الأمم المتحدة

TD/B/EDE/8/2

مؤتمر الأمم المتحدة
للتجارة والتنمية

Distr.: General
26 February 2025
Arabic
Original: English

مجلس التجارة والتنمية

فريق الخبراء الحكومي الدولي المعني بالتجارة الإلكترونية والاقتصاد الرقمي

الدورة الثامنة

جنيف، 12–14 أيار/مايو 2025

البند 3 من جدول الأعمال المؤقت

تفعيل الرقمنة تحقيقاً للتنمية الشاملة والمستدامة

مذكرة من إعداد أمانة الأونكتاد

موجز

لما كان العالم يواجه تحديات عالمية أكثر تعقيداً وترابطاً، أصبح من الأهمية بمكان على نحو متزايد تعزيز فهم التعقيدات التي تميّز هذه التحديات لإثراء المناقشات المتعلقة بالسياسات العامة على جميع المستويات. وتستكشف هذه المذكرة العلاقة بين الرقمنة السريعة والاستدامة البيئية والتنمية الشاملة. كما تصور الآثار البيئية الرئيسية للرقمنة عبر دورة حياتها، فضلاً عن الآثار المقابلة من منظور التجارة والتنمية. وتتطلب الرقمنة الشاملة للجميع والمستدامة بيئياً اتخاذ تدابير في مجال السياسة العامة على الصُعد الوطني والإقليمي والدولي، بالإضافة إلى إجراءات من قبل جميع أصحاب المصلحة نحو الاستهلاك والإنتاج المستداميْن.

الرجاء إعادة الاستعمال

الأمم المتحدة

TD/B/EDE/8/2/Corr.1

مؤتمر الأمم المتحدة
للتجارة والتنمية

Distr.: General
28 March 2025
Arabic
Original: English

مجلس التجارة والتنمية

فريق الخبراء الحكومي الدولي المعني بالتجارة الإلكترونية والاقتصاد الرقمي

الدورة الثامنة

جنيف، 12–14 أيار/مايو 2025

البند 3 من جدول الأعمال المؤقت

تفعيل الرقمنة تحقيقاً للتنمية الشاملة والمستدامة

مذكرة من أمانة الأونكتاد

تصويب

1- الصفحة 6، المربع

يُستعاض عن النص الحالي بما يلي:

تزايد الآثار البيئية الناجمة عن طفرة الذكاء الاصطناعي

يؤدي تسارع تطوير الذكاء الاصطناعي ونشره بعد ظهور Chat GPT [المحول التوليدي المدرب مسبقاً] في عام 2022 إلى زيادة سريعة في التكاليف البيئية من حيث الطلب على المواد واستخدام المياه والطاقة وتلوث الهواء وانبعاثات الكربون وتوليد النفايات الإلكترونية. وتتطلب المنافسة، ولا سيما بين شركات التكنولوجيا الكبرى، لتطوير نماذج أكثر قوة وتطوراً للذكاء الاصطناعي زيادة القدرة على تجهيز البيانات والحوسبة لأغراض التدريب والاستدلال، وهو ما يترجم في الغالب إلى زيادة كبيرة في الطلب على مراكز البيانات. وتظهر دراسة أنجزتها شركة استشارية أن الطلب العالمي على قدرات مراكز البيانات قد يتضاعف بمقدار ثلاث مرات بحلول عام 2030، وأن الذكاء الاصطناعي يشكل المحرك الرئيسي لهذه الزيادة. ويتوسع الاستثمار في مراكز البيانات في جميع أنحاء العالم؛ وتُظهر أحد تقديرات شركة بحوث واستشارات أن الإنفاق على نظم مراكز البيانات قد زاد بنسبة 39,4 في المائة في عام 2024، ومن المتوقع أن ينمو بنسبة 23,2 في المائة لعام 2025.

والأدلة على الآثار البيئية للذكاء الاصطناعي محدودة، لأن شركات التكنولوجيا غالباً ما لا تفصح عن مثل هذه المعلومات ولأن منهجيات التقييم متعددة. ومع ذلك، فإن التحليلات الكثيرة التي شهدتها الفترة الأخيرة تشير إلى وجود اتفاق على أن الآثار كبيرة وتتزايد بشكل كبير مع التطورات في الذكاء الاصطناعي التوليدي. وعلى سبيل المثال، يسبب استخدام الذكاء الاصطناعي كميات كبيرة من انبعاثات غازات الدفيئة؛ فقد ارتفعت انبعاثات شركة غوغل بنسبة 48 في المائة في الفترة 2019–2024 وسجلت انبعاثات شركة

الرجاء إعادة الاستعمال

مايكروسوفت زيادة بنحو 31 في المائة في عام 2024 مقارنة بعام 2020. وتُظهر دراسة أنجزتها مؤسسة إعلامية أن الانبعاثات الناتجة عن شـــركات التكنولوجيا الكبيرة قد تكون أعلى بعدة مرات من تلك المبلغ عنها رسمياً، بسبب اختلاف أساليب المحاسبة. وتُظهر دراسة أخرى أجرتها شركة للخدمات المالية أن انبعاثات مراكز البيانات يمكن أن تزيد بأكثر من الضـعف في الفترة 2020–2030. كما تؤدي الزيادة في رقائق الوحدات المستخدمة في مراكز البيانات ولمعالجة الرسومات، نتيجة تطور الذكاء الاصطناعي، إلى زيادات كبيرة في الطلب على المعادن والفلزات والمواد الأخرى.

وقد أصـــبح ارتفاع مســـتوى اســـتهلاك الطاقة وزيادة كثافة اســـتهلاكها في اســـتخدام الذكاء الاصـطناعي واضـحاً بشـكل متزايد. وتشـير التقديرات إلى أن البحث بالذكاء الاصـطناعي يتطلب 10 أضعاف الكهرباء المستخدمة أثناء البحث التقليدي عبر الإنترنت. وتُظهِر دراسة أجرتها شركة للخدمات المالية أن الطلب على الطاقة من مراكز البيانات سينمو بنسبة 160 في المائة بحلول عام 2030 وأن مراكز البيانات في جميع أنحاء العالم اســـتهلكت في عام 2024 ما بين 1 و2 في المائة من إجمالي الطاقة، وقد يرتفع الاستهلاك إلى 3–4 في المائة بحلول نهاية عشرينات القرن الحادي والعشرين. ومن المتوقع أن يمثل الذكاء الاصـــطناعي حوالي 19 في المائة من الطلب على الطاقة في مراكز البيانات بحلول عام 2028. ويثير ذلك شـواغل بشـأن الآثار السـلبية على شـبكة الكهرباء، ومن المحتمل وجود حالات اضطراب ونقص قد تقيد بدورها نشر الذكاء الاصطناعي. ونتيجة لذلك، هناك عودة إلى مصادر الطاقة من الوقود الأحفوري وإحياء لخطط الطاقة النووية، حيث إن مصـــادر الطاقة المتجددة لا تكفي لتلبية الطلب. ومن الناحية المثالية، لا ينبغي أن تشـكل مصـادر الطاقة المتجددة عنصـراً إضـافياً بل ينبغي أن تحل محل استخدام الوقود الأحفوري.

ويهدد الطلب المتزايد على الطاقة لمراكز البيانات التقدم نحو تحقيق الأهداف المتعلقة بالمناخ من قبل كل من شـركات التكنولوجيا الكبرى وفي بعض الاقتصـادات. وعلى سـبيل المثال، ارتفع اسـتخدام مراكز البيانات للكهرباء في أيرلندا من 5 إلى 21 في المائة من الاستهلاك الوطني في الفترة 2015–2023 وتشير التوقعات إلى أن هذه النسـبة قد تصـل إلى 28 في المائة بحلول عام 2031. كما يشـكل إنتاج الرقائق تحدياً أمام تحقيق الأهداف المتعلقة بالمناخ، على سبيل المثال في مقاطعة تايوان الصينية. كما أن تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي وإنتاج الرقائق ذات الصلة تؤثر تأثيراً كبيراً على استهلاك المياه. وتظهر دراسة بحثية أُنجزت في إطار مشـروع تعاون بين مؤسـسـة إعلامية وأكاديميين أن توليد رسـالة بريد إلكتروني مكونة من 100 كلمة باسـتخدام Chat GPT-4 يتطلب أكثر من نصـف لتر من المياه. وتشـير التقديرات إلى أن الطلب العالمي على المياه الناتج عن اسـتخدام الذكاء الاصـطناعي قد يصـل إلى 4,2 مليار – 6,6 مليار متر مكعب في عام 2027، وهو ما يتجاوز نصف الاستخدام السنوي في المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وأيرلندا الشمالية في عام 2023. ونظراً لأن 95 في المائة من المياه التي تستهلكها مراكز البيانات صالحة للشرب، ومعظمها يتبخر، فإن المنافسـة مع اسـتخدامات المياه الأكثر أهمية تثير شـواغل، ولا سـيما حيث تكون المياه شـحيحة. وعلاوة على ذلك، فإن تلوث الهواء الناجم عن التصـنيع وتوليد الكهرباء واسـتخدام المولدات الاحتياطية التي تعمل بالديزل يشكل تأثيراً بيئياً آخر ويمكن أن يؤثر بشكل كبير على الصحة العامة.

وفي مرحلة نهاية العمر، تؤدي تكنولوجيا الذكاء الاصـــطناعي إلى توليد أكبر قدر من النفايات الإلكترونية، لأنها تتطلب أجهزة جديدة واسـتبدال المعدات بشـكل متكرر. وتُظهر دراسـة نشـرتها دورية محكَّمة أن النفايات الإلكترونية المتراكمة الناتجة عن الذكاء الاصـطناعي التوليدي يمكن أن تصـل إلى ما مجموعه 1,2 مليون – 5 ملايين طن في الفترة 2020–2030. ويتراوح معدل النمو السنوي المُركّب المقدر للنفايات الإلكترونية من نماذج الذكاء الاصطناعي الكبيرة متعددة اللغات من 129 إلى 167 في المائة في الفترة 2023–2030، مقابل 3,6 في المائة بالنسبة إلى النفايات الإلكترونية التقليدية العالمية.

وتثير الآثار البيئية المتصاعدة لتكنولوجيا الذكاء الاصطناعي عبر دورة حياتها، على الرغم من عدم اليقين بشأنها، شواغل بين أصحاب المصلحة المعنيين، بما في ذلك المجتمعات المحلية المتضررة في العديد من البلدان. وهناك مبادرات سياساتية ناشئة للتصدي للآثار على الصُعد الوطني والإقليمي والدولي. وهناك وعي متزايد، ولكن هناك حاجة إلى جهود كبيرة من جانب جميع أصحاب المصلحة للتحرك نحو الاستدامة البيئية لتكنولوجيا الذكاء الاصطناعي. ولا يزال هناك الكثير مما يتعين القيام به من حيث القياس والشفافية والبحث، لزيادة فهم الآثار البيئية. وينبغي أن تركز المناقشات أيضاً على الحاجة إلى دمج الأبعاد البيئية في تحليل التكاليف والفوائد لتصميم الذكاء الاصطناعي ونشره؛ وتشمل الأسئلة الحاسمة ما إذا كانت بعض المهام تستحق التكاليف البيئية وما إذا كانت المنافسة على النماذج الأكبر التي تؤثر على أهداف الاستدامة البيئية مطلوبة لتلبية الاحتياجات المجتمعية أو ما إذا كانت النماذج الأصغر قادرة على القيام ببعض العمل. وعلاوة على ذلك، من الأهمية بمكان النظر في جوانب الإنصاف لمثل هذه الآثار. وتؤدي محدودية الوصول إلى الطاقة وحالات الإجهاد المائي في العديد من البلدان النامية إلى صعوبة إمكانية تطوير قدرات الذكاء الاصطناعي وبالتالي تعوق الفوائد المحتملة.

