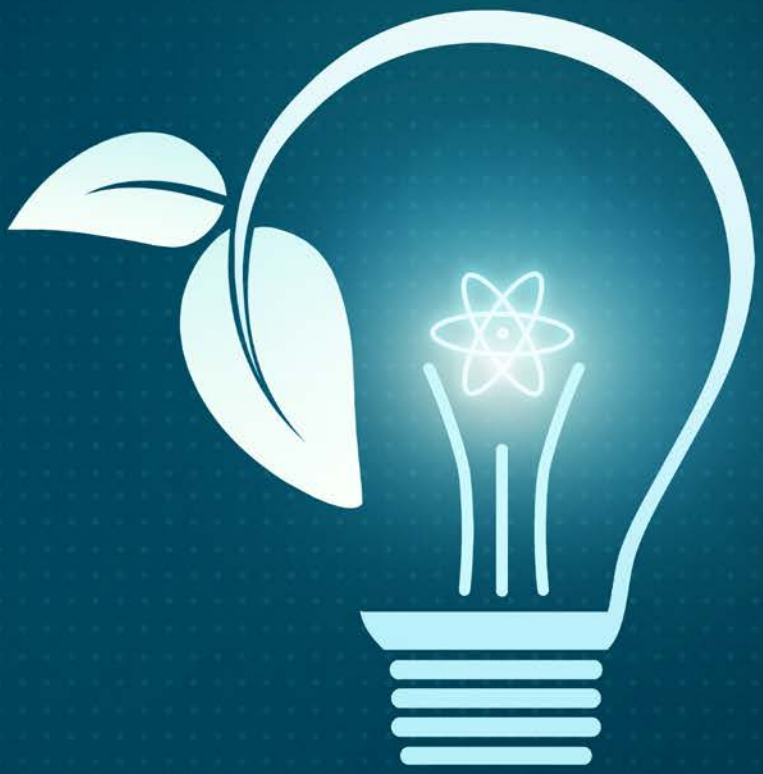
IAEA BULLETIN

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرِّية

منشور الوكالة الرئيسي | أيلول/ سبتمبر ٢٠٢٠ | www.iaea.org/bulletin



القوى النووية والانتقال إلى الطاقة النظيفة

- التقدُّم في علوم وتكنولوجيا المواد يزيد من فوائد الطاقة النظيفة المتأتية من القوى النووية، ص ٨
- تقليص النفايات النووية وتعزيز الكفاءة لمستقبل يتسم بالطاقة المستدامة، ص ١٤
- ذكية، ومستقرة، وموثوقة: الشبكات الذكية والقوى النووية في نظم الطاقة منخفضة الكربون، ص ٢٢

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرّية

يصدرها مكتب الإعلام العام والاتصالات
الوكالة الدولية للطاقة الذرّية
مركز فيينا الدولي

العنوان:
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
الهاتف: ٢٦٠٠٠ (١-٤٣)
البريد الإلكتروني: iaeabulletin@iaea.org

مديرة التحرير: نيكول جاويرث
المحرِّر: ميكلوس غاسبر
التصميم والإنتاج: ريتو كين

مجلة الوكالة متاحة على الموقع التالي:
www.iaea.org/bulletin

يمكن استخدام مقتطفات من مواد الوكالة التي تتضمَّنها مجلة الوكالة في مواضع أخرى بِحُرِّية، شريطة الإشارة إلى مصدرها. وإذا كان مبيَّناً أنَّ الكاتب من غير موظفي الوكالة، فيجب الحصول منه أو من المنظمة المصدِرة على إذن بإعادة النشر، ما لم يكن ذلك لأغراض الاستعراض.

ووُجهات النظر المعرَب عنها في أيِّ مقالة موقَّعة واردة في مجلة الوكالة لا تُمثِّل بالضرورة وجهةَ نظر الوكالة الدولية للطاقة الذرِّية، ولا تتحمَّل الوكالةُ أيَّ مسؤولية عنها.

الغلاف: الوكالة

تابعونا على

IAEA

تكمن مهمَّة الوكالة الدولية للطاقة الذرِّية في منع انتشار الأسلحة النووية ومساعدة كلِّ البلدان، لا سيَّما في العالم النامي، على الاستفادة من استخدام العلوم والتكنولوجيا النووية استخداماً سلميًّا ومأموناً وآمناً.

وقد تأسَّست الوكالةُ بصفتها منظمةً مستقلَّةً في إطار الأمم المتحدة في عام ١٩٥٧، وهي المنظمة الوحيدة ضمن منظومة الأمم المتحدة التي تملك الدراية في مجال التكنولوجيات النووية. وتساعد مختبراتُ الوكالة المتخصِّصة الفريدة من نوعها على نقل المعارف والخبرات إلى الدول الأعضاء في الوكالة في مجالات مثل الصحة البشرية والأغذية والمياه والصناعة والبيئة.

وتقوم الوكالةُ كذلك بدور المنصَّة العالمية لتعزيز الأمن النووي. وقد أسَّست الوكالةُ سلسلةَ الأمن النووي الخاصة بالمنشورات الإرشادية المتوافق عليها دوليًّا بشأن الأمن النووي. كما تركِّز أنشطةُ الوكالة على تقديم المساعدة للتقليل إلى الحدِّ الأدنى من مخاطر وقوع المواد النووية وغيرها من المواد المشعَّة في أيدي الإرهابيين والمجرمين، أو خطر تعرُّض المرافق النووية لأعمال كيدية.

وتوفِّر معاييرُ الأمان الصادرة عن الوكالة نظاماً لمبادئ الأمان الأساسية، وتجسِّد توافقاً دوليًّا في الآراء حول ما يشكِّل مستوىً عالياً من الأمان لحماية الناس والبيئة من التأثيرات الضارَّة للإشعاعات المؤيِّنة. وقد وُضِعت معاييرُ الأمان الخاصة بالوكالة لتطبيقها في جميع أنواع المرافق والأنشطة النووية التي تُستخدَم للأغراض السلمية، وكذلك لتطبيقها في الإجراءات الوقائية الرامية إلى تقليص المخاطر الإشعاعية القائمة.

وتتحقَّق الوكالةُ أيضاً، من خلال نظامها التفتيشي، من امتثال الدول الأعضاء للالتزامات التي قطعتها على نفسها بموجب معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية وغيرها من اتفاقات عدم الانتشار، والمتمثِّلة في عدم استخدام المواد والمرافق النووية إلَّا للأغراض السلمية.

ولعمل الوكالة جوانب متعدِّدة، وتشارك فيه طائفةٌ واسعةٌ ومتنوِّعةٌ من الشركاء على الصعيد الوطني والإقليمي والدولي. وتُحدَّد برامجُ الوكالة وميزانياتها من خلال مقرَّرات جهازَيْ تقرير سياسات الوكالة، أيْ مجلس المحافظين المؤلَّف من ٣٥ عضواً والمؤتمر العام الذي يضمُّ جميعَ الدول الأعضاء.

ويوجد المقرُّ الرئيسي للوكالة في مركز فيينا الدولي. كما توجد مكاتب ميدانية ومكاتب اتصال في تورونتو وجنيف وطوكيو ونيويورك. وتدير الوكالةُ مختبراتٍ علميةً في كلٍّ من زايبرسدورف وفيينا وموناكو. وعلاوةً على ذلك، تدعم الوكالةُ مركز عبد السلام الدولي للفيزياء النظرية في تريبيستي بإيطاليا وتوفِّر له التمويلَ اللازم.

بناء مستقبلٍ للطاقة النظيفة

بقلم رافائيل ماريانو غروسي، المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرِّية

تؤدي القوى النووية دوراً حيويًّا في المساعدة على التصدي للوضع المناخي العالمي الطارئ.

وهي تساهم بالفعل بثلث إجمالي الكهرباء منخفضة الكربون المولدة في العالم. وتوفر القوى النووية إمداداً ثابتاً وموثوقاً به للطاقة، ويمكن أن يساعد استخدامها في الحد من انبعاثات غازات الدفيئة وتلبية احتياجات سكان العالم المتزايدين عدداً، لا سيما في البلدان النامية.

ولا تنتج محطات القوى النووية أي انبعاثات تقريباً من غازات الدفيئة أو ملوثات الهواء أثناء تشغيلها. وإجمالي ما تطلقه من انبعاثات طوال دورة حياتها منخفض للغاية. وهي تتيح مكملاً حيويًّا لمصادر الطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح والطاقة الشمسية، التي يتصف إمدادها من الطاقة بأنه متقطع.

ومما تجدر معرفته بشكل أفضل المساهمة الكبيرة التي قدمتها القوى النووية بالفعل — على سبيل المثال، تجنب إنتاج ما يعادل ٥٥ غيغاطن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون على مدار الخمسين عاماً الماضية — والإمكانيات الهائلة التي ينطوي عليها ما يجري تطويره الآن من تكنولوجيات مبتكرة.

ولهذا السبب قرَّرتُ، حين تولَّيتُ مهام منصبي مديراً عامًّا للوكالة، تكريس المحفل العلمي الأول للوكالة من أجل «القوى النووية والانتقال إلى الطاقة النظيفة». وسيجتمع كبار العلماء والخبراء من جميع أنحاء العالم على مدار يومين لدراسة كيف يمكن للحلول القائمة على العلوم النووية أن تؤدي دوراً محوريًّا في تمهيد الطريق لمستقبل مستدام.

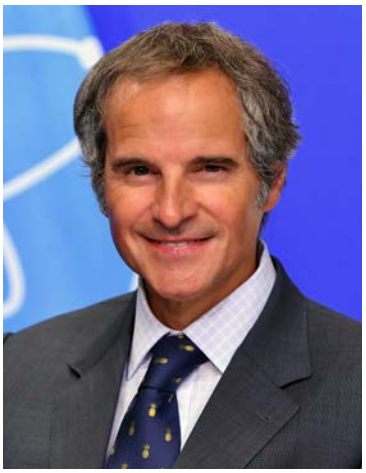
وسيوفر لكم هذا العدد من نشرة الوكالة نظرة فاحصة على الانتقال إلى الطاقة النظيفة وموقع القوى النووية في هذا الانتقال (الصفحة ٤). وستعرفون كيف يمكن لمرونة القوى النووية، أثناء الأحداث الشديدة مثل الجوائح أو الطقس القاسي الناجم عن تغير المناخ، أن تساعد في ضمان استمرار إمدادات الطاقة (الصفحة ٦).

وستحصلون على لمحة عن الابتكارات التي تقود مستقبل الطاقة النووية. ويساعد التقدم في علم المواد، على سبيل المثال، محطات القوى النووية على العمل بأمان واستدامة وفعالية من حيث التكلفة لفترة أطول بكثير مما كان مخططاً له في الأصل (الصفحة ٨). ويعود الفضل جزئيًّا للمفاهيم والتقنيات والمواد الجديدة في ما تعد به المفاعلات السريعة من إنتاجٍ طاقةٍ أكثر كفاءة، ونفاياتٍ أقل بكثير (الصفحة ١٤). وبفضل التصميمات المحسَّنة وميزات الأمان، توفر المفاعلات النووية الكبيرة المتقدمة (الصفحة ١١)، فضلاً عن المفاعلات النمطية الصغيرة والمولدات النووية (الصفحة ١٦)، مجموعة واسعة من خيارات القوى النووية للبلدان لتلبية احتياجاتها من الطاقة وللتعامل مع تغير المناخ.

ولا ينحصر الابتكار وتأثيره في إنتاج القوى النووية. فسياسات التمويل التطلعية تساعد في التغلب على العوائق الاقتصادية أمام مشاريع القوى النووية الجديدة (الصفحة ٢٤). وتعمل التكنولوجيا «الذكية»، مثل الذكاء الاصطناعي و«إنترنت الأشياء»، عند دمجها مع القوى النووية، على جعل شبكات الطاقة التي تحتوي على نسبة عالية من مصادر الطاقة المتجددة أكثر كفاءة واستقراراً وموثوقية (الصفحة ٢٢). وتعمل التطبيقات غير الكهربائية التي تستخدم مرافق القوى النووية، مثل إنتاج الهيدروجين، على توسيع الفوائد المنخفضة الكربون للطاقة النووية لتشمل قطاعات مثل الصناعة والنقل (الصفحة ١٨).

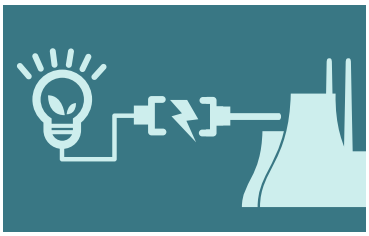
ويجب أن يقترن التقدم في تكنولوجيا القوى النووية بإحراز تقدم في مجال الأمان والأمن والضمانات النووية. ويجري وضع إطار رقابي جديد محايد تقنيًّا لتمكين الابتكار في تقنيات القوى النووية دون المساس بالأمان (الصفحة ٢٦). وإحدى التقنيات قيد التطوير للضمانات هي الشبكات العصبية لمساعدة المحللين على استخدام وقتهم بشكل أكثر فعالية وكفاءة عند استعراضهم بيانات المراقبة التي تجمع في إطار أنشطة التحقق للمساعدة في منع انتشار الأسلحة النووية (الصفحة ٢٨).

وسوف يكون تحقيق التنمية المستدامة وتلبية الأهداف المناخية تحدياً كبيراً. والقوى النووية هي تقنية مثبتة وناضجة ويمكن أن تسهم إسهاماً كبيراً وستواصل الوكالة بذل قصارى جهدها للمساعدة في الانتقال إلى مستقبل للطاقة النظيفة في العالم من خلال استخدام التكنولوجيا النووية.

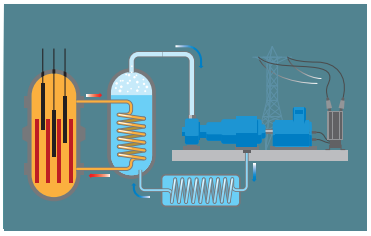


”ستواصل الوكالة بذل قصارى جهدها للمساعدة في الانتقال إلى مستقبل للطاقة النظيفة في العالم من خلال استخدام التكنولوجيا النووية.“

— رافائيل ماريانو غروسي، المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرِّية



١ بناء مستقبلٍ للطاقة النظيفة



٤ ما هو الانتقال إلى الطاقة النظيفة وما دور القوى النووية في ذلك؟

٦ صمود القوى النووية وأمانها في وجه الظواهر البالغة الشدَّة

٨ التقدُّم في علوم وتكنولوجيا المواد يزيد من فوائد الطاقة النظيفة المتأتية من القوى النووية

١١ المفاعلات المتقدمة تساعد على تمهيد الطريق للقوى النووية لتحقيق الأهداف المناخية

١٤ تقليص النفايات النووية وتعزيز الكفاءة لمستقبل يتسم بالطاقة المستدامة

١٦ مفاعلات صغيرة، إمكانات كبيرة

١٩ أكثر من مجرد مصدرٍ للقوى
إنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة النووية من أجل مستقبلٍ منخفض الكربون

٢٢ ذكية، ومستقرة، وموثوقة
الشبكات الذكية والقوى النووية في نظم الطاقة منخفضة الكربون

٢٤ الاستثمار في الانتقال إلى الطاقة النظيفة
تمويل القوى النووية ودعمها اقتصاديًّا

٢٦ أمان المفاعلات النمطية الصغيرة وترخيصها
نهج محايد تكنولوجيًّا

٢٨ التطور من أجل المستقبل
الضمانات والقوى النووية

رؤية عالمية

٣٠ الإمعان في إزالة الكربون من خلال الطاقة النووية
— بقلم كيرستي غوغان وإيريك إنجرسول

تحديثات الوكالة

٣٢ أخبار الوكالة

٣٦ المنشورات

ما هو الانتقال إلى الطاقة النظيفة وما دور القوى النووية في ذلك؟

بقلم نيكول جاويرث

العالم بحاجة إلى الطاقة لدعم الحياة اليومية ودفع عجلة التنمية البشرية والاقتصادية. وفي عام ٢٠١٩، أُنْتِج أكثر من ٢٦ ٠٠٠ تيراواط–ساعة من الكهرباء في جميع أنحاء العالم. وتُنْتَجُ هذه الكهرباء بالاستعانة بمجموعة من مصادر الطاقة، معظمها من الوقود الأحفوري، لكنها تشمل أيضاً القوى النووية ومصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية والمائية وطاقة الرياح.

ويُعَدُّ إنتاج الطاقة واستخدامها أكبر مصدر لانبعاثات غازات الدفيئة حول العالم. ونظراً لأن غازات الدفيئة هي القوة الدافعة وراء تغيُّر المناخ، تعمل البلدان في جميع أنحاء العالم بشكل نشطٍ على الانتقال إلى الطاقة النظيفة من خلال تغيير كيفية إنتاج الطاقة.

وإليكم نظرة فاحصة على الانتقال إلى الطاقة النظيفة والدور الذي تضطلع به القوى النووية.

ما «الانتقال إلى الطاقة النظيفة»؟

يُقصد بالانتقال إلى الطاقة النظيفة الابتعاد بإنتاج الطاقة عن المصادر التي تُطلق الكثير من غازات الدفيئة، من قبيل الوقود الأحفوري، والتحوُّل إلى تلك التي تطلق القليل من غازات الدفيئة أو لا تُطلقها على الإطلاق. وتُعَدُّ القوى النووية والطاقة المائية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية بعضاً من هذه المصادر النظيفة.

واتُّفِق على مسار الانتقال إلى الطاقة النظيفة على صعيد العالم في اتفاق باريس، وهو صفقة دولية بين أكثر من ١٨٠ بلداً ضمن اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيُّر المناخ. ويهدف الاتفاق في جوهره إلى الحدِّ من الزيادة في متوسط درجات الحرارة العالمية إلى أقلَّ من درجتين مئويتين مقارنة بمستويات ما قبل الثورة الصناعة من خلال تشجيع استخدام مصادر الطاقة المنخفضة الكربون لتقليل انبعاثات غازات الدفيئة.

ومع استمرار توليد ما يقرب من ثُلثي الكهرباء في العالم من حرق الوقود الأحفوري، سيستلزم تحقيق هذه الأهداف المناخية بحلول عام ٢٠٥٠ تحويل ٨٠٪ على أقلّ تقدير من الكهرباء إلى مصادر منخفضة الكربون، وذلك وفقاً للوكالة الدولية للطاقة.

ما المقصود بغازات الدفيئة، والاحترار العالمي، وتغيُّر المناخ؟

غازات الدفيئة هي غازات في الغلاف الجوي للأرض تحبس الحرارة وتطلقها. وتشمل هذه الغازات ثاني أكسيد الكربون والميثان وبخار الماء وأكسيد النيتروز والأوزون. فهذه الغازات تمتصُّ الحرارة وتشعها مرة أخرى نحو الأرض، ما يؤدي إلى ارتفاع متوسط درجة حرارة الكوكب.

