تشرين الثاني/نوفمبر 2021
موجز التبصُّر
027
الإنذار المبكر والقضايا الناشئة والمستقبلية

برنامج الأمم المتحدة للبيئة
50 2022-1972

الأثر المتنامي للرقمنة

معلومات أساسية

ينشرُ برنامج الأمم المتحدة للبيئة موجزاتِ التبصُّر لتسليط الضوء على نقطةٍ ساخنةٍ من نقاط التغيُّر البيئي، أو عرضِ موضوعٍ علميّ ناشئ، أو مناقشة قضية بيئية مُعاصرة. وتتاح للجمهور فرصةُ معرفة ما يحدث لبيئتهم المتغيرة وعواقب الخيارات اليومية في الحياة، والتفكّير في الاتجاهات المستقبلية للسياسة. وفي الإصدار 27 من موجز التبصُّر الصادر عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة، يُستكشف الأثر البيئي الناجم عن استخدام الإنترنت وزيادة رقمنة الاقتصاد. كما تُبيَّن بعض العوامل المخفِّفة التي يمكن تنفيذها لجعل مستقبلنا الرقمي أكثر نظافة.

مُلخَّص

منذ العام 2010، تضاعف عدد مستخدمي الإنترنت حول العالم، وقد نمت حركة المرور عبر الإنترنت عالمياً بمقدار 12 مرّة. ويُشار أحياناً إلى الخدمات الرقمية التي نحظى بها على أنها "تكنولوجيا غير مادية"، ولكن هل هذا صحيح؟ فالحواسيب والخوادم والأجهزة الإلكترونية الأخرى تتطلب كمّاً هائلاً من الموارد الطبيعية. والطاقة اللازمة لتشغيلها تُصدر انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بكمياتٍ كبيرة، والتقادُم المُبرمج ونسبة إعادة التدوير المتدنية تؤدي إلى توليد نفاياتٍ إلكترونية. وتبقى الغالبية العظمى من البيانات في السحابة دون استخدام. ومن دون إنكار كثيرٍ من الفوائد التي أتت بها هذه الوسائل التكنولوجية، بما فيها ما هو لصالح البيئة، من المهم أن يفهم المستخدمون، ومقدّمو الخدمات، وواضعو السياسات ما هي الآثار الناجمة عنها، ومعرفة كيف يمكننا الانتقال نحو وسائل تكنولوجيا رقمية أكثر مراعاة للبيئة الخضراء.

مقدمة

على مدى العقد الأخير، ازدادت أهمية الإنترنت ووسائل التكنولوجيا الرقمية ذات الصلة بحياتنا الشخصية والمهنية بشكل مُطَّردٍ. فالقاعدة الجديدة أصبحت "الحياة على السحابة" - مع وجود تسجيلاتنا الموسيقية، وصورنا، وأفلامنا، ورسائل بريدنا الإلكتروني، ووثائقنا، والشبكات الاجتماعية مخزَّنة كلها على خوادم بعيدة ويمكننا أن نصل إليها بصورةٍ فورية من حاسوبنا الشخصي أو الحاسوب المحمول أو الهاتف الجوّال. وبالإضافة إلى ذلك فقد أصبحت معظم معاملاتنا الاقتصادية رقمية. ويُقدَّر أن 60 في المائة من إجمالي الناتج المحلي العالمي سيكون رقمياً بحلول نهاية العام 2022، وأن 70 في المائة من القيمة الجديدة التي تتكوَّن في الاقتصاد في خلال العقد القادم ستكون مرتكزة إلى منصات مُمكَّنة رقمياً (منتدى الاقتصاد العالمي 2019).

ومع أن نصف سكان العالم ما زالوا غير متصلين بشبكة الإنترنت (الأمين العام للأمم المتحدة 2020)، إلا أن مستخدمي وسائل التواصل الاجتماعي حول العالم يبلغ عددهم الآن 4.2 مليار مستخدم. وهناك 5.2 مليار شخص يستخدمون الهاتف المحمول اليوم، ما يجعله الجهاز المتصل بالإنترنت الأكثر استخداماً في كل البلدان (كيمب 2021). ومنذ العام 2010، تضاعف عدد مستخدمي الإنترنت حول العالم وزادت حركة المرور على شبكة الإنترنت 12 مرة (وكالة الطاقة الدولية [IEA] 2020). وتم استخدام الإنترنت عام 2020 من قبل أكثر من نصف سكان العالم (4.7 مليار نسمة) - أي أن أكثر من مليون نسمة كانوا يتصلون بالإنترنت للمرة الأولى كل يوم.

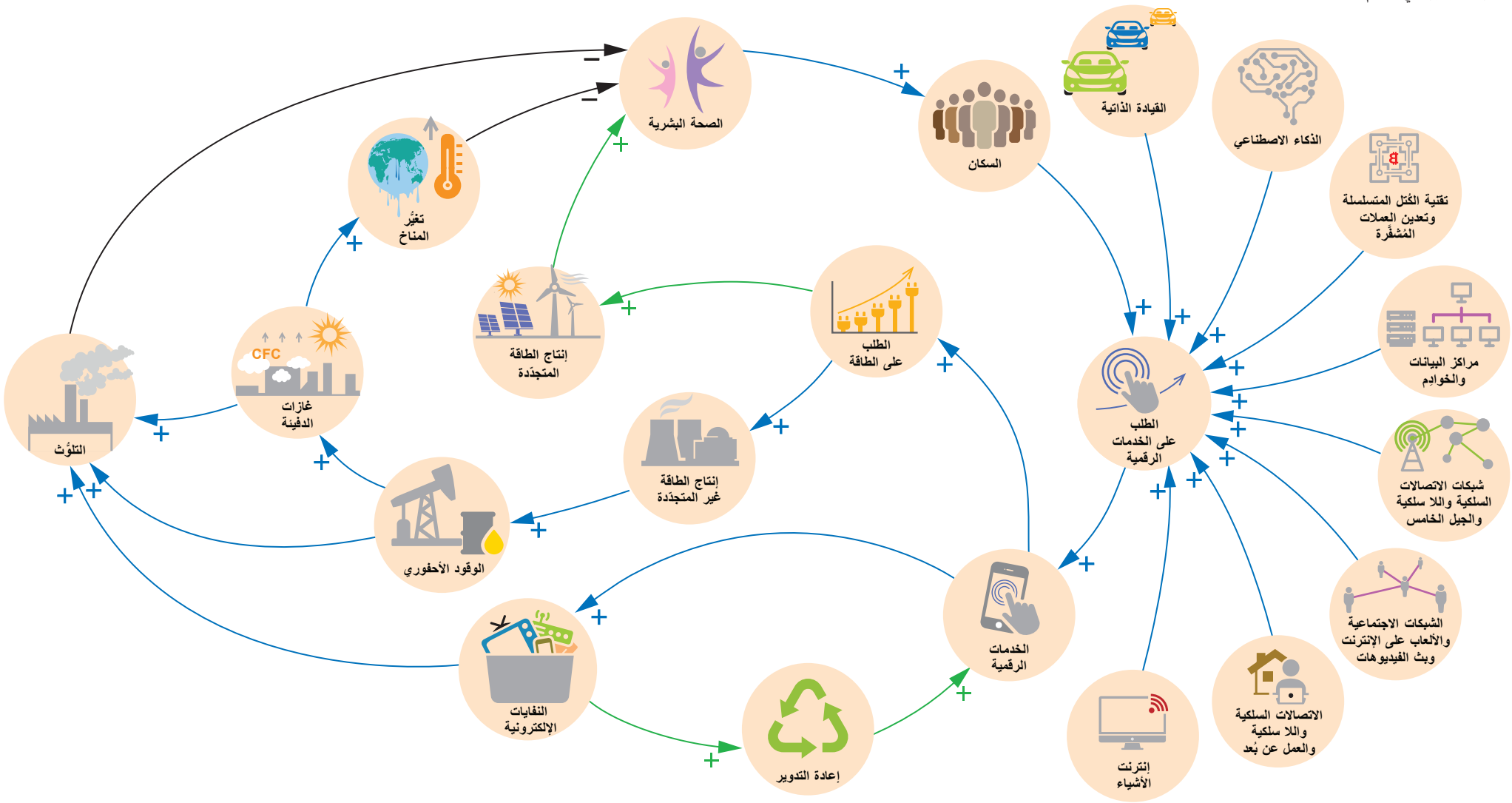
وأدّت أزمة كوفيد-19 إلى تسريع التقدُّم نحو التحوُّل الرقمي. ويعود كثير من صمودنا أمام جائحة كوفيد-19 إلى وسائل التكنولوجيا الرقمية، لا سيما في تطوير اللقاحات، ووضع نماذج المخاطر، وتعقُّب المخالطين. كما لجأ عددٌ كبير من أرباب العمل والمؤسسات التعليمية إلى اتخاذ صيغةٍ إلكترونية عبر الإنترنت

حقوق الصورة / بيلين ديميزون

للعمل، مع اعتماد التحاوُر الشبكي كنظامٍ موحد في معظم البلدان المُتقدِّمة في العمل والدراسة، وكذلك للبقاء على اتصال بالعائلة والأصدقاء.