المصدر: الأونكتاد، استناداً إلى ما يلي: https://news.ucr.edu/articles/2024/12/09/ais-deadly-air-pollution-toll; https://qz.com/ai-google-microsoft-climate-change-data-center-energy-1851589453; https://www.aljazeera.com/economy/2024/12/25/taiwan-struggles-to-reconcile-climate-ambitions-and-chip-manufacturing; https://www.bbvaresearch.com/en/publicaciones/global-ai-and-climate-disruptive-potential-amid-growing-resource-strain/; https://www.capgemini.com/news/press-releases/organizations-are-increasingly-aware-of-the-environmental-footprint-of-gen-ai-but-most-arent-able-to-address-it-alone/; https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2025-01-21-gartner-forecasts-worldwide-it-spending-to-grow-9-point-8-percent-in-2025; https://www.goldmansachs.com/insights/articles/AI-poised-to-drive-160-increase-in-power-demand; https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/ai-power-expanding-data-center-capacity-to-meet-growing-demand; https://www.nature.com/articles/s43588-024-00712-6; https://www.reuters.com/technology/artificial-intelligence/how-ai-cloud-computing-may-delay-transition-clean-energy-2024-11-21/; https://www.theguardian.com/technology/2024/sep/15/data-center-gas-emissions-tech; https://www.theguardian.com/world/2024/dec/10/ai-fuelled-cloud-storage-boom-threatens-irish-climate-targets-report-warns; https://www.unep.org/resources/report/artificial-intelligence-ai-end-end-environmental-impact-full-ai-lifecycle-needs-be; and https://www.washingtonpost.com/technology/2024/09/18/energy-ai-use-electricity-water-data-centers/.

2- الصفحة 10، ثانياً، عنوان الفرع باء

يُستعاض عن النص الحالي بما يلي:

الآثار التي تسببها مراكز البيانات في البلدان النامية

3- الصفحة 10، ثانياً، عنوان الفرع جيم

يُستعاض عن النص الحالي بما يلي:

الفجوات ذات الصلة بالنفايات المرتبطة بالرقمنة؛ والتبادلات الإيكولوجية غير المتكافئة

4- الصفحة 11، الشكل

يُستعاض عن الشكل الحالي بالشكل الوارد أدناه

5- الصفحة 11، الفقرة 28، الجملة الثالثة

يُستعاض عن النص الحالي بما يلي:

وعلى النقيض من ذلك، تنتقل المكونات ذات القيمة الأعلى في سلسلة قيمة النفايات من البلدان النامية إلى البلدان المتقدمة.

6- الصفحة 13، الفقرة 33، الجملة الأخيرة

يُستعاض عن النص الحالي بما يلي:

وتتزايد مخاطر الإعانات والتوترات المتعلقة بالتجارة، مما قد يؤدي إلى خسائر كبيرة على مستوى العالم، ولا سيما بين البلدان النامية، التي يتوافر لديها حيز أقل بكثير نسبياً في مجال السياسة المالية.

7- الصفحة 13، الفقرة 34، الجملة الأولى

يُستعاض عن النص الحالي بما يلي:

وبخلاف زيادة الإنتاج المحلي، يتطلع العديد من البلدان إلى الخارج لتأمين الوصول إلى المعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي من مصـــادر بديلة من خلال التحالفات أو الشـــراكات. ومن الأمثلة على ذلك شراكة أمن المعادن بين الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي وبلدان مختلفة؛ والشراكات الاستراتيجية الثنائية بين الاتحاد الأوروبي وبعض البلدان.

8- الصفحة 14، الفقرة 35، الجملة الأولى

يُستعاض عن النص الحالي بما يلي:

تمثل إدارة النفايات المرتبطة بالرقمنة عملية معقدة، وتشمل كلاً من المواد الخطرة والمواد القيّمة.

9- الصفحة 15، الفقرة 39، الجملة الرابعة

يُستعاض عن النص الحالي بما يلي:

وفي حين ينبغي أن يكون الهدف الطويل الأجل هو تنظيم أنشـــطة إدارة النفايات في المناطق التي يُدار فيها جزء كبير من النفايات بطرق غير نظامية، ففي المدى القصـير والمدى المتوسـط يمكن أن يشكل استحداث طرق فعالة لإشراك القطاع غير النظامي عنصراً مهمًا أيضًا في استراتيجية شاملة وسليمة لإدارة النفايات.

10- الصفحة 16، الفقرة 41، الجملتان قبل الأخيرة والأخيرة

يُستعاض عن النص الحالي بما يلي:

وحتى الآن، لا يوجد إطار عالمي شامل من أجل الإدارة الرشيدة للعمل الجماعي وتبادل المعرفة بين البلدان، وبناء التوافق في الآراء، ووضـع معايير عالمية، وتشـجيع الشفافية في الإبلاغ عن التقدم نحو تحقيق الأهداف المشـتركة المتمثلة في النهوض بالرقمنة مع الحرص على تحقيق الاسـتدامة البيئية ورصـد ما يُحرز من تقدم في هذا الصـدد. ومع ذلك، أصـبحت هذه المسألة تحظى بالاهتمام في إطار المناقشات الدولية، مثل تلك المتعلقة بالتعاهد الرقمي العالمي ويوم الرقمنة الذي عُقد خلال الدورة التاسـعة والعشـرين لمؤتمر الأطراف في اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ.

مقدمة

1- قرر مجلس التجارة والتنمية في دورته التنفيذية السادسة والسبعين أن ينصب تركيز الدورة الثامنة لفريق الخبراء الحكومي الدولي المعني بالتجارة الإلكترونية والاقتصاد الرقمي على موضوع "تفعيل الرقمنة تحقيقاً للتنمية الشاملة والمستدامة".

2- وهناك تحول رقمي عالمي يحدث بالتوازي مع شواغل متزايدة إزاء استنفاد المواد الخام، واستخدام المياه، ونوعية الهواء، والتلوث وتوليد النفايات، والتي ترتبط بحدود الكوكب، بما في ذلك في سياق تغير المناخ. وستؤثر طريقة إدارة هذا التحول تأثيراً كبيراً على مستقبل البشرية وسلامة الكوكب. ومع تزايد عدم المساواة وأوجه الضعف على الصعيد العالمي، بما في ذلك فيما يتعلق باتساع الفوارق الاجتماعية والاقتصادية، والتدهور البيئي والتوترات الجيوسياسية، أصبحت الرقمنة السريعة والحاجة الملحة إلى تعزيز الاستدامة البيئية مترابطة بشكل متزايد. ولا تزال الرقمنة تواصل التطور بسرعة عالية، وتوفر، من منظور بيئي، حلولاً جديدة ولكنها تفرض أيضاً عقبات أمام الاستدامة. وحتى الآن، تم اعتبار التحولات نحو التكنولوجيات المنخفضة الكربون والرقمية عمليات متوازية؛ ومع ذلك، فهي متشابكة بشكل وثيق في إطار التحول الاقتصادي العالمي الأوسع. وتواجه البلدان النامية، ولا سيما أقل البلدان نمواً، مأزقاً مزدوجاً وسط تحديات الرقمنة والبيئة، أي أنها غالباً ما تكون الأكثر عرضة للتأثيرات البيئية والاجتماعية السلبية المحتملة، كما أنها أقل تجهيزاً لتسخير التكنولوجيات الرقمية من أجل التخفيف من المخاطر الناجمة عن الأزمات البيئية. وبالتالي، فإنها لا تستفيد إلا بشكل محدود من الرقمنة في حين تتعرض في الوقت نفسه لمستوى عالٍ من الآثار السلبية. والفجوات في التنمية والمسؤولية البيئية والآثار والرقمنة مترابطة وتحتاج إلى المعالجة بشكل شامل. وينبغي إيلاء المزيد من الاهتمام للترابطات بين الرقمنة سريعة التطور والاستدامة البيئية وكيف ترتبط بالتجارة والتنمية. ويشمل ذلك تحسين فهم كيف تتأثر البلدان على مستويات مختلفة من التنمية بالآثار البيئية للرقمنة وكيف تؤثر هذه الآثار على التجارة العالمية. ويمكن أن يؤدي القيام بذلك إلى إعلام عملية صنع السياسات المرتبطة بالرقمنة والتجارة والتنمية المستدامة بيئياً والشاملة للجميع، لتحقيق أقصى قدر من المكاسب المحتملة من الرقمنة مع تخفيف الأضرار البيئية.

3- وفي ضوء ما تقدم، يتناول الفصل الأول من هذه المذكرة بالتفصيل الآثار البيئية الرئيسية عبر دورة حياة الرقمنة؛ ويسلط الفصل الثاني الضوء على الآثار التجارية والإنمائية المقابلة؛ ويستكشف الفصل الثالث سبل تحقيق مكاسب على صعيد التنمية المستدامة؛ ويقدم الفصل الرابع الخيارات السياساتية على مستويات مختلفة من أجل الرقمنة الشاملة للجميع والمستدامة بيئياً.

4- وتستند هذه المذكرة إلى الأسئلة التوجيهية التالية، حسبما قررها مجلس التجارة والتنمية[(1)]:

(أ) ما هي الآثار البيئية الرئيسية الناجمة عن الرقمنة عبر دورة حياتها، وكيف يمكن معالجتها، وما هي الآثار المترتبة عنها من منظور التجارة والتنمية، ولا سيما فيما يخص البلدان النامية؟

(ب) كيف يمكن أن تفضي الرقمنة إلى تحقيق مكاسب على صعيد التنمية المستدامة عبر دورة حياتها، ولا سيما بالنظر إلى أمور من جملتها المعادن الحرجة المرتبطة بعملية التحول الرقمي وإدارة النفايات؟

(1) تستند هذه المذكرة إلى تقرير الأونكتاد، 2024 المعنون *تقرير الاقتصاد الرقمي 2024: تشكيل مستقبل رقمي مستدام بيئياً وشامل للجميع* (منشورات الأمم المتحدة، رقم المبيع E.24.II.D.12، جنيف)، الذي يتضمن المصادر المقابلة للبيانات والمراجع، ما لم يُذكر خلاف ذلك.

إن ذكر أي شركة أو عملية مرخصة لا يعني تزكية لها من جانب الأمم المتحدة.

اطُّلع على جميع المواقع الإلكترونية المشار إليها في الحواشي في شباط/فبراير 2025.

(ج) كيف يمكن أن تسهم عملية صنع السياسات والتعاون على الصُعد الوطني والإقليمي والدولي في الرقمنة المستدامة والشاملة للجميع وكيف يمكن أن يعالجا الآثار البيئية، ولا سيما بالنسبة لأشد الفئات تخلفاً عن الركب؟

أولاً- الآثار البيئية الرئيسية عبر دورة حياة الرقمنة

5- من الصعب تقييم البصمة البيئية الإجمالية للرقمنة وهي لا تزال غير معروفة إلى حد كبير. وتحديد الفرص والمخاطر يعوقه عدم الاتفاق على الأجزاء المكونة لقطاع تكنولوجيا المعلومات والاتصالات والمعايير التي يتعين إدراجها؛ ونقص البيانات القابلة للمقارنة والمتاحة في الوقت المناسب والتي يسهل الوصول إليها؛ وعدم كفاية معايير الإبلاغ المنسقة؛ والمنهجيات المختلفة. وبالتالي، هناك تباين كبير بين النتائج المتاحة؛ وعلى سبيل المثال، تتراوح تقديرات انبعاثات غازات الدفيئة لدورة حياة قطاع تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في عام 2020 من 0,69 إلى 1,6 جيغا طن من انبعاثات مكافئ ثاني أكسيد الكربون، وهو ما يعادل 1,5 إلى 3,2 في المائة من انبعاثات غازات الدفيئة العالمية. وهناك مؤشرات تفيد بأن الأثر البيئي للرقمنة كبير ومتزايد. ولا ينبغي أن تكون الحاجة إلى تحسين توافر البيانات الجيدة ومنهجيات القياس الموحدة سبباً للتقاعس عن العمل على مستوى السياسات.