وعلى الرغم من أن بعض غازات الدفيئة ذات مصادر طبيعية، إلا أن البشر يتسبَّبون بمعظمها اليوم. فمنذ الثورة الصناعية في أواخر القرن التاسع عشر، ارتفعت انبعاثات غازات الدفيئة بسبب زيادة الأنشطة البشرية، وفي المقام الأول من حرق الوقود الأحفوري، مثلما هو الحال عند قيادة سيارة تعمل بالبنزين أو حرق الفحم لتوليد الحرارة. وعندما يحترق الوقود الأحفوري فإنه يطلق ثاني أكسيد الكربون.

ولأكثر من ١٠٠ عام، تراكمت غازات الدفيئة بسرعة تفوق بكثير السرعة التي يمكن أن تتبدَّد بها، الأمر الذي أدى، وفقَ أكثر النظريات العلمية المعتمدة، إلى تسريع ارتفاع متوسط درجة الحرارة العالمية. وهذا ما يُسمَّى الاحترار العالمي.

ويتسبَّب الاحترار العالمي في تغيُّرات بيئية، مثل أنماط الطقس الأشد قسوة، وعدم انتظام هطول الأمطار، والجفاف، والتغيرات الموسمية غير المتوقعة. وتُعرف هذه التغيُّرات باسم تغيُّر المناخ. ومع تسارُع الاحترار العالمي في الوقت الراهن، مِن المتوقع أن يصبح تغيُّر المناخ وآثاره أكثر تطرُّفاً وأن تتفاقَم صعوبة العيش على كوكب الأرض.

ما دور القوى النووية في الانتقال إلى الطاقة النظيفة؟

تأتي القوى النووية في المرتبة الثانية كأكبر مصدر للطاقة المنخفضة الكربون المستخدَمة اليوم لإنتاج الكهرباء، بعد القدرة الكهرمائية. ومحطات القوى النووية، أثناء تشغيلها، تكاد لا تتسبَّب في أيِّ انبعاثات لغازات الدفيئة. ووفقاً للوكالة الدولية للطاقة، أدى استخدام القوى النووية إلى خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بأكثر من ٦٠ غيغاطنًّا على مدار الخمسين عاماً الماضية، وهو ما يعادل عامين تقريباً من الانبعاثات العالمية المرتبطة بالطاقة.

وتمثل القوى النووية قرابة ١٠٪ من الكهرباء في العالم وقرابة ثُلث الكهرباء المنخفضة الكربون في العالم. وحاليًّا، ثمة ٤٤٠ مفاعل قوى نووية قيد التشغيل في ٣٠ بلداً. وثمة ٥٤ مفاعلاً قيد الإنشاء في ١٩ بلداً، منها ٤ بلدان تشيِّد أول مفاعلاتها النووية.

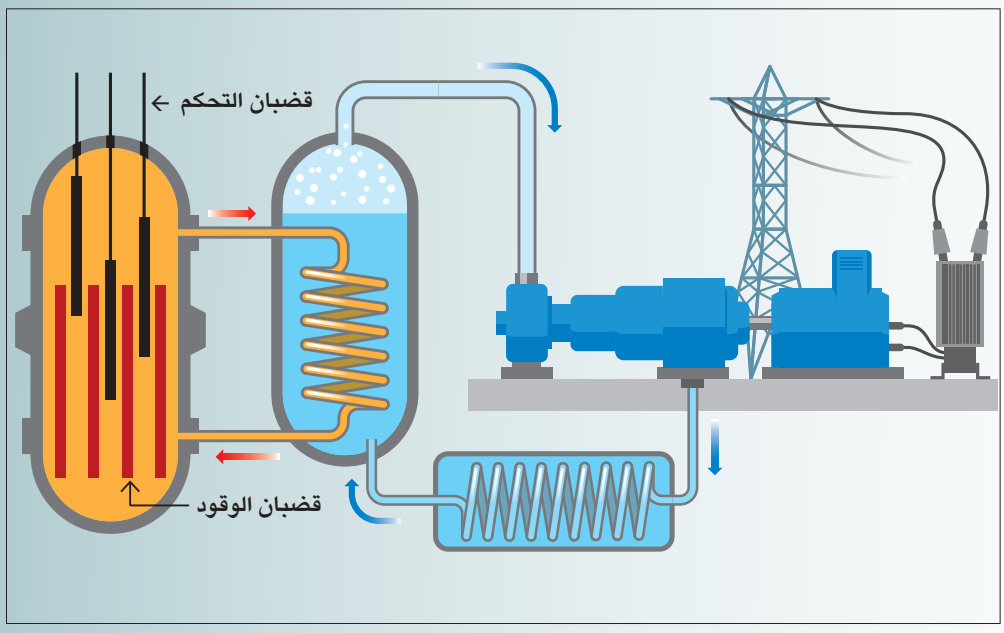
ويمكن لمحطات القوى النووية، لقدرتها على العمل بكامل طاقتها دون انقطاع تقريباً، أن توفِّر إمدادات متواصلة وموثوقة من الطاقة. وهذا على عكس مصادر الطاقة المتجددة المتغيرة، مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، فهي تتطلب مصادر طاقة احتياطية أثناء حدوث فجوات في الناتج، مثل عندما تغرب الشمس أو يتوقف هبوب الرياح.

ويمكن لمحطات القوى النووية أيضاً أن تعمل بمرونة لمواجهة التقلبات في الطلب على الطاقة وتوفير الاستقرار للشبكات الكهربائية، لا سيما ذات الحصص العالية من المصادر المتجددة المتغيرة (انظر الصفحة ٢٢). وجارٍ في الوقت الراهن تصميم بعض محطات القوى النووية لتقديم خدمات غير كهربائية أيضاً، مثل إنتاج الهيدروجين. ويمكن أن تساعد هذه الخدمات في تخليص قطاعات أخرى من الكربون، بالإضافة إلى إنتاج الكهرباء (انظر الصفحة ١٨).

وأثمر استمرار التقدُّم المحرز في تكنولوجيات القوى النووية عن تصاميم مفاعلات ابتكارية ومتقدمة ومن الجيل التالي تساعد على جعل القوى النووية خياراً أفضل من حيث الكفاءة والتكلفة الميسورة والجاذبية لإزالة الكربون (انظر الصفحة ١١). ومن المتوقع أيضاً أن يسهم عصر جديد من تصاميم المفاعلات الأصغر حجماً والأكثر مرونة، وفي بعض الحالات، القابلة للنقل، في جعل القوى النووية وتطبيقاتها غير الكهربائية أكثر سهولة للحصول عليها وأكثر جدوى من حيث التكلفة، خاصة بالنسبة للأجزاء النائية والتي يصعب الوصول إليها من الكرة الأرضية (انظر الصفحة ١٦).

كيف تعمل القوى النووية؟

القوى النووية هي الكهرباء التي تُنْتَج بإطلاق الطاقة النووية بطريقة يمكن التحكُّم بها، وهي الطاقة التي تمسك بمركز الذرات معاً. وهذه المراكز تُسمى النوى. وتُطلق الطاقة النووية، في نهاية المطاف على شكل حرارة، بفعل الانشطار النووي، وهي عملية تقسيم نوى مواد معيَّنة. وأكثر المواد المستخدمة شيوعاً هو اليورانيوم، وهو معدن ثقيل وقليل الإشعاع يوجد بشكل طبيعي في قشرة الأرض.



رسم تخطيطي مبسَّط لمفاعل ماء مضغوط.

(الرسومات: iStock.com/jack0m)

ويُحمَّل اليورانيوم عادةً في قضبان وقود، غالباً بعد إثرائه لزيادة قدرته على الانشطار. وتوضَع هذه القضبان داخل مفاعل نووي.

وتوضَع قضبان الوقود، عند استخدامها في مفاعلات الماء المضغوط، وهو النوع الأكثر شيوعاً من مفاعلات القوى النووية العاملة قيد التشغيل حاليًّا في جميع أنحاء العالم، داخل وعاء المفاعل المملوء بالماء. وهناك، تتعرَّض قضبان الوقود لوابل من جزيئات نووية تُسمى نيوترونات، والتي تولَّد في البداية بواسطة جهاز (مصدر نيوتروني) داخل المفاعل. وتتسبَّب هذه النيوترونات في انقسام نوى اليورانيوم داخل قضبان الوقود، ما يؤدي إلى إطلاق الطاقة والنيوترونات. وتتسبَّب هذه النيوترونات التي تُطلق جرَّاء ذلك في انقسام نوى يورانيوم أخرى داخل قضبان الوقود، وهكذا يؤدي ذلك إلى تفاعلات انشطارية نووية متسلسلة.

وفي مفاعلات الماء المضغوط، تقوم الطاقة المنبعثة أثناء الانشطار النووي بتسخين قضبان الوقود والمياه المحيطة بها. وتظلُّ المياه مضغوطة لمنع الغليان، وتُنقل الحرارة بدلاً من ذلك عبر الأنابيب لغلي الماء في وعاء قريب. وينتج الماء المغلي البخار الذي يُستخدم لتشغيل توربين عملاق بسرعات فائقة. وهذا التوربين متصل بمولِّد يدُور أيضاً لإنتاج الكهرباء. ومن ثم تتدفق الكهرباء إلى شبكة كهرباء، وهي شبكة مترابطة لتوصيل الكهرباء من المنتجين إلى المستهلكين.

ويستمر الانشطار النووي إلى أن تُدْخَل قضبان التحكم المصنوعة من مواد تمتص النيوترونات دون توليد انشطارات إضافية، مثل الكادميوم، بين قضبان الوقود. وهو ما يوقف التفاعل الانشطاري النووي المتسلسل.

صمود القوى النووية وأمانها في وجه الظواهر البالغة الشدَّة

بقلم مات فيشر

محطات القوى النووية تُشيَّد لتدوم. ولكن مع تزايُد احتمال وقوع الظواهر العالمية البالغة الشدَّة — من الكوارث الطبيعية واشتداد أنماط الطقس المدفوعة بتغيُّر المناخ والتأثير المحتمل لذلك في محطات القوى النووية، إلى الزيادة في الأمراض المُعدية التي يمكن أن تؤثر في القوى العاملة لتلك المحطات — ستكون القوى العاملة القابلة للتكيف في محطات القوى النووية والتصاميم المتينة ضرورية للإبقاء على الصمود والإسهام في مسار منخفض الكربون نحو المستقبل.

وقالت لوريتا ستانكيفيشيت، محللة نُظم الطاقة في الوكالة الدولية للطاقة الذرية: «إذا ما أراد العالم تخفيف آثار تغيُّر المناخ في غضون العشرين إلى الثلاثين عاماً القادمة، لا بد أن يبدأ قطاع الطاقة تحوُّلاً جوهريًّا نحو نظام إمدادات طاقة منخفض الكربون. ولكن للقيام بذلك، يحتاج القطاع أيضاً إلى أن يكون قادراً على الصمود والتكيُّف مع الظواهر البالغة الشدَّة والتغيرات في البيئة. وسجّل القوى النووية من حيث صمودها وأمانها يجعلها في وضع جيد لمساعدة المجتمع العالمي على التغلب على هذه التحديات.»

الجوائح

ظهر اختبار للتحقُّق من الصمود مؤخراً خلال جائحة كوفيد-١٩ غير المسبوقة.

فمع انتشار فيروس كوفيد-١٩ في كل ركن من أركان العالم في الجزء الأول من عام ٢٠٢٠، انقلبت المجتمعات والاقتصادات رأساً على عقب. واعتُمدت العديد من القيود، بما في ذلك الإغلاق، للسيطرة على انتشار الفيروس.

وقال غريغ رزينتكوفسكي، مدير شعبة أمان المنشآت النووية في الوكالة: «على الرغم من هذه القيود العالمية، استمر تشغيل محطات القوى النووية حول العالم على نحو مأمون. ونفَّذ المشغلون بسلاسة خططاً للطوارئ، بما في ذلك مجموعة متنوعة من تدابير الطوارئ، للحفاظ على العمليات التشغيلية وسلامة الموظفين. واتخذ المشغلون الاحتياطات اللازمة ونفَّذوا التغييرات التشغيلية والتنظيمية بعنايةٍ، مع الاستمرار في ضمان أمان محطات القوى النووية وأمنها.»

وعلى الرغم من عدم قيام أي بلد بالإبلاغ عن الإغلاق القسري لمحطة قوى نووية بسبب تأثيرات كوفيد-١٩، تعيَّن اختصار مدة بعض فترات إيقاف التشغيل المجدولة لأغراض الصيانة أو تأجيلها، بموافقة الجهات الرقابية، كجزء من تدابير الصحة الوقائية التي قلَّصت مؤقّتاً الأعمال غير الحرجة، وفقاً لتقارير المشغلين. وثمة أيضاً مخاوف من أن اضطرابات سلسلة الإمداد المترتبة عن الجائحة، مثل الخدمات المتأخرة والإغلاق المؤقت للمُصنِّعين، قد تتسبب بتأخيرات في البنية الجديدة ومشاريع التجديد الرئيسية.

وقال دوهي هان، مدير شعبة القوى النووية في الوكالة: «يبقى أن نرى مدى تأثير هذه الاضطرابات المرتبطة بالجائحة في الصناعة. وتزوِّدنا المدخَلات التي ما برحنا نتلقَّاها برؤية حاسمة بشأن تأثير الجائحة في الصناعة النووية وستساعد المشغلين والرقابيين على حد سواء على التعلُّم من تجارب بعضهم البعض.»

ولم تُثبت القوى النووية صمودها أثناء الجائحة فحسب، بل أظهرت أيضاً أنها مأمونة ومناسبة تماماً لتلبية احتياجات الطاقة المتغيرة. ومنذ بداية الجائحة،

(الصورة: G. Desipris/Pexels)

زادت حصة القوى النووية في بعض البلدان، ومنها البرازيل والهند وكوريا الجنوبية. وفي المملكة المتحدة، على سبيل المثال، اضطلعت القوى النووية بدور بارز في الحدِّ بقدر كبير من كمية حرق الفحم لغايات توليد الكهرباء؛ وسمح انخفاض الطلب على الكهرباء الناجم عن الجائحة للمملكة المتحدة بإغلاق محطات الفحم بشكل مؤقت لصالح زيادة استخدام القوى النووية.

تغيُّر المناخ

تماماً مثلما كان صمود القوى العاملة في محطة قوى نووية ضروريًّا لمواصلة العمليات التشغيلية دون عوائق أثناء الجائحة الراهنة، فإنَّ صمودها نفسها والتصاميم المتينة لمحطات القوى النووية أمران ضروريان في وجه الظواهر الجوية القاسية، بما في ذلك تلك الناجمة عن تغيُّر المناخ.

ويؤدي تغيُّر المناخ، الناجم عن زيادة متوسط درجة الحرارة العالمية، إلى تغيير شدة وتواتُر الظواهر الجوية، مثل درجات الحرارة القصوى، وفترات هطول الأمطار الغزيرة، والرياح العاتية، والارتفاع الكبير في مستوى سطح البحر. ومن المتوقع أن تستمر هذه التغييرات في الزيادة في الأجل القريب إلى البعيد.

وقال رزينتكوفسكي: «في حين أن ارتفاع درجات حرارة الماء والهواء قد يشكل تحديات لاستمرارية تشغيل المفاعل من خلال الحد من قدرته على التبريد، فإن الفيضانات والرياح العاتية هي التي قد تؤثر في أمان المفاعل بما تشكّله من تهديدات على تصميم المنشأة. وأحد التحديات الماثلة بسبب تغيُّر المناخ هو أنه، مع استمرار تفاقُمه وجعله للظروف أكثر شدَّةً، تصبح الملاحظات السابقة والنماذج التنبؤية أقل موثوقية. وبالتالي، ينبغي لنا أن نبدأ في توقُّع هذه الظواهر وإعادة تقييم المخاطر ذات الصلة بصورة دورية بما يكفل بقاء تدابير الوقاية من الحوادث والتخفيف من حدتها كافية.»

الظواهر الطبيعية

قد تتأثر محطات القوى أيضاً بالظواهر الطبيعية البالغة الشدَّة، مثل الزلازل والأعاصير والنشاط البركاني والعواصف الجليدية والفيضانات. وفي حالات نادرة، يمكن أن تكون هذه الظواهر من الشدَّة بما يكفي لتجاوز القدرة التصميمية لمحطة قوى نووية ما.

ومثال على ذلك هو الحادث الذي وقع في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية في اليابان في ١١ آذار/مارس ٢٠١١، والذي نجم عن تسونامي في أعقاب زلزال مدمّر. وفي حين تضررت محطة القوى النووية بسب ما جرى وما ترتب عنه من انفجارات الهيدروجين، لم تحدث وفيات جراء الحادث.

وفي أعقاب حادث فوكوشيما دايتشي، اتُّخذت خطوات ملموسة لزيادة تعزيز الأمان في محطات القوى النووية القائمة وتحسين تصاميم المحطات الجديدة ضد الظواهر البالغة الشدَّة. وتشمل هذه التدابير، على سبيل المثال، خيارات التبريد البديلة، والمولدات الاحتياطية المؤهلة بيئيًّا، والدروع والأختام للحماية من الرياح، والحواجز وغيرها من السدود لحماية المواقع من الفيضانات.

كما تتناول معايير الأمان الصادرة عن الوكالة جميع أنواع الظواهر الخارجية التي قد تؤثر في موقع نووي أو أمان المنشآت النووية، بما في ذلك تقييم الموقع وتصميمه وتقييم الأمان. وتعكس هذه المعايير الحالة الراهنة للممارسة وتُستخدم لضمان الأمان طوال عمر محطة القوى النووية. وتقدّم الوكالة أيضاً إرشاداتٍ من خلال سلسلة الطاقة النووية الصادرة عنها والمنشورات التقنية الأخرى مثل Adapting the Energy Sector to Climate Change (تكييف قطاع الطاقة مع تغيُّر المناخ).