وعندما ننظر إلى الفترات الزمنية القصيرة التي جرى في خلالها التنفيذ التقني، نلحظ أن التقدُّم الرقمي المُحرَز مدهش بالفعل. ولكنه كان مكلفاً أيضاً، ذلك أن إنتاج الأجهزة الحاسوبية والكهرباء اللازمة لتغذية هذا الانتشار للإنترنت قد خلّف بصمةً كبيرة في البيئة. ويأتي الاقتصاد الرقمي بفرصٍ كثيرة لتخفيف آثارنا على البيئة، مثلاً عبر الاستعاضة عن السفر لحضور المؤتمرات عبر المؤتمرات المرئية، وفوائد أخرى كثيرة (انظر برنامج الأمم المتحدة للبيئة 2019(أ)؛ برنامج الأمم المتحدة للبيئة 2020). لذا، يطرح موجز التبصُّر السؤال التالي ويجيب عنه: كيف يمكننا أن نجعل مستقبلنا الرقمي أكثر نظافة؟

نظرة للتفكير في النُّظُم



يؤدي الطلب على الخدمات الرقمية إلى الإنتاج والإمداد، ما يُسبّب زيادةً في الطلب على الطاقة. والإمداد بالكهرباء عبر الوقود الأحفوري يلوّث البيئة ويزيد نسبة غازات الدفيئة، ما يُفاقم ظاهرة تغيُّر المناخ، وهذا بدوره يؤثر سلباً على صحة الإنسان. أمّا الأجهزة الرقمية، فإذا تمّ تصنيعها وتشغيلها باستخدام موارد الطاقة المُتجدّدة ومع مكوّنات قابلة للتدوير مثل البطاريات، فهي ستساعد على تحسين صحة الإنسان عبر التخفيف من التلوُّث وتغيُّر المناخ. وهذا النهج يؤدي بدوره إلى تعزيزٍ مُستدام للطلب على الخدمات الرقمية. التأثير (+) بالاتّجاه نفسه، التأثير (-) بالاتّجاه المُعاكس.

موجز التبصُّر

لماذا تُعدّ هذه المسألة ذات أهمية؟

لقد شهدت حركة المرور على شبكة الإنترنت نموّاً هائلاً، وكان العام 2020 عاماً استثنائياً مع زيادة الحركة بنسبة 40 في المائة تقريباً في إبان الموجة الأولى من أزمة كوفيد19-. وهذا الاتجاه سوف يتزايد أكثر مع سد الفجوة الرقمية. وما دفع بهذا النمو هو العمل عن بُعد، وزيادة حادة في الطلب على المؤتمرات المرئية، واللعب على الإنترنت، ومشاهدة الفيديو، والتشبيك الاجتماعي. ومع صعوبة تقدير الأثر، إلا أن هذه التغييرات قد خفضت بالفعل الطلب على التنقُّل والانبعاثات الناتجة عنه، ولكن ما هو الأثر البيئي الناجم عن التكنولوجيا نفسها؟

ليس من السهل الإجابة عن هذا السؤال بشكلٍ مباشر، بل إن تقييم هذا الأثر يعتمد على عوامل كثيرة، مثل طريقة توليد الطاقة المُستخدَمة لإنتاج المعدات الرقمية وتشغيلها، مثلاً، من طاقة متجددة أو من محطات طاقة تعمل بالفحم. في ما يلي بعض متوسطات الأرقام: طلب البحث يؤدي إلى انبعاث 1.45 غرام من ثاني أكسيد الكربون (غروغر، 2020). عندما يُجري شخصٌ واحد 50 طلب بحث في اليوم فهذا يعني أنه ينتج 26 كلغ من ثاني أكسيد الكربون (مكافئ ثاني أكسيد الكربون) في السنة. وهذا لا يبدو كثيراً، ولكن يجب أن يُضرب بمليارات من الأشخاص الذين يبحثون على الإنترنت كل يوم. وقد أبلغت شركة غوغل (Google) نفسها عن بصمة الكربون البالغة 4.9 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون لعام 2018، واستهلاك طاقة كهربائية تبلغ 10 تيراواط في الساعة[1] (غوغل، 2019)، مما يشكل ربع الطاقة الكهربائية المُستهلكة في بلدٍ مثل نيوزيلندا أو هنغاريا (وكالة الطاقة الدولية، 2021). نعدد في ما يلي بعض الآثار الناجمة عن هذا الارتفاع في استخدام الإنترنت والرقمنة:

زيادة في الطلب على الطاقة

إنّ شبكة الإنترنت لو كانت بلداً لشكّلت سادس أكبر مستهلك للكهرباء على كوكب الأرض، إذ تستخدم ما يصل إلى 7 في المائة من الاستهلاك العالمي للكهرباء (أندراي 2020؛ إيون 2021) وهي مسؤولة عما يصل إلى 3.8 في المائة من انبعاثات غازات الدفيئة العالمية (بورداج 2019) - أي أكثر من الحركة الجوية الدولية التي تنتج 2.5 في المائة من انبعاثات غازات الدفيئة (لي وآخرون 2021).

[1] تيراواط = 1,000,000,000,000 واط في الساعة

> *"إنّ شبكة الإنترنت لو كانت بلداً لشكّلت سادس أكبر مستهلك للكهرباء على كوكب الأرض،..."*
>
> أندراي 2020؛ إيون 2021

ففي ألمانيا مثلاً، حُسب استهلاك مراكز البيانات الكبرى التي يبلغ عددها 400 ومراكز البيانات الصغرى التي يبلغ عددها 50 ألف عام 2018، وتبين أنها استهلكت 14 تيراواط في الساعة، أي ما يمثل 2.7 في المائة من إجمالي الطاقة الكهربائية المُستهلَكة في ألمانيا، وما يوازي تقريباً الكمية نفسها التي تستهلكها مدينة برلين (هينترمان 2019). وبلغ استهلاك الكهرباء لكل مراكز البيانات والشبكات والأجهزة في ألمانيا 55 تيراواط - أي ما يوازي 10 محطات مُتوسِّطة الحجم تعمل بالفحم (كلامب 2018؛ ستاتيستيكا 2021). وقد بلغت هذه الزيادة حوالي 40 في المائة تقريباً منذ العام 2010 (هينترمان 2019).

ورغم أن وفورات الطاقة التي تحققت بفضل مكاسب الكفاءة قد أدت إلى تسوية مُنحنى استخدام الطاقة، إلا أن بعض الاتجاهات العالمية مثل تعدين العملة المُشفَّرة، واستخدام السحابة، والذكاء الاصطناعي، والواقع الافتراضي والمُعزَّز، والمركبات الذاتية القيادة، و"إنترنت الأشياء"، والتنفيذ المُتوقَّع للجيل الخامس (5G) ستؤدي جميعاً إلى زيادة في الطلب على الطاقة.