6- وتتيح تقييمات دورة الحياة تقدير الأثر البيئي لمنتج ما طوال فترة حياته بالكامل. وتحدث الآثار المباشرة الناجمة عن الأجهزة الرقمية والبنية التحتية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات طوال دورة الحياة، إذ تحدث أثناء مرحلة الإنتاج (استخراج المواد الخام ومعالجتها وتصنيعها وتوزيعها)، ومرحلة الاستخدام ومرحلة نهاية العمر. وتشكل التأثيرات المباشرة على الموارد الطبيعية، بما في ذلك على المعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي والطاقة والمياه، فضلاً عن انبعاثات الكربون والتلوث المرتبط بالنفايات، البصمة البيئية لقطاع تكنولوجيا المعلومات والاتصالات. وهناك أيضاً تأثيرات غير مباشرة ناتجة عن استخدام التكنولوجيات الرقمية في قطاعات أخرى، والتي يمكن أن تكون إيجابية أو سلبية. وتنطوي الرقمنة على إمكانات كبيرة لصالح البيئة، حيث يمكن أن تدفع كفاءة التكنولوجيا وتحقق أمثل استخدام للموارد وتمكّن الحلول المبتكرة للتخفيف من آثار تغير المناخ والتكيف معه. ومع ذلك، فإن المكاسب المحتملة قد تقابلها بشكل مفرط تأثيرات ارتدادية، نظراً لأن مكاسب الكفاءة يمكن أن تؤدي إلى زيادة الاستهلاك.

7- ويمكن استخدام التكنولوجيات الرقمية لتبديد الشواغل البيئية، إلا أن الأعداد المتزايدة من الأجهزة والاستثمارات في شبكات نقل البيانات ومراكز البيانات والتطبيقات الرقمية الأكثر كثافة حسابياً، مثل الذكاء الاصطناعي وتكنولوجيات سلاسل الكتل، ولا سيما العملات المشفرة، تُترجم إلى بصمة بيئية متزايدة. وفي نموذج الإنتاج الحالي للاقتصاد الرقمي الخطي للغاية، والقائم على الحصول والاستخراج – التصنيع – الاستخدام – التبديد، فإن هذا يعني زيادة الطلب على المواد الخام والمياه والطاقة؛ والمزيد من انبعاثات غازات الدفيئة؛ وزيادة النفايات. وتركز هذه المذكرة على الآثار المباشرة؛ غير أن الهدف الأساسي للسياسة العامة هو تحقيق أقصى فوائد الرقمنة، بما في ذلك الآثار البيئية غير المباشرة الإيجابية، والحد من التأثيرات السلبية عبر دورة الحياة بأكملها. ويستلزم ذلك جعل الرقمنة أكثر استدامة بيئياً والمساهمة في التنمية الشاملة.

ألف- مرحلة الإنتاج

8- المرحلة الأولى من دورة حياة الرقمنة هي إنتاج الأجهزة الرقمية والبنية التحتية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات، والتي تشمل استخراج المواد الخام، بما في ذلك المعادن والفلزات، ومعالجتها؛ وتصنيع المكونات المختلفة والتجميع النهائي للمنتجات الرقمية؛ والنقل اللاحق للتوزيع على الصعيد العالمي.

9- وغالباً ما يُنظر إلى الرقمنة على أنها افتراضية أو غير ملموسة أو في السحابة، ومع ذلك فإنها تعتمد بشكل كبير على العالم المادي. فالأجهزة الرقمية والمعدات والبنية التحتية تتكون من البلاستيك والزجاج والسيراميك، فضلاً عن عشرات المعادن والفلزات، والتي لا يمكن استبدالها بسهولة. ولم تتحقق توقعات إزالة المواد من الاقتصاد العالمي من خلال الرقمنة. وقد تكون كمية المعادن والفلزات المستخدمة في الجهاز صغيرة، خاصة في ضوء اتجاه التصغير العام، إلا أن ذلك يُعقِد إعادة تدوير المواد بعد أن تصبح نفايات. وعلاوة على ذلك، مع تطور الرقمنة، هناك حاجة إلى كميات أكبر من المعادن والفلزات لتلبية الطلب العالمي ويصاحب ذلك مجموعة أكبر من العناصر المطلوبة بدرجات عالية من النقاء، لإضفاء مزيد من التعقيد في الأجهزة وتحسينها باستمرار. وفيما يتعلق بتصنيع الهواتف، على سبيل المثال، كانت تُستخدم 10 عناصر في عام 1960، ثم زادت إلى 27 عنصراً في عام 1990 وإلى ما يصل إلى 63 عنصراً في عام 2021 من أجل تصنيع هاتف ذكي. كما يتم خلط المعادن والفلزات في السبائك، مما يجعل فصلها لأغراض إعادة التدوير والاسترجاع صعباً. وعلاوة على ذلك، تتطلب مستويات النقاء العالية معالجة كثيفة الطاقة. كما يتطلب انخفاض تركيز المعادن الخام أو انخفاضه كميات كبيرة من الخام من أجل استخلاص المحتوى المعدني النهائي. وعلى سبيل المثال، يتضمن تصنيع حاسوب يزن 2 كغم استخراج 800 كغم من المواد الخام. وبشكل عام، كلما كان المنتج أكثر كفاءة من حيث الأداء، كلما أصبح أقل كفاءة من حيث استخدام المواد.

10- وتشير الأدلة المتاحة إلى أن مرحلة الإنتاج لها أكبر أثر سلبي مشترك على البيئة. ويرجع ذلك إلى إنتاج المعادن والفلزات، وحجم انبعاثات غازات الدفيئة والآثار المرتبطة بالمياه. وعلى سبيل المثال، فيما يتعلق بالهواتف الذكية، يُعزى حوالي 80 في المائة من الانبعاثات إلى هذه المرحلة. والمعادن والفلزات الرئيسية المستخدمة في الرقمنة، والتي تشكل الأساس للوظائف الرقمية والإلكترونية والكهربائية الأساسية، متطابقة تقريباً مع تلك المطلوبة للتحول نحو اقتصاد منخفض الكربون. وهناك الكثير من المناقشات بشأن المعادن الحرجة والاستراتيجية المتعلقة بالانتقال الطاقي، ولكن يتم إيلاء اهتمام أقل بدورها في الرقمنة. ويعزى الطلب المتزايد على هذه المواد إلى التحول إلى التكنولوجيات منخفضة الكربون والرقمية؛ ولا يمكن تحقيق الرقمنة بدون هذه المواد. ووفقاً لتقديرات البنك الدولي، قد يزيد إنتاج المعادن مثل الجرافيت والليثيوم والكوبالت بنسبة 500 في المائة بحلول عام 2050 لتلبية الطلب المتزايد. وعلى نحو مماثل، تتوقع وكالة الطاقة الدولية أن يكون مستوى استهلاك معادن مجموعة البلاتين أعلى بمقدار 120 مرة في عام 2050 مما كان عليه في عام 2022. وتثير الزيادة المتوقعة في الطلب شواغل من أنها ستصطدم بحدود الموارد المحدودة. وتؤدي التكاليف المتزايدة، مع انخفاض اكتشافات الرواسب والخامات المعدنية، إلى زيادة الاهتمام باستكشاف الموارد المعدنية في مناطق غير مستكشفة مثل قاع المحيط والفضاء الخارجي، وهي مشاعات عالمية لا يزال تنظيم التعدين فيها غير واضح وغير متطور. والسؤال الحاسم، من منظور اقتصادي وبيئي وجيولوجي، هو ما إذا كان سيكون هناك ما يكفي من المعادن لتلبية الاحتياجات الكبيرة للتكنولوجيات منخفضة الكربون والرقمية. ومن المفارقات أن ذلك يمكن أن يصبح في نهاية المطاف عقبة أمام تطوير مثل هذه التكنولوجيات.

11- وتنشأ عن مرحلة الإنتاج في الرقمنة تكاليف بيئية في البلدان النامية الغنية بالمعادن ذات الصلة. وكثيراً ما يكون لأنشطة التعدين آثار سلبية على البيئة، والتي تختلف باختلاف نوع المعدن والموقع الجغرافي. ومع ذلك، يمكن ملاحظة بعض الآثار العامة، على النحو التالي:

(أ) انبعاثات غازات الدفيئة واستخدام الطاقة: تتطلب أنشطة التعدين كميات كبيرة من الطاقة في مرحلتي الاستخراج والمعالجة، وتعتمد في الغالب على طاقة الوقود الأحفوري؛

(ب) استخدام المياه: تتطلب عمليات الاستخراج والمعالجة، وكذلك تصنيع المكونات للأجهزة النهائية، مثل أشباه الموصلات، كميات كبيرة من المياه، وقد تتم مثل هذه الأنشطة في مناطق تعاني من إجهاد مائي؛

(ج) تلوث التربة والهواء والمياه: يولد التعدين نفايات ومواد كيميائية سامة؛ وإذا لم تتم إدارة مخلفات المناجم هذه بشكل صحيح، فإنها قد تؤدي إلى تلوث التربة والمياه نتيجة للتسربات، فضلاً عن تآكل الأراضي، كما يتطلب الفصل والمعالجة استخدام مواد كيميائية تولد آثاراً خارجية سامة؛

(د) النظم الإيكولوجية والتنوع البيولوجي: يمكن أن تكون الآثار السلبية شديدة للغاية عندما تجري أنشطة التعدين في المناطق المحمية أو التي تتمتع بقيمة عالية من حيث التنوع البيولوجي، مما يهدد النظم الإيكولوجية الضعيفة؛

(هـ) إزالة الغابات: يعتبر التعدين رابع أكبر دافع لإزالة الغابات.

12- وغالباً ما ترتبط الآثار البيئية الناجمة عن التعدين بالآثار الاجتماعية وقد يكون لها تأثيرات على حقوق الإنسان، بما في ذلك فيما يتعلق بالآثار على صحة الناس وسلامتهم؛ وآثار على المجتمعات المحلية، ولا سيما الشعوب الأصلية، الناتجة عن النزوح بسبب تغيرات استخدام الأراضي؛ وظروف العمل السيئة، ولا سيما بالنسبة للنساء؛ والآثار على العمال الحرفيين وغير الرسميين على نطاق صغير؛ وعمل الأطفال؛ والاختلالات ذات الصلة والظلم والانتهاكات المحتملة لحقوق الإنسان. وعلاوة على ذلك، غالباً ما يجري التعدين في المناطق التي تواجه حالات النزاع. وتتفاقم هذه المشاكل في البلدان النامية، ولا سيما أقل البلدان نمواً، التي لديها قدرات محدودة لمعالجة الآثار الخارجية السلبية الناجمة عن التعدين.

باء- مرحلة الاستخدام

13- تتعلق مرحلة الاستخدام بتشغيل واستخدام أجهزة المستخدم النهائي وشبكات الإرسال ومراكز البيانات. وتؤثر مراكز البيانات تأثيراً بيئياً كبيراً. ويعتمد توسع الرقمنة بشكل متزايد على مستويات كبيرة ومتنامية من تخزين البيانات وسعة الحوسبة في مراكز البيانات، مما يستهلك كميات كبيرة من الطاقة والمياه، مع ما يرتبط بذلك من انبعاثات غازات الدفيئة. وينبغي النظر في استخدام مراكز البيانات للمياه والكهرباء من منظور شامل. ومن الآثار المهمة الإضافية لمراكز البيانات، ذات الطبيعة المحلية، هي توليد الضوضاء.

14- وتشير التقديرات إلى أن استهلاك أكبر 13 من مشغلي مراكز البيانات من الكهرباء زاد بأكثر من الضعف في الفترة 2018-2022، بقيادة أمازون وألفابت ومايكروسوفت وميتا. ووفقاً لوكالة الطاقة الدولية، بلغ استخدام مراكز البيانات للكهرباء في جميع أنحاء العالم حوالي 460 تيراواط في الساعة في عام 2022 وقد يزيد بأكثر من الضعف بحلول عام 2026، ليصل إلى 000 1 تيراواط في الساعة. وعلى سبيل المقارنة، بلغ إجمالي استهلاك الكهرباء في فرنسا حوالي 459 تيراواط في الساعة في عام 2022.

15- وللتكنولوجيات الرقمية بصمة كبيرة من حيث استخدام المياه. غير أن المعلومات المتعلقة باستهلاك المياه محدود. ولا تحتاج مراكز البيانات إلى قدر كبير من الكهرباء فحسب، بل تحتاج أيضاً إلى المياه للتبريد. ويجب تقييم أثر استخدام المياه على موارد المياه المحلية في سياق محدد بالموقع، نظراً لأن اختيار تكنولوجيا التبريد وكثافة المياه أو الطاقة يتأثر بالمناخ المحلي وتوافر الموارد؛ وتتطلب المقارنات بين المناطق ذات الإمدادات الوفيرة من المياه وتلك التي تواجه نقصاً حاداً في المياه اعتبارات مختلفة.

