجة عن إنتاج الوقود، ومعظمها يتركز في محطات التكرير. وتشير الخطوط البيضاء إلى التواريخ الإلزامية لتحقيق حيادية الكربون حسب تقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ بعنوان Intergovernmental Panel on Climate Change SR1.5 (2018).

ومن الممكن أن يكون وضع سعر للكربون من أهم الأدوات اللازمة لإتمام هذا التحول، ويتم التنفيذ إما في صورة سوق لإصدار التراخيص مثل نظام الاتحاد الأوروبي لتداول الانبعاثات أو من خلال فرض رسوم على الكربون تتزايد بمرور الوقت. ووفقا لسيناريوهات «صافي الانبعاثات الصفرية ٢٠٥٠» التي وضعتها شبكة تخضير النظام المالي (NGFS 2021)، تتراوح تقديرات أسعار الكربون من ١٠٠ إلى ٢٠٠ دولار أمريكي لطن ثاني أكسيد الكربون في عام ٢٠٣٠، لترتفع ارتفاعا حادا لاحقا حتى عام ٢٠٥٠. غير أنه من الممكن فرض أسعار كربون أقل على المدى الطويل في حالة تطبيق سياسات تكميلية لاستيعاب جزء من العبء الناتج عن خفض المحتوى الكربوني، كالسياسات المشار إليها على سبيل المثال في سيناريو «صفر صاف بحلول عام ٢٠٥٠» الذي وضعته الوكالة الدولية للطاقة (IEA 2021)، حيث يولي هذا السيناريو دورا أكبر للسياسات

الصفرية الصافية عموما. لكن التأخر في تطوير جميع هذه الخيارات — أو وجود معوقات أو اختناقات غير متوقعة لا يمكن التغلب عليها (مثل القضايا المتعلقة باستدامة الطاقة الحيوية) — سيجعل إيجاد نظام طاقة ذي انبعاثات صفرية صافية أصعب كثيرا مما يُتوقع حاليا.

تحول سلس

إن التحول اللازم لكبح الاحترار العالمي في حدود ١,٥ درجة مئوية بنسبة أرجحية معقولة يجب أن يكون تحولا شاملا وسريعا ليحقق الغرض منه. ومع ذلك، يمكن أن تكون عملية التحول سلسة نسبيا إذا ما تم استخدام مزيج السياسات التحفيزية الملائم. وفي الواقع، فإن تحقيق تحول شامل وعادل لا يستثني أحدا يعد شرطا سياسيا لاستمرار دعم السياسات. لذلك ينبغي أن ينفذ صناع السياسات مزيجا من السياسات استنادا إلى الأدوات الملائمة.

يتمثل أحد الخيارات الواعدة لتعزيز التعاون بين البلدان في إنشاء نواد مناخية لفرض أسعار دنيا متفاوتة على الكربون.

في وقت قريب للغاية لتبدأ في التراجع عنها لاحقاً، وهو أمر ممكن من المنظور التكنولوجي في ظل التطورات الأخيرة في قطاع الكهرباء. وعلى البلدان مرتفعة الدخل أن تعترف بأنها تدين للبلدان الأخرى بتقديم المزيد من الدعم خلال هذه الفترة الانتقالية، لا سيما بسبب مسؤوليتها في السابق عن تغير المناخ. ويمكن أن يساعد في هذا الصدد تسهيل الحصول على التكنولوجيا والتمويل وزيادة الاستثمارات المباشرة.

ويتمثل أحد الخيارات الواعدة لتعزيز التعاون بين البلدان في إنشاء نواد مناخية لفرض أسعار دنيا متفاوتة على الكربون، بحيث تفرض البلدان منخفضة الدخل ومتوسطة الدخل سعراً أدنى أقل في البداية، مع الاستفادة من بعض الإيرادات المتولدة عن السعر الأعلى المطبق في البلدان مرتفعة الدخل. وتستفيد البلدان الأغنى بدورها من ضمان عدم انتقال الصناعات التحويلية والتجارة والانبعاثات إلى أسواق غير خاضعة للتنظيم على حسابها. وسيضمن ذلك كفاءة إجراءات التخفيفية وعدالة شروط التداول. ورغم أن تنفيذ مثل هذا البرنامج يعد مهمة صعبة بالطبع على النظم السياسية في المجموعتين، فإن المنافع المحققة — اقتصادات حديثة تتمتع بالرخاء ومجتمعات أكثر صحة وصلابة — تستحق العناء. ^{FD}

كريستوف بيرترام رئيس فريق السياسات المناخية الدولية و**أوتمار إدينهوفر** المدير وكبير الاقتصاديين في معهد بوتسدام لبحوث تأثير المناخ. و**غونار لودير** نائب رئيس قسم البحوث «مسارات التحول» في المعهد.