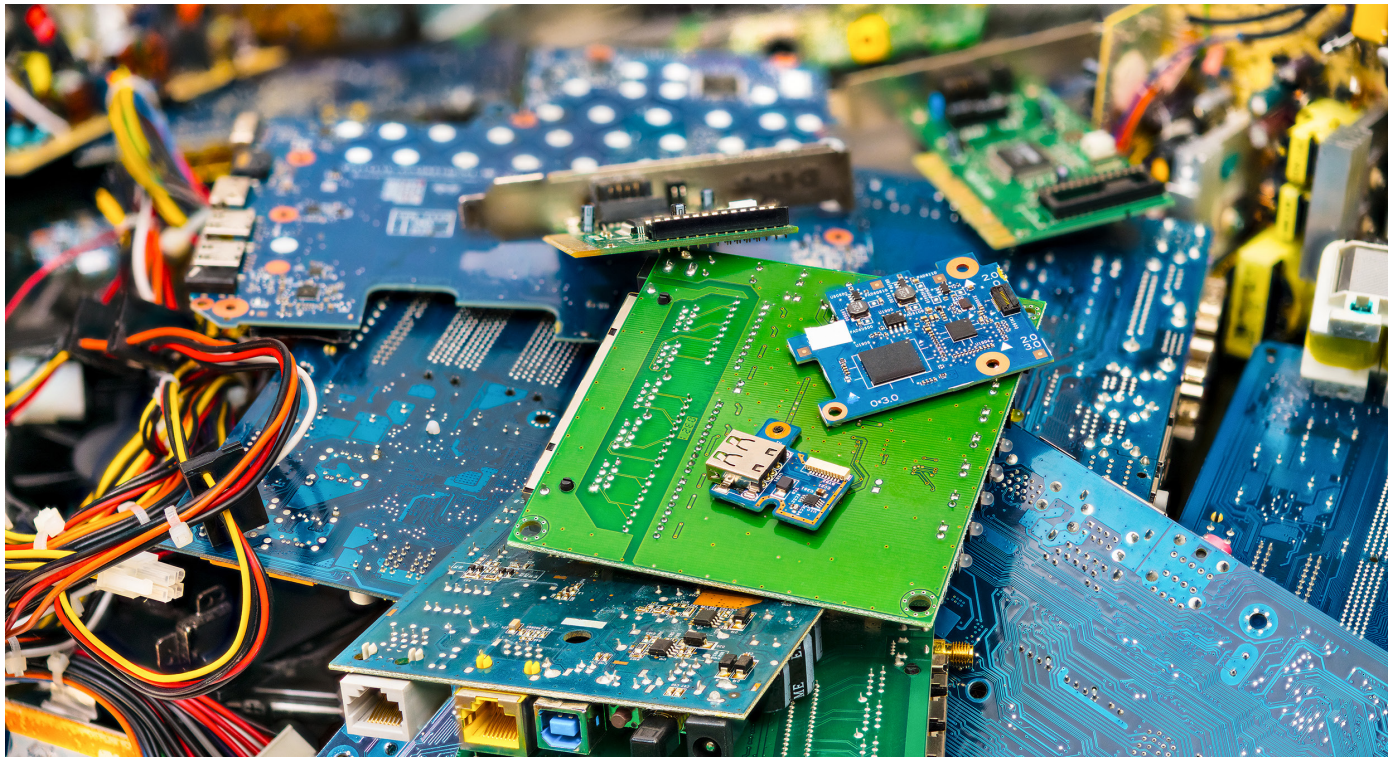
حقوق الصورة: بيلين ديميزون

حقوق الصورة: بيلين ديميزون

الآثار الناجمة عن سلاسل توريد المعادن والفلزات اللازمة للمنتجات الرقمية وتكنولوجيات الطاقة

إنّ وحدات البِت والبايت غير مرئية لنا، ولكن المحركات التي تشغّل هذه الشبكة المخفية مصنوعة من مواد مُستخرَجة من الأرض. وتجلب عملية الاستخراج هذه معها بصمة بيئية خاصة على امتداد دورة حياتها، وكذلك عملية الإنتاج لتحويل المعادن إلى هواتف خلوية وحواسيب وخوادم. وعلى نحوٍ مماثل، فإن مستوى تكنولوجيات الطاقة الخضراء المتزايد التي تغذي التكنولوجيات الرقمية لديها أيضاً سلاسل توريد تقوم على الاستخدام الموسَّع للفلزات والمعادن الأرضية النادرة.

وفي البلدان التي تعاني من عدم استقرارٍ سياسي، حيث تبدو حوكمة قطاع التعدين ضعيفة، فإن استخراج هذه المعادن قد يرتبط بالعنف، والنزاع، وانتهاكات حقوق الإنسان، وضرر بيئي حاد. وفي كثير من الحالات، تتداخل الاحتياطيات العالمية لهذه المعادن الأساسية مع مناطق تعاني من الضعف والنزاع والعنف. وتثير مواد الكوبالت والغرافيت والنحاس والمعادن الأرضية النادرة قلقاً خاصاً مع تركُّز الرواسب الهامة في المناطق الضعيفة. وتوجد احتياطيات هائلة من المعادن الأساسية الـ 18 في دولٍ تحتل مراتب عليا في مؤشر مدركات الفساد 2017 (المعهد الدولي للتنمية المستدامة [IISD] 2018).



حقوق الصورة: Shutterstock.com

زيادة في النفايات الإلكترونية

تُعدّ مدة حياة الجهاز الرقمي قصيرة نسبياً - وغالباً ما تبلغ بضع سنواتٍ فحسب. ولا زالت التحديات هائلة من حيث جمع النفايات الإلكترونية على النحو السليم، وربما إعادة تدويرها في أفضل الحالات.

في عام 2019، أُنتجَ معدّل قياسي بلغ 53.6 مليون طن متري من النفايات الإلكترونية، وهو ما يعادل وزن 125 ألف طائرة من طائرات بوينغ 747 جامبو جت - أي أكثر من كل الطائرات التجارية التي صُنعت حتى الآن. وهذا يجعل من النفايات الإلكترونية أسرع نفايات محلية نمواً حول العالم، ويُغذيها أساساً زيادة معدلات الاستهلاك للمعدات الكهربائية والإلكترونية، ودورات حياة قصيرة، وقلة خيارات الإصلاح. وقد وُثّقت 17.4 في المائة فقط من النفايات الإلكترونية بصورةٍ رسمية على أنها جُمعَت وأُعيد تدويرها نظامياً. ويتمتع 78 بلداً فقط بتشريعاتٍ تُعنى بتنظيم النفايات الإلكترونية (فورتي وآخرون، 2020).

وبما أنه يُعاد تدوير أقل من 20 في المائة من النفايات الإلكترونية بصورةٍ نظامية، فنسبة 80 في المائة المتبقية تنتهي في مطامر أو يُعاد تدويرها بشكلٍ غير نظامي - إعادة تدوير معظمها يدوياً في البلدان النامية، مما يعرض العمال لمواد خطرة ومسرطنة مثل الزئبق والرصاص والكادميوم. فالنفايات الإلكترونية التي تُرمى في مطامر تلوّث التربة والمياه الجوفية تعرّض نُظم الإمدادات الغذائية والمياه للخطر (الأمم المتحدة 2017؛ برنامج الأمم المتحدة للبيئة 2019(ب)؛ فورتي وآخرون 2020). تهدد هذه المواد الخطرة الصحة البشرية من خلال الاتصال المباشر بها وكذلك من خلال تلويث التربة والمياه. وهذا ما يؤثر بشكلٍ كبير على السكان في البلدان الأقل نمواً، ولذا يؤدي إلى آثار هائلة تطول المجتمع والبيئة.

ما هي النتائج الأساسية؟

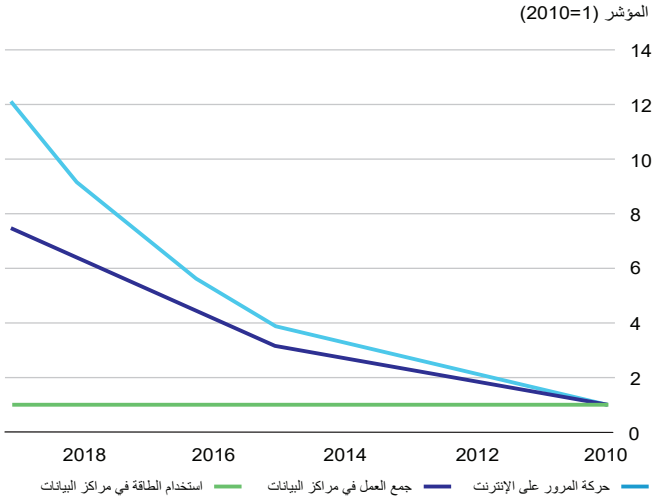
على أثر معالجة الفجوة الرقمية، ستتزايد الرقمنة وسيزيد استهلاك الخدمات الرقمية وتسارعها في المستقبل. لذا، من المهم أن ننظر في الأثر الناجم عن ذلك على البيئة.

- **استهلاك الطاقة وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون:** الخبر الجيد هو أن التحسينات السريعة التي طالت كفاءة الطاقة على مرّ الأعوام الأخيرة قد ساعدت في الحد من زيادة الطلب على الطاقة من مراكز البيانات (**الشكل 1**) (وكالة الطاقة الدولية 2017؛ شهابي *وآخرون* 2018؛ ماسانيت *وآخرون* 2020).

  ومع ذلك، يبدو أن مجموع استهلاك الطاقة وانبعاثات غازات الدفيئة ذات الصلة في تكنولوجيا المعلومات والاتصالات ترتفع بشكلٍ ثابت.

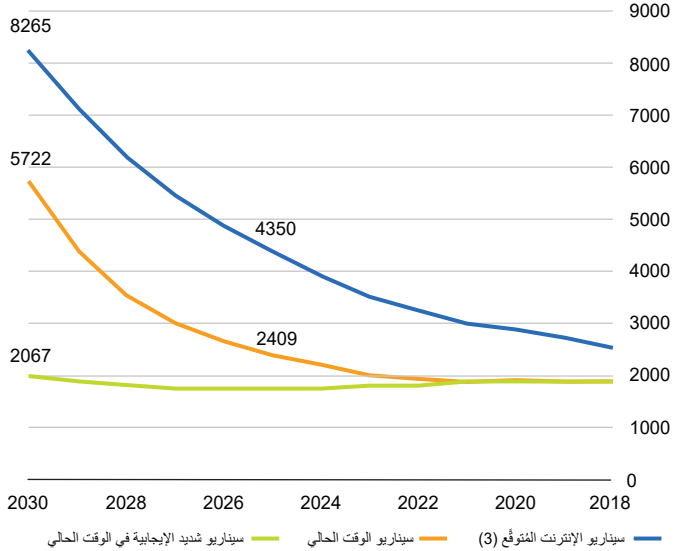
- **استهلاك الطاقة:** ارتفع استهلاك الطاقة من 700 تيراواط في الساعة عام 2010 إلى 1500-3000 تيراواط في الساعة عام 2020، حيث تشمل 8000 تيراواط الطاقة الرمادية اللازمة لتصنيع المعدات (بورداج 2019، أندراي 2020).