16- وتتفاقم الآثار البيئية لمرحلة الاستخدام في الرقمنة من خلال التقدم في التكنولوجيات كثيفة استخدام للحوسبة، مثل تقنية سلاسل الكتل، ولا سيما الذكاء الاصطناعي التوليدي. وفي العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، كانت مكاسب الكفاءة مواكبة لنمو الطلب من جانب مراكز البيانات، مما أدى إلى استقرار نسبة استخدام الكهرباء العالمية، عند حوالي 1 في المائة؛ وقد تغير ذلك بشكل كبير مع التوسع في استخدام الذكاء الاصطناعي (انظر الإطار).

تزايد الآثار البيئية الناجمة عن طفرة الذكاء الاصطناعي

يؤدي تسارع تطوير الذكاء الاصطناعي ونشره بعد ظهور Chat GPT [المحول التوليدي المدرب مسبقاً] في عام 2022 إلى زيادة سريعة في التكاليف البيئية من حيث الطلب على المواد واستخدام المياه والطاقة وتلوث الهواء وانبعاثات الكربون وتوليد النفايات الإلكترونية. وتتطلب المنافسة، ولا سيما بين شركات التكنولوجيا الكبرى، لتطوير نماذج أكثر قوة وتطوراً للذكاء الاصطناعي زيادة القدرة على معالجة البيانات والحوسبة للتدريب والاستدلال، وهو ما يترجم في الغالب إلى زيادة كبيرة في الطلب على مراكز البيانات. وتظهر إحدى الدراسات أن الطلب العالمي على سعة مراكز البيانات قد يتضاعف بمقدار ثلاث مرات بحلول عام 2030، حيث يعمل الذكاء الاصطناعي بوصفه محركاً رئيسياً. ويتوسع الاستثمار في مراكز البيانات في جميع أنحاء العالم؛ ويُظهر أحد التقديرات أن الإنفاق على نظم مراكز البيانات قد زاد بنسبة 39,4 في المائة في عام 2024، ومن المتوقع أن ينمو بنسبة 23,2 في المائة لعام 2025.

والأدلة على الآثار البيئية للذكاء الاصطناعي محدودة، حيث لا تفصح شركات التكنولوجيا غالباً عن مثل هذه المعلومات وتختلف منهجيات التقييم. ومع ذلك، فإن الانتشار الأخير للتحليلات يؤدي إلى الاتفاق على أن الآثار كبيرة وتتزايد بشكل كبير مع التطورات في الذكاء الاصطناعي التوليدي. وعلى سبيل المثال، تعد انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن استخدام الذكاء الاصطناعي كبيرة؛ وقد ارتفعت انبعاثات شركة غوغل بنسبة 48 في المائة في الفترة 2019-2024 وكانت انبعاثات شركة مايكروسوفت أعلى بنحو 31 في المائة في عام 2024 مقارنة بعام 2020. وتُظهر إحدى الدراسات أن الانبعاثات الناتجة عن شركات التكنولوجيا الكبيرة قد تكون أعلى بعدة مرات من تلك المبلغ عنها رسمياً، بسبب اختلاف أساليب المحاسبة. وتُظهر دراسة أخرى أن انبعاثات مراكز البيانات يمكن أن تزيد بأكثر من الضعف في الفترة 2020-2030. كما تؤدي الزيادة في رقائق الوحدات المستخدمة في مراكز البيانات ولمعالجة الرسومات، لنشر الذكاء الاصطناعي، إلى زيادات كبيرة في الطلب على المعادن والفلزات والمواد الأخرى.

وقد أصبح ارتفاع مستوى استهلاك الطاقة وزيادة كثافة استهلاكها في استخدام الذكاء الاصطناعي واضحاً بشكل متزايد. وتشير التقديرات إلى أن البحث بالذكاء الاصطناعي يتطلب 10 أضعاف الكهرباء المستخدمة أثناء البحث التقليدي عبر الإنترنت. وتُظهِر إحدى الدراسات أن الطلب على الطاقة من مراكز البيانات سينمو بنسبة 160 في المائة بحلول عام 2030 وأن مراكز البيانات في جميع أنحاء العالم استهلكت في عام 2024 ما بين 1 و2 في المائة من إجمالي الطاقة، وقد يرتفع الاستهلاك إلى 3-4 في المائة بحلول نهاية عشرينات القرن الحادي والعشرين. ومن المتوقع أن يمثل الذكاء الاصطناعي حوالي 19 في المائة من الطلب على الطاقة في مراكز البيانات بحلول عام 2028. ويثير ذلك شواغل بشأن الآثار السلبية على شبكة الكهرباء، ومن المحتمل وجود حالات اضطراب ونقص قد تقيد بدورها نشر الذكاء الاصطناعي. ونتيجة لذلك، هناك عودة إلى مصادر الطاقة من الوقود الأحفوري وإحياء لخطط الطاقة النووية، حيث إن مصادر الطاقة المتجددة لا تكفي لتلبية الطلب. ومن الناحية المثالية، لا ينبغي أن تكون مصادر الطاقة المتجددة إضافية بل ينبغي أن تحل محل استخدام الوقود الأحفوري.

ويهدد الطلب المتزايد على الطاقة لمراكز البيانات التقدم نحو تحقيق الأهداف المتعلقة بالمناخ من قبل كل من شركات التكنولوجيا الكبرى وفي بعض الاقتصادات. وعلى سبيل المثال، ارتفع استخدام مراكز البيانات للكهرباء في أيرلندا من 5 إلى 21 في المائة من الاستهلاك الوطني في الفترة 2015–2023 وتشير التوقعات إلى أن هذه النسبة قد تصل إلى 28 في المائة بحلول عام 2031. كما يشكل إنتاج الرقائق تحدياً أمام تحقيق الأهداف المتعلقة بالمناخ، على سبيل المثال في مقاطعة تايوان الصينية. كما أن تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي وإنتاج الرقائق ذات الصلة تؤثر تأثيراً كبيراً على استهلاك المياه. وتظهر إحدى الدراسات أن توليد رسالة بريد إلكتروني مكونة من 100 كلمة باستخدام Chat GPT-4 يتطلب أكثر من نصف لتر من المياه. وتشير التقديرات إلى أن الطلب العالمي على المياه الناتج عن استخدام الذكاء الاصطناعي قد يصل إلى 4,2 مليار – 6,6 مليار متر مكعب في عام 2027، وهو ما يتجاوز نصف الاستخدام السنوي في المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وأيرلندا الشمالية في عام 2023. ونظراً لأن 95 في المائة من المياه التي تستهلكها مراكز البيانات صالحة للشرب، ومعظمها يتبخر، فإن المنافسة مع استخدامات المياه الأكثر أهمية تثير الشواغل، ولا سيما حيث تكون المياه شحيحة. وعلاوة على ذلك، فإن تلوث الهواء الناجم عن التصنيع وتوليد الكهرباء واستخدام المولدات الاحتياطية التي تعمل بالديزل يشكل تأثيراً بيئياً آخر ويمكن أن يؤثر بشكل كبير على الصحة العامة.

وفي مرحلة نهاية العمر، تؤدي تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي إلى توليد أكبر قدر من النفايات الإلكترونية، لأنها تتطلب أجهزة جديدة واستبدال المعدات بشكل متكرر. وتُظهر إحدى الدراسات أن النفايات الإلكترونية المتراكمة الناتجة عن الذكاء الاصطناعي التوليدي يمكن أن تصل إلى ما مجموعه 1,2 مليون – 5 ملايين طن في الفترة 2020–2030. ويتراوح معدل النمو السنوي المُركّب المقدر للنفايات الإلكترونية من نماذج الذكاء الاصطناعي الكبيرة متعددة اللغات من 129 إلى 167 في المائة في الفترة 2023–2030، مقارنة بنسبة 3,6 في المائة للنفايات الإلكترونية التقليدية العالمية.

وتثير الآثار البيئية المتصاعدة لتكنولوجيا الذكاء الاصطناعي عبر دورة حياتها، على الرغم من عدم اليقين بشأنها، شواغل بين أصحاب المصلحة المعنيين، بما في ذلك المجتمعات المحلية المتضررة في العديد من البلدان. وهناك مبادرات سياساتية ناشئة للتصدي للآثار على الصُعد الوطني والإقليمي والدولي. وهناك وعي متزايد، ولكن هناك حاجة إلى جهود كبيرة من جانب جميع أصحاب المصلحة للتحرك نحو الاستدامة البيئية لتكنولوجيا الذكاء الاصطناعي. ولا يزال هناك الكثير مما يتعين القيام به من حيث القياس والشفافية والبحث، لزيادة فهم الآثار البيئية. وينبغي أن تركز المناقشات أيضاً على الحاجة إلى دمج الأبعاد البيئية في تحليل التكاليف والفوائد لتصميم الذكاء الاصطناعي ونشره؛ وتشمل الأسئلة الحاسمة ما إذا كانت بعض المهام تستحق التكاليف البيئية وما إذا كانت المنافسة على النماذج الأكبر التي تؤثر على أهداف الاستدامة البيئية مطلوبة لتلبية الاحتياجات المجتمعية أو ما إذا كانت النماذج الأصغر قادرة على القيام ببعض العمل. وعلاوة على ذلك، من الأهمية بمكان النظر في جوانب الإنصاف لمثل هذه الآثار. وتؤدي محدودية الوصول إلى الطاقة وحالات الإجهاد المائي في العديد من البلدان النامية إلى صعوبة إمكانية تطوير قدرات الذكاء الاصطناعي وبالتالي تعوق الفوائد المحتملة.

المصدر: الأونكتاد، استناداً إلى ما يلي: https://news.ucr.edu/articles/2024/12/09/ais-deadly-air-pollution-toll; https://qz.com/ai-google-microsoft-climate-change-data-center-energy-1851589453; https://www.aljazeera.com/economy/2024/12/25/taiwan-struggles-to-reconcile-climate-ambitions-and-chip-manufacturing; https://www.bbvaresearch.com/en/publicaciones/global-ai-and-climate-disruptive-potential-amid-growing-resource-strain/; https://www.capgemini.com/news/press-releases/organizations-are-increasingly-aware-of-the-environmental-footprint-of-gen-ai-but-most-arent-able-to-address-it-alone/; https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2025-01-21-

gartner-forecasts-worldwide-it-spending-to-grow-9-point-8-percent-in-2025; https://www.goldmansachs.com/insights/articles/AI-poised-to-drive-160-increase-in-power-demand; https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/ai-power-expanding-data-center-capacity-to-meet-growing-demand; https://www.nature.com/articles/s43588-024-00712-6; https://www.reuters.com/technology/artificial-intelligence/how-ai-cloud-computing-may-delay-transition-clean-energy-2024-11-21/; https://www.theguardian.com/technology/2024/sep/15/data-center-gas-emissions-tech; https://www.theguardian.com/world/2024/dec/10/ai-fuelled-cloud-storage-boom-threatens-irish-climate-targets-report-warns; https://www.unep.org/resources/report/artificial-intelligence-ai-end-end-environmental-impact-full-ai-lifecycle-needs-be; and https://www.washingtonpost.com/technology/2024/09/18/energy-ai-use-electricity-water-data-centers/.