التقدُّم في علوم وتكنولوجيا المواد يزيد من فوائد الطاقة النظيفة المتأتية من القوى النووية

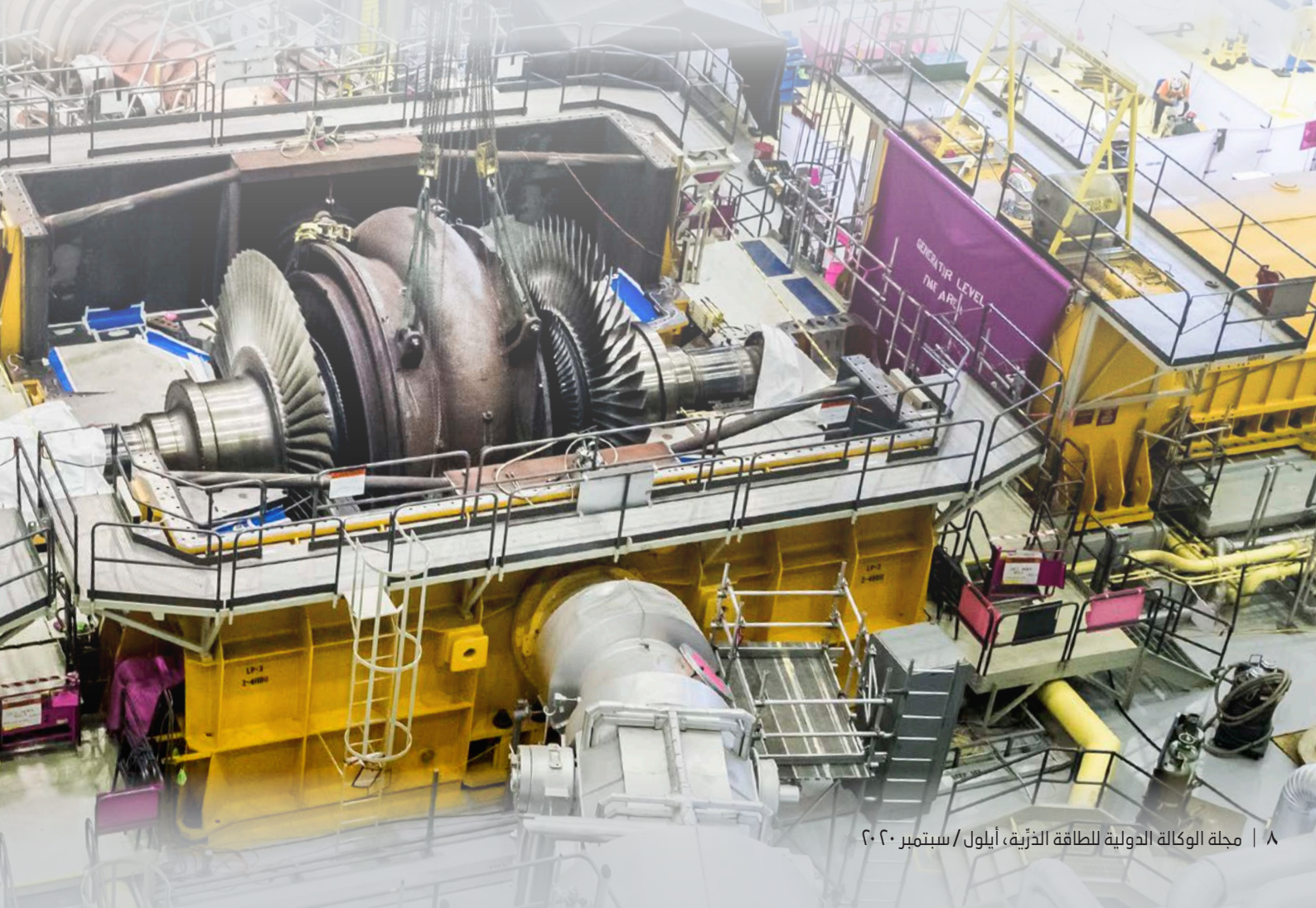
بقلم كارلي ويليس

يساعد التقدم في علوم وتكنولوجيا المواد على تمديد عمر محطات القوى النووية، حتى تتمكن البلدان من الاستمرار في جني فوائد الطاقة النظيفة.

وقال إد برادلي، رئيس فريق تشغيل محطات القوى النووية ودعمها الهندسي في الوكالة: «تكلفة تجديد محطة قوى نووية لغرض التشغيل الطويل الأجل أقلّ بكثير من تكلفة بناء محطة قوى نووية جديدة. ويُعَدُّ التشغيل الطويل الأجل لمحطة قوى نووية فرصة ممتازة لتحسين استدامة التوليد النووي الحالي، فهو أحد أكثر المصادر المجدية من حيث التكلفة للكهرباء منخفضة الكربون. ومع وجود المواد والتكنولوجيا التي نمتلكها اليوم مقارنة بالماضي، بات هذا خياراً جذاباً وتنافسيًّا للعديد من البلدان التي تحاول التخلص من الكربون.»

فقد شُيِّدت مفاعلات القوى النووية في معظمها في البداية على أساس أن يتراوح عمر تشغيلها بين ٣٠ و٤٠ عاماً. وينطوي تمديد عمر محطة القوى النووية على تقييم محطة قائمة وتحديد ما إذا كان بالإمكان الاستمرار بتشغيلها بطريقة مأمونة وآمنة ومجدية من حيث التكلفة بعد تاريخ تقاعدها المفترض. وعند تمديد عمر المحطة، يمكن أن تتواصل العمليات التشغيلية في كثير من الأحيان لمدة ٢٠ إلى ٤٠ عاماً إضافية.

وقال روبرت كريفانيك، مسؤول أمان أول في الوكالة: «نظراً للعمل المكثف والدقيق الذي يُضطلع به في المراحل الأولى من تحديد موقع محطة القوى النووية وتصميمها وتشييدها، بالإضافة إلى إدارة التقادم طوال العمليات التشغيلية، مع بعض الترقيات والتجديدات، يمكن للعديد من محطات القوى النووية أن تستمر في التشغيل المأمون لوقت يتجاوز بكثير الجدول الزمني التشغيلي الأصلي المتوقع.» وأضاف قائلاً إنَّ بعض محطات القوى النووية، مع ذلك، بها مكونات وتصاميم معيَّنة لا يمكن تحديثها بسهولة أو بتكلفة مجدية، ما يعني أنها غير مناسبة للتشغيل الطويل الأجل.



منظر من أعلى لتوربينَيْن في الوحدة ٢ في مشروع تجديد دارلينغتون.

(الصورة من: ر. رادل/شركة أونتاريو لتوليد الكهرباء (Ontario Power Generation))

والتدهور هو أحد التحديات الرئيسية مع تقادُم مفاعل القوى النووية. وأثناء تشغيل محطة قوى نووية، يجب أن تتحمل هياكلها ومكوناتها درجات الحرارة العالية والظروف الشديدة والتشغيل المستمر، التي يمكن تعرضها للبِلى بمرور الوقت.

وقال برادلي: «التقييم واستبدال الأجزاء بصورة روتينية يمكن أن يخفف من التدهور، ولكن بمرور الوقت، قد لا يكون هذا هو أفضل نهج اقتصاديًّا، خاصة في حالة التشغيل الطويل الأجل.»

تقنيات ومواد جديدة

تطوير تقنيات جديدة مثل اللحام بأشعة الليزر واللحام بحفز الاحتكاك، ومواد مثل الفولاذ المزدوج المقاوم للصدأ التي توفر مقاومة أفضل للتآكل، يعني أن بعض المكونات باتت الآن قادرة على الاستمرار بطريقة مأمونة لفترة أطول، ما يجعلها أكثر جدوى من الناحية الاقتصادية لمحطة القوى النووية لمواصلة تشغيلها.

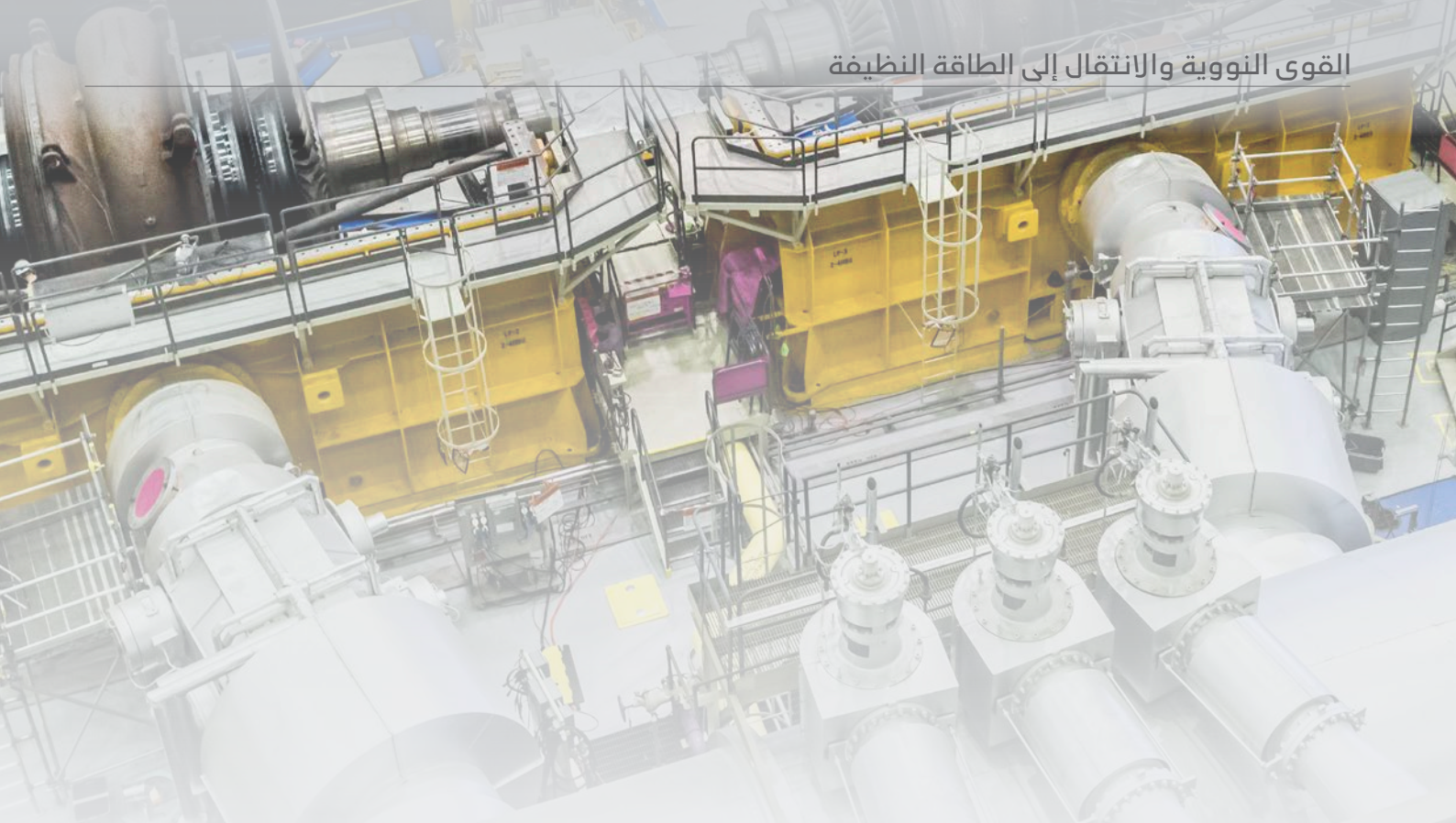
ويعمل الباحثون أيضاً على تطوير فهم أفضل لكيفية تأثير ظروف التشغيل المختلفة داخل محطة القوى النووية في مكوناتها وهياكلها. فعلى سبيل المثال، في حالة مفاعلات كاندو في أونتاريو بكندا، والتي دخلت الخدمة بين عامَي ١٩٧٠ و١٩٩٣، مكَّنت أبحاث علم المواد وفحص المكونات بعض المكونات من التشغيل بطريقة مأمونة لمدة ١٠ سنوات إضافية بعد الثلاثين عاماً المتوقعة. وسيؤدي برنامج التجديد بتكلفة ١٨,٥ مليار دولار أمريكي إلى تمديد التشغيل لدورة ثانية تصل إلى ٤٠ عاماً إضافية. وهذا يعني أن بعض المفاعلات التي شُيِّدت في الثمانينيات سيتواصل تشغيلها بطريقة مأمونة حتى ستينيات القرن العشرين.

وقال فرِد ديرماركر، الرئيس والمسؤول التنفيذي الرئيسي في مجموعة مالكي مفاعل كاندو، وهي مجموعة صناعية مِن مشغلي القوى النووية في سبعة بلدان تستخدم مفاعلات كاندو: «شُيِّدت مفاعلاتنا في وقت لم يكن لدينا تاريخ طويل مع محطات القوى النووية، وفي الأصل كان العمر المتوقع لتصميمنا حسب تقديراتٍ متحفظةٍ ٣٠ عاماً. ونحن إذ نشغِّل هذه الأجهزة، ونتعرَّف عليها، ونفهم كيف تتقادَم، يصبح بوسعنا أن ندرك الفائدة الهائلة المتأتية من استمرار تشغيلها في الأجل الطويل.»

”ونحن نشغّل هذه الأجهزة، ونتعرَّف عليها، ونفهم كيف تتقادَم، يصبح بوسعنا أن ندرك الفائدة الهائلة المتأتية من استمرار تشغيلها في الأجل الطويل.“

— فرد ديرماركر، الرئيس والمسؤول التنفيذي الرئيسي، مجموعة مالكي مفاعل كاندو

وأوضح ديرماركر كيف يتم استخدام أحدث ما توصَّل إليه علم المواد للتنبؤ بخصائص المواد لسنوات عديدة نحو المستقبل: «تستخدم مفاعلات كاندو مكونات تُسمَّى أنابيب الضغط لتبريد الوقود. وفي بيئة المفاعل، تتغير خصائص أنابيب الضغط بمرور الوقت بسبب ارتفاع تدفق النيوترونات، وارتفاع درجة الحرارة



والضغط، والتآكل من مياه التبريد. وللتنبؤ بالتغيرات الناتجة عن التآكل، على سبيل المثال، نبدأ بأنابيب الضغط المشعَّعة التي أزيلت من مفاعلات عاملة. ومن ثم نطبِّق تقنيات لتسريع التآكل بطريقة اصطناعية، ثم نجري اختباراتٍ مكثفةً لتحديد خصائص المواد لهذه المكونات المتقادمة بطريقة اصطناعية. وبهذه الطريقة، نستطيع توضيح إلى أي مدى يمكننا أن نستخدم هذه المكونات. وكوننا متقدمين بخطوة مختبريًّا هو ما يجعلنا نمنح أنفسنا الثقة في أن هذه المكونات سيتواصل تشغيلها بطريقة مأمونة وموثوقة حتى تاريخ التجديد المقرَّر لها.»

البيانات الضخمة والقوى النووية

يستكشف الباحثون الآن أيضاً كيفية استخدام البيانات الضخمة لتقييم وتحديد جدوى التشغيل الطويل الأجل لمحطات القوى النووية. والبيانات الضخمة هو مصطلح يُستخدم لوصف تحليل كميات ضخمة وبالغة التعقيد من البيانات التي تُجمع بسرعة شديدة وغالباً في الوقت الفعلي لتحديد الاتجاهات والأنماط وللتنبؤ بالحصائل والسلوكيات.

وبالنسبة للتشغيل الطويل الأجل لمحطة قوى نووية ما، تُجْمَع ملايين نقاط البيانات من تشغيل تلك المحطة، بما في ذلك سجلات التشغيل، وقياسات المفاعل، والأحداث المبلغ عنها. ومن خلال التنقيب في هذه البيانات باستخدام برمجيات البيانات الضخمة الخاصة بالمجال النووي، يمكن للباحثين التنبؤ، باستخدام أدوات المحاكاة، كيف يمكن أن تتقادَم نُظم المحطة وهياكلها ومكوناتها في ظل ظروف مختلفة، وتحديد ما قد يحتاج إلى استبدال، ومتى على وجه التقريب يجب أن يحدث هذا الاستبدال.

وقال ديرماركر: «البيانات الضخمة ليست المستقبل فحسب؛ فهي تحدث في يومنا هذا، ويزداد زخمها. وجارٍ تحديث محطات القوى لدينا، وتجهيزها بمزيد من الأدوات المحمولة التي يمكن تركيبها بسهولة لجمع البيانات والتنبؤ بالمشكلات في وقت مبكر، ما يمكننا من اتخاذ إجراءات تصحيحية مبكرة. نحن نشهد فوائد حقيقية: فأداء محطاتنا اليوم أفضل من أي وقت عبر تاريخها.»

ويمثل تقديم المساعدة للبلدان للسَّير في التشغيل الطويل الأجل لمحطات القوى النووية جزءاً من عمل الوكالة. فهي تُعِدُّ معاييرَ أمان معترفاً بها دوليًّا، وتقدِّم إرشادات من خلال المنشورات التقنية، ومنها المنشور المعنون Ageing Management for Nuclear Power Plants: International Generic Ageing Lessons Learned (إدارة عملية تقادم محطات القوى النووية: الدروس الدولية العامة المستفادة في مجال التقادم)، وتتقاسم الخبرات من خلال بعثات استعراض النظراء الخاصة بجوانب أمان التشغيل الطويل الأجل. كما تنسق الوكالة عملَ فريق عامل للمشغلين والرقابيين وصناع القرار من جميع أنحاء العالم لمناقشة خبراتهم وتبادُل الممارسات الجيدة.

وقال غاري جي يونغ، مدير خدمات تجديد التراخيص في شركة Entergy Nuclear ورئيس الفريق العامل التابع للوكالة والمعنيّ بالتشغيل الطويل الأجل لمحطات القوى النووية: «يتمثل التحدي الأساسي في التشغيل الطويل الأجل في الحفاظ على أعلى معايير الأمان والقيام بذلك بطريقة مجدية اقتصاديًّا. ويستكشف فريقنا العامل باستمرار طُرق ضمان الكفاءة والأمان وطُرق نشر النتائج وأوجه التقدُّم المنجزة في الميدان بحيث تحقق جهود البحث والتطوير أكبر فائدة ممكنة للجميع.»

المفاعلات المتقدمة تساعد على تمهيد الطريق للقوى النووية لتحقيق الأهداف المناخية

بقلم مات فيشر

تساعد المفاعلات المتقدمة على جعل القوى النووية خياراً للطاقة منخفضة الكربون يَسْهُل الوصول إليه ويتسم بالاستدامة والتكلفة الميسورة. ومن خلال سِمات الأمان المحسَّنة والتصاميم الموضوعة لتحقيق المستوى الأمثل من فعالية التكلفة، من المتوقع أن تفتح هذه المفاعلات الباب أمام اقتصاديات أفضل، وعمليات ترخيص مبسَّطة، وقبول عام أوسع، ما يساعد البلدان في النهاية على التفكير في القوى النووية لتحقيق أهدافها المناخية.

وقال ستيفانو مونتي، رئيس قسم تطوير تكنولوجيا القوى النووية في الوكالة: «صُمِّمت المفاعلات المتقدمة بحيث يتواصل تشغيلها لمدة ستة عقود أو أكثر ومن المتوقع أن تبسِّط عمليات الترخيص، وتفي المفاعلات المتقدمة بغرض الحدِّ من تأثير تغيُّر المناخ، وهو الأمر الذي يستلزم تنفيذاً سريعاً واستدامة طويلة الأجل. ومشاركة الجمهور وقبول الجمهور أمران بالغا الأهمية لمستقبل القوى النووية، ومع استمرار تحسين تصاميم المفاعلات من منظور الأمان ومنظور الاقتصاد على حد سواء، فإنَّ تصور المجتمع العالمي لهذا المصدر الحيوي للكهرباء منخفضة الكربون سيكون كذلك أيضاً.»