الاتجاهات العالمية لحركة المرور على الإرنترنت وحجم الأعمال واستخدام الطاقة في مراكز البيانات، 2010-2019



الشكل 1: *الاتجاهات العالمية لحركة المرور على الإنترنت وحجم العمل واستخدام الطاقة في مراكز البيانات، 2010-2019 (وكالة الطاقة الدولية)*

الطاقة الكهربائية التي تُستخدَم في تكنولوجيا المعلومات والاتصالات 2018-2030 (تيراواط في الساعة)



الشكل 2: *سيناريوهات متعلقة باستخدام الطاقة الكهربائية لأغراض تكنولوجيا المعلومات والاتصالات. (أندراي، 2020)*

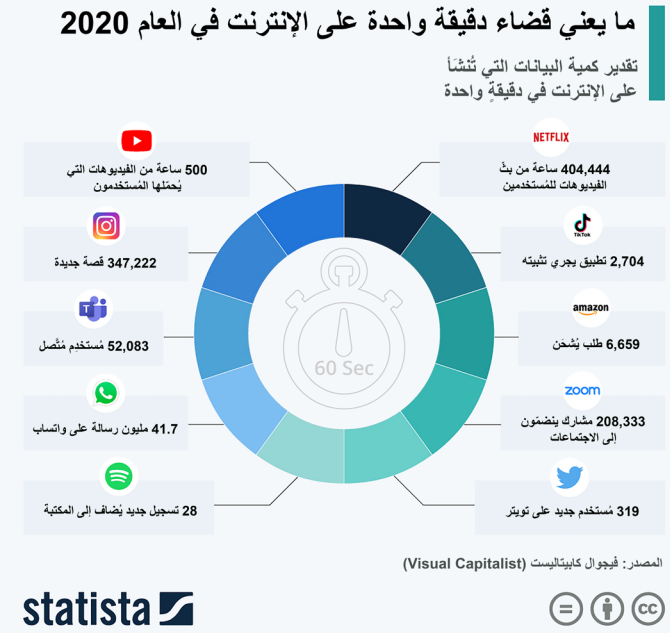
- **انبعاثات غازات الدفيئة:** ارتفعت نسبة غازات الدفيئة من 0.8 إلى 1.5-2 جيغا طن من ثاني أكسيد الكربون، دون الأخذ في الحسبان عملية التصنيع التي قد تؤدي إلى إضافة 10-40 في المائة إلى هذه القيم (مالمودين ولوندين 2018؛ بورداج 2019؛ بيزر *وآخرون* 2020).

وعند النظر إلى سيناريوهات استهلاك الطاقة في المستقبل من قطاع تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، تظهر زيادات كبرى على الشكل التالي (**الشكل 2**): تشير التقديرات الواردة بين أكثر الدراسات تفاؤلاً وأكثرها تشاؤماً إلى أنه حتى العام 2030، قد يرتفع الطلب على الطاقة في مرحلة الاستخدام بنسبة ضئيلة لا تتجاوز 2000 تيراواط في الساعة أو قد تصل إلى 8000 تيراواط في الساعة تقريباً (أندراي وإيدلر، 2015؛ بالخير والمليجي، 2018؛ هينترمان، 2018؛ بورداج، 2019؛ إفوي-هيس، 2019؛ أندراي، 2020؛ بيزر *وآخرون*، 2020؛ أوبرينغر *وآخرون*، 2021).

- **وفورات الانبعاثات:** تحققت مكاسب كبرى في كفاءة الطاقة في أثناء مرحلة الاستخدام؛ ولكن لم يعد بإمكانها أن تعوّض عن الارتفاع المستمر في حجم الشاشة مثلاً أو متطلبات الطاقة لمنتجات المستهلك النهائي - "تأثير ارتدادي" كلاسيكي.

ومن منظور البصمة البيئية المتكاملة، فإن الاتجاه الجديد الذي أمْلته جائحة كوفيد-19 والتوجه نحو المؤتمرات المرئية والمكاتب المنزلية يمكن أن يُعدّ إيجابياً على نحوٍ جزئي على الأقل بالنسبة إلى الانبعاثات: رغم أنه المبكر جمع بياناتٍ مُفصَّلة بهذا الشأن، من المرجح أن تؤدي أزمة فيروس كورونا إلى انخفاض انبعاثات غازات الدفيئة إلى حدٍّ كبير. والنمو في استهلاك الطاقة بسبب زيادة الرقمنة لا يشكل على الأرجح إلا نسبة صغيرة من هذا الانخفاض في استهلاك الطاقة (والانبعاثات).

- **فيديوهات:** تُتاح الفيديوهات على منصات مختلفة وتُشاهَد دون تنزيلها (بالبث) - وهي تشكّل ما يصل إلى 80 في المائة من نقل البيانات عالمياً (إفوي-هيس 2019). ويبدو أن معظم هذه الفيديوهات لا ترتبط بالعمل وإنما وضعت لأغراضٍ ترفيهية وحسب. ففي دقيقةٍ واحدة، يُشاهد ما يقارب 400 ألف فيلم على منصة نتفليكس (Netflix) و4.5 مليون فيديو على موقع يوتيوب (YouTube) (**الشكل 3**) (لويس 2019؛ ستاتيستيكا 2020).



الشكل 3: *تقدير كمية البيانات التي تُنشَأ على الإنترنت في دقيقةٍ واحدة. (ستاتيستا، 2020)*

> "نستخدم اليوم 6 في المائة فقط من البيانات التي نولِّدها. أما نسبة 94 في المائة المتبقية فتذهب إلى ما أسميته مطمر البيانات.
>
> أنطونيو نيري، الرئيس التنفيذي لشركة هيوليت-باكارد (Hewlett Packard)، من كلمته في المنتدى الاقتصادي العالمي، دافوس 2020، اقتباس بواسطة لوسي إنغام (2020).

- **مراكز البيانات:** تشكِّل مراكز البيانات العمود الفقري لشبكة الإنترنت؛ ويوجد في العالم بضعة آلاف فقط من مراكز البيانات الكبرى، مع 67 مليون خادم مستضيف في أغلب تقدير. (بورداج 2019؛ ستاتيستيكا 2021). وتستهلك مراكز البيانات حوالي 400-500 تيراواط في الساعة من الكهرباء، مما يؤدي إلى انبعاثات بمعدل 200-250 ميغا طن من ثاني أكسيد الكربون (بما في ذلك انبعاثات الإنتاج) (بيزر وآخرون 2020). ونحو 60 في المائة من انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن مركز البيانات تسببها مُكوِّنات تكنولوجيا المعلومات مثل الخوادم، ونُظُم التخزين، والشبكات؛ و40 في المائة من انبعاثات غازات الدفيئة سببها البنية التحتية، ولا سيّما للتبريد وتكييف الهواء وكذلك إمداد الطاقة الآمن. ويلزم تأمين كمية هائلة من الطاقة لتبريد هذه النُظُم. ومع أنّ الحرارة المُنتَجة في مجموعات الخوادم هذه يمكن أن تُستخدم لتسخين المنازل المجاورة، على سبيل المثال، إلا أن 19 في المائة فقط من مراكز البيانات العالمية تتمكن بالفعل من إعادة استخدام الحرارة المُنتَجة. وبالتالي، تكون مرحلة الاستخدام مسؤولة عن 90 في المائة من انبعاثات غازات الدفيئة (بيزر وآخرون 2020).

بالإضافة إلى ذلك، تتألف الكميات الهائلة من البيانات المُخزَّنة "في السحابة" من معلومات قديمة وبالية. ويقدر أنطونيو نيري، الرئيس التنفيذي لشركة هيوليت-باكارد، أن 6 في المائة فقط من البيانات المولَّدة تُستخدم بالفعل؛ فيما يذهب حوالي 94 في المائة منها إلى ما يسميه "مطامر البيانات" (إنغام، 2020).

- **شبكات الاتصالات اللاسلكية:** إن الشبكات التي تربط محطات طرفية للمستخدمين في ما بينها وبمراكز البيانات، تتألف من 1.1 مليار موجّه

حقوق الصورة: Shutterstock.com

بالألياف، و10 مليون تبديل للاتصالات المتنقلة، و200 مليون "موصل" بالإنترنت (بورداج 2019). وقد بلغ استهلاك الطاقة لشبكة الاتصالات اللاسلكية عام 2020 حوالي 200 إلى 550 تيراواط، وبلغت كمية انبعاثات غازات الدفيئة 200 إلى 250 ميغا طن من ثاني أكسيد الكربون (بما في ذلك الانبعاثات الناجمة عن إنتاج الأجهزة). وتُعدّ مرحلة الاستخدام في شبكات الاتصالات اللاسلكية مسؤولة عن 90 في المائة من إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة (بيزر وآخرون 2020).