جيم- مرحلة نهاية العمر: الآثار البيئية للنفايات المرتبطة بالرقمنة

17- تحدث المرحلة الأخيرة من دورة حياة الرقمنة عندما لم يعد المستخدمون يريدون استخدام الأجهزة الرقمية أو البنية التحتية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات أو لا يستطيعون استخدامها؛ وتشمل هذه المرحلة معالجة المعدات بعد الاستخدام. وتشكل النفايات الناجمة عن الرقمنة مصدر قلق بيئياً متزايداً. ففي الفترة 2010-2022، ارتفعت أحجام النفايات الناتجة عن الشاشات وأجهزة العرض، فضلاً عن معدات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الصغيرة، بنسبة 30 في المائة على مستوى العالم، من 8,1 مليون إلى 10,5 مليون طن. وينتج هذا عن عدة عوامل، بما في ذلك زيادة استهلاك الأجهزة الإلكترونية وقصر أعمار معدات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات؛ وعدم كفاية وعي المستهلكين بآثار النفايات الناجمة عن الأجهزة؛ ونموذج الإنتاج الخطي؛ والخيارات المحدودة لإصلاح أو ترقية الأجهزة الحالية. وتحل النماذج الجديدة ذات الأداء الأعلى بسرعة محل النماذج الحالية أو تجعلها زائدة عن الحاجة. ويؤدي التقادم المبرمج، على سبيل المثال عن طريق جعل الهواتف الذكية تعمل بشكل أبطأ بمرور الوقت أو التخلص التدريجي من دعم الإصدارات القديمة من البرمجيات، إلى نمو مشكلة النفايات المتنامية.

18- وتحتوي النفايات المرتبطة بالرقمنة على مواد خطرة، وإذا لم تتم مناولتها بشكل صحيح، يمكن أن يكون لها آثار ضارة على البيئة والصحة البشرية. وتشتمل المواد السامة على المعادن الثقيلة ومواد مثل الزرنيخ والكادميوم والرصاص والزئبق، فضلاً عن الملوثات العضوية الثابتة. وعلاوة على ذلك، لوحظ العديد من الممارسات غير الآمنة وغير السليمة بيئياً في إدارة النفايات المرتبطة بالرقمنة في البيئات غير الرسمية، بما في ذلك نبش القمامة، وإلقاء النفايات في البر أو المياه، ودفن القمامة جنباً إلى جنب مع النفايات العادية، والحرق أو التسخين في الهواء الطلق، واستخدام حمامات الحمض أو النض، وتجريد وتقطيع الطلاءات البلاستيكية وتفكيك المعدات اليدوية دون إجراءات أمنية مناسبة. كما تطلق مثل هذه الأنشطة ملوثات تؤدي إلى تلوث الهواء والتربة والغبار والمياه والغذاء، سواء في مواقع إعادة تدوير النفايات المرتبطة بالرقمنة أو في المجتمعات المحلية المجاورة. ويعتبر الحرق أو التسخين أحد أكثر الأنشطة خطورة بسبب توليد الأبخرة السامة.

19- وفي النموذج الخطي للإنتاج، تكون النفايات هي المرحلة الأخيرة من دورة الحياة. ومع ذلك، في نموذج الاقتصاد الدائري الرقمي البديل، وهو نهج أكثر استدامة، تصبح نهاية أي دورة بداية لدورة أخرى.

ثانياً- الآثار التجارية والإنمائية

20- يمثل الأثر البيئي للرقمنة مشكلة عالمية، ولكن تتأثر البلدان ذات المستويات المختلفة من التنمية بشكل غير متساو. ولا يزال العديد من البلدان النامية تواجه عقبات في الوصول إلى التكنولوجيات الرقمية لتلبية الاحتياجات المرتبطة بالتنمية، في حين تعاني من العديد من الآثار السلبية لاستخراج المواد واستنفادها، وإدارة النفايات، وآثار تغير المناخ. وعلاوة على ذلك، تميل هذه البلدان إلى التأثر بشكل أكبر بتغير المناخ، مما قد يحد من خيارات التنمية الاجتماعية والاقتصادية، وتفتقر إلى الموارد والقدرة على استخدام التكنولوجيات الرقمية في التخفيف من الآثار البيئية السلبية. ويتم جني معظم القيمة المضافة للاقتصاد الرقمي في البلدان المتقدمة وبعض البلدان النامية المتقدمة رقمياً، في حين تتحمل البلدان النامية الأخرى قدراً أكبر من التكاليف. ويورد العديد من البلدان النامية المواد الخام الرئيسية وتكون بعضها وجهات لكميات كبيرة من النفايات المرتبطة بالرقمنة؛ وغالباً ما تكون المناطق النامية في نهاية سلاسل التجارة العالمية، وتكون أمامها فرص محدودة لإضافة القيمة وتحقيق التنمية الاقتصادية، مما يسلط الضوء على أنماط التبادل الإيكولوجي غير المتكافئ.

ألف- التبادلات الإيكولوجية غير المتكافئة في تجارة المعادن والفلزات

21- تعد البلدان النامية محورية في سلاسل الإمداد العالمية للمعادن والفلزات المرتبطة بالانتقال الطاقي، حيث تتركز الاحتياطيات والاستخراج والمعالجة بشكل كبير في عدد قليل من المناطق. وعلى سبيل المثال، يوجد حوالي 60 في المائة من احتياطيات الليثيوم العالمية في الأرجنتين ودولة بوليفيا المتعددة القوميات وشيلي، والمعروفة باسم مثلث الليثيوم. وفيما يتعلق بالاستخراج، في أفريقيا، أنتجت جمهورية الكونغو الديمقراطية، في عام 2022، ما نسبته 68 في المائة من الكوبالت العالمي وفي آسيا، أنتجت إندونيسيا حوالي نصف النيكل العالمي. وأنتجت الصين ما نسبته 65 في المائة من الإنتاج العالمي من الجرافيت الطبيعي، و78 في المائة من فلز السيليكون و70 في المائة من العناصر الأرضية النادرة. وتؤدي الصين أيضاً دوراً رئيسياً في معالجة المعادن، حيث تستأثر بأكثر من نصف معالجة المعادن العالمية للألومنيوم والكوبالت والليثيوم، وحوالي 90 في المائة من المنغنيز والعناصر الأرضية النادرة وما يقرب من 100 في المائة من الجرافيت الطبيعي.

22- ويتحمل العديد من البلدان النامية، الغنية غالباً بالمعادن اللازمة للتكنولوجيات الرقمية، حصة غير متناسبة من الآثار البيئية السلبية للتعدين، في حين تجني فوائد محدودة. والتركيز الجغرافي يعني أن معظم الآثار البيئية والاجتماعية تتركز في مناطق الإنتاج. وفي البلدان النامية المعتمدة على المعادن، يعتمد النمو الاقتصادي الإجمالي والأرباح من النقد الأجنبي والإيرادات الحكومية بشكل كبير على تطور قطاع التعدين. ونتيجة لذلك، فهي عرضة للظروف والصدمات الخارجية التي تؤثر على الطلب على المعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي، فضلاً عن التقلبات العالية في الأسعار، مما يؤثر على الاستقرار الاقتصادي.

23- وتعكس التجارة الدولية بالمعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي إلى حد كبير التوزيع الجغرافي للاحتياطيات والاستخراج. ويعد العديد من البلدان النامية في أفريقيا وآسيا والمحيط الهادئ وأمريكا اللاتينية من كبار المصدرين للمعادن والفلزات غير المعالجة في الغالب لمزيد من المعالجة، ولا سيما إلى البلدان المتقدمة والصين. ولا تستطيع الصين والولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد الأوروبي تلبية الطلب الكلي على المعادن من خلال التعدين المحلي. وينتج عن ذلك ديناميكية "التبادل الإيكولوجي غير المتكافئ" حيث تتركز الأنشطة ذات القيمة المضافة العالية، ولا سيما الخدمات والسلع غير الملموسة، في الاقتصادات المتقدمة التي تستورد المواد الخام ولكنها تنقل مراحل الإنتاج كثيفة المواد والطاقة إلى بلدان أخرى، كما تُنقل الآثار البيئية المرتبطة بالإنتاج إلى البلدان متوسطة ومنخفضة الدخل.

ولذلك، تُصـــدّر البلدان النامية في الأســـاس المعادن والفلزات غير المعالجة ومنخفضـــة القيمة، وتتحمل التكاليف البيئية والاجتماعية وتسـتورد المنتجات النهائية ذات القيمة الأعلى. وتشـير التقديرات إلى أن 82 في المائة من انبعاثات الكربون في قطاع تكنولوجيا المعلومات والاتصـالات تعزى إلى المناطق الناشـئة، في حين تجني المناطق المتقدمة 58 في المائة من القيمة المضافة.

باء- الآثار البيئية لمراكز البيانات في البلدان النامية

24- توجد معظم مراكز البيانات في اقتصـــادات متقدمة رقمياً، إلا أن التحول الرقمي في البلدان النامية يدفع إلى زيادة الطلب على مراكز البيانات في هذه البلدان، على الرغم من الظروف المناخية الصعبة، والتوافر المحدود للطاقة، وندرة المياه، وقيود التوصيلية وانقطاع التيار الكهربائي. ولأسباب تتعلق بالكمون، تؤيد إنترنت الأشياء ونمو شبكات الهاتف المتنقل من الجيل الخامس أيضاً إنشاء مراكز بيانات أقرب إلى المستخدمين. وعلاوة على ذلك، فيما يتصل بأهداف سياساتية مختلفة، مثل حماية الخصوصية وغيرها من حقوق الإنسان، والأمن القومي والتنمية الاقتصادية، قد تفضل البلدان بناء مراكز بيانات داخل حدودها. ومن المرجح أن يستمر هذا الوضع إلى أن يصبح هناك نهج عالمي لحوكمة البيانات، يسمح بتسخير قيمة البيانات بشكل منصف من أجل التنمية بغض النظر عن مكان تخزين البيانات. ومن المتوقع حدوث المزيد من النمو في الاستثمارات في مراكز البيانات في البلدان النامية، مع ما يترتب على ذلك من آثار على استهلاك الطاقة والمياه على الصعيد المحلي. وفي المناطق التي تعاني من إجهاد مائي كبير، غالباً ما تتنافس مراكز البيانات مع المجتمعات المحلية على الوصول إلى مياه الشرب. وفي المناطق الدافئة، مثل أفريقيا وجنوب شرق آسيا، قد يشكل الحد من استهلاك المياه للتبريد تحدياً.

25- وأثيرت شـــواغل إزاء الآثار البيئية لمراكز البيانات في كل من البلدان المتقدمة والبلدان النامية، بما في ذلك نيجيريا في أفريقيا، وماليزيا في آسيا، وأوروغواي وشيلي والمكسيك في أمريكا اللاتينية. ومن الضروري دمج شواغل الاستدامة في المراحل المبكرة من التخطيط لمراكز البيانات الجديدة، بطريقة شاملة، بما في ذلك جميع الآثار البيئية. ولتمكين التوزيع العالمي لمراكز البيانات الذي يحترم الاســـتدامة البيئية، يتعين أيضـاً اتخاذ تدابير لتحقيق حوكمة أفضـل للبيانات. ففي البلدان النامية، يمكن لصـناع السـياسـات وشركات المرافق النظر في فرص تطوير البنية التحتية المحلية للكهرباء والمياه بالتعاون مع مشاريع مراكز البيانات والشبكات الجديدة، وتوسيع نطاق الوصول إلى الكهرباء والمياه في المجتمعات المحلية، على أن تعمل البنى التحتية الرقمية كعملاء أساسيين مهمين للكهرباء والمياه.

جيم- الفجوات ذات الصلة بالنفايات المرتبطة بالرقمنة والتبادلات الإيكولوجية غير المتكافئة

26- يؤثر نمو النفايات المرتبطة بالرقمنة بشكل غير متساو على الصعيد الإقليمي. ومن المتوقع أن تستمر الاتجاهات غير المتكافئة المتعلقة بالنفايات بين البلدان المتقدمة والنامية، مدفوعة بعدم التماثل في الطلب على الأجهزة. وكانت أكبر البلدان المساهمة في هذه النفايات في عام 2024 هي الصين والولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي. ومن حيث نصيب الفرد، هناك فجوات كبيرة في توليد النفايات؛ حيث أنتجت البلدان المتقدمة 3,25 كيلوغرام من النفايات في المتوســـط، مقارنة بأقل من كيلوغرام واحد في البلدان النامية و0,21 كيلوغرام في أقل البلدان نمواً. وفي الولايات المتحدة، أنتج كل مواطن في المتوســـط 25 ضـــعف النفايات التي أنتجها مواطن في أقل البلدان نمواً. ويعكس ذلك الفجوات الرقمية من حيث الوصول إلى الأجهزة والمعدات وتوافرها بأسعار معقولة واستخدامها، كما هو موضح في فجوة استهلاك الأجهزة؛ ويبلغ متوسط عدد الأجهزة والتوصيلات للفرد حوالي 13 في أمريكا الشمالية، و9 في أوروبا الغربية، و4 في أوروبا الوسطى والشرقية، وحوالي 3,5 في آسيا والمحيط الهادئ وأمريكا اللاتينية وأقل من 2 في أفريقيا والشرق الأوسط.