ساهم كل من ستيفين بي وجيروم إيلير والمار كريغر أيضاً في البحوث التي استند إليها هذا المقال.

المراجع:

- Bauer, Nico, Christoph Bertram, Anselm Schultes, David Klein, Gunnar Luderer, Elmar Kriegler, Alexander Popp, and Ottmar Edenhofer. 2020. "Quantification of an Efficiency—Sovereignty Trade-off in Climate Policy." *Nature* 588 (7837): 261–66.
- Bertram, Christoph, Gunnar Luderer, Felix Creutzig, Nico Bauer, Falko Ueckerdt, Aman Malik, and Ottmar Edenhofer. 2021. "COVID-19-Induced Low Power Demand and Market Forces Starkly Reduce CO₂ Emissions." *Nature Climate Change* 11 (3): 193–96.
- International Energy Agency (IEA). 2021. "Net Zero by 2050—A Roadmap for the Global Energy Sector." Paris.
- Network for Greening the Financial System (NGFS). 2021. Scenarios portal. Paris.
- Ueckerdt, Falko, Christian Bauer, Alois Dirnathner, Jordan Everall, Romain Sacchi, and Gunnar Luderer. 2021. "Potential and Risks of Hydrogen-Based e-Fuels in Climate Change Mitigation." *Nature Climate Change* 11 (5): 384–93.

التنظيمية مع تثبيت أسعار الكربون بحيث لا تتجاوز ٢٥٠ دولاراً حتى عام ٢٠٥٠. (تتضمن مجموعة سيناريوهات شبكة تخضير النظام المالي التي تم وضعها بالاشتراك مع مجموعة أكاديمية يرأسها معهد بوتسدام لبحوث تأثير المناخ عدداً من السيناريوهات الإضافية عالية المخاطر، بينما تعد سيناريوهات صافي الانبعاثات الصفريّة ٢٠٥٠ مماثلة لسيناريو الوكالة الدولية للطاقة في معظم الجوانب). وتتمثل أهم مزايا تسعير الكربون في دوره في تنسيق الجهود عبر القطاعات (وعبر البلدان مستقبلاً) لضمان توازن الجهود. كذلك يساهم تسعير الكربون في زيادة اليقين التنظيمي، ومنح حوافز على كفاءة الاستثمارات طويلة الأجل، وحشد الموارد اللازمة لتمكين الحكومات من تنفيذ السياسات الإضافية التي تتطلب تمويلًا عامًا. ومن أهم مكونات هذه الأداة إعادة تدوير الإيرادات لصالح المواطنين بحيث لا يتخلف أحد عن ركب التحول. ورغم أن التسعير الثابت للكربون يطبق بصورة تنازلية في بلدان عديدة، فإن إعادة التوزيع المسؤولة للإيرادات تجعل منه سياسة تصاعدية قادرة على زيادة التماسك الاجتماعي والدعم السياسي. ومن الاستخدامات الإضافية للإيرادات دعم مشروعات البنية التحتية التي تخدم المستقبل، مثل محطات شحن السيارات الكهربائية. وتمثل هذه المشروعات وسيلة مهمة لدعم الأسواق الوليدة للشركات التكنولوجية الجديدة التي تخفق بسبب تقادم البنية التحتية وانتشار التكنولوجيا.

التعاون الدولي مطلب حيوي

أحرزت بعض البلدان تقدماً نحو تنفيذ الخطة اللازمة للوصول بالانبعاثات المحلية الصافية إلى مستوى الصفر بحلول منتصف القرن الحالي، ولكن الوضع العالمي لا يزال مقلقاً. وللتغلب على المعوقات الرئيسية التي تحول دون العمل الجماعي — كمشكلات التوزيع — ينبغي تعديل آليات التعاون الدولي على نحو كامل وشامل لضمان تحرك جميع البلدان في اتجاه واحد نحو التعافي من الجائحة. ويضطلع جنوب العالم وشماله بمسؤوليات مختلفة في هذا الصدد. وقد خلص تحليلنا لسيناريوهات كبح الاحترار العالمي في حدود ١,٥ درجة مئوية إلى نتيجة مهمة، وهي أن تحقيق هذا الهدف لا يسمح للبلدان بتبني خطط زمنية متفاوتة لخفض انبعاثات الكربون (دراسة Bauer and others 2021). فجميع البلدان الكبرى التي تمر حالياً بمرحلة التحول يتعين عليها الوصول إلى ذروة الانبعاثات