وتمثل المفاعلات المتقدمة وما يرتبط بها من وقود ودورات وقود أحدث ما توصلت إليه تكنولوجيا القوى النووية. وتعتمد تصاميمها على أكثر من ستة عقود من البحث والتطوير والدروس المستفادة في مجال القوى النووية.

وتعمل الوكالة مع البلدان لتحديد التحديات المرتبطة بتطوير مفاعلات متقدمة والتصدي لتلك التحديات، مثل الابتكارات التكنولوجية ومعايير التصميم المتصلة بالأمان. ويشمل هذا الدعم مشاريع البحوث التعاونية وأنشطة مثل حلقات العمل المنعقدة مع خبراء دوليين، إلى جانب التعاون مع المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات، وهو مسعى تعاوني دولي يضمُّ الآن ١٣ بلداً. ويضطلع المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات، منذ تأسيسه في عام ٢٠٠٠، بأنشطة البحث والتطوير لدعم الجيل التالي من نظم الطاقة النووية.

وتشمل بعض السمات المميزة للمفاعلات المتقدمة الكفاءةَ الحرارية المعزَّزة، وتقليل النفايات إلى أدنى حد ممكن، والاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية والقدرة على معالجة كل من إنتاج الكهرباء والتطبيقات غير الكهربائية للقوى النووية، مثل إنتاج الهيدروجين (انظر الصفحة ١٨). وتوسِّع هذه السمات نطاقَ الإمكانات التشغيلية وتحسِّن إلى حد بعيد اقتصاديات محطات القوى النووية.

تصاميم متطورة

هناك فئتان رئيسيتان من المفاعلات المتقدمة: المفاعلات «التطوُّرية» والمفاعلات «الابتكارية». وتمدُّ المفاعلات التطوُّرية جسراً متيناً وفوريًّا يوصِل إلى إنتاج الطاقة منخفضة الكربون، بينما ستساعد المفاعلات الابتكارية في المستقبل البلدانَ بشكل أكبر في مسارها نحو الطاقة منخفضة الكربون مع التقليل بشكل كبير من النفايات القوية الإشعاع وتوسيع التطبيقات غير الكهربائية للقوى النووية.

وفي الوقت الحاضر، هناك ١٥ مفاعلاً تطوُّريًّا قيد التشغيل، ويلوح في الأفق تشييد المزيد منها. ويقدّم كلٌّ من المفاعل من طراز APR1400 في كوريا الجنوبية والمفاعل من طراز VVER-1200 في روسيا تصاميم لمفاعلات الماء المضغوط بكفاءة معزَّزة وبسماتِ أمان متقدِّمة. وبالإضافة إلى المفاعل من طراز APR1400 قيد النشر في كوريا الجنوبية، ثمة مفاعل آخر من هذا النوع قيد الإنشاء حاليًّا في الإمارات العربية المتحدة، ومن المقرَّر بدء تشغيل أول وحدة منه في عام ٢٠٢٠.

وحاليًّا ثمة ثلاث وحدات للمفاعل من طراز VVER-1200 قيد التشغيل في روسيا وثمة وحدات أخرى قيد الإنشاء في بنغلاديش وبيلاروس وروسيا وتركيا، ومن المتوقع أن يتم تشغيل وحدات أخرى في بيلاروس في أواخر عام ٢٠٢٠. وأما المفاعل الأوروبي العامل بالماء المضغوط وذو التصميم الفرنسي، فمنه وحدتان قيد التشغيل في الصين ووحدات أخرى قيد التشييد في فنلندا وفرنسا والمملكة المتحدة، وهو مصمَّم لتبسيط تشغيل محطات القوى النووية مع تعزيز القدرة التوليدية.

وهناك مفاعل الصين من طراز HPR1000 بقدرة ١٠٩٠ ميغاواط (كهربائي)، المعروف أيضاً باسم Hualong One، وهو قيد التشييد في مواقع على امتداد الصين ومن المخطَّط تصديره إلى بلدان أخرى، منها الأرجنتين والمملكة المتحدة، مع توقُّع بدء تشغيل الوحدات الأولى في أواخر عام ٢٠٢٠ . وهو يشتمل على نظم أمان متطورة، نشطة وغير نشطة، مثل قضبان التحكم التي تُقحمها الجاذبية وحدها في حالة فقدان

القوى، وهيكل احتواء جديد يمكنه تحمُّل ضغط أعلى، ما يقلل من فرص التسرب في حالة وقوع حادث نووي.

وهناك المفاعل AP1000، وهو مفاعل ماء مضغوط بقدرة ١١٥٧ ميغاواط (كهربائي)، وهو قيد التشغيل في محطتين للقوى النووية في الصين. ويشتمل تصميم هذا المفاعل البسيط نسبيًّا على عدد أقلّ من الصمامات ويتميز بسماتٍ تستفيد من القوى الطبيعية، مثل الغاز المضغوط، وتدفُّق الجاذبية، وتدفُّق الدوران الطبيعي والحَمْل الحراري، والتي لها وظائف متعلقة بالأمان. وثمة وحدات إضافية من المفاعل AP1000 قيد التشييد في الولايات المتحدة، وثمة خطط لبدء توليد الكهرباء بحلول العام ٢٠٢٢.

الابتكار من أجل الاستدامة

لا تزال المفاعلات الابتكارية قيد التطوير، ومن المحتمل أن يبدأ التشييد على بعض التصاميم حوالي عام ٢٠٣٠. وتشمل سمات التصميم المشتركة لها درجات حرارة التشغيل المرتفعة الضرورية لكلٍّ من إنتاج الكهرباء والتطبيقات غير الكهربائية الأخرى، مثل إنتاج الهيدروجين، بالإضافة إلى سمات أمان متأصلة قوية للغاية، واستدامة معزَّزة من خلال تقليل النفايات إلى أدنى حدّ ممكن والاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية والأحكام الخاصة لتحسين الحماية المادية ومقاومة الانتشار.

ومن المتوقع أيضاً أن تتضمن بعض التصاميم أنواعاً جديدة من المبرِّدات، مثل المعدن السائل أو الملح المصهور، ما يسمح بتشغيل المفاعلات في ظروف الضغط المحيط وعند درجات حرارة أعلى بكثير بما يحقق كفاءة أكبر. وقد تشتغل بعض التصاميم أيضاً مع دورة وقود نووي مغلقة، بهدف تقليل حجم النفايات المشعة وسُميتها وعمرها.

ويقدِّم المفاعل السريع المبرَّد بالصوديوم من طراز BN-800 لمحة عن مستقبل المفاعلات الابتكارية، فهو يُعدُّ أحد ثلاثة مفاعلات سريعة قيد التشغيل التجاري حاليًّا، جنباً إلى جنب مع نسخة سابقة من المفاعل تُعرف باسم BN-600، والمفاعل التجريبي الصيني السريع. ويعمل المفاعل من طراز BN-800، وهو قيد التشغيل في روسيا منذ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٦، بوقود أكسيد مختلط، وهو مزيج من البلوتونيوم واليورانيوم. ومن المتوقع أن يعمل العديد من تصاميم المفاعلات الابتكارية باستخدام مبدأ فيزيائي مماثل، ما يدفع حدود تكنولوجيا القوى النووية إلى المستوى التالي. تعرَّف على المزيد عن المفاعلات السريعة في الصفحة ١٤.

وقال دوهي هان، مدير شعبة القوى النووية في الوكالة: «في حين أن الجيل التالي من مفاعلات القوى النووية قد يكون على بُعد سنوات معدودة من دخول التشغيل التجاري، فإن التقدُّم المحرَز باستمرار في مبادرات البحث والتطوير مشجع للغاية. وفي خضمِّ سعينا الدؤوب نحو مستقبل تنتشر به الطاقة النظيفة، من الواضح أن القوى النووية ستضطلع بدور بارز في الوصول بنا إلى حيث نريد.»

محطة تايشان للقوى النووية في الصين تضمُّ مفاعلات أوروبية عاملة بالماء المضغوط.

(الصورة من: شركة Taishan Nuclear Power (Joint Venture Co. Ltd

وقود جديد لطاقة أكبر ونفايات أقلّ

يعمل الباحثون على طرق جديدة لتزويد المفاعلات النووية بالوقود. والهدف هو الحد من تأثير النفايات النووية إلى أدنى حدٍّ ممكن وتقليل تكاليف التشغيل والصيانة، مع تحسين أداء المحطة النووية وزيادة تعزيز الأمان النووي.

ويتمثل أحد النُّهج في إعادة التدوير المتعددة لبقايا اليورانيوم والبلوتونيوم من الوقود المستهلك — أي الوقود النووي بعد تشعيعه. ويمكن لهذا الوقود المعاد تدويره تشغيل الجيل التالي من المفاعلات النووية واستخدام الموارد بشكل أكثر كفاءة مع تقليل حجم النفايات النووية وسُمِّيتها الإشعاعية. ومع إعادة التدوير المتعددة، من الممكن للمفاعلات أن تعمل فقط تقريباً بالوقود المستهلك المعاد تدويره، بدلاً من موارد اليورانيوم الطبيعي المستخرج حديثاً.

والوقود المتحمل للحوادث هو نوع جديد واعد من الوقود يتم تطويره لتصاميم المفاعلات الحالية والمستقبلية. فباستخدام مواد جديدة ومحسَّنة للوقود والتغليف (الأنبوب الخارجي المحيط بالوقود)، يمكن للوقود المتحمل للحوادث أن يتحمَّل بشكل أفضل التغيرات في درجات الحرارة والظروف القاسية في المفاعل. وهذا يعني، على سبيل المثال، أنه يمكن أن يتحمَّل فقدان التبريد النشط في قلب المفاعل لفترة أطول بكثير من الوقود المستخدم حاليًّا.

وبالنسبة للمفاعلات المتقدمة، جارٍ تطوير أنواع جديدة من الوقود لتستمر لفترة أطول في قلب المفاعل، ما يعني أنها تنتج طاقة أكثر ونفايات أقلّ. وهي تستخدم مزيجاً من اليورانيوم والبلوتونيوم بكثافة ذرية أعلى في مركبات خزفية مختلفة، وكذلك في المعادن والسبائك، لتحسين أداء المفاعل. وهذا يجعل الوقود أكثر ملاءمة لتكاثر، أو إنتاج، وقود جديد في المفاعلات السريعة أثناء التشغيل. ونظراً لأن أنواع المواد المستخدمة في هذا الوقود هي أيضاً أكثر كفاءة في نقل الحرارة، تقلُّ درجة الحرارة الإجمالية للوقود وتصبح أكثر اتساقاً، ما يعزز الأمان.

تقليص النفايات النووية وتعزيز الكفاءة لمستقبل يتسم بالطاقة المستدامة

بقلم جيفري دونوفان

يمكن للمفاعلات النيوترونية السريعة أن تعزز كفاءة الطاقة النووية وتقلِّص البصمة البيئية للنفايات المشعة. وتتطلع عدَّة بلدان إلى هذه المفاعلات الابتكارية للمساعدة على ضمان مستقبل يتسم بالطاقة المستدامة.

وتستخدم المفاعلات السريعة نيوترونات لا يبطئها وسيط، مثل الماء، للحفاظ على التفاعل الانشطاري المتسلسل. وبينما يُستخدم جزء يسير فقط من اليورانيوم الطبيعي كوقود في المفاعلات الحرارية الحالية، يمكن للمفاعلات السريعة استخدام كل اليورانيوم الموجود في الوقود تقريباً لاستخراج ما يصل إلى ٧٠ ضعفاً من الطاقة، ما يقلل الحاجة إلى موارد جديدة من اليورانيوم.

وتشتغل المفاعلات السريعة أيضاً فيما يعرف بدورة الوقود النووي المغلقة. ودورة الوقود المغلقة هي عندما يُعاد تدوير الوقود المستهلك — الوقود النووي بعدَ تشعيعه — وإعادة استخدامه. ويمكن أن يكون نظام الطاقة هذا مستداماً لآلاف السنين. ويختلف هذا عن دورة الوقود المفتوحة، حيث يُستخدم الوقود النووي مرةً واحدةً ويُعلن عن الوقود المستهلك بصفته نفايات يُراد التخلص النهائي منها في باطن الأرض في المستودعات الجيولوجية.

ويمكن للمفاعلات السريعة أيضاً أن تنتج أو «تولِّد» وقوداً أكثر مما تستهلك وأن تحرق بعض النفايات الموجودة في الوقود المستهلك، مثل الأكتينات الثانوية، وهو ما لا تستطيع المفاعلات الحرارية القيام به بكفاءة. وحرقها يقلل بشكل كبير من حجم النفايات المشعة الأطول عمراً ومن سُمِّيتها وعُمرها.

وقال أمبارو إسبارتيرو غونزاليز، الرئيس التقني لدورة الوقود النووي في الوكالة: «البصمة البيئية لأحد مصادر الطاقة، مثل نفاياته، هي مسألة كبيرة بالنسبة للعديد من البلدان لأنها تبحث عن طرق مستدامة لتوفير الطاقة النظيفة. وتمثل القدرة على تقليص هذه البصمة، مع الاستفادة أيضاً من الوقود النووي، جانباً كبيراً من الجاذبية المتزايدة للمفاعلات السريعة للعديد من البلدان، وما يدفع عجلة التطوير التقني لتلك المفاعلات.»

العودة من جديد

كانت المفاعلات السريعة من بين التكنولوجيات الأولى التي نُشرت خلال الأيام الأولى للقوى النووية، عندما كان يُنظر إلى موارد اليورانيوم على أنها نادرة. ولكن نظراً لأن التحديات التقنية وتحديات المواد قد أعاقت التنمية، ومع تحديد رواسب يورانيوم جديدة، أصبحت مفاعلات الماء الخفيف في نهاية المطاف معيار الصناعة. واليوم ثمة خمسة مفاعلات سريعة قيد التشغيل: مفاعلان عاملان (BN-600 وBN-800) ومفاعل اختبار واحد (BOR-60) في روسيا، والمفاعل التجريبي السريع التوليد في الهند، والمفاعل التجريبي السريع في الصين.

والآن تدفع المفاهيم والتكنولوجيات وأوجه التقدُّم الجديدة في مجال بحوث المواد، جنباً إلى جنب مع رؤية طويلة المدى للقوى النووية كجزء من الطاقة المستدامة، نحو إحياء خيار المفاعلات السريعة. وعلى وجه العموم، تشمل أوجه التقدُّم الترقيات الابتكارية، مثل سمات الأمان المعزَّزة والتصاميم المحسَّنة والأصغر حجماً التي تلبي مسألة الاقتصاديات. وتتضمن التصاميم الجديدة

أيضاً مبرِّدات بديلة، مثل الملح المصهور، والرصاص، والرصاص-البزموث، والغاز.

وقال فلاديمير كريفينتسيف، رئيس فريق تطوير تكنولوجيا المفاعلات السريعة في الوكالة: «كانت المفاعلات السريعة قيد التطوير لعقود من الزمن في المقام الأول كمولدات للوقود، وفي السنوات الأخيرة أيضاً كمفاعلات نمطية صغيرة تعمل عمل البطاريات طويلة العمر، بل وحتى كمولدات نووية صغيرة. ويمكن للمفاعلات السريعة أن تجعل القوى النووية مصدراً مستداماً للطاقة لآلاف السنين، وأن توفر تحسينات كبيرة على صعيد التصرف في النفايات النووية.»

المفاعلات السريعة قيد التنفيذ

هناك مفاعلات سريعة قيد التطوير حول العالم. وتضطلع الوكالة بدور مركزي في دعم تطويرها ونشرها وكذلك في تبادل المعلومات والخبرات، بما في ذلك من خلال المشاريع البحثية المنسقة، والمنشورات التقنية، والأفرقة العاملة التقنية والمؤتمرات الدولية.

وتعتزم روسيا، التي تشغِّل بالفعل مفاعلين سريعين مبرَّدين بالصوديوم، نشر مفاعل سريع تجاري من الجيل التالي بقدرة ١٢٠٠ ميغاواط (كهربائي) بعد عام ٢٠٣٥ كجزء من نظام مكتفٍ ذاتيًّا جنباً إلى جنب مع مفاعلات الماء الخفيف. وبمساعدة المفاعلات السريعة، ستُعاد معالجة الوقود المستهلك من المفاعلات الحرارية ومن ثم يُعاد استخدامه، بحيث تكون بصمة النفايات النهائية أصغر بمقدار يصل إلى عشر مرات من بصمة الوقود النووي العادي.

وتعكف الهند على إدخال مفاعل نموذجي سريع التوليد بقدرة ٥٠٠ ميغاواط (كهربائي) مبرَّد بالصوديوم في الخدمة، وهو أول مفاعل سريع من بين العديد من المفاعلات الصناعية السريعة التي يخطط لها هذا البلد. وتعكف الصين، التي تشغِّل مفاعلاً سريعاً تجريبيًّا بقدرة ٢٠ ميغاواط (كهربائي)، على بناء مفاعل سريع إيضاحي وتعتزم في نهاية المطاف نشر مفاعلات سريعة تجارية.

وفي أمريكا الشمالية، جارٍ تطوير العديد من تصاميم المفاعلات السريعة التي تستخدم مبرِّدات مختلفة، بما في ذلك الملح المصهور. وتعتزم الولايات المتحدة بناء مفاعل لأغراض الاختبار لتيسير استمرار تطوير التكنولوجيا بالإضافة إلى مفاعل سريع إيضاحي صغير بقدرة ١,٥ ميغاواط (كهربائي)، والذي يثبت أيضاً جدوى نوع جديد من الوقود المعاد معالجته والمناسب للاستخدام في المفاعلات الابتكارية المستقبلية.

ومنذ خمسينيات القرن العشرين، أُثبتت الجدوى التكنولوجية للمفاعلات السريعة بشكل وافٍ. وقامت فرنسا بتشغيل المفاعل Superphenix بقدرة ١٢٠٠ ميغاواط (كهربائي) تجاريًّا لمدة ١٢ عاماً حتى عام ١٩٩٨ وتواصِل جهود البحث والتطوير على هذه التكنولوجيا، كما تفعل كوريا الجنوبية وأيضاً اليابان، التي تخطط لإعادة تشغيل مفاعل سريع تجريبي.

ومع ذلك، فإن النشر الصناعي الأوسع نطاقاً للمفاعلات السريعة سيعتمد إلى حد كبير على تحسين الجوانب الاقتصادية.