27- ومن المهم التصدي لفرط الاستهلاك في البلدان المرتفعة الدخل والانتباه إلى النفايات المصاحبة لذلك، ويحتاج العديد من البلدان النامية إلى المزيد من الرقمنة، للمشاركة بشكل فعال في الاقتصاد العالمي. وسوف ينطوي ذلك حتماً على زيادة الاستهلاك، مما يسلط الضوء على التوازن المعقد بين الاستدامة والتنمية الاقتصادية. ويتطلب تحقيق الرقمنة المستدامة تخفيف فرط الاستهلاك، مما يترك مجالاً أكبر لغير الموصولين لتحقيق الرقمنة كجزء من التنمية. ومن منظور اجتماعي، يتمثل الهدف في الخروج من دائرة الرقمنة غير الكافية، بينما من منظور بيئي، هناك حاجة إلى التحرك إلى ما دون السقف البيئي الذي يمثل الرقمنة غير المستدامة (انظر الشكل). وتؤدي عمليات إدارة النفايات غير المثلى التي غالباً ما تُستخدم في هذا السياق، بسبب طابعها غير الرسمي، إلى استرجاع غير فعال وغير كاف للموارد القيّمة. وغالباً ما يفتقر العمال إلى المهارات والمعرفة اللازمة بشأن كيفية إدارة النفايات بشكل فعال، لاستعادة أقصى قيمة محتملة. كما يعانون من ظروف عمل سيئة، ونقص نظم الحماية الاجتماعية وفرص محدودة للتنظيم وتحسين سبل العيش.

الرقمنة المستدامة

المصدر: الأونكتاد.

28- وتشير الأدلة المتاحة إلى نمط من التبادل الإيكولوجي غير المتكافئ في التجارة الدولية بالنفايات المرتبطة بالرقمنة، ووجود تجارة غير خاضعة للرقابة في المعدات الكهربائية والإلكترونية المستعملة وتدفق للنفايات المرتبطة بالرقمنة من الاقتصادات المتقدمة إلى الاقتصادات النامية، وداخل الأقاليم من المناطق الأكثر تقدماً إلى المناطق الأقل نمواً. وهذا يعني نقل المسؤوليات والمخاطر، وتحميل البلدان المستقبلة عبء التكاليف البيئية والاجتماعية. وعلى النقيض من ذلك، تنتقل المراحل ذات القيمة الأعلى في سلسلة النفايات من البلدان النامية إلى البلدان المتقدمة. وبالتالي تظل البلدان النامية حبيسة أنشطة منخفضة القيمة في السلسلة، في حين تستأثر الاقتصادات المتقدمة بالأنشطة العالية القيمة. وعلاوة على ذلك، غالباً ما تكون نظم الجمع وإعادة التدوير الرسمية غير كافية في بلدان المقصد. وتخضع حركة هذه النفايات للتنظيم بموجب اتفاقية بازل بشأن التحكم في نقل النفايات الخطرة والتخلص منها عبر الحدود، إلا أن التنفيذ يشكل تحدياً، نظراً لحجم الشحنات غير الرسمية والتجارة غير المشروعة وقدرات الإنفاذ المحدودة. وهناك حاجة إلى الامتناع عن إرسال النفايات إلى البلدان النامية، وتسخير الفرص التي تتيحها الدائرية والتنمية من التجارة الدولية بالمعدات الإلكترونية المستعملة.

ثالثاً- ضمان تحقيق مكاسب على صعيد التنمية المستدامة من الرقمنة

29- يتطلب تحقيق الرقمنة المستدامة بيئياً التي تعزز التنمية الشاملة عكس ديناميكيات التبادل الإيكولوجي غير المتكافئ ومعالجة أوجه الضعف التي تواجهها البلدان النامية. وينبغي أن يشمل القيام بذلك تمكين اقتصاد رقمي أكثر دائرية والحد من البصمة البيئية للرقمنة، بما في ذلك من خلال إدارة النفايات بشكل أفضل، وضمان نتائج التنمية الشاملة والمنصفة.

ألف- تسخير المعادن الحرجة من أجل التنمية الشاملة والمستدامة

30- أصبحت المعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي مسألة رئيسية على خطة التنمية الدولية، وترتبط ارتباطاً وثيقاً بالتحديات العالمية المتعلقة بالرقمنة والاستدامة البيئية. ويثير الطلب المتزايد شواغل جيوسياسية وإنمائية كبرى. ويمكن الاستفادة منها كفرصة للتنمية إذا تمكنت البلدان النامية الغنية بالموارد من إضافة المزيد من القيمة إلى المعادن المستخرجة، وضمان حصة عادلة من ريع المعادن، واستخدام العائدات ذات الصلة وتنويعها بشكل فعال في أجزاء أخرى من سلسلة القيمة والقطاعات. ولطالما شعرت البلدان النامية، ولا سيما أقل البلدان نمواً، بالقلق إزاء الاعتماد العالي على عدد قليل من السلع الأساسية الأولية. ويتطلب التحول بعيداً عن هذا الاعتماد تنويع هيكل الإنتاج والتصدير كمسار للتنمية، والانتقال من المنتجات ذات الإنتاجية والقيمة المضافة المنخفضة إلى إنتاج وتصدير أعلى إنتاجية وقيمة مضافة. ويتمثل الهدف في جني عائدات المعادن المصدرة وإدارتها واستخدامها كجزء من عملية تحقيق التحول الهيكلي. ولعكس اختلالات التوازن التجاري، ينبغي للبلدان النامية أن تسعى إلى تحقيق أقصى استفادة من فرص التنمية من خلال المعالجة والتصنيع المحليين. وينبغي أن يكون سياق التجارة والاستثمار الدوليين داعماً لتمكين البلدان النامية من أن تكون مجهزة بشكل أفضل للاستفادة من الموارد المعدنية من أجل مساعدتها على تأمين حصة أكبر من الاقتصاد الرقمي العالمي، وزيادة العائدات الحكومية والصادرات، وتمويل التنمية، وتجاوز الاعتماد على السلع الأساسية، وخلق فرص العمل ورفع مستويات المعيشة. فأفريقيا وأمريكا اللاتينية تمتلكان إمكانات كبيرة غير مستغلة من المعادن يمكن استخدامها في تحقيق التنمية الشاملة والمستدامة.

31- وتعد الدروس المستفادة من التجارب "الاستخراجية" السابقة، والتي نادراً ما استفادت خلالها البلدان النامية من الموارد المعدنية، ذات صلة بالطفرة الناشئة للمعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي. ويتطلب تجنب الاندفاع الجديد على الموارد الابتعاد عن ديناميكيات الاستخراج من أجل أن يعمل التعدين بشكل أكبر كمحرك للتحول الهيكلي والتنمية. ويمكن استخدام الموارد المعدنية لتحفيز عملية التفاعل الديناميكي، أو حلقة حميدة، بين الإنتاج والتصدير، من خلال التنويع الاقتصادي، بما في ذلك من خلال زيادة التصنيع. ويمكن أن يساعد القيام بذلك في تغيير أنماط التجارة العالمية التقليدية، وتحسين وضع البلدان النامية كمصدرين للمنتجات المعدنية ذات القيمة الأعلى. وتستكشف بعض البلدان النامية المصدرة للمعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي بالفعل إمكانات إنتاج منتجات ذات قيمة مضافة أعلى، والانتقال إلى ذلك الإنتاج، على سبيل المثال، سعياً إلى إضافة القيمة من خلال معالجة المعادن، وتصنيع السلع الوسيطة مثل السلائف والبطاريات، وفي الأجل الطويل، إنشاء سلسلة قيمة إقليمية لتصنيع المنتجات النهائية مثل المركبات الكهربائية والهواتف الذكية. ويتضح ذلك جلياً في أفريقيا، على سبيل المثال في جمهورية الكونغو الديمقراطية فيما يتعلق بالكوبالت والمعادن الأخرى، وفي أمريكا اللاتينية في مثلث الليثيوم. وعلاوة على ذلك، في إندونيسيا، ربما أدت القيود المفروضة على تصدير النيكل الخام إلى تدفقات استثمارية أجنبية كبيرة وزيادة الأنشطة في المراحل النهائية من سلسلة القيمة.

32- وبخلاف السياسات الوطنية، هناك حاجة إلى التعاون والدعم على الصعيدين الإقليمي والدولي لضمان الحيز المالي والسياساتي اللازم للتحول الهيكلي والتنمية. وينبغي للتنمية القائمة على المعادن أن تضمن تقليل التكاليف البيئية والاجتماعية لأنشطة الاستخراج والمعالجة والتصنيع إلى أدنى حد. وفي هذا السياق، أنشأ الأمين العام للأمم المتحدة الفريق المعني بالمعادن الحرجة المرتبطة بالانتقال الطاقي؛ وفي تقريره، *تدبير الموارد اللازمة للانتقال الطاقي: مبادئ لتوجيه المعادن الحرجة المرتبطة بالانتقال الطاقي نحو تحقيق الإنصاف والعدالة*، يحدد الفريق طرقاً لإرساء ثورة الطاقة المتجددة في العدالة والإنصاف من أجل تحفيز التنمية المستدامة واحترام الناس وحماية البيئة وتعزيز الرخاء في البلدان النامية الغنية بالموارد[2]. ويجري وضع توصيات بشأن العدالة والشفافية والاستثمار والاستدامة وحقوق الإنسان، وليس حيث يتم استخراج المعادن فحسب، ولكن على طول سلسلة قيمة المعادن بأكملها، من التكرير والتصنيع إلى النقل وإعادة التدوير في نهاية العمر. وتنطبق هذه التوصيات بنفس القدر على المعادن المستخدمة في المعدات الرقمية.

33- وبالنظر إلى أن المعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي أصبحت عوامل إنتاج رئيسية لكل من التكنولوجيات المنخفضة الكربون والرقمية، زادت أهمية العوامل الجيوسياسية المرتبطة بإنتاجها وتجارتها والوصول إليها بكثافة. وتستأثر البلدان المتقدمة والصين بمعظم الاستهلاك العالمي من المعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي. وأصبح تأمين الوصول إلى الإمدادات، والحد من الاعتماد على الواردات وتنويع المصادر، أولويات استراتيجية، ولا سيما في البلدان التي تعد من كبار منتجي التكنولوجيا المنخفضة الكربون والرقمية. وهناك سباق لزيادة التعدين في جميع أنحاء العالم، وهو جزء من سباق أوسع نطاقاً لتولي القيادة الاقتصادية والتجارية والتكنولوجية، وقد يؤدي إلى عمليات أقل كفاءة وبصمة بيئية كبيرة بلا داع، مما يشجع على الاحتكار ويؤدي إلى فائض في الإنتاج، وإعاقة آفاق التنمية. وقد أُطلق عنان التغييرات في صنع السياسات. وبرزت آسيا، ولا سيما الصين، كمركز عالمي لتصنيع الإلكترونيات، وعزز قربها من أسواق المنتجات والمكونات الوسيطة ازدهار أنشطة معالجة المعادن. وقد أدى الهدف المتمثل في تحسين الأداء في قطاعات التكنولوجيا الاستراتيجية، مثل الذكاء الاصطناعي والتكنولوجيا المنخفضة الكربون، إلى زيادة الطلب على المعادن. وفي الآونة الأخيرة، وبسبب نقص الإمدادات، عند الانتقال من أهداف الكفاءة الاقتصادية نحو المزيد من الأمن الاقتصادي، تحول التركيز في بعض سلاسل الإمداد العالمية من نهج "في الوقت المناسب" إلى نهج "تحسباً للحالة"، مما أدى إلى إحياء السياسات الصناعية المتعلقة بالمعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي والصناعات المرتبطة بها، بما في ذلك الإلكترونيات، في بعض البلدان المتقدمة، على سبيل المثال بموجب قانون خفض التضخم لعام 2022 في الولايات المتحدة وقانون المواد الخام الحرجة لعام 2023 في الاتحاد الأوروبي. وتتزايد مخاطر الإعانات والنزاعات المتعلقة بالتجارة، مما قد يؤدي إلى خسائر كبيرة على مستوى العالم، ولا سيما بين البلدان النامية، التي لديها حيز مالي أقل بكثير نسبياً.