- **الأجهزة النهائية:** لقد أدى استخدام الحواسيب العادية والحواسيب المحمولة والأجهزة اللوحية والهواتف الذكية إلى زيادة بمقدار 900 إلى 1100 ميغا طن من ثاني أكسيد الكربون. ويشكل إنتاج الأجهزة النهائية ونقلها أكثر من 50 في المائة من انبعاثات غازات الدفيئة، وهذا الرقم قد يأخذ في الارتفاع. (بيزر وآخرون، 2020).

- **الجيل الخامس (5G):** تستطيع تردُّدات الجيل الخامس (5G) أن تقطع مسافات قصيرة وحسب، بحيث تُوزَّع الأبراج الصغيرة الخلوية بحجم حقيبةٍ متوسطة كل 250 متراً. وقد تحتاج هذه الخلية إلى طاقة بقوة 200 إلى 1000 واط. ومع أنّ الجيل الخامس يحتاج إلى طاقة أقل لكل جيغابايت مُرسَل مقارنةً بالجيل الرابع (4G) (الجمعية الدولية لشبكات الهاتف المحمول 2019؛ و"تي3إن" 2019)، فالمطلوب عدد كبير من الهوائيات لتنفيذها، مما يزيد من الحاجة إلى الكهرباء. ومع الجيل الرابع (4G)، تتصل الأجهزة الرقمية بقطعةٍ واحدة من البنية التحتية (البرج الخلوي) في كل مرة، وهذا البرج يتصل ببرجٍ آخر، وهكذا دواليك. أما مع الجيل الخامس (5G)، فالأجهزة والمعدات تتصل بعدة أبراجٍ خلوية وغيرها من البنى التحتية في كل مرة. وتُعدّ مراكز البيانات التقليدية غير كافية لتحقيق هذه القدرة الاتصالية وسرعة الاستجابة. ويلزم إنشاء عدد أكبر بكثير من مراكز البيانات بُغية تخفيف الوقت المُستغرَق للاستجابة، بحيث يُنشأ كثير من "مراكز البيانات الدقيقة" هذه على أطراف الشبكة وحسب (مثلاً، على قاعدة البرج الخلوي)، مما قد يؤدي إلى زيادة إجمالي استهلاك الطاقة في الشبكة بنسبة 150 إلى 170 في المائة بحلول عام 2026 (شركة الحقول المغنطيسية الكهربائية في جنوب أفريقيا 2019).

وتبيَّن في أحد التقارير أن شبكات الجيل الخامس (5G) في فرنسا قد تكون مسؤولة عن إطلاق 3 إلى 7 أطنان إضافية من ثاني أكسيد الكربون في الجو، أي ما يشكل 1 إلى 2% من الانبعاثات الحالية (فرنسا، المجلس الأعلى للمناخ 2020). وبالإضافة إلى المتطلبات الجديدة للشبكة، هناك حاجة إلى إدخال جيل جديد من أجهزة الهواتف المحمولة القادرة على العمل مع الجيل الخامس (5G) إلى السوق، مما يجعل الهواتف الجوّالة المُستخدمة وكذلك الأجهزة التقنية الأخرى قديمة وعديمة الفائدة. ويبدو أن الأثر الأكبر للجيل الخامس (5G) يَطُول قدرة البطارية، بسبب الحاجة المتزايدة إلى القدرة الحاسوبية.

- **الذكاء الاصطناعي (AI):** يقتحم الذكاء الاصطناعي المجتمع البشري أكثر فأكثر ويبدو أنه بات مُستخدماً في كل مكانٍ من حولنا، من غرفة الجلوس المُجهَّزة بخاصية التعرُّف على الصوت، إلى الحلول السحابية لتطبيقات التعلُّم العميق لاستخدامها في البنى التحتية الحيوية. وقد يتسبَّب الذكاء الاصطناعي بزيادةٍ في استهلاك الطاقة في مراكز البيانات. وأجرى الباحثون في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT) حسابات أفادت بأن التدريب على تطبيقٍ واحدٍ للذكاء الاصطناعي للتعرف على الصوت يولد كمية كبيرة من ثاني أكسيد الكربون تبلغ خمسة أضعاف الكمية الناتجة عن سيارة طيلة فترة حياتها (هاو 2019؛ ستروبيل وغانيش ومكالوم 2019).

- **تقنية الكتل المتسلسلة:** تؤدي معاملة بتكوين واحدة إلى استهلاك حوالي 660 كيلو واط في الساعة (ديجيكونوميست 2020) - أي ما يوازي براد يعمل بقوة 150 واط لمدة ثمانية أشهر. وإذا اعتبرنا أن عملة بتكوين هي

حقوق الصورة: Shutterstock.com

موجز التبصُّر

بلد، فسوف تُصنَّف في المرتبة 38 من حيث استهلاكها الكهرباء، علماً أنها تستهلك 60 إلى 80 تيراواط أي أنها تحتل المرتبة التالية بعد بلجيكا وقبل النمسا. وبما أن عملة بتكوين تؤدي إلى 37 مليون طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، فيمكن أن تحتل المرتبة بين نيوزيلندا وأيرلندا. (كاميا 2019؛ ديجيكونوميست 2020). قررت إيران أن تمنع إنتاج عملة بتكوين بسبب نقص الكهرباء الناجم عن إنتاج العملة (توراك، 2021). وينتج هذا الأثر الضخم بسبب المنهجية التي تم اختيارها لتوليد البتكوين. فكل تقنيات الكتل المتسلسلة لا تتطلب هذا الكم من الطاقة. وقد لجأت العملات الرقمية البديلة إلى طُرُقٍ أخرى لتوليد رموزها المميَّزة (التوكن) بحيث تتطلب كمية أقل من الطاقة.

- **القيادة الذاتية:** مع أنّ السيارات ذات القيادة الذاتية لا زالت في مرحلةٍ مبكرة من التطوير، إلا أن التنفيذ على نطاقٍ واسعٍ قد يستلزم زيادة عرض النطاق الترددي في الاتصالات المتنقلة وشبكة الإنترنت إلى حدٍ كبير. ويُقدَّر أن السيارات الذاتية القيادة تشمل توليد 4 إلى 8 تيرابايت من البيانات كل يوم وتحميل 25 إلى 250 جيغابايت من البيانات كل ساعة في السحابة (كالينباخ 2017؛ آي تي-دايلي 2021).

حقوق الصورة: Shutterstock.com

حقوق الصورة: بيلين ديميزون

ما هي الإجراءات المتخذة؟

أبدى القطاع اهتماماً متزايداً لناحية بصمته وبصمة المستخدمين الرقمية، ويزيد الاهتمام في اكتشاف حلول مُستدامة من الناحية البيئية لاعتماد الرقمنة العالمية:

- **التزامات بالوصول بالانبعاثات إلى مستوى الصفر:** تبنّى المشغلون الأساسيون للسحابة ومراكز البيانات، لا سيما شركات أمازون (Amazon) وغوغل (Google) ومايكروسوفت (Microsoft)، وكذلك مقدمو الخدمات الأصغر وعلى المستويات الوطنية، أهداف الحياد المناخي بحلول عام 2030 أو حتى قبل ذلك (سترامسكي 2020). وقد بدأ كثيرٌ منهم بتنفيذ التدابير، مثل الاستثمارات الكبرى بالتوربينات الهوائية والمنشآت التي تعمل بالطاقة الكهروضوئية. ويقوم عدد كبير من الشركات بالتعويض عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أو غاز الميثان مثلاً من خلال الاستثمار في تكنولوجيات قائمة على تخفيف ثاني أكسيد الكربون وغاز الميثان أو في الزراعة المتجددة ومشاريع إعادة التحريج (آبل 2020؛ ريجن نتوورك 2021).

- **انتقال مجموعات الخوادم الكبرى:** بادرت بعض الشركات بنقل مجموعات خوادمها بالكامل إلى مناطق غنية بالطاقة المتجددة، ومن تلك المناطق النرويج.

- **إعادة استخدام الحرارة:** لقد أطلقت بعض مراكز البيانات مشاريع تهدف إلى إعادة استخدام الحرارة المُنتَجة من عملية التبريد من أجل تدفئة المباني المجاورة (بورجي 2019).

- **زيادة في كفاءة الطاقة:** تحسنت الكفاءة إلى حدٍّ كبير وعلى كل مستويات التكنولوجيا. ما يُسمّى بمراكز بيانات "الهايبر سكيل" [2] على سبيل المثال قد أدّت إلى تعزيز الكفاءات بشكلٍ ضخم.