وقال ستيفانو مونتي، رئيس قسم تطوير تكنولوجيا القوى النووية في الوكالة: «في عالم محدود الموارد حيث يُتوقع أن يكون سعر اليورانيوم أعلى بكثير مما هو عليه الآن مع إيلاء اهتمام أكبر بالتقليل من النفايات إلى أبعد حد ممكن، قد تصبح المفاعلات السريعة الابتكارية والمدمجة أكثر تنافسية من الناحية الاقتصادية مقارنة بالمفاعلات الحرارية التقليدية.» وأضاف قائلاً: «مع قيام العديد من البلدان بتطوير المفاعلات السريعة بهمَّةٍ، نتوقع منها تقديم مساهمة مهمة لنظم الطاقة النظيفة في العقود القادمة.»

مفاعل BN-800 في محطة Beloyarsk للقوى النووية في روسيا.

(الصورة من: هيئة روزإينيرغوأتوم «ROSENERGOATOM»)

مفاعلات صغيرة، إمكانات كبيرة

بقلم إيرينا تشاتزيس

مولِّد أرورا عبارة عن تصميم متقدم لمحطة انشطارية.
(الصورة من: شركة أوكلو)

تستدعي عبارة «القوى النووية» إلى الذهن صوراً لمحطات القوى النووية الضخمة بأبراج تبريدها الشاهقة، لكن ما إنْ بدأت المفاعلات النمطية الصغيرة (SMR) والمفاعلات الصِّغَرَية (MRs) تتحول إلى حقيقة واقعة، حتى أخذت تتغير ملامح القوى النووية ونطاق وصولها.

وقال فريدريك ريتسما، رئيس فريق تكنولوجيا المفاعلات النمطية الصغيرة في الوكالة: «توفر المفاعلات النمطية الصغيرة و المفاعلات الصغرية طاقة منخفضة الكربون شأنها شأن المفاعلات النووية الكبيرة، لكنها أصغر حجماً وأكثر مرونة وأقل تكلفة، لذا يمكن استخدامها في شبكات قوى أصغر، ويمكن وضعها في أماكن يصعب الوصول إليها حيث لا يكون من العملي بناء المفاعلات الكبيرة. وصمم العديد منها لتقديم خدمات غير كهربائية بالإضافة إلى إنتاج الكهرباء، مما يضيف إلى فوائدها من حيث توفير الطاقة النظيفة وفعالية التكلفة.»

ومن المتوقع أن تولد المفاعلات النمطية الصغيرة ما يصل إلى ٣٠٠ ميغاواط (كهربائي) من القوى وأن تولِّد المفاعلات الصغرية ما يصل إلى ١٠ ميغاواط كهربائي، بحسب تصميم كل منها. بالإضافة إلى سمتها النمطي، تتمثل بعض الميزات الشائعة الأخرى في النُّظم السلبية والمدمجة التي تعزز الأمان، والقدرة على توليد الطاقة بكفاءة ومرونة لتلبية الطلبات المتقلبة، وفي تصميماتها الأكثر تبسيطاً، التي تجعل بناءها أسرع وأقل تعقيداً مقارنة بالمفاعلات الحالية. وتتمتع أيضاً بميزات أكثر، ترتبط بكونها منتجة في المصنع، الأمر الذي يمكن أن يقلل من وقت البناء في الموقع، ويجعل عملية إنتاج ونشر نسخ إضافية منها أيسر وأكثر فعالية من حيث التكلفة.

وقال رايتسما: «تمثل المفاعلات النووية الكبيرة مشاريع ضخمة، وتتطلب استثمارات كبيرة على المدى الطويل، وهو أمر مجدٍ ويلائم بعض الحالات. لكن بالنسبة للحالات الأخرى، فإن المفاعلات النمطية الصغيرة والمفاعلات الصغرية يمكن أن تشكل نهجاً أكثر واقعية وأسرع تنفيذا، وقد يكون أحياناً السبيل الوحيد للحصول على قوى نووية فعالة من حيث التكلفة.» وأردف قائلاً: «وعندما تضيف إلى ذلك سياسات التمويل والسوق الفعالة، فسوف ينفتح مجال القوى النووية لمجموعة أوسع من المستخدمين، ويغدو خياراً أكثر تنافسية وجاذبية في سوق الطاقة.» تعرَّف على المزيد حول سياسات التمويل والسوق في مجال القوى النووية في الصفحة ٢٤.

مفاعل نمطي صغير أولا

رُبِط أول مفاعل نمطي صغيرة متقدم في العالم بالشبكة في عام ٢٠١٩ وبدأ التشغيل التجاري في أيار/مايو ٢٠٢٠.

وتقع محطة أكاديميك لومونوسوف العائمة للقوى النووية قبالة ساحل القطب الشمالي في روسيا، وبها وحدتا مفاعل من طراز KLT40S بقدرة ٣٥ ميغاواط (كهربائي) تُولدان مجتمعتين ما يكفي لتزويد مدينة يبلغ عدد سكانها حوالي ١٠٠٠٠٠ نسمة بالطاقة. كما تبلغ الطاقة الحرارية للمصنع ٥٠ غيغاكالوري في الساعة، وتستخدم لتحلية مياه البحر، وتنتج ما يصل إلى ٢٤٠ ألف متر مكعب من مياه الشرب العذبة يوميًّا.

وقال أنطون موسكفين، نائب الرئيس للتسويق وتطوير الأعمال في روساتوم أوفرسيز: «بمساعدة المفاعلات النووية الصغيرة، يمكن للقطب الشمالي أن يحقق صافي انبعاثات صفرية في وقت مبكر من عام ٢٠٤٠. وستحل محطة أكاديميك لومونوسوف محل محطة تحرق الفحم البني. بالإضافة إلى مساهمة المحطة في القضاء على الانبعاثات الضارة في النظام البيئي في القطب

الشمالي، فإنها ستكفل ألا يُترك سكان المنطقة بدون إضاءة ولا تدفئة في أقصى الشمال المتجمد».

ومن المفاعلات النمطية الصغيرة الأخرى التي بلغت أكثر مراحل البناء تقدماً هناك المفاعل CAREM-25 بقدرة ٣٠ ميغاواط (كهربائي) في الأرجنتين، والمفاعل المفاعل المرتفع الحرارة النمطي الحصوي القاع (HTR-PM)، البالغة قدرته ٢١٠ ميغاواط (كهربائي) في الصين. كما بلغ العديد منها مدىً بعيداً في العملية الرقابية، بما في ذلك المفاعل النمطي الصغير التابع لشركة نوسكيل باور (NuScale Power) في الولايات المتحدة، ومفاعلات نمطية صغيرة عديدة في كندا. وفي المجموع، هناك أكثر من ٧٠ من تصاميم المفاعلات النمطية الصغيرة حول العالم فيمختلف مراحل التطوير.

وللوكالة العديد من الأنشطة المتعلقة بالمفاعلات النمطية الصغيرة لدعم البحث والتطوير في جميع أنحاء العالم. وتقوم بتيسير التعاون في تصميم المفاعلات النمطية الصغيرة وتطويرها ونشرها، وتعمل بمثابة مركز لتبادل المعرفة والخبرة الرقابية بشأن المفاعلات النمطية الصغيرة.

محطات توليد صِغَرية

بينما تستند تصميمات المفاعلات النمطية الصغيرة بشكل عام على النظم المعروفة في المفاعلات، فإنَّ المفاعلات الصغرية هي من قبيل الأشياء التي تتوقع أن تراها في فيلم من أفلام الخيال العلمي. فهي من شدة صغرها يمكن بناء المحطة بأكملها في المصنع ونقلها بشاحنة إلى موقع التركيب. وهي، باستخدامها نظام الأمان الخامل ذاتي التنظيم، لا تتطلب سوى قوة عاملة صغيرة لتشغيلها. وبما أنها تعمل بشكل مستقل عن الشبكة الكهربائية، فيمكن تحريكها واستخدامها في مواقع مختلفة. ويمكن للمحطة منها أن تولِّد ما يصل إلى ١٠ ميغاواط من الطاقة — أي حوالي ١٠ سنوات أو أكثر من الكهرباء لأكثر من ٥٠٠٠ منزل، على مدى ٢٤ ساعة في اليوم، و٧ أيام في الأسبوع.

ويمكن أن تعمل هذه المفاعلات المندمجة والمتحركة كمصادر احتياطي للإمداد بالكهرباء في أماكن مثل المستشفيات، أو تحل محل مولدات الكهرباء التي غالباً ما تعمل بالديزل، وتشكل المصدر الوحيد للكهرباء للمجتمعات النائية، وكذلك للمواقع الصناعية والتعدينية.

وتقوم شركات خاصة ومجموعات بحثية حاليًّا بتطوير أكثر من اثني عشر من المفاعلات الصغرية في جميع أنحاء العالم.

وأحد المفاعلات الصغرية التي أوشكت على النشر هو مفاعل أورورا ١,٥ ميغاواط (كهربائي)، الذي يعمل بطيف النيوترونات السريعة وتقوم بتطويره شركة أوكلو، وهي شركة ناشئة مقرها الولايات المتحدة. ويخضع أوروا الآن للعملية الرقابية، وهو مصمم للعمل والتنظيم الذاتي بشكل أساسي باستخدام الظواهر الفيزيائية الطبيعية، ويعني ذلك أنه يحتوي على عدد قليل جدًّا من الأجزاء المتحركة، مما يزيد من الأمان. ومن المتوقع أيضاً أن يكون قادراً على العمل على مدى عقود من الزمن من دون أن يحتاج إلى إعادة التزود بالوقود، مستخدماً وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز.

وقالت كارولين كوكران، رئيسة العمليات في شركة أوكلو: «يمكن استخدام التفاعل الانشطاري في العديد من الأشكال: الصغيرة والكبيرة، وباستخدام أنواع مختلفة من الوقود، وطرق مختلفة للتبريد، وهو يُمكِّن من العديد من الطرق المختلفة لنماذج الأعمال والتفاعل المجتمعي والملكية. وبالاستخدام الجديد للانشطار وتنفيذ محطات أصغر حجماً وموزَّعة يمكن تحقيق التنمية البشرية بأدنى قدر من الموارد.»

وتشمل المفاعلات الصغرية الأخرى في المراحل المتقدمة مفاعلًا بقوة ٤ ميغاواط (كهربائي) طورته شركة يو-باتري، وهي شركة تقودها يورنكو ومقرها في المملكة المتحدة، ومن المتوقع أن يبدأ التشغيل في عام ٢٠٢٨.

انتشار واسع النطاق

على الرغم من أوجه التقدم، لا تزال المفاعلات النمطية الصغيرة و المفاعلات الصغرية بعيدة عن الانتشار على نطاق واسع.

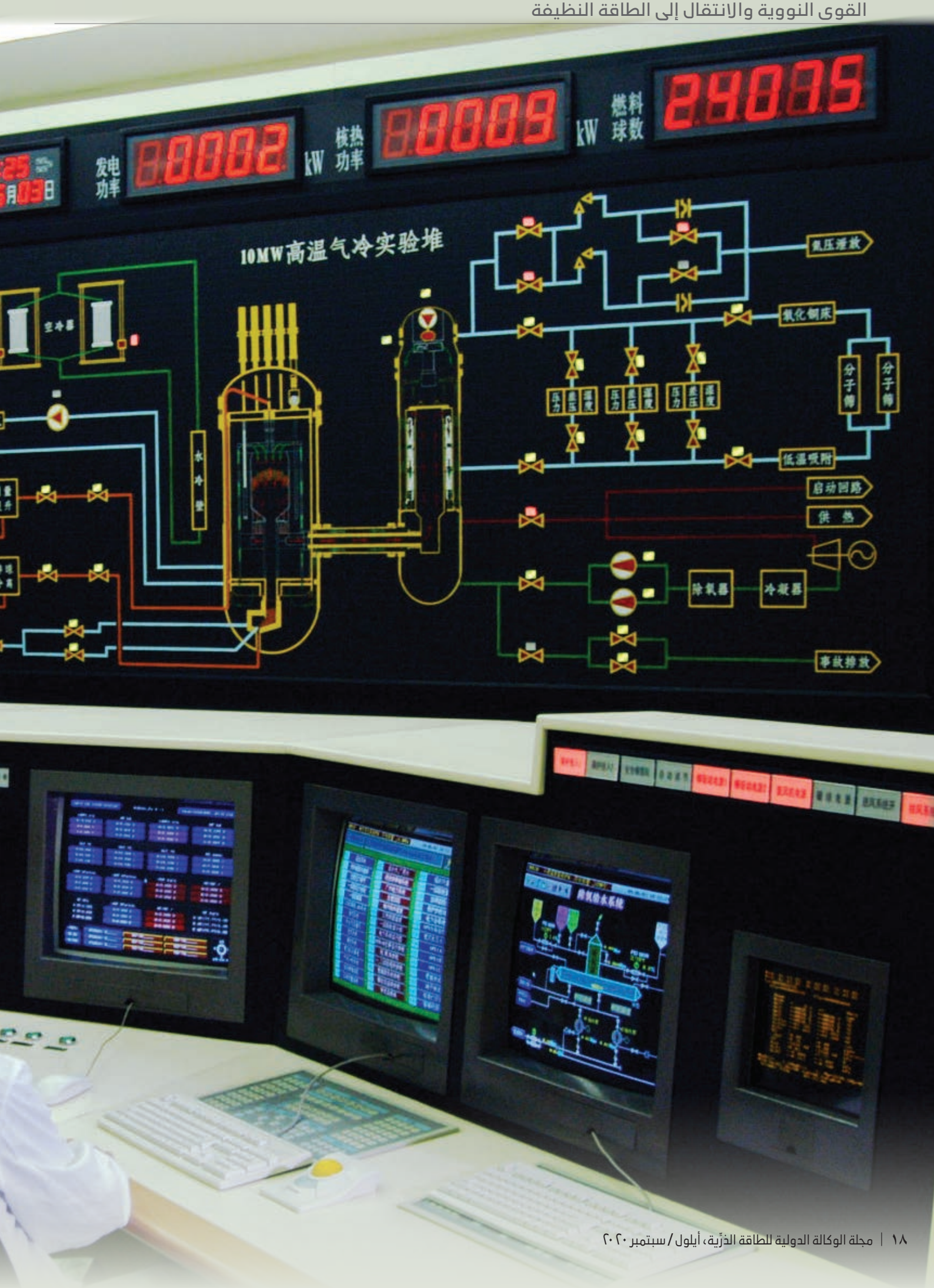
وقالت ريتسما: «إنها حالة شبيهة بحالة الدجاجة والبيضة وأيهما أسبق. فمن ناحية أخرى، يتطلب الاستثمار لتطوير المفاعلات النمطية الصغيرة ونشرها سوقاً مضمونة وطلباً على المُنتَج، ولكن، من ناحية أخرى، لا يمكن للمرء أن يؤمّن السوق بدون إيجاد تمويل للتطوير والإثبات، أو حتى لإجراء الأبحاث اللازمة، أو بناء مرافق الاختبار التي قد تكون مطلوبة للترخيص. ويتردد المستثمرون المحتملون في الاستثمار في التكنولوجيا الجديدة إنْ كانوا غير متأكدين من مخاطر السوق.»

ويتمثل أحد العوائق الرئيسية الأخرى التي تحول دون النشر في تطبيق اللوائح على مجموعة واسعة من تصاميم المفاعلات النمطية الصغيرة والمفاعلات الصغرية. ويعني وجود مجموعة متنوعة من النظم والهياكل والمكونات أنَّ النهج الرقابية القياسية، التي وُضِعت لمحطات القوى النووية التقليدية، يجب إعادة تقييمها وتعديلها في نهاية الأمر من أجل ضمان مستوى مناسب من الأمان. تعرف على المزيد حول العملية الرقابية للمفاعلات النمطية الصغيرة في الصفحة ٢٦.

وقالت ريتسما: «في هذه المرحلة، تخضع العديد من المفاعلات النمطية الصغيرة المتقدمة والأولى من نوعها للعملية الرقابية، وعند الفراغ من ذلك، نتوقع بشكل عام ما لا يقل عن أربع إلى خمس سنوات أخرى للانتهاء من بنائها والشروع في تشغيلها. وبما أنَّ المفاعلات النمطية الصغيرة و المفاعلات الصغرية قد أصبحت سائدة، فيمكننا أن نتوقع أن نرى هذا الجدول الزمني يتقلص، طالما أن عمليات النشر باتت أيسر وأسرع وأكثر فعالية من حيث التكلفة.»

”بالاستخدام الجديد للانشطار وتنفيذ محطات أصغر حجماً وموزّعة يمكن تحقيق التنمية البشرية بأدنى قدر من الموارد.“

— كارولين كوكران، الرئيسة التنفيذية للعمليات، أوكلو، الولايات المتحدة


发电功率
kW
核热功率
kW
燃料球数
10MW高温气冷实验堆
氦压泄放
氧化铜床
分子筛
分子筛
低温吸附
启动回路
供 热
除氧器
冷凝器
事故排放
水冷壁
空冷器

أكثر من مجرد مصدرٍ للقوى

إنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة النووية من أجل مستقبلٍ منخفض الكربون

بقلم مات فيشر

الهيدروجين هو العنصر الكيميائي الأكثر وفرة في الكون، بيد أنَّ إنتاجه في شكل نقي، لاستخدامه في مجموعة من العمليات الصناعية، يتطلب طاقة مكثفة، تفضي إلى انبعاثات كربونية كبيرة.

وقال إبراهيم خميس، كبير المهندسين النوويين في الوكالة: «يُلبَّى ما يقرب من ٩٥٪ من الطلب الحالي على الهيدروجين من خلال استخدام عمليات إنتاج كثيفة الكربون مثل إعادة تشكيل غاز الميثان بالبخار؛ إنَّ هذه الطريقة غير مستدامة في ضوء التحول العالمي إلى الطاقة النظيفة، لا سيما بالنظر إلى أن الطلب مرتفع بالفعل ولا يفتأ ينمو.» وقد تضاعف الطلب على الهيدروجين أكثر من ثلاث مرات منذ عام ١٩٧٥، وفقاً لوكالة الطاقة الدولية.

ويستخدم الهيدروجين في العمليات الصناعية، من إنتاج الوقود الاصطناعي والبتروكيماويات إلى تصنيع أشباه الموصلات وتشغيل المركبات الكهربائية التي تعمل بخلايا الوقود. ومن أجل تقليل التأثير البيئي للإنتاج السنوي لأكثر من ٧٠ مليون طن من الهيدروجين، تتطلع بعض البلدان إلى القوى النووية.