34- وبخلاف زيادة الإنتاج المحلي، يتطلع العديد من البلدان إلى الخارج لتأمين الوصول إلى المعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي من مصادر بديلة من خلال التحالفات أو الشراكات، مثل شراكة أمن المعادن بين الاتحاد الأوروبي وبلدان مختلفة. ولا ينبغي لمثل هذه التحالفات، التي غالباً ما تكون بين البلدان المتقدمة المستوردة للمعادن، أن تسفر عن قوة تفاوضية تؤدي إلى زيادة عدم التكافؤ، على حساب مصالح البلدان النامية التي تصدّر المعادن، والتي لا ينبغي إجبارها على الاختيار بين مصادر الاستثمار المباشر الأجنبي؛ وبالأحرى، ينبغي أن تستفيد البلدان النامية من المنافسة للتفاوض على أنسب الظروف لتنميتها. وينبغي أن تستند جهود دبلوماسية الموارد لتأمين وصول البلدان المتقدمة إلى المعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي إلى الإنصاف، وضمان المنافع المتبادلة والسماح بإضافة القيمة المحلية في البلدان النامية.

(2) انظر https://www.unep.org/resources/report/resourcing-energy-transition.

وعلاوة على ذلك، هناك حاجة إلى الدعم الدولي، ولا سيما في أقل البلدان نمواً، في شكل مساعدات مالية وتقنية، للتغلب على القيود الهيكلية وبناء القدرة على التحول الهيكلي. والنُهج الذي قد يُنظر إليها على أنها استراتيجية من منظور الأمن الاقتصادي الوطني يمكن أن تؤثر سلباً على الكفاءة الاقتصادية العالمية والاستدامة البيئية. وقد يكون النهج الأكثر توازناً وشمولاً وعالمياً هو الأفضل، مع مراعاة العرض والطلب والجمع بين مصالح البلدان النامية والمتقدمة والمصدرين والمستوردين، مع السعي إلى استهلاك وإنتاج أكثر مسؤولية واستدامة. وبشكل عام، يبدو أن تلبية الطلب المتزايد على المعادن الحرجة المرتبطة بالانتقال الطاقي على الصعيد العالمي تركز أساساً على زيادة الاستخراج. وهناك حاجة إلى موازنة التوسع في التعدين من أجل التنمية مع حقوق السكان المحليين وحماية البيئة. وهناك حاجة إلى بذل مزيد من الجهود فيما يتعلق بإدارة النفايات والتحرك نحو اقتصاد رقمي دائري.

باء- إدارة النفايات المرتبطة بالرقمنة

35- تمثل إدارة النفايات المرتبطة بالرقمنة تياراً معقداً ذا طابع مزدوج، حيث تشمل كل من المواد الخطرة والمواد القيّمة. ويتعين إدارة مثل هذه النفايات بطريقة سليمة بيئياً لضمان معالجة المواد الخطرة بأمان والتعامل معها بشكل منفصل. وإذا لم تتم إدارتها بشكل صحيح، فقد تؤدي النفايات إلى آثار بيئية وصحية واجتماعية سلبية كبيرة، وغالباً ما تؤثر على الفئات الأضعف. وعندما تتم إدارة النفايات المرتبطة بالرقمنة بشكل فعال، يمكن استرجاع المواد القيّمة، مما قد يخلق فوائد اقتصادية وبيئية، من خلال زيادة الإمدادات من المواد الخام الثانوية واستبدال الإمدادات الأولية من المعادن والفلزات لتصنيع المعدات الجديدة. وتعتبر الإحصاءات التي تعكس بشكل صحيح وضع النفايات المرتبطة بالرقمنة ضرورية في إدارة النفايات. وتظل المعدلات الحالية لجمع النفايات المرتبطة بالرقمنة الرسمية منخفضة، ولا سيما في البلدان النامية. وبلغ المتوسط العالمي 24 في المائة من إجمالي النفايات في عام 2022 ولكن كان قدره 7,5 في المائة في البلدان النامية. وحتى في البلدان المتقدمة، وعلى الرغم من نظم الجمع الرسمية الأفضل عموماً، فإن متوسط معدل الجمع البالغ 47 في المائة غير كاف.

36- وتنطوي إدارة النفايات على تحديات كبيرة. ففي البلدان النامية، غالباً ما لا تكون هناك نظم جمع رسمية لإدارة النفايات المرتبطة بالرقمنة بطريقة سليمة بيئياً، حيث تتم معظم عمليات المناولة في القطاع غير الرسمي. وعلاوة على ذلك، لم يتبن سوى بلد واحد من كل أربعة بلدان نامية تشريعات ذات صلة بإدارة مثل هذه النفايات. ومن التحديات الأخرى في إدارة مثل هذه النفايات وجمعها وإعادة تدويرها تعقيد المنتجات الإلكترونية، والتوافر المحدود لتكنولوجيات إعادة التدوير والاسترجاع، والتكاليف المرتفعة لإعادة التدوير، والبنية التحتية المحدودة لجمع النفايات ومعالجتها، ونقص وعي العمال وتدريبهم ووعي المستهلكين بأثر التخلص غير السليم. وعلاوة على ذلك، هناك احتياجات استثمارية كبيرة لتعزيز قدرات إدارة النفايات المرتبطة بالرقمنة. وفي المواقع غير الرسمية، يستخدم العمال والمؤسسات المتناهية الصغر والصغيرة والمتوسطة الحجم عادةً تكنولوجيات بدائية لتجديد المعدات لأغراض البيع الثانوي أو التفكيك ومعالجة الأجزاء لاستخراج المواد القيّمة. وتساهم مثل هذه الأنشطة في الحد من الفقر وسد الفجوات الرقمية حيث تصبح الأجهزة والمعدات ميسورة التكلفة. ومع ذلك، تؤدي العمليات غير المثلى والمهارات المحدودة إلى استرجاع غير فعال وغير كاف للموارد القيّمة. كما يعاني العمال من ظروف عمل سيئة مرتبطة بضع الحقوق الخاصة بالعمل. وعندما تشارك النساء، فإنهن غالباً ما يشغلن مناصب في المستويات الأدنى من التسلسل الهرمي للعمل. وعلاوة على ذلك، قد تنشأ توترات في البلدان النامية نتيجة للحاجة الملحة في الأجل القصير إلى ضمان حصول جامعي النفايات في القطاع غير الرسمي على دخل معيشي، وفي الأجل الطويل إلى معالجة المخاطر الصحية والبيئية الناجمة عن عدم كفاية معالجة النفايات.

جيم- فرص التنمية من الاقتصاد الرقمي الدائري

37- ينطوي التصدي للتحديات البيئية المرتبطة بالرقمنة تبني ممارسات مستدامة طوال دورة الحياة بأكملها، من التصميم والإنتاج إلى الاستخدام والتخلص، وضمان الإنصاف في توزيع الفوائد. وقد ركزت المناقشات المتعلقة بالاستهلاك والإنتاج المسؤولين (هدف التنمية المستدامة 12) بشكل متزايد على استصواب الاقتصاد الأكثر دائرية. ولا يزال الاقتصاد الرقمي خطياً للغاية؛ ومن شأن الاقتصاد الرقمي الأكثر دائرية أن يسعى إلى الحد من الأجهزة والبنية التحتية الرقمية وإعادة استخدامها وإعادة تدويرها، بما في ذلك من خلال إطالة أعمارها. ويمكن تحقيق ذلك من خلال المشاركة أو التأجير أو التبرع؛ والصيانة والإصلاح؛ وإعادة البيع وإعادة التوزيع؛ وإعادة التصنيع والتجديد. وبالتالي يمكن تحويل النفايات إلى موارد وتكسب قيمة اقتصادية.

38- وينبغي أن تستند أنشطة الاقتصاد الدائري إلى المبدأ الشامل الحاسم المتمثل في تصميم المنتجات مع مراعاة الدائرية، من أجل المتانة لفترة أطول وسهولة الإصلاح وإعادة التدوير. وتوفر هذه الأنشطة فرصة لاسترجاع الموارد القيّمة وتمكين الأنشطة المفيدة اقتصادياً وخلق فرص العمل. ويحتاج المستهلكون أيضاً إلى إعادة النظر في السلوكيات المرتبطة بالرقمنة، بطريقة تسمح بإطالة أعمار الأجهزة واتخاذ قرارات واعية بشأن استهلاك معدات أكثر استدامة. ويشكل منع الهدر أولوية في الاقتصاد الرقمي الدائري. ويمكن تخفيف الضغط على الإمدادات من المعادن الأولية إلى حد ما من خلال زيادة الإمدادات الثانوية وذلك عن طريق إعادة تدوير النفايات، مما يسمح باسترجاع بعض المواد من خلال التعدين الحضري. ومع ذلك، فإن إعادة التدوير وحدها لا تكفي لسد فجوات المواد المحتملة أو تقليل الآثار البيئية الرئيسية الناشئة عن إنتاج المعدات الإلكترونية والتخلص منها؛ ويمكن لإجراءات الاقتصاد الرقمي الدائري الأخرى أن تقلل من ضغط العرض من خلال تخفيف الطلب على المعدات الرقمية الجديدة. ويمكن أن يساعد التقدم التكنولوجي أيضاً، من خلال العمليات الجديدة التي تؤدي إلى زيادة الكفاءة في استخدام الموارد؛ والمواد البديلة الناشئة التي قد تكون أكثر مراعاة للبيئة؛ والتكنولوجيات الأفضل لإدارة النفايات بشكل صحيح.

39- وبخلاف الفوائد البيئية، يمكن أن تجلب الدائرية فوائد اقتصادية كبيرة، حيث تحتوي النفايات على أجزاء ومواد قيّمة يمكن إعادة تدويرها واسترجاعها. ومن خلال الإدارة السليمة، بما في ذلك إدارة المخاطر الصحية المحتملة، فإن عملية استخراج المواد القيّمة يمكن أن تمثل فرصة لإضافة القيمة وخلق فرص عمل على طول سلسلة قيمة النفايات. ويمكن لمثل هذه الأنشطة أن توفر سبل كسب عيش للعمال والدخل للمؤسسات المعنية. وينبغي أن يكون إضفاء الطابع الرسمي هو الهدف الطويل الأجل في المناطق التي يتم فيها مناولة جزء كبير من النفايات بشكل غير رسمي؛ وقد يكون ضمان السبل الفعالة لإشراك القطاع غير الرسمي مهماً أيضاً في استراتيجية الإدارة السليمة للنفايات عموماً. وتشكل تنمية المهارات والمؤسسات المستدامة، وتحسين ظروف العمل ومنظمات العمال والحوار الاجتماعي جزءاً من الانتقال العادل. وهناك جدوى من تنفيذ الأنشطة في الاقتصاد الدائري، حيث توجد نماذج أعمال مبتكرة يمكن أن تمدد عمر المنتجات الإلكترونية، مثل إعادة الاستخدام أو تقديم الإلكترونيات كخدمة. وعلى سبيل المثال، من المتوقع أن يزيد حجم أسواق إعادة التدوير والإلكترونيات المجددة والمستعملة بمقدار ثلاث أضعاف في العقد المقبل.

40- وللاقتصاد الدائري أيضاً بُعد دولي. وإذا كان من الممكن إعادة استخدام المعدات المتداولة بشكل قانوني، وكانت مستعملة حقاً ويمكن إصلاحها أو تجديدها، فإنها يمكن أن تساهم في إضافة القيمة وخلق فرص العمل وتحسين القدرة على تحمل التكاليف، وبالتالي تقليص الفجوات الرقمية والنهوض بالأهداف الإنمائية.