- **المبادرات الدولية:** *إعلان الاتحاد الأوروبي بشأن التحول الرقمي الأخضر*: وقّع 26 رئيساً تنفيذياً لشركات متعددة إعلان دعم التحوُّل الرقمي والأخضر في الاتحاد الأوروبي. في هذا الإطار، وقّع 27 بلداً بالإضافة إلى دولتَيْن من الدول الأعضاء إعلان الاتحاد الأوروبي بشأن التزامها بقيادة التحوُّل الرقمي الأخضر. *"الرقمنة من أجل الاستدامة - العلم في الحوار"* (D4S): مجموعة بحث أوروبية جديدة تهتم بتطوير رؤية تقدُّمية من أجل الرقمنة تشجع على الاستدامة البيئية والاجتماعية. ويهدف هذا المشروع إلى تعزيز المناقشة حول العلوم-السياسة من خلال تقديم تحليل شامل للفرص، والمخاطر، وخيارات الحوكمة في ما يتعلق بالرقمنة والاستدامة.

[2] الخدمات السحابية ذات القدرات التوسعية الضخمة (hyperscalers) هي عبارة عن شبكات حاسوبية ترمي إلى تحقيق توسُّع كبير في مجال الحوسبة السحابية والبيانات الكُبرى. وقد صُممت البنية التحتية لهذه الخدمات الضخمة بطريقةٍ تتيح إمكانية التوسُّع أفقياً. وبالتالي، تؤدي إلى مستوى عالٍ جداً من الأداء والإنتاجية والإطناب.

موجز التبصُّر

ما هي الآثار المُترتِّبة على السياسات؟

لا شك في أن الرقمنة تقدم فرصاً كثيرةً تتيح التواصل بين الأشخاص والمشاريع والأفكار. والاتجاه واضح، فالاقتصاد يتنظَّم حول هذه التكنولوجيات. ولكن لكي لا تصبح الرقمنة مشكلة بيئية قائمة بذاتها، يمكن لواضعي السياسات والشركات ومقدمي الخدمات والمستخدمين أن يتخذوا تدابير وحوافز مختلفة لهذا الغرض.

- **إنتاج الكهرباء:** الإسراع في الاعتماد على الطاقة المتجددة لصناعات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات وكذلك توضيحها، بما في ذلك مصنّعي الخوادم ومجموعات الخوادم. ويجب أن يشتمل ذلك على حيازة شهادات الطاقة المتجددة.

- **مراعاة البيئة في سلسلة إمداد تكنولوجيا المعلومات والاتصالات**تعزيز الحوكمة في سلسلة إمداد قطاع تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، خاصةً في ما يتعلق باستخراج المعادن والفلزات الأرضية النادرة، وإعادة تدوير النفايات الإلكترونية، والتخلُّص الآمن من المواد السامة.

- **العُمر الافتراضي:** تمديد العمر الافتراضي للخوادم وسائر الأجهزة باستخدام تصميم تطوُّري ونماذج الاقتصاد الدائري، من أجل إتاحة إمكانية التحديث وقابلية الاستبدال للمكوّنات الرئيسية فيها، والتأكُّد من إعادة استخدامها أو إعادة تدويرها بالكامل بعد إنهاء الاستخدام.

- **التبريد:** تخفيف الحاجة إلى تكييف الهواء في مجموعات الخوادم وإعادة استخدام الحرارة المُتولِّدة لأغراضٍ أخرى.

- **الخُطام الرقمي:** تشجيع المستخدمين والمؤسسات على حذف المحتوى الذي لم يعُد مستخدماً من السحابة، أو على أرشفة المعلومات في محرك الأقراص الصلبة الخارجي الذي يُطفأ عند التخزين الطويل الأجل.

- **الجيل الخامس (5G):** المقارنة بين المنافع والآثار السلبية الناجمة عن هذه التكنولوجيا الجديدة، وكذلك البدائل المُتاحة لها، مثل كابلات الألياف الفائقة السرعة. والتفكير في إمكانية تثبيت شبكة واحدة من الهوائيات التي يمكن أن تكون مشتركة بين مشغّلين متعدّدين من أجل تخفيض عدد الهوائيات، وبالتالي تخفيف كمية الأجهزة اللازمة، وكذلك نسبة التعرُّض للإشعاعات.

- **السلوكيات على شبكة الإنترنت:** من المهم جداً أن يعتمد كثير من الأفراد سلوكيات مسؤولة بيئياً على الإنترنت وعلى نطاقٍ واسعٍ، من أجل مكافحة تغيُّر المناخ والترويج للاستدامة. وبعض الخطوات الصغيرة، مثل عدم تشغيل الكاميرا في أثناء اجتماع افتراضي، وتخفيض جودة خدمات المشاهدة، وتقليل وقت الألعاب، وتحديد الوقت على وسائل التواصل الاجتماعي، وإرسال عدد أقل من الرسائل الإلكترونية (وتفادي نسخ المحتويات غير الضرورية) وحذف الرسائل الإلكترونية والمحتويات غير اللازمة من خدمات التخزين على السحابة أو إلغاء التسجيل من قوائم البريد الإلكتروني، هي سلوكيات من شأنها أن تخفض إلى حدٍّ كبير البصمة البيئية لاستخدام الإنترنت.

- **العملات الرقمية المُشفَّرة (الكريبتو):** ينبغي تقييم إطار العمل للتكنولوجيات المُستخدَمة في العملات المُشفَّرة. ويلزم وضع أنظمة وسياسات لتوجيه نوع التكنولوجيات المُستخدَمة ومتطلبات الطاقة المرتبطة بها.

- **جوازات سفر المنتجات الرقمية:** يخضع مفهوم "جواز سفر المنتَج" الرقمي حالياً للتطوير في الاتحاد الأوروبي، ومن شأنه أن يقدم معلومات رقمية عن بلد المنشأ، والديمومة، والتركيب، والأثر البيئي وبصمة الكربون، وإعادة الاستخدام، والإصلاح، وإمكانيات التفكيك، و كيفية التعامل عند نهاية عمر الاستعمال. وسوف تتوفر جوانب مختلفة لجواز سفر المنتج حسب الشركات والحكومات والمستهلكين.

- **اعتماد تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الخضراء في المشتريات الحكومية:** عندما تشتري الحكومات والمنظمات الدولية بنى تحتية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات لتحديث خدماتها أو لسدّ الفجوة الرقمية، ينبغي أن تتبع أفضل الممارسات بشأن تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الخضراء.

استنتاجات

يتميَّز الإنترنت والأدوات الرقمية بقدرة متنامية أتت بمنافع وتحديات على حدٍّ سواء. ومن الناحية الإيجابية، يمكنها أن تخفف الحاجة إلى الانتقال؛ وتخفض تكاليف رصد البيانات والمعلومات ومشاركتها؛ وتتيح قابلية التشغيل وبالتالي الاتصال بين خوادم متعددة ؛ وتقدم البيانات في الوقت الآني تقريباً من أجل تحسين قراراتنا أو الانتقال إلى مُدُنٍ ذكية من أجل استخدام الطاقات المتجددة بشكلٍ أفضل عندما تكون متوفرة؛ وتمكّن الاتصالات السهلة مع الأصدقاء والعائلة حول العالم. وسوف تقدم هذه التكنولوجيا نُهُجاً جديدةً في المستقبل القريب، وحلولاً لمسائل كثيرة اجتماعية بيئية مُلحّة.

وعلى الجانب السلبي، فإن البصمة البيئية للبنية التحتية الرقمية تشكل تهديدات جدية على كوكبنا والأجيال القادمة. وإذا أردنا للرقمنة أن تساعد على مكافحة تغيُّر المناخ وتخفيض البصمة البيئية على كوكب الأرض، فهناك تحديات جدية تتشكل من جراء الطلب على الفلزات الثمينة/النادرة اللازمة للإنتاج، ومن الاستهلاك الهائل للطاقة من أجل تشغيل البنية التحتية.

يجب استغلال بعض الفرص علماً أن كثيراً من الشركات تستثمر فعلاً في جعل مشاريعها أكثر مراعاة للبيئة. وما زالت هناك جهود كثيرة مطلوبة، لا سيما في الانتقال إلى اعتماد الطاقة المتجددة بنسبة 100 في المائة، والاستفادة المُثلى من أنظمة التبريد لمراكز البيانات وإعادة استخدام الحرارة المُنتَجة وكذلك المواد المُستخدَمة. يتعيَّن على المستهلكين أن يعدِّلوا سلوكهم على الإنترنت بهدف تخفيف البصمة الرقمية - مشاهدة فيديوهات عالية الدقة بوتيرةٍ أقل، إمضاء وقت أقصر على الإنترنت، تنظيف صندوق البريد الإلكتروني بوتيرةٍ أكبر، وتخزين أقل على السحابة للصور والرسائل الإلكترونية.