وقال خميس: «على سبيل المثال، إنْ حُوِّلَ ٤٪ فقط من إنتاج الهيدروجين الحالي إلى الكهرباء المولَّدة نوويًّا، فسوف يؤدي ذلك إلى تقليل ما يصل إلى ٦٠ مليون طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون كل عام. وإنْ أُنتُج كل الهيدروجين باستخدام الطاقة النووية، فإننا نكون قد تخلصنا من أكثر من ٥٠٠ مليون طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سنويًّا.»

غرفة التحكم في مفاعل HTR-10 بجامعة تسنغوا في بيجين.

(الصورة: بي بالفيك/الوكالة)

”يوفر إنتاج الهيدروجين من خلال الطاقة النووية فرصة لخفض انبعاثات الكربون بشكل كبير مع تعزيز ربحية صناعة القوى النووية.“

— أنطون موسكفين، نائب الرئيس لشؤون التسويق وتطوير الأعمال، شركة روساتوم أوفرسيز، روسيا

ويمكن أن تقترن مفاعلات القوى النووية بمحطة إنتاج الهيدروجين لإنتاج كلٍّ من الطاقة والهيدروجين بكفاءة في إطار نظام للتوليد المشترك. ولإنتاج الهيدروجين، يُزوَّد نظام التوليد المشترك بمكونات إمَّا لعمليات التحليل الكهربائي أو للعمليات الكيميائية الحرارية. والتحليل الكهربائي هو عملية تحفيز جزيئات الماء على الانقسام باستخدام تيار كهربائي مباشر ينتج كلاً من الهيدروجين والأكسجين. ويعمل التحليل الكهربائي للماء في درجات حرارة منخفضة نسبيًّا تتراوح من ٨٠ درجة مئوية إلى ١٢٠ درجة مئوية، بينما يعمل التحليل الكهربائي بالبخار في درجات حرارة أعلى بكثير، وبالتالي يكون أكثر كفاءة. ويمكن أن يكون التحليل الكهربائي بالبخار مثاليًّا للإدماج في محطات القوى النووية المتقدمة المرتفعة الحرارة، حيث تتطلب العملية مدخول حرارة عند حوالي ٧٠٠ درجة مئوية إلى ٩٥٠ درجة مئوية.

ويمكن للعمليات الكيميائية الحرارية أن تنتج الهيدروجين عن طريق إحداث تفاعلات كيميائية مع مركّبات معينة عند درجات حرارة مرتفعة لتقسيم جزيئات الماء. ويمكن أيضاً استخدام المفاعلات النووية المتقدمة القادرة على العمل في درجات الحرارة المرتفعة جدًّا لإنتاج الحرارة لهذه العمليات.

وقال خميس: «إن إنتاج الهيدروجين باستخدام دورة الكبريت واليود على وجه الخصوص ينطوي على إمكانات كبيرة يمكن زيادتها من أجل التشغيل المستدام طويل الأمد. وإن تطوير هذه الطريقة باستخدام تصميم مفاعل الاختبارات الهندسية العالي الحرارة الياباني، وتصميمي المفاعل المرتفع الحرارة-النمطي الحصوي القاع ٦٠٠ (HTR-PM 600) والمفاعل المرتفع الحرارة-١٠ (HTR-10) الصينيين واعدٌ للغاية، وتواصل المبادرات البحثية الأخرى إحراز تقدم ممتاز.»

وتقوم العديد من البلدان الآن بتنفيذ أو استكشاف إنتاج الهيدروجين باستخدام محطات القوى النووية للمساعدة في إزالة الكربون من قطاعات الطاقة والصناعة والنقل. وهي أيضاً وسيلة للاستفادة بشكل أكبر من محطات القوى النووية، ما يمكن أن يساعد في زيادة ربحيتها.

وتقدم الوكالة الدعم للبلدان الراغبة في إنتاج الهيدروجين من خلال مبادرات تشمل المشاريع البحثية المنسقة والاجتماعات التقنية. كما وضعت برنامج التقييم الاقتصادي للهيدروجين، وهو أداة لتقييم اقتصاديات إنتاج الهيدروجين على نطاق واسع عبر الطاقة النووية. وكذلك أطلقت الوكالة دورة تعلُّمية إلكترونية حول إنتاج الهيدروجين من خلال التوليد المشترك للطاقة النووية في أوائل عام ٢٠٢٠.

وقال خميس: «ينطوي إنتاج الهيدروجين باستخدام محطات القوى النووية على إمكانات كبيرة للمساهمة في جهود إزالة الكربون، ولكن هناك عدداً من التحديات التي يجب معالجتها أولاً، مثل تحديد الجدوى الاقتصادية لدمج إنتاج الهيدروجين في استراتيجية طاقة أوسع. ويتطلب إنتاج الهيدروجين من خلال عمليات التكسير الحراري الكيميائي لجزيئات الماء مفاعلات مبتكرة تعمل في درجات حرارة عالية جدًّا، ولا يزال أمام نشر هذه المفاعلات بضع سنوات. وبالمثل، لا تزال عملية التفاعل بين الكبريت واليود تتطلب المزيد من سنوات البحث والتطوير للوصول إلى مرحلة النضج وبلوغ مرحلة التوسع التجاري.» وأضاف أن ترخيص أنظمة الطاقة النووية التي تتضمن تطبيقات غير كهربائية يمكن أن يمثل تحدياً أيضاً.

دراسة الجدوى واختبارها

تدرس مبادرة «H2@Scale»، التي أطلقتها وزارة الطاقة الأمريكية في أوائل عام ٢٠٢٠، جدوى تطوير أنظمة الطاقة النووية التي تنتج الهيدروجين جنباً إلى جنب مع الكهرباء منخفضة الكربون. ومن بين عشرات المشاريع التي مُوِّلت من خلال هذه المبادرة، ستقوم ثلاث شركات أمريكية لخدمات الكهرباء التجارية بتنفيذ مشروع واحد بالتعاون مع مختبر إيداهو الوطني التابع لوزارة الطاقة. وسيتضمن المشروع تقييمات تقنية واقتصادية، بالإضافة إلى عروض تجريبية لإنتاج الهيدروجين في العديد من محطات القوى النووية في جميع أنحاء الولايات المتحدة.

ومن بين شركات الخدمات المشاركة في المشروع، توجد شركة إكسيلون (Exelon)، وهي أكبر منتج للطاقة منخفضة الكربون في الولايات المتحدة، وتتخذ الآن خطوات لتركيب محلل كهربائي بغشاء بوليمر بطاقة واحد ميغاواط، مع ما يرتبط به من بنية أساسية، في إحدى محطات القوى النووية التابعة لها. وسوف يستخدم النظام، الذي يمكن أن يدخل في الخدمة بحلول عام ٢٠٢٣، لإثبات الجدوى الاقتصادية للهيدروجين المنتج إلكتروليتيًّا لسدِّ الاحتياجات في الموقع للأنظمة المتعلقة بتوليد الكهرباء بالإضافة إلى فرص التوسع المستقبلية.

وقال سكوت غرينلي، النائب الأول لرئيس الخدمات للهندسية والتقنية في شركة إكسيلون للتوليد الكهربائي: «سيكون هذا المشروع مفيداً في مساعدتنا في تحديد آفاق إنتاج الهيدروجين نوويًّا، بما في ذلك كيف يمكن للاعتبارات المالية أن تؤثر على أي إنتاج طويل الأجل وواسع النطاق للهيدروجين. ومن شأن إدخال إنتاج الهيدروجين بالقوى النووية أن يبلغ شأواً بعيداً نحو تعزيز استدامة القوى النووية في وقت نخطط فيه لمستقبل منخفض الكربون.»

ليس فقط إنتاج الهيدروجين

تتمتع القوى النووية بمجموعة متنوعة من التطبيقات غير الكهربائية بالإضافة إلى إنتاج الهيدروجين. ومن هذه التطبيقات التدفئة في الأحياء السكنية للمنازل والشركات، والتدفئة والتبريد للأغراض الصناعية وتحلية مياه البحر لزيادة توافر مياه الشرب.

وتتزايد أيضاً احتمالات اعتماد هذه التطبيقات، فقد صُمّمت أنظمة جديدة للطاقة النووية بغية تحسين الاستخدامات الكهربائية وغير الكهربائية بالإضافة إلى التكامل مع المصادر المتجددة. وطُوِّرت كذلك تصميمات جديدة للمفاعلات، مثل المفاعلات النمطية الصغيرة، لجعل التشغيل أكثر مرونة، مما يسمح بتعديل القوى الناتجة وفقاً للطلب. ومن شأن ذلك أن يجعلها مناسبة بشكل خاص لمثل هذه التطبيقات إذ إنّ الطاقة المستخدمة عادة لإنتاج الكهرباء يمكن إعادة توجيهها للتطبيقات غير الكهربائية.

ستنتج محطة ديفيس بيس للقوى النووية في ولاية أوهايو الهيدروجين باستخدام الطاقة النووية.

(الصورة: بي.رايبورن/ محطة ديفيس بيس للقوى النووية)

وتجري التقييمات على قدم وساق أيضاً في المملكة المتحدة. إذ تقوم مبادرة إنرجي سيستمز كاتابلت «Energy Systems Catapult» غير الربحية في المملكة المتحدة بنمذجة نظام الطاقة بالكامل، وتقوم الآن بإدراج خيار التقنيات النووية المتقدمة لإنتاج الهيدروجين. ويتيح لنا ذلك إلقاء نظرة على مزيج الطاقة الأقل تكلفة الذي يمكن أن ينتج عنه صفرٌ صافٍ من انبعاثات غازات الدفيئة بحلول عام ٢٠٥٠، ويشير الناتج إلى أن الطاقة النووية المتقدمة يمكن أن تؤدي دوراً في إنتاج الهيدروجين إلى جانب التقنيات الأخرى.

وقال فيليب روجرز، كبير المستشارين الإستراتيجيين والاقتصاديين في المجلس الاستشاري للبحوث والابتكار النووي في المملكة المتحدة: «بينما لا يزال يتعين تحديد الدور الحقيقي للهيدروجين في المملكة المتحدة، فإن التحليل الذي أجرته لجنة تغير المناخ ووزارة الأعمال والطاقة والاستراتيجية الصناعية يشير إلى أننا قد نحتاج إلى نشر حوالي ٢٧٠ تيراواط/ساعة من الهيدروجين المنخفض الكربون بحلول عام ٢٠٥٠، على الرغم من أن تلك الكمية قد تزيد بشكل كبير اعتماداً على أنواع التطبيقات عبر قطاعات التدفئة والكهرباء والنقل التي يستخدم الهيدروجين في نهاية الأمر من أجلها.»

برامج جديدة

في عام ٢٠١٩، أطلقت روسيا أول مبادرة لها لإنتاج الهيدروجين نوويًّا. وسيستخدم البرنامج، الذي تديره شركة الطاقة الذرية الحكومية «روساتوم»، التحليل الكهربائي النووي بالإضافة إلى التوليد الكيميائي الحراري باستخدام مفاعلات مرتفعة الحرارة مبردة بالغاز. والهدف هو إنتاج كميات كبيرة من الهيدروجين كل عام وتحويل الإنتاج بعيداً عن طرق الإنتاج كثيفة الكربون مثل إعادة تشكيل الميثان بالبخار.

وسيخصص الهيدروجين المنتج للاستخدام المحلي والتصدير. ويجري تقييم جدوى تصدير بعض الهيدروجين إلى اليابان.

وقال أنطون موسكفين، نائب الرئيس لشؤون التسويق وتطوير الأعمال في روساتوم أوفرسيز: «مع استمرار نمو الطلب على الهيدروجين، مدفوعاً جزئيًّا بالتوسع في الصناعات مثل أشغال المعادن، فإن إنتاج الهيدروجين من خلال الطاقة النووية يوفر فرصة لخفض انبعاثات الكربون بشكل كبير مع تعزيز ربحية صناعة القوى النووية.»

ذكية، ومستقرة، وموثوقة

الشبكات الذكية والقوى النووية في نظم الطاقة منخفضة الكربون

بقلم سنيد هارفي

يمكن أن تساعد القوى النووية، مقرونة بشبكات الطاقة الذكية — الشبكات ذات الاتجاهين التي تربط المنتجين بالمستهلكين وتستخدم تقنيات جديدة للقيام بذلك — البلدانَ على الانتقال إلى مصادر الكهرباء منخفضة الكربون وضمان إمدادات طاقة موثوقة ومستقرة ومستدامة.

وتعمل العديد من البلدان على تنويع مزيجها من مصادر الطاقة منخفضة الكربون لمساعدتها على إزالة الكربون من اقتصاداتها وتحقيق أهدافها المناخية. وقد أدى ذلك إلى تحول عالمي نحو مصادر الطاقة المتجددة؛ بيد أن هذه المصادر لن يكون بوسعها وحدها أن تلبِّي الطلب بشكل كامل وموثوق.

وتعتبر مصادر الطاقة المتجددة منخفضة الكربون صديقة للبيئة، إلا أن التحكم فيها، وتلبيتها الطلب على الطاقة، لا يتيسران على الدوام، وذلك بسبب الطبيعة المتقطعة للطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وعدم وجود سعات هائلة لتخزين الطاقة منها. وقال هنري بيلير، رئيس قسم التخطيط والدراسات الاقتصادية في الوكالة» «يعني ذلك أن شبكة القوى تتطلب غالباً مصادر طاقة تكميلية. ومع وجود المزيد من مصادر الطاقة المتنوعة التي تغذي الشبكات، يجب أن تصبح شبكات القوى أكثر مرونة وقابلية للتكيف من أجل ضمان إمدادات طاقة موثوقة ومرنة.»

ويمكن أن تولد القوى النووية طاقة منخفضة الكربون على مدار ٢٤ ساعة في اليوم، ٧ أيام في الأسبوع. وهي توفر أمن الطاقة الذي تحتاجه البلدان للانتقال إلى نظم الطاقة منخفضة الكربون. ومن خلال التشغيل المرن، يمكن لمحطات القوى النووية أن تكمل التوليد المتغير للطاقة المستمدة من مصادر الطاقة المتجددة، وبفضل القصور الذاتي الذي تتمتع به توربيناتها البخارية الكبيرة، يمكن لهذه المحطات أيضاً أن تساعد في استقرار الشبكات وضمان إمدادات طاقة نظيفة وموثوقة.

وتقليديًّا، اعتمدت شبكات القوى على محطات الوقود الأحفوري، مثل الفحم والغاز الطبيعي، التي يُتحكَّم في إيقافها وتشغيلها لتلبية الطلب على الطاقة عندما يتجاوز الإمدادات.

ومن ناحية أخرى، يمكن لشبكات القوى الذكية أن تقبل العديد من مصادر الطاقة المختلفة، والتبديل بينها ديناميكيًّا، على عكس شبكات الطاقة التقليدية، التي تكون أقل مرونة. وعلى الرغم من وجود الشبكات الذكية منذ بعض الوقت الآن، فإنَّ التقدم التكنولوجي قد ارتقى بها إلى المستوى التالي. ويمكن للشبكات الذكية استخدام التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء — نظام مكون من حواسيب ومن أجهزة متصلة عبر الإنترنت يمكنها مشاركة البيانات بشكل ديناميكي والعمل عليها — لجمع المعلومات وزيادة كفاءة التشغيل وأتمتة العمليات.

وعلى سبيل المثال، يمكن لشبكة القوى الذكية استخدام التنبؤات المنشأة بواسطة الذكاء الاصطناعي لتوقع يوم غائم ورياح، والانتقال ديناميكيًّا من الإنتاج المعتمد على الطاقة الشمسية والرياح إلى البدائل، مثل القوى النووية، من أجل ضمان استمرار الإمداد. ويمكن للذكاء الاصطناعي أيضاً التنبؤ بالمكان الذي قد تضربه العاصفة والمدة التي قد تستغرقها، ثم تُرسل إشارة إلى الشبكة لتقوم بزيادة الإنتاج وتنويعه في حالة حدوث تلف في خطوط النقل.

وفي حال تضرر أحد خطوط النقل أو حدث انقطاع في التيار الكهربائي، يمكن لأجهزة الاستشعار والأجهزة الخاصة بنظام إنترنت الأشياء بالشبكة إبلاغ مشغلي الشبكة بالحاجة إلى أعمال الإصلاح وإعادة توجيه الكهرباء أو الإتيان بها من مصدر مختلف.

أما في شبكات الكهرباء التقليدية، فلا يمكن تقييم تأثير العاصفة إلا في أعقابها. ولذلك فإن العيش في منطقة تقع فيما وراء خط كهرباء أصابه عطب يعني غالباً عدم وجود كهرباء حتى يتم إصلاح هذا الخط. وبما تملكه الشبكات الذكية من قدرة على إيجاد حلول بديلة لإنتاج الكهرباء وتوصيلها، فإنها تغدو أكثر مرونة، ويمكن أن تقلل من حالات انقطاع التيار الكهربائي للمستهلكين.

ففي شركة كهرباء فرنسا، التي تعد أحد أكبر منتجي الكهرباء في العالم، يجري تطوير بعض تقنيات الشبكات الذكية المبتكرة حاليًّا وتتضمن استخدام 5G — الجيل الجديد من تقنية الإنترنت عبر الهاتف المحمول — بغرض تعزيز إنترنت الأشياء وتطوير شبكات هجين أكثر كفاءة لتشغيل التيارات الكهربائية. كما يجري إدخال تقنيات تكنولوجيا البيانات المتسلسلة، التي توفر طريقة آمنة للغاية لتتبع المعاملات ومعالجتها، على التصديق على مكان الطاقة النظيفة التي تُنتج وكميتها. وتستخدم شركة كهرباء فرنسا طريقة تسمى «التوأمة الرقمية» لإنشاء بيئات افتراضية للتنبؤ باحتياجات الصيانة في الشبكة وتقليل نفقات الإصلاح.

وقال برنارد سالا، مدير البحث والتطوير في شركة كهرباء فرنسا: «يركز نشاط البحث والتطوير لدينا في مجال الشبكات الذكية على مجموعة من التحديات. ونأخذ في الاعتبار أيضاً توقعات المجتمع بشأن بنية أساسية كهربائية أكثر مراعاة للبيئة والاستعداد للمخاطر، مثل تأثير تغير المناخ، والمخاطر السيبرانية، وضمان قدرة الشبكات على مواجهة الأزمات المحتملة». «وبالطبع، ستخضع أي طريقة تتاح حديثاً من خلال زيادة قوة الحوسبة للاختبار وفق النماذج الحالية لتعزيز دقتها.»

وقال ديان زاهرادكا، كبير مسؤولي الأمان النووي في الوكالة، إن تقييم تأثير هذه التطورات التكنولوجية جزء أساسي من العملية. وأضاف قائلاً: «ولا تعتبر التكنولوجيا الجديدة مفيدة ما لم تكن آمنة. وتماشياً مع معايير الأمان الصادرة عن الوكالة، تخضع أي تعديلات في التصميم، بما في ذلك استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، لتقييم أمان صارم من أجل قياس أي تأثير يمكن أن تحدثه هذه التغييرات والتحديثات على محطات القوى النووية وكيفية تفاعلها مع شبكة القوى. وتنظم الوكالة اجتماعات تقنية لمناقشة الآثار المحتملة وتبادل الخبرات في استخدام هذه التقنيات في محطات القوى النووية.»