ومع ذلك، لا ينبغي للبلد المتلقي، الذي يتمتع عموماً بقدرة محدودة على إدارة النفايات، أن يتحمل التكاليف البيئية والاجتماعية دون تعويض مالي مقابل للمساعدة في تحسين إدارة النفايات. ويتمثل أحد الخيارات في جعل المنتجين مسؤولين عن إدارة النفايات على مستوى العالم. وتحتاج البلدان النامية إلى بناء القدرات اللازمة لإدارة النفايات والإشراف المناسب وتعزيز أنشطة الاقتصاد الدائري. ويتطلب ذلك زيادة الموارد المالية ومهارات أصحاب المصلحة والبنية التحتية لجمع النفايات وإعادة تدويرها بطريقة تخفف من المخاطر الصحية والبيئية، فضلاً عن القدرات المؤسسية لرصد التشريعات وإنفاذها. ونظراً للموارد المحدودة المتاحة محلياً في العديد من البلدان، فإن الدعم الدولي ضروري.

رابعاً- صنع السياسات من أجل الرقمنة الشاملة للجميع والمستدامة بيئياً على الصُعد الوطني والإقليمي والدولي

41- لا تزال الرقمنة تتطور بسرعة، وتغير حياة الناس وسبل عيشهم. ومع ذلك، فإن الرقمنة غير المنظمة قد تؤدي إلى تخلف الناس عن الركب وتفاقم التحديات البيئية. ولابد من دعم الإجراءات المتعلقة بالاستهلاك والإنتاج الأكثر استدامة، على غرار الإجراءات المتعلقة بالدائرية، من خلال سياسات مناسبة على الصُعد الوطني والإقليمي والدولي يتم إنفاذها بشكل كاف (انظر الجدول). وينبغي أيضاً أن يستند الاقتصاد الرقمي الدائري إلى أدوات رقمية. ويتطلب تحقيق الرقمنة الشاملة للجميع والمستدامة أن تستند السياسات إلى مبدأ المسؤوليات المشتركة ولكن المتباينة والقدرات المختلفة، وكذلك إلى احتياجات البلدان والجهات الفاعلة المختلفة. وتتمثل الشروط المسبقة المهمة لصنع السياسات في تحسين فهم الآثار البيئية للرقمنة، ولا سيما من خلال الأدلة الأفضل والشفافية والوعي بهذه الآثار. ويتطلب التفاعل الجديد والمعقد بين الرقمنة والاستدامة البيئية والتنمية الشاملة استجابات سياساتية متكاملة، ونهج متكامل وشامل ومتعدد التخصصات ومتعدد الأطراف. ويؤدي المجتمع المدني دوراً رئيسياً في إثارة الشواغل إزاء الحاجة إلى معالجة الآثار البيئية للرقمنة عبر دورة الحياة بأكملها. ومن الضروري تسخير قوة الرقمنة للنهوض بالتنمية الشاملة والمستدامة، مع التخفيف من الآثار البيئية السلبية. وينبغي لصناع السياسات مواءمة السياسات الرقمية والبيئية على جميع المستويات، وبالتالي تعزيز قدرة المجتمع العالمي على التصدي لمثل هذه التحديات. وتتطلب معالجة أوجه عدم المساواة البيئية الرقمية المتزايدة الاتساع جهوداً دولية متضافرة لضمان ممارسات أكثر عدالة، مثل تعزيز نُهج التعدين المستدام، وتعزيز البنية التحتية الرقمية، والحد من الصادرات غير القانونية للنفايات المرتبطة بالرقمنة، ودعم بناء القدرات في البلدان النامية. وفي الوقت الحاضر، لم يُوضع إطار حوكمة عالمي شامل للعمل الجماعي وتبادل المعرفة بين البلدان، وبناء التوافق في الآراء، ووضع المعايير العالمية وتشجيع الإبلاغ الشفاف ورصد التقدم نحو تحقيق الأهداف المشتركة عند التفاعل بين الرقمنة والاستدامة البيئية. ومع ذلك، يُعترف بهذه المسألة في المناقشات الدولية، مثل تلك المتعلقة بالميثاق الرقمي العالمي ويوم الرقمنة الذي عُقد خلال الدورة التاسعة والعشرين لمؤتمر الأطراف في اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ.

الخيارات السياساتية حسب مرحلة دورة حياة الرقمنة

مرحلة دورة حياة الرقمنة	*الهدف*	*الخيارات السياساتية*		
		الصعيد الوطني	*الصعيد الإقليمي*	*الصعيد الدولي*
الإنتاج	ضمان التعدين وتصنيع الإلكترونيات بطريقة مستدامة بيئياً ومسؤولة، وتمكين المزيد من القيمة المضافة المحلية من أجل التنمية الاقتصادية في البلدان المنتجة	تحسين المعلومات المتعلقة بموارد التعدين من أجل الاستكشاف تعزيز المفاوضات المتعلقة بعقود التعدين من أجل التوزيع المنصف لريع تعدين المعادن المرتبطة بالانتقال الطاقي وضع سياسات صناعية لدعم القيمة المضافة للمواد الخام المستخرجة والانتقال نحو التصنيع وضع سياسة بشأن التكنولوجيا للبحث عن مواد بديلة أكثر استدامة حظر استخدام المواد السامة تحفيز وتعزيز استخدام المواد المعاد تدويرها، ودعم تطوير الأسواق الثانوية إلزام المنتجين بتقديم تقارير شفافة عن البصمات البيئية	تعزيز التعاون الإقليمي لزيادة القوة التفاوضية في عقود التعدين والنظم الضريبية الإقليمية وصع سياسات صناعية إقليمية لإضافة القيمة في البلدان النامية	وضع معايير للتعدين وتصنيع الإلكترونيات بطريقة مسؤولة ومستدامة الحد من استخدام المعادن التي قد تكون مصدراً للنزاع اعتماد وتطبيق معايير الشفافية العالمية التعاون من أجل تحسين البيانات الجيولوجية والتعدينية إصدار تراخيص التنمية المستدامة لممارسة أنشطة التعدين التفاوض على نظام ضريبي دولي يعمل على توزيع الإيرادات بشكل منصف بين المنتجين والمستهلكين تمكين التعاون الدولي بين البلدان المستهلكة والمنتجة للمعادن والفلزات المرتبطة بالانتقال الطاقي
الاستخدام	تحسين أداء مراكز البيانات إلى أقصى حد لتقليل الآثار على الطاقة والمياه وعلى المجتمعات المحلية إلى أدنى حد تحسين البرمجيات إلى أقصى حد للحد من استخدام الطاقة تقليل الاستهلاك المفرط تحفيز وتعزيز الاستخدام المفيد والفعال والمنتج للأدوات والمعدات الرقمية سد الفجوة الرقمية وفجوة البيانات	إذكاء الوعي بالآثار البيئية لمختلف أنواع الاستخدام (على سبيل المثال الذكاء الاصطناعي) وضع سياسات لمكافحة وحظر التمويه الأخضر إلزام تشارك البنية التحتية للشبكات إلزام مراكز البيانات بتقديم تقارير شاملة عن الآثار البيئية تخفيف التخزين المفرط للبيانات اعتماد سياسة بشأن التكنولوجيا لتعزيز وتلبية متطلبات كفاءة استخدام الطاقة والمياه في مراكز البيانات إلزام مراكز البيانات الضخمة بالاستثمار في الطاقة المتجددة لتغذية الشبكات المحلية تعزيز الحفاظ على المياه في مراكز البيانات، وتقليل استخدام المياه للتبريد	النظر في مراكز البيانات الإقليمية كخيار أكثر كفاءة للبيئة إجراء تقييم للاحتياجات وتحديد مواقع مراكز البيانات الإقليمية بناءً على الآثار البيئية المحتملة	وضع معايير عالمية للإبلاغ عن الآثار البيئية تعزيز حوكمة البيانات العالمية، بما في ذلك اعتبارات الاستدامة البيئية تعزيز التعاون الدولي في سد الفجوات الرقمية وفجوات البيانات وبناء القدرات الرقمية والبيئية في البلدان النامية تعزيز التعاون الدولي بشأن سياسات المنافسة للتصدي لإساءة استخدام القوة السوقية في الاقتصاد الرقمي

مرحلة دورة حياة الرقمنة	الهدف	الخيارات السياساتية		
		الصعيد الوطني	الصعيد الإقليمي	الصعيد الدولي
نهاية العمر	منع وتقليل النفايات المرتبطة بالرقمنة إلى أدنى حد وزيادة استرجاع الموارد والقيمة من هذه النفايات	اعتماد وإنفاذ سياسات وتشريعات ونظم بشأن النفايات الإلكترونية، لتحسين معدلات جمعها وإعادة تدويرها تحسين البيانات والمعلومات المتعلقة بالنفايات المرتبطة بالرقمنة تشييد البنية التحتية لإدارة النفايات تطبيق آليات المسؤولية الممتدة للمنتج تحسين ظروف العمل في قطاع إدارة النفايات، والانتقال نحو إضفاء الطابع الرسمي	إنشاء مرافق إعادة التدوير الإقليمية، ولا سيما في البلدان النامية، لتمكين التحول إلى القيمة المضافة الأعلى في سلسلة قيمة النفايات المرتبطة بالرقمنة واسترجاع الموارد القيّمة بشكل أفضل تيسير التعاون في مجال إدارة النفايات، وتقاسم التكنولوجيا وأفضل الممارسات	تحسين البيانات والمعلومات المتعلقة بالنفايات المرتبطة بالرقمنة وضع معايير عالمية للدائرية ضمان الامتثال لقواعد اتفاقية بازل بشأن التحكم في نقل النفايات الخطرة والتخلص منها عبر الحدود لمنع الصادرات غير القانونية للنفايات المرتبطة بالرقمنة النظر في نقل المسؤولية الممتدة للمنتج في التدفقات عبر الحدود للمعدات المستعملة و/أو تمديد النطاق الجغرافي
جميع المراحل	تمكين وتعزيز وتنظيم الاستهلاك والإنتاج المستدامين والاقتصاد الرقمي الدائري من خلال سياسات الحد من الاستهلاك وإعادة الاستخدام وإعادة التدوير	تنفيذ نُهج سياسة الاقتصاد الدائري طوال دورة حياة الرقمنة تعزيز تكامل جوانب الاستدامة البيئية والتنمية الرقمية، بطريقة متماسكة، في استراتيجيات التنمية الوطنية التنظيم لإلزام ما يلي: منتجات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات المصممة لتحقيق الدائرية والاستدامة؛ وتجنب التقادم المبرمج؛ ومتانة المنتج الممتدة؛ والحق في الإصلاح؛ وإمكانية تتبع المنتجات، بما في ذلك المكونات والمواد الخام (على سبيل المثال من خلال جوازات السفر الرقمية للمنتج و/أو المواد)؛ ومستويات أعلى من إعادة التدوير تحفيز وتعزيز نماذج الأعمال المستدامة الجديدة (على سبيل المثال، المنتجات الإلكترونية كخدمة) تطوير التعاون والشراكات بين أصحاب المصلحة المعنيين طوال دورة الرقمنة تحسين قاعدة الأدلة لصنع السياسات	النظر في وضع نُهج إقليمية للاقتصاد الرقمي الدائري والتجارة الرقمية وضع نُهج إقليمية لتتبع المنتجات الرقمية	تعزيز التعاون الدولي بين أصحاب المصلحة المعنيين طوال دورة حياة الرقمنة تكييف السياسات لضمان أن تعمل التجارة من أجل اقتصاد رقمي عالمي شامل ومستدام وتجارة رقمية وضع معايير عالمية للتصميم لمنتجات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات المستدامة، وكذلك لإعادة الاستخدام والإصلاح وإعادة التدوير إدراج قطاع تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في الأطر الدولية لتقييم الآثار البيئية المختلفة

مرحلة دورة حياة		الخيارات السياساتية		
الرقمنة	*الهدف*	*الصعيد الوطني*	*الصعيد الإقليمي*	*الصعيد الدولي*
		إذكاء الوعي من خلال حملات مستهدفة بشأن الآثار البيئية للرقمنة تنظيم الإعلانات في الاقتصاد الرقمي لمنع التلاعب والسيطرة على المستهلكين، بما في ذلك الإجراءات التي تشجع على الإفراط في الاستهلاك		

المصدر: الأونكتاد.