حقوق الصورة: بيلين ديميزون

موجز التبصُّر

شكر وتقدير

ستيفان شوارزير، باسكال بيدوزي، برنامج الأمم المتحدة للبيئة/غريد-جنيف وَجامعة جنيف

المؤلفون

المراجعون

الخارجيون

آنا دايسون (مركز جامعة ييل للنُظُم البيئية في الهندسة المعمارية)،
لامبرت هوغينوت، مكتب تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في الأمم المتحدة

المراجعون من برنامج الأمم المتحدة للبيئة

أنجلين دجامبو، فيرجينيا جيتاري، ساموبل أوبيو، دافيد جنسن، سيف الرضوان، راي غوه، بوجا مونشي

فريق موجزات التبصُّر الصادرة عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة

ألكساندر كالداس، ساندور فريجيبك، أودري رينغلر، إسثر كاتو، إيريك ليتسوا، باسيل موشيسيا

إخلاء المسؤولية

التعيينات المستخدَمة وطريقة تقديم المواد لا تعني ضمناً الإعراب عن أي رأيٍ مهما كان من جانب برنامج الأمم المتحدة للبيئة أو الوكالات المتعاونة معه في ما يتعلق بالوضع القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة أو سلطاتها، أو في ما يتعلق بتحديد تخومها أو حدودها.

© حقوق الخرائط والصور والرسوم التوضيحية كما هو محدَّد فيها.

للاتصال

unep-foresight@un.org

قائمة المراجع

أندراي، أ وأدلير، ت. (2015). عن استخدام الكهرباء عالمياً لتكنولوجيا الاتصالات: الاتجاهات حتى عام 2030، *التحديات* 6(1)، ص 117- 157 https://doi.org/10.3390/challe6010117.

أندراي، أ. س. ج. (2020). وجهات نظر جديدة حول استخدام الكهرباء للإنترنت عام 2030، ص 14 https://pisrt.org/psrpress/j/easl/2020/2/3/new-perspectives-on-internet-electricity-use-in-2030.pdf.

آبل (2020). شركة آبل (Apple) تلتزم بالحياد الكربوني بنسبة 100 في المائة لسلسلة إمدادها ومنتجاتها بحلول عام 2030. مصدر *الأخبار في شركة آبل (Apple Newsroom)، تموز/يوليو*. مُتاح على الرابط التالي: https://www.apple.com/newsroom/2020/07/apple-commits-to-be-100-percent-carbon-neutral-for-its-supply-chain-and-products-by-2030/ (تاريخ الاطّلاع: 15 آذار/مارس 2021).

بالخير ل.، والمليجي، أ. (2018). الوصول إلى بصمة الانبعاثات العالمية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات: الاتجاهات حتى عام 2040 والتوصيات. مجلة *Journal of Cleaner Production*، العدد 177، ص 463-448. المعرّف الرقمي: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.239.

بيزر، ج. *وآخرون*. (2020). حماية المناخ من خلال التكنولوجيات الرقمية. شركة بيتكوم، مؤسسة مسجلة.

بيسر، ج.؛ ساليبري، ب.؛ هيشبير، ر.؛ وهيلتي، ر. (2020). الجيل القادم من الشبكات المتنقلة: مشكلة أو فرصة بالنسبة لحماية المناخ؟ زيورخ: جامعة زيورخ.

بورداج، ف (2019). *البصمة البيئية للعالم الرقمي*. موقع GreenIT.fr، ص 39 https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/11/GREENIT_EENM_etude_EN_accessible.pdf.

بورجي، ج. (2019). ثلاثة مراكز جديدة للبيانات مزوّدة بقابلية استعادة الحرارة ضمن مبادرة "ستوكهولم داتا باركس" *ستوكهولم داتا باركس، 12 تشرين الثاني/نوفمبر*. مُتاح على الرابط التالي: https://stockholmdataparks.com/2019/11/12/three-new-data-centers-with-heat-recovery-in-stockholm-data-parks/ (تاريخ الاطّلاع: 10 آذار/مارس 2021).

ديجيكونوميست (2020). *مؤشر استهلاك الطاقة للبيتكوين* مُتاح على الرابط التالي: https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption/ (تاريخ الاطّلاع: 15 آذار/مارس 2021).

إفوي-هيبن، م. (2019). أزمة المناخ: الاستخدام غير المستدام للفيديو عبر الإنترنت: الجدوى العملية للرصانة الرقمية. *مشروع شيفت (The Shift Project)* مُتاح على الرابط التالي: https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2019/07/2019-02.pdf.

شركة الحقول المغنطيسية الكهربائية في جنوب أفريقيا (2019). الجيل الخامس (5G) - استهلاك الطاقة، بصمة الكربون، تعفُّن المناخ: الأثر البيئي. *EMFSA*. مُتاح على الرابط التالي: https://www.emfsa.co.za/news/5g-energy-consumption-carbon-footprint-climate-change-environmental-impact/ (تاريخ الاطّلاع: 27 كانون الثاني/يناير 2021).

إيون (2021). الإنترنت الأخضر: حلول من أجل مستقبل مراكز البيانات | E.ON مُتاح على الرابط التالي: https://www.eon.com/en/about-us/green-internet.html (تاريخ الاطّلاع: 15 آذار/مارس 2021).

فورتي، ف؛ بالدي، سي؛ كويبر، ر؛ بيل، ج. (2020).

فرنسا، المجلس الأعلى للمناخ (2020). التحكم بالأثر الكربوني الصادر عن الجيل الخامس (5G). https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2020/12/haut-conseil-pour-le-climat_rapport-5g.pdf.

المرصد العالمي للنفايات الإلكترونية 2020: الكميات، والتدفُّقات، وقدرة الاقتصاد الدائري. جامعة الأمم المتحدة (UNU)، معهد الأمم المتحدة للتدريب والبحث (اليونيتار UNITAR)، الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU)، الرابطة الدولية للنفايات الصلبة (ISWA).

غوغل (2019) تقرير غوغل البيئي 2019. Google. مُتاح على الرابط التالي: https://www.gstatic.com/gumdrop/sustainability/google-2019-environmental-report.pdf.

غروغر، ج. (2020). *بصمة الكربون من أنماط حياتنا الرقمية*، معهد *Oeko-Institut*. مُتاح على الرابط التالي: https://blog.oeko.de/digitaler-co2-fussabdruck/ (تاريخ الاطّلاع: 15 آذار/مارس 2021).

الجمعية الدولية لشبكات الهاتف المحمول (2019). *كفاءة الطاقة: استعراض عام*. الشبكات المستقبلية. مُتاح على الرابط التالي: https://www.gsma.com/futurenetworks/wiki/energy-efficiency-2/ (تاريخ الاطّلاع: 19 نيسان/أبريل 2021).

هاو، ك. (2019). تدريب نموذج واحد من الذكاء الاصطناعي قد يصدر كميةً من الكربون توازي ما يصدر عن 5 سيارات على امتداد فترة حياتها. التعلُّم العميق يخلّف بصمة كربون مخيفة. *مجلة MIT Technology Review*، عدد *6 حزيران/يونيو*. مُتاح على الرابط التالي: https://www.technologyreview.com/2019/06/06/239031/training-a-single-ai-model-can-emit-as-much-carbon-as-five-cars-in-their-lifetimes/ (تاريخ الاطّلاع: 15 آذار/مارس 2021).

هينترمان، ر. (2018) (2020).؟. *مكاسب الكفاءة لا تكفي: استهلاك الطاقة في مراكز البيانات تُواصل ارتفاعها على نحو كبير*. معهد بوردرستيب للابتكار والاستدامة ش.ذ.م.م. https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/04/Borderstep-Datacenter-2018_en.pdf.

هينترمان، ر. (2019). *متطلبات مراكز البيانات من الطاقة تشهد ارتفاعاً كبيراً*، معهد بوردرستيب. مُتاح على الرابط التالي: https://www.borderstep.de/energiebedarf-der-rechenzentren-steigt-deutlich-an/ (تاريخ الاطّلاع: 15 آذار/ مارس 2021).

وكالة الطاقة الدولية (2017). *الرقمنة والطاقة*. وكالة الطاقة الدولية. مُتاح على الرابط التالي: https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy (تاريخ الاطّلاع: 15 آذار/مارس 2021).

وكالة الطاقة الدولية (2020). *مراكز البيانات وشبكات نقل البيانات - تحليل، وكالة الطاقة الدولية*. مُتاح على الرابط التالي: https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks (تاريخ الاطّلاع: 10 آب/أغسطس 2021).

وكالة الطاقة الدولية (2020). مراكز البيانات وشبكات نقل البيانات - تحليل، وكالة الطاقة الدولية. مُتاح على الرابط التالي: https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks (تاريخ الاطّلاع: 27 كانون الثاني/يناير 2021).

المعهد الدولي للتنمية المستدامة (2018). *مراجعة مبادرات حالة الاستدامة: المعايير والاقتصاد الاستخراجي*. مُتاح على الرابط التالي: https://www.deslibris.ca/ID/10097867 (تاريخ الاطّلاع: 9 آب/أغسطس 2021).