القصور الذاتي للشبكة والقوى النووية

تسمح شبكات القوى الذكية بتوصيل المزيد من مصادر الطاقة واستخدامها بشكل ديناميكي. بيد أن ذلك قد فتح الباب أيضاً لتقلبات أكبر في التردد الكهربائي وبالتالي المزيد من عدم الاستقرار.

وتعمل شبكة القوى بتردد معين، وهي مصممة للبقاء ضمن نطاق معين، من أجل ضمان إمداد ثابت للطاقة. وتحدث التغييرات في التردد باستمرار حين يقوم الناس بتشغيل الأجهزة الكهربائية وإيقافها. وعادةً ما يمكن امتصاص هذه التغييرات بواسطة الأجزاء المتحركة المولدة للكهرباء في مصدر الطاقة، مثل التوربينات الدوارة في محطة القوى النووية أو محطة الوقود الأحفوري.

ويمكن لهذه الكتلة الدوارة الثقيلة أن تدور بشكل أسرع أو أبطأ قليلاً لتعمل على امتصاص الصدمات، مما يساعد على موازنة تقلبات التردد والحماية ضد التغيرات السريعة. وتسمى الطريقة التي تتحرك بها هذه الأجزاء وتأثيرها على الطاقة في الشبكة القصور الذاتي الشبكي.

غير أنَّ مصادر الطاقة المتجددة، مثل الطاقة الشمسية، لا تحتوي على هذه الأجزاء المتحركة. أما في مصادر الطاقة المتجددة الأخرى التي تحتوي على مثل هذه الأجزاء المتحركة، مثل توربينات الرياح، فإنَّ هذه الأجزاء المتحركة ليست متصلة مباشرة بالشبكة، ولكنها تعمل من خلال محوِّل تردد، ما يعني أنها لا تمتلك القصور الذاتي الشبكي الضروري.

وقال شانون براغ سيتون، المدير التقني الوطني لأنظمة الطاقة المتكاملة في مختبر إيداهو الوطني في الولايات المتحدة: «بدون القصور الذاتي، لن تتمتع الشبكة إلا بقدرة محدودة على امتصاص التقلبات، وبالتالي يمكن أن تصبح غير مستقرة. كما تصبح عرضة بشكل خاص للتغيرات الكبيرة، مثل الانقطاع المفاجئ لمصدر الطاقة، أو حدوث تغيير كبير في صافي الحمل، أو وقوع حدث نقل شديد. ويمكن أن تتسبب هذه التغييرات في زيادة مفاجئة في الحمل، أو نقص في الكهرباء، واحتمال حدوث انقطاع تام للتيار الكهربائي في نهاية الأمر. ويمكن أن تساعد القوى النووية في مواجهة هذا التحدي وتوفير قدر من الاستقرار المطلوب في الشبكة.»

وتدعم الوكالة البلدان في تقييم موثوقية الشبكة الكهربائية ومرونتها، بما في ذلك استخدام القوى النووية، وذلك من خلال المنشورات وحلقات العمل والاجتماعات التقنية. كما تربط الوكالة الصناعة النووية وأصحاب المصلحة في نظام الشبكات، مما يمكِّنهم من تبادل المعلومات، وعرض الممارسات الجيدة، ومناقشة التحديات والفرص المشتركة. وتساعد هذه الأنشطة البلدان على رسم استراتيجياتها في مجال الطاقة تحقيقاً لأمن الطاقة واستدامتها.

الاستثمار في الانتقال إلى الطاقة النظيفة

تمويل القوى النووية ودعمها اقتصاديًّا

بقلم شانت كريكوريان

تُعَدُّ سياسات التمويل والسوق المبتكرة وسيلة لجعل الاستثمار في محطات القوى النووية بالبنية الجديدة أكثر جاذبية، مما قد يساعد في تمهيد الطريق لمستقبل للطاقة النظيفة.

ويعترف العديد من البلدان على نطاق واسع بالقوى النووية — التي لا تنتج انبعاثات غازات الدفيئة أثناء التشغيل — لدورها المهم في الحد من انبعاثات غازات الدفيئة والتخفيف من تغير المناخ. ومن شأن التدفق المرن والمستمر لكهرباء القوى النووية أن يعوِّض الإمدادات عندما لا تتوفر مصادر الطاقة الأخرى، مثل مصادر الطاقة المتجددة المتغيرة مثل الرياح أو الطاقة الشمسية.

وعلى الرغم من هذه الفوائد، فإن الجانب الاقتصادي هو أحد أكبر التحديات التي تواجه اعتماد القوى النووية. ولئن كانت اقتصاديات القوى النووية التي ينتجها أسطول القوى النووية الحالي لا تزال قادرة على المنافسة في العديد من الأسواق، فإن تمويل محطة جديدة ينطوي على نفقات رأسمالية عالية مقدَّماً ويتطلب استثمارات طويلة الأجل.

وقال وي هوانغ، مدير شعبة التخطيط والمعلومات وإدارة المعارف في الوكالة: «إن سوق الطاقة يتغير، وقد أصبح التنبؤ به أكثر صعوبة في العديد من البلدان لأنها تنوي تنويع مصادر الطاقة لديها من أجل التخلص من الكربون، مما أدى إلى مزيد من التقلبات في أسعار الطاقة وإمداداتها. وتساهم هذه السوق الأكثر تقلباً في عدم اليقين بشأن الالتزام بتقنيات طويلة الأمد، وتتسم بكثافة رأس المال، وذات تكاليف أولية كبيرة، مثل القوى النووية.»

وقالت ماريا جي كورسنيك، الرئيسة والمديرة التنفيذية لمعهد الطاقة النووية، إن الأساليب المبتكرة في سياسات التمويل والسوق في الصناعة النووية يمكن أن تساعد في تخفيف عدم اليقين والحد من تقلبات السوق. ويساعد التقدم التكنولوجي أيضاً في جعل القوى النووية خياراً أكثر فعالية من حيث التكلفة (انظر الصفحة ١٤).

وقال كورنيك: «لكي تحقق القوى النووية كامل إمكاناتها في مستقبل للطاقة منخفضة الكربون، يجب أن تحصل محطات القوى النووية على تعويض مناسب نظير خصائص الطاقة النظيفة وغيرها من الفوائد التي لا تُقيَّم بشكل متسق عبر أسواق الكهرباء. ويتعين على صانعي السياسات اتباع نُهُجٍ تقوم على الإجماع المتزايد على أن إدراج الطاقة النووية هو الطريقة الأكثر فعالية من حيث التكلفة للانتقال السريع إلى نظام الكهرباء النظيفة. ويعني ذلك إعطاء الأولوية للحفاظ على أصول الطاقة النووية الحالية وإنشاء مسار لبناء مرافق طاقة نووية متطورة.»

ووفقاً للوكالة الدولية للطاقة المتجددة، يقدر إجمالي الدعم العالمي المباشر لقطاع الطاقة بما لا يقل عن ٦٣٤ مليار دولار أمريكي في عام ٢٠١٧. وقد هيمنت على هذا الدعم إلى حد كبير الإعانات المقدمة للوقود الأحفوري وتقنيات توليد القوى المتجددة.

تشجيع الاستثمارات النووية

ظلت اتفاقات شراء الكهرباء على مدى عقود تستخدم لمجموعة من التقنيات، لكنها تكتسب الآن مكانة في القوى النووية باعتبارها النهج الأكثر استخداماً لتقليص عدم اليقين وتأمين إيرادات طويلة الأجل

من مشروع محطة جديدة للقوى النووية. وتُبرم هذه الاتفاقات بين منفذي المشروع ومشتري محطة القوى النووية، بهدف الاتفاق على سعر لكمية معينة من الكهرباء لفترة زمنية محددة، وعادة ما تكون طويلة، بما يغطي في الغالب التكلفة الكاملة للمشروع بالإضافة إلى هامش. كما تُستكمل اتفاقيات شراء الكهرباء عموماً بأشكال أخرى من الدعم من خلال الحكومات والبائعين، بالإضافة إلى خطط مبتكرة لتمويل القوى النووية، مثل «عقود دفع الفرق» و«البناء والتملك والتشغيل»، المصممة لتقليل المخاطر وجذب الاستثمارات.

فعلى سبيل المثال، استخدم مشروع محطة أكويو للقوى النووية في تركيا اتفاقات شراء الكهرباء وكذلك التمويل وضمانات القروض من الحكومة والبائعين .

وقال أنطون ديدوسينكو، نائب رئيس مجلس إدارة أكويو النووية، إنَّ «تجمع محطة أكويو للقوى النووية بين اتفاق شراء الكهرباء بما يغطي تكلفة المشروع، وتمويل البائع من «روزاتوم»، شركة الطاقة الذرية الحكومية الروسية، التي ستقوم ببناء المحطة ثم امتلالكها وتشغيلها. ويمنح هذا الوضع جميع الكيانات المعنية الاستقرار والاطمئنان من خلال معرفة أن سعر الكهرباء والاستثمارات المختلفة آمنة». «لقد فتح الأمان الذي يوفره اتفاق شراء الكهرباء الطريق للمناقشات مع المستثمرين المحتملين للاستحواذ على حصة تصل إلى ٤٩٪ في المشروع. وعادةً ما يكون مثل هذا الاستثمار الضخم جذاباً عندما تكون هناك توكيدات ويقين بشأن عائدات المنشأة المستقبلية، وهذا ما يستطيع اتفاق شراء الكهرباء توفيره.»

تسعير الكربون

مع التركيز على مستقبل الطاقة النظيفة، تتمثل السياسات الحكومية لدعم توليد الكهرباء منخفضة الكربون في شكل إعانات مباشرة، وتعريفات تفضيلية لإمدادات الطاقة المتجددة، والالتزام بحصص محددة، وإعفاءات من ضريبة الطاقة.

وأحد الأساليب المعتمدة على نطاق واسع هو تسعير الكربون، الذي يهدف إلى تقليص الانبعاثات وتحفيز استخدام مصادر الطاقة منخفضة الكربون. ويساعد ذلك أيضاً في جعل مصادر الطاقة هذه خياراً أكثر تنافسية واستقراراً إزاء التكلفة المنخفضة للوقود الأحفوري.

وتسعير الكربون في أبسط صوره عبارة عن ضريبة على الطن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، على سبيل المثال، التي تطلقها محطات القوى الكهربائية والمراجل الصناعية. وبموجب مخطط تسعير الكربون، يدفع المصنع الذي يستخدم الوقود الأحفوري ويطلق كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون أكثر من المصنع الذي يستخدم مصادر طاقة منخفضة الكربون ويطلق انبعاثات أقل.

وقال هنري بالير، رئيس قسم التخطيط والدراسات الاقتصادية في الوكالة: «يُحدَّد سعر الكربون بناءً على التكلفة المقدرة لانبعاثات غازات الدفيئة، مثل تكلفة الضرر الذي يلحق بصحة الناس والبيئة. ويتمثل الهدف في تحويل عبء الضرر الناجم عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون إلى المصدر المسؤول عنه، باعتبار ذلك وسيلة لتشجيع استخدام مصادر الطاقة منخفضة الكربون، تقليلاً لانبعاثات غازات الدفيئة في نهاية المطاف.»

وفي حالة القوى النووية، يمكن لتسعير الكربون أن يجعل تشغيلها أكثر قدرة على المنافسة من تشغيل الوقود الأحفوري، خاصة على المدى الطويل، بفضل ما يتحقق من توفير في الانبعاثات. ومن خلال تثبيت السعر، تتقلص أيضاً بعض عوامل عدم اليقين المتعلقة بالاستثمار في القوى النووية.

وقال جان هورست كيبلر، كبير المستشارين الاقتصاديين في وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي: «تتطلب التقنيات منخفضة الكربون، ليس فقط القوى النووية، بل أيضاً الطاقة المائية وشتى أنواع الطاقة المتجددة، مثل هذا السعر للكربون لتظل قادرةً على المنافسة أمام الوقود الأحفوري، لا سيما عندما ينخفض سعره. ولكن على المدى الطويل، يتعين على الحكومات إقناع مطوري المشاريع والمستثمرين بأنهم جادون في تطبيق أسعار الكربون المستقرة أو المتزايدة.»

وفي وقتٍ تعكف فيه البلدان على استكشاف خيارات التمويل والسياسات، فإنَّ أنشطة الوكالة في مجال تخطيط الطاقة تساعدها على السير في هذه العملية. وتجري الوكالة دراسات استقصائية بشأن نماذج التمويل الحالية، كما تقوم بعقد اجتماعات خبراء، ونشر تقارير شاملة عن تكاليف وفوائد القوى النووية على ضوء المشاريع المنجزة بنجاح.

وقال بايلير: «إن ضمان استمرار تشغيل محطات القوى النووية الحالية وتسريع نشر محطات جديدة يمكن أن يمثل تحدياً في سوق الطاقة المتقلبة. ولا بد للمؤسسات الحكومية من أن تستمر في الاعتراف بالدور الذي تضطلع به القوى النووية باعتبارها مفتاحاً للتنمية المستدامة وتوليد الطاقة النظيفة.»

أمان المفاعلات النمطية الصغيرة وترخيصها

نهج محايد تكنولوجيًّا

بقلم ميكلوس غاسبر

غرفة تحكم لمفاعل محاكاة نمطي صغير من شركة نوسكيل باور (NuScale Power)

(الصورة من: إنرجي نورثويست)

لئن كانت المفاعلات النمطية الصغيرة أصغر حجماً، وتستخدم تقنيات مبتكرة تنطوي العديد من سمات الأمان المتأصل، فإنَّ الهدف النهائي، عندما يتعلق الأمر بالرقابة، يظل كما هو: ضمان حماية الأشخاص والبيئة وتقليل مخاطر الحوادث والانبعاثات المشعة.

ويمكن أن تشكل النهج الجديدة في تصميم ونشر المفاعلات النمطية الصغيرة تحديات للأطر الرقابية القائمة. وبالمقارنة مع المفاعلات الحالية، تتسم تصميمات المفاعلات النمطية الصغيرة بكونها أبسط، بشكل عام؛ ويعتمد مفهوم الأمان بالنسبة للمفاعلات النمطية الصغيرة اعتماداً أكبر على النظم الخاملة وسمات الأمان المتأصِّل السلبية في المفاعل، مثل انخفاض القوى وضغط التشغيل. ومن شأن ذلك أن يزيد من هوامش الأمان، وفي بعض الحالات، يقضي عمليًّا على مخاطر حدوث أضرار جسيمة لقلب المفاعل، فينتفي بالتالي احتمال حدوث انبعاثات كبيرة للنشاط الإشعاعي في حالة وقوع حادث. ونتيجة لذلك يتقلص الاعتماد على تدابير الاحتواء القوية والتصدي للطوارئ.

وقال غريغ رزينتكوفسكي، مدير قسم أمان المنشآت النووية في الوكالة: «المفاعلات النمطية الصغيرة بشكل عام أقل اعتماداً على نظم الأمان والتدابير التشغيلية والتدخل البشري من المفاعلات الحالية. ولذلك، قد لا يكون النهج الرقابي المعتاد، الذي يستند إلى أحكام الأمان المتداخلة للتعويض عن الإخفاقات الميكانيكية والبشرية المحتملة، مناسباً وينبغي إيلاء الاعتبار للأفكار الجديدة.» وأضاف قائلاً إنه على الرغم من ذلك، فإن المفاهيم الرئيسية التي يقوم عليها نهج الأمان الحالي — مثل الدفاع في العمق، الذي يضمن الوقاية من الحوادث والتخفيف من حدتها على عدة مستويات هندسية وإجرائية — لها أهميتها بالنسبة للمفاعلات النمطية الصغيرة في حال تنفيذها باستخدام معلومات المخاطر والأداء.

ولإثبات أمان التصميم لمحطة للقوى النووية من أي نوع كانت، يلزم إجراء تقييم شامل للأمان لجميع حالات المحطة — التشغيل العادي، والوقائع التشغيلية المنتظرة، وظروف الحوادث. وعلى هذا الأساس، يمكن إنشاء قدرة التصميم على تحمل الأحداث الداخلية والخارجية ويمكن تحديد معايير الأداء لميزات الأمان، بما في ذلك التخطيط للطوارئ.

وقال رزينتكوفسكي: «يتطلب اختبار التحقق من المفهوم الخاص بالمفاعلات النمطية الصغيرة إثباتَ فعالية وظائف الأمان الأساسية — التحكم في المفاعل، وتبريد قلب المفاعل، واحتواء التفاعل—

استناداً إلى تحسين استراتيجيات الدفاع في العمق للحد من مخاطر الحوادث لأقصى قدر ممكن، وإزالة عقابيل أي حادث يقع. وبالنظر إلى مفاهيم التصميم والأمان الجديدة، يجب إيلاء اعتبار خاص للتحقق من صحة حالة الأمان، وأوجه الترابط بين الوحدات، وخصائص المواد والعوامل البشرية.» وأضاف أنه، علاوة على ذلك، بغض النظر عن مدى انخفاض مخاطر الحوادث، فإن الترتيبات القابلة للتطوير في ما يتعلق بالاحتواء والتصدي للطوارئ ضرورية للتحسب لما هو غير متوقع.

إطار عمل محايد تكنولوجيًّا

نظراً لأن مفاهيم وتصاميم التكنولوجيات المبتكرة، بما في ذلك المفاعلات النمطية الصغيرة، متنوعة تكنولوجيًّا، فإن الوكالة تعمل على إنشاء إطار محايد تكنولوجيًّا للأمان لأجل المساعدة في تنسيق النهج الدولية على أساس معايير الأمان الحالية الصادرة عن الوكالة.

ويتكون هذا الإطار المحايد تكنولوجيًّا من جزء عام — التسلسل الهرمي للأهداف المجتمعية والصحية، والغايات المرتبطة بالوقاية من المخاطر ومبادئ ومتطلبات الأمان الرفيعة المستوى — يمكن فيما بعد بلورته في الأطر الوطنية لمعالجة العناصر الرقابية والتقنية اعتماداً على التكنولوجيا المحددة المستخدمة. وأضاف رزينتكوفسكي أن هذا النهج يسمح بالمرونة وتحقيق مزيج متوازن من الابتكار والتقنيات التي أثبتت جدواها، وهو أمر مطلوب للارتقاء إلى الحد الأمثل بتدابير الحماية والتخفيف، مقارنة بأهداف الأمان العامة والغايات المحددة المرتبطة بالوقاية من المخاطر .

وتعمل بعض البلدان بالفعل بنشاط في هذا المجال. وعلى سبيل المثال، تعد كندا واحدة من عدد قليل من البلدان، إلى جانب الأرجنتين والصين وروسيا والولايات المتحدة، التي تجري استعراضات رقابية للمفاعلات النمطية الصغيرة.

وقال هيو روبرتسون، المدير العام لهيئة الأمان النووي الكندية: «إن الإطار الرقابي المحايد تكنولوجيًّا لهيئة الأمان النووي الكندية، والذي يعتمد إلى حد كبير على معايير الأمان الصادرة عن الوكالة، يمكِّن من التجديد والابتكار في تصميم المفاعلات وبنائها وتشغيلها وإخراجها من الخدمة، من دون المساس بالأمان.»

وفي الحالات التي يوجد فيها بعض أوجه عدم اليقين في هوامش أمان التصميم، وتكون الخبرة التشغيلية محدودة، قد يتطلب الأمر وضع ضوابط تشغيل إضافية. وفي هذه الحالات، ستكون التدابير الوقائية متناسبة مع المخاطر.»

وأضاف أنه يمكن أن تستفيد جميع الأطراف المعنية من التعاون بين الهيئات الرقابية النووية ومن تنسيق المتطلبات الرقابية. ومن شأن ذلك أن يؤدي في نهاية المطاف إلى عملية ترخيص أكثر كفاءة وفعالية. وفي الواقع، يمكن أن يؤدي وجود مجموعات متعددة من العيون التي تنظر في مشكلات الأمان الشائعة إلى زيادة مستوى الأمان. ويمكن أيضاً استخدام نفس المعلومات العلمية والرقابية التي تحترم السيادة الرقابية، بينما نواصل استكشاف المزيد من الفرص من أجل التنسيق.»

دراسات حالات لإثبات الأمان

على الرغم من أن معايير الأمان الصادرة عن الوكالة — التي تُستخدم كمرجع عالمي لحماية الناس والبيئة من الآثار الضارة للإشعاع المؤين — محايدة تكنولوجيًّا ويمكن تطبيقها على المفاعلات النمطية الصغيرة، فإن الوكالة ستقدم الدعم أيضاً للرقابيين الوطنيين من خلال وضع إرشادات محددة بشأن كيفية تنفيذها. وقال رزينتكوفسكي: «لقد اكتملت بالفعل دراسات الحالة لإثبات كيف يمكن استخدام متطلبات التصميم لمحطات القوى النووية لترخيص النوعين الأكثر شيوعاً من تقنيات المفاعلات النمطية الصغيرة، وهما المفاعلات المبردة بالماء والمفاعلات المرتفعة الحرارة المبرَّدة بالغاز.»

وبالتوازي مع ذلك، يجري العمل في منتدى رقابيي المفاعلات النمطية الصغيرة لتبادل المعارف والخبرات الرقابية وتحديد الممارسات الجيدة. ويتألف المنتدى، الذي تستضيفه الوكالة، من فريق عامل دولي معني بتحديات التنظيم الرقابي لتصاميم المفاعلات النمطية الصغيرة، من أجل تحديد توصيات أمان جديدة للمفاعلات النمطية الصغيرة. وباتت هذه التوصيات متاحة الآن على موقع الوكالة، في أعقاب اجتماع عُقِد بشأن وضع معايير وطنية خاصة بالمفاعلات النمطية الصغيرة. ويركز عمل المنتدى على الطبيعة متعددة الوحدات للمفاعلات النمطية الصغيرة وعلى جوانب الأمان الخاصة بالترابط بين الوحدات للتحقق من أنه في حالة حدوث خطأ ما في إحدى الوحدات، فإن تأثيره على الوحدات الأخرى سيكون ضئيلاً.

وقال ريزنتكوفسكي: «إدراكاً بأن الأمان سيظل دائماً الأولوية الأولى، فإن النهج الرقابي الخاص بالمفاعلات النمطية الصغيرة يتطلب تحولاً في التركيز من مفاعل واحد في كل مرة إلى تقييم الأمان العالمي لمتانة التصميم، واكتمال حالة الأمان، ومدى كفاية العمليات المُجراة بغية ضمان الأمان طوال عمر المفاعل، لتجنب البناء أولاً وإصلاح مشكلات الأمان لاحقاً.»

التطور من أجل المستقبل

الضمانات والقوى النووية

بقلم آدم موتلور

مع استمرار تطور تكنولوجيا القوى النووية، يزداد عدد المرافق النووية، وتزداد كمية المواد النووية حول العالم، فيتعين بالتالي على تكنولوجيا الضمانات أن تواكب هذا التطور بنفس الوتيرة لكي تظل فعالة. والضمانات هي مجموعة من التدابير التقنية للتحقق من أن المواد والتكنولوجيا النووية لا تستخدم إلا للأغراض السلمية، ولا تحرَّف لصنع قنابل نووية.

وقال تشاد هادل، مسؤول تنسيق التواصل الخارجي بشأن بالضمانات في الوكالة: «الذكاء الاصطناعي، والتصنيع بإضافة الطبقات، وتكنولوجيا السجل الموزع، هي بعض التغييرات التي تلوح في الأفق والتي قد تؤثر على تنفيذ الضمانات الدولية. ومع استحداث وسائل متقدمة لإنتاج القوى النووية، من الضروري أيضاً استمرار تكييف الضمانات من أجل كفالة التحقق المستمر والفعال بموجب الضمانات.»

ويساعد التقدم التكنولوجي في جعل إنتاج القوى النووية أكثر استدامة وفعالية من حيث التكلفة وأكثر أماناً وأمناً. لقد باتت أهمية مصادر الطاقة منخفضة الكربون الموثوقة، مثل القوى النووية، في تزايد مستمر للعديد من البلدان في بحثها عن طرق للتخلص من الكربون في إنتاج الطاقة وبناء مستقبل للطاقة النظيفة.

وقال مينيكس باستورك تاتليسو، محلل الضمانات في الوكالة: «بينما يستمر تطوير تكنولوجيا القوى النووية، من الضروري أن تكون الضمانات جزءاً لا يتجزأ من خطط ذلك التطوير. ويتعين بموجب اتفاقات الضمانات أن تتحقق الوكالة من جميع المواد النووية في كل دولة من الدول التي تبرمها. وللوفاء بهذا الالتزام، يُطلب من الدول تقديم معلومات التصميم الخاصة بجميع المرافق النووية التي يمكن أن تقوم الوكالة بالتحقق من استخدام المواد النووية فيها ومن كميتها.»

التكنولوجيا الجديدة والناشئة

يتابع خبراء ضمانات الوكالة عن كثب التقنيات الجديدة والناشئة من أجل مواكبة التطورات وكيفية تأثيرها على عملهم. ويشمل جزءٌ من هذا الجهد حلقات العمل بشأن التقنيات الناشئة التي تنظمها إدارة الضمانات بالوكالة، حيث يناقش الخبراء الدوليون هذه التقنيات ويحددون ملامحها بالتعاون مع موظفي الوكالة.

وقال هدال: «تساعدنا الاستعانة بالخبراء في تحديد ملامح التكنولوجيات الجديدة ذات الآثار المحتملة على توليد القوى النووية، وعلى المجال النووي بشكل عام، على فهم كيف يمكن أن يؤثر ذلك على مهمة الضمانات والبيئة التي سنقوم فيها بتلك المهمة في المستقبل. ونحن نمعن النظر في كلٍّ من المزايا والتحديات التي تنطوي عليها التكنولوجيات الجديدة. ونحن مطالبون بأن نكون على دراية بالتطورات التكنولوجية ذات الصلة في بيئتنا الخارجية وقادرين على التكيف معها، ونفعل ذلك من خلال اتباع نهج استباقي واستشرافي.»

تطبيق التكنولوجيا وتشذيبها

واحدة من أحدث الأمثلة على التكنولوجيا الجديدة التي تطورها الوكالة هي مجموعة من الخوارزميات القائمة على التعلم والمعروفة باسم الشبكات العصبية. وتعتمد هذه الشبكات المشغَّلة حاسوبياً اعتماداً فضفاضاً على الذاكرة الترابطية للدماغ البشري، وهي مصممة للتعلم والتحليل وتحديد الأنماط بشكل تدريجي للمساعدة في فهم البيانات.

وفي مجال الضمانات، يقوم المحللون باستعراض كميات كبيرة من البيانات التي جمعت من خلال المراقبة الفيديوية. وفي عام ٢٠١٩، بلغ عدد الكاميرات التي تشغلها الوكالة ١٤٢٥ كاميرا مراقبة في المرافق النووية حول العالم. وتعمل هذه الكاميرات على مدار الساعة. وهي توفر استمرارية المعرفة بالمواد النووية وتسمح لمفتشي الضمانات بالتأكد من عدم وجود حالة وصول غير مكتشفة إلى المواد وعدم وجود تشغيل غير معلن للمرفق. وبما أن بعض المرافق تستخدم كاميرات مراقبة متعددة، فإن ذلك يمكن أن يؤدي إلى إنتاج كمية هائلة من البيانات.

ويمكن أن يساعد استخدام الشبكات العصبية التي يمكن تطويرها من خلال الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي مفتشي الضمانات على تحديد تحركات المواد النووية والأنشطة الأخرى ذات الصلة بالضمانات في المرفق. ويمكن لهذه التقنيات أيضاً أن تحدد المؤشرات الأكثر دلالة لتقييم الأشياء واقتفائها، وتحديد ما لا يتوقع وجوده من أشياء وما لا ينتظر حدوثه من سلوك. ومن شأن ذلك أن يسمح للمحللين باستخدام وقتهم بشكل أكثر فعالية وكفاءة عند قيامهم باستعراض بيانات المراقبة.

إدارج الضمانات في تصميم المرافق

نظراً لأن التكنولوجيا تفتح أبواباً جديدةً للاستخدام الفعال للقوى النووية، فقد أظهرت التجربة أن من الأفضل تصميم المرافق الجديدة مع وضع الضمانات في الاعتبار منذ البداية.

وقال باستورك تاتليسو: «يعتبر وضع الضمانات في الاعتبار عند تصميم المرافق من الألف إلى الياء مكسباً لجميع الأطراف: البلد والمشغلين وإدارة الضمانات بالوكالة. ومن شأن تضمين اعتبارات الضمانات في وقت مبكر في تصميمات المرافق وعمليات القوى النووية الجديدة أن ييسر بقدر أكبر عملية التحقق من الضمانات للمشغلين، فضلاً عن مفتشي ضمانات الوكالة.»

على سبيل المثال، من خلال تصميم تخزين الوقود الطازج وقلب المفاعل وتخزين الوقود المستهلك في مرفق نووي جديد مع وضع الضمانات في الاعتبار، يمكن جعل تنفيذ الضمانات أكثر فعالية من حيث التكلفة وأكثر كفاءة، مع تقليص ما قد يترتب من تأثير على عمليات المرفق النووي.

ويمكن للبلدان أن تلجأ إلى سلسلة الوثائق الخاصة بإدراج ضمانات الوكالة في التصميم للحصول على التوجيه والمشورة بشأن عوامل الضمانات التي يجب مراعاتها عند تصميم مفاعل نووي جديد، على سبيل المثال، أو عند ترقية أو بناء مرفق نووي، وإنشاء مرفق لإدارة الوقود المستهلك على المدى الطويل. وتقدم السلسلة المشورة للسلطات والمصممين ومقدمي المعدات والمشترين المحتملين لاتخاذ خيارات مستنيرة، مع التحسب للعوامل الاقتصادية والتشغيلية وعوامل الأمان والأمن المتعلقة بتصميم المرفق النووي.

وقال باستورك تاتليسو: «تهدف سلسلة إدراج الضمانات في التصميم إلى مساعدة البلدان على تحقيق التوازن الأمثل بين التكلفة والمتطلبات القانونية والكفاءة التشغيلية. وعند تطوير جميع جوانب دورة الوقود النووي، من التخطيط الأولي إلى الإخراج من الخدمة، ينبغي مراعاة إدارة الضمانات في التصميم.»

مفتشو الضمانات يقومون بضبط كاميرا مراقبة.

(الصورة من: دين كالما/الوكالة)

الإمعان في إزالة الكربون باستخدام الطاقة النووية

بقلم كيرستي غوغان وإيريك إنجرسول

كيرستي غوغان هي المؤسِّسة المشارِكة والمديرة التنفيذية لدى «الطاقة من أجل البشرية» Energy for Humanity، وهي منظمة بيئية غير حكومية تركز على الإمعان في الكربون على نطاق واسع وإتاحة الطاقة.

إيريك إنجرسول هو كبير الموظفين التكنولوجيين لدى «الطاقة من أجل البشرية» ومستشار استراتيجي ورائد أعمال ذو خبرة عميقة في ترويج تكنولوجيات الطاقة الجديدة تجاريًا.

العالم بعيدٌ كل البعد عن المسار الذي يقوده إلى تحقيق الأهداف المناخية لاتفاق باريس المتمثلة في الحدِّ من زيادة درجة الحرارة العالمية بمقدار ١,٥ درجة مئوية إلى درجتين مئويتين بحلول عام ٢٠٥٠. وتُظهر التوقعات الحالية أن الوقود الأحفوري سيظلُّ يشكِّلُ غالبية استخدامات الطاقة العالمية حتى حلول عام ٢٠٥٠.

وإنْ أخفقنا في تحقيق هدف ١,٥ درجة مئوية، فقد يعني ذلك قبولنا بالتأثيرات المناخية، مثل نزوح ملايين البشر بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر وتعرُّض ملايين آخرين لموجات حر بالغة الشدة، فضلاً عن التأثيرات الرئيسية المتعلقة بالتنوع البيولوجي، بما في ذلك فقدان الأنواع، والقضاء على الجليد البحري في المحيط المتجمد الشمالي، وفقدان جميع الشّعاب المرجانية تقريباً.

أما إنْ أخفقنا في تحقيق هدف الدرجتين المئويتين، فقد يتعرض نصف سكان العالم «لحرارة مميتة» في الصيف، ويمكن أن تنهار الصفائح الجليدية في القطب الجنوبي، ويتفاقم الجفاف بشكل كبير، وتبدأ الصحراء الكبرى في التوسُّع نحو جنوب أوروبا. ويمكن أن تتعرض الإمدادات الغذائية العالمية للخطر، ما يدفع نحو هجرة بشرية جماعية ويفاقِم خطر الانهيار الحضاري.

وتدفع مسارات الطاقة الحالية، حتى تلك التي تتضمن توسُّعاً هائلاً في توليد مصادر الطاقة المتجددة، العالمَ نحو حصائل مناخية كارثية، مع وجود مخاطر عالية تترتب عن حصيلة قدرها ٤ درجات مئوية. وقد يعني ذلك أن تصبح مناطق شاسعة من كوكب الأرض غير صالحة للعيش.

وتستكشف الحملة النووية الوزارية المرنة للطاقة النظيفة التي شاركنا في تأسيسها الدورَ الموسَّع الذي يمكن أن تضطلع به الطاقة النووية في الحد من مخاطر التحوُّل في مجال الطاقة. وهنا نَصِفُ فرصتين لدفع عملية إزالة الكربون العميقة بالاستعانة بالطاقة النووية.

أولاهما توسيعُ دور الطاقة النووية في إنتاج الكهرباء من خلال مزيج من المفاعلات المتقدمة وخَزْن الطاقة الحرارية. والمراد من ذلك هو إتمام مصادر الطاقة المتجددة في شبكات الطاقة المستقبلية.

وثانيتُهما معالجة استخدام النفط والغاز، اللذين يستحوذان حاليًّا على ثلاثة أرباع استهلاك الطاقة، من خلال توفير الهيدروجين المتاح على نطاق واسع وبتكلفة متدنية من خلال إنتاجه بالقوى النووية.

ولتحقيق ما يلزم على صعيد تكلفة وحجم ومعدلات نشر الطاقة النووية، ثمة حاجة إلى نموذج جديد. ويجب أن تطبق الصناعة النووية الالتزام والإبداع، جنباً إلى جنب مع الابتكار التقني والتجاري، تماماً مثلما تعلمت صناعات الطاقة المتجددة القيام بذلك. والسؤال هنا: كيف يمكن لنموذج تصنيع كبير الحجم ومنخفض التكلفة وقابل للانتشار بسرعة وجذاب تجاريًّا أن يمكِّن التكنولوجيات النووية من المساهمة في انبعاثات صفرية وطاقة مستدامة للجميع بحلول عام ٢٠٥٠؟

طاقة نووية مرنة في شبكات الكهرباء المستقبلية

تحدِّد دراستنا الأخيرة عن متطلبات التكلفة والأداء للمحطات النووية المتقدمة، كجزء من برنامج «الابتكارات معزَّزة النمذجة ذات الريادة في إعادة تنشيط الطاقة النووية» MEITNER المنبثق عن هيئة أبحاث مشاريع الطاقة المتقدمة (ARPA-E) بالولايات المتحدة، متطلبات الأسواق لمطوري المفاعلات المتقدمة الساعين إلى تصميم منتجات مفيدة ومنافسة من حيث التكلفة للتسويق تجاريًّا في أوائل ٢٠٣٠.

وتحدِّد دراستنا سمات السعر والأداء التي ستكون مطلوبة للجهات المالكة للمحطات النووية والمستثمرين فيها، وكذلك للمجتمع ككل، لتحقيق نظم كهرباء مستقبلية ميسورة التكلفة وموثوقة وقادرة على الصمود ومرنة — وقبل هذا وذاك — نظيفة. وتُظهر نتائجنا أنه ستوجد أسواق ضخمة للمفاعلات المتقدمة التي تكلف أقلّ من ٣٠٠٠ دولار أمريكي / كيلوواط. والجمع بين المحطات النووية وخَزْن الطاقة الحرارية يمكّن الطاقة النووية من أن تكون موردَ ذروةٍ — ما يؤدي إلى خَزْن طاقة إضافية قيِّمة — وقيمة مضافة لنظام الطاقة. وبالنسبة لمشغلي الشبكات الكهربائية وصائغي نماذج أنظمة الطاقة وواضعي السياسات، فإن هذا يوضح قيمة التكنولوجيات النووية المرنة، ليس فقط في خفض الانبعاثات، ولكن أيضاً في خفض التكاليف الإجمالية على نطاق نظام الطاقة بأكمله.

أنواع الوقود الاصطناعي الممكَّنة بالهيدروجين

للحدِّ من الانبعاثات بالحجم والوتيرة المطلوبَيْن، جنباً إلى جنب مع زيادة إتاحة الطاقة عالميًّا والنمو الاقتصادي، يجب أن تحقق بدائل الوقود المحايدة الكربون وصفرية الكربون التكافؤ في السعر والأداء مع