إنغام، ل. (2020). الرئيس التنفيذي لشركة هيوليت-باكارد (Hewlett Packard): تعدين "مطمر النفايات" ضروري لسد الفجوة الرقمية. موقع *"فيرديكت" Verdict*، 24 كانون الثاني/يناير. مُتاح على الرابط التالي: https://www.verdict.co.uk/hpe-ceo-data-landfill/ (تاريخ الاطّلاع: 15 آذار/مارس 2021).

موقع أي تي دايلي (2021) ،(it-daily). *مقالة متخصصة حول التحوّل الرقمي*، *it-daily.net*. مُتاح على الرابط التالي: https://www.it-daily.net/it-management/digitalisierung/27200-ki-baendigt-datenmengen-fuer-automatisiertes-fahren (تاريخ الاطّلاع: 3 آذار/مارس 2021).

كالينباخ، سي. (2017). *السيارة المتصلة بسائق من بيانات: سيارة - صديقتك ومُعاونتك*. مُتاح على الرابط التالي: https://www.computerwoche.de/a/das-auto-dein-freund-und-helfer,3329638 (تاريخ الاطّلاع: 3 آذار/مارس 2021).

كامبا، ج. (2019). *استخدام الطاقة للبتكوين - تعدين الفجوة*. الوكالة الدولية للطاقة، على الرابط التالي: https://www.iea.org/commentaries/bitcoin-energy-use-mined-the-gap (تاريخ الاطّلاع: 15 آذار/مارس 2021).

كيمب، س. (2021). *ديجيتال 2021: أحدث الرؤى حول "حالة الرقمنة"*، نحن اجتماعيون - الولايات المتحدة الأمريكية. مُتاح على الرابط التالي: https://wearesocial.com/us/blog/2021/01/digital-2021-the-latest-insights-into-the-state-of-digital (تاريخ الاطّلاع: 15 آذار/مارس 2021).

كلامب، د. (2018). *الإنترنت الجشع للطاقة: تقدير دورة الحياة لنفرة الماوس*، *swr.online*. مُتاح على الرابط التالي: https://www.swr.de/odysso/oekobilanz-des-internets/-/id=13831216/did=21791748/nid=13831216/a6ozwj/index.html (تاريخ الاطّلاع: 9 آذار/مارس 2021).

لي، د.س.؛ فاهي د.و.؛ سكاورون، أ.؛ ألين، م.ر.؛ بوركهارت، يو.؛ تسي، كيو. *وآخرون*. (2021). حصة الطيران العالمي من التأثير المناخي البشري الصنع من عام 2000 إلى 2018، *مجلة بيئة الغلاف الجوي*، العدد 244، ص 117834. المعرّف الرقمي: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834.

لويس، ل. (2019). ما الذي يجري في دقيقة واحدة على الإنترنت في عام 2019؟ *فيجوال كابيتالسيت*، 13 آذار/مارس. مُتاح على الرابط التالي: https://www.visualcapitalist.com/what-happens-in-an-internet-minute-in-2019/ (تاريخ الاطّلاع: 11 آب/أغسطس 2021).

مالمودين، ج. ولوندين، د. (2018). الطاقة وبصمة الكربون لقطاعات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات والإعلام والترفيه 2015-2010، *مجلة الاستدامة*، 10(9)، ص 3027. https://doi.org/10.3390/su10093027.

ماسانيت، إ.؛ شهابي، أ.؛ لي، ن.؛ كومي، ج.. (2020). إعادة معايرة التقديرات للطاقة المُستخدَمة في مراكز البيانات. مجلة العلوم، مجلّد 367 (عدد 6481)، ص 4. https://www.science.org/doi/10.1126/science.aba3758.

أويرينغر، ر.؛ راتشونوك، ب.؛ مايا-سيلفا، د.؛ أربلاب زاده، م.؛ ناطقي، ر.؛ مدني، ك. (2021). البصمة البيئية المُغفلة لاستخدام الإنترنت المتزايد. *الموارد وحفظها وإعادة تدويرها*، مجلّد 167، عدد 105389. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105389.

ريجن نتوورك (2021). *شبكة ريجن نتوورك (Regen Network) تعلن عن بيع رصيد الكربون في أستراليا*؛ موقع *Medium*. مُتاح على الرابط التالي: https://medium.com/regen-network/regen-network-announces-historic-carbon-credit-sale-in-australia-b76dfadcc095 (تاريخ الاطّلاع: 15 آذار/مارس 2021).

شهابي، أ.؛ سميث، س.ج.؛ ماسانيت، إ.؛ كومي، ج. (2018). نمو مراكز البيانات في الولايات المتحدة: فك الارتباط بين الطلب على الخدمات واستخدام الكهرباء. *رسائل البحوث البيئية*، عدد 13(12)، ص 124030. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaec9c.

ستاتيستا (2020). *معلومات بيانية: دقيقة على الإنترنت عام 2020*، *ستاتيستا إنفوغرافيكس*. مُتاح على الرابط التالي: https://www.statista.com/chart/17518/data-created-in-an-internet-minute/ (تاريخ الاطّلاع: 9 آب/أغسطس 2021).

ستاتيستيكا (2021). *مراكز البيانات حول العالم لكل بلد من البلدان 2021*، *ستاتيستا*. مُتاح على الرابط التالي: https://www.statista.com/statistics/1228433/data-centers-worldwide-by-country/ (تاريخ الاطّلاع: 19 أيار/مايو 2021).

ستراسكي، و. (2020). *ميثاق مركز البيانات المحايد مناخياً: الانطلاق الأخضر في حاجة إلى بنية تحتية خضراء*. مُتاح على الرابط التالي: https://www.climateneutraldatacentre.net/

ستروبيل، إ.؛ غانيش، أ.، مكالوم، أ. (2019). اعتبارات الطاقة والسياسة من أجل التعلُّم العميق في معالجة اللغات الطبيعية. *[arXiv:1906.02243 [cs* [ما قبل الطبع]. مُتاح على الرابط التالي http://arxiv.org/abs/1906.02243 (تاريخ الاطّلاع: 15 آذار/مارس 2021).

"تي3إن" (2019). دراسة: مراكز بيانات الجيل الخامس (5G) تستهلك مقداراً أكبر كثيراً من الكهرباء ، *مجلة "تي3إن" (t3n)*. مُتاح على الرابط التالي: https://t3n.de/news/studie-5g-rechenzentren-deutlich-1232548/ (تاريخ الاطّلاع: 27 كانون الثاني/يناير 2021).

توراك، ن. (2021). إيران تمنع عملة البتكوين مع تعرُّض مُدُنها لنقص في الكهرباء وانقطاع التيار الكهربائي. *شبكة سي إن بي سي (CNBC)*. *مُتاح على الرابط التالي:* https://www.cnbc.com/2021/05/26/iran-bans-bitcoin-mining-as-its-cities-suffer-blackouts.html (تاريخ الاطّلاع: 2 تشرين الثاني/نوفمبر 2021).

الأمم المتحدة (2017) استجابة على نطاق منظومة الأمم المتحدة لمعالجة النفايات الإلكترونية. برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP).

برنامج الأمم المتحدة للبيئة (2019أ). بناء منظومة إيكولوجية رقمية من أجل كوكب الأرض. موجز *التبصُّر 014*، *أيلول/سبتمبر 2019*. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/30612/Foresight014.pdf.

برنامج الأمم المتحدة للبيئة (2019ب). *تقرير الأمم المتحدة: آن الأوان لاستغلال الفرصة ومعالجة تحدي النفايات الإلكترونية، برنامج الأمم المتحدة للبيئة*. مُتاح على الرابط التالي: http://www.unenvironment.org/news-and-stories/press-release/un-report-time-seize-opportunity-tackle-challenge-e-waste (تاريخ الاطّلاع: 27 كانون الثاني/يناير 2021).

برنامج الأمم المتحدة للبيئة (2020). تقنية الكتل المتسلسلة والاستدامة البيئية. موجز *التبصُّر 019، تشرين الأول/أكتوبر 2020*. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/34226/FB019.pdf.

إدارة معلومات الطاقة في الولايات المتحدة (2021) *دولي - الولايات المتحدة. إدارة معلومات الطاقة (EIA)*. مُتاح على الرابط التالي: https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-consumption (تاريخ الاطّلاع: 19 نيسان/أبريل 2021).

برنامج الأمم المتحدة للبيئة 50 1972-2022

غرفة متابعة الحالة البيئية العالمية
بيانات ومعلومات ومعرفة بشأن البيئة

للاطِّلاع على الإصدارات الحالية والسابقة على الإنترنت وتنزيل موجزات التبصُّر الصادرة عن برنامج الأمم المتحدة للبيئة، يُرجى زيارة الموقع التالي:
https://data.unep.org/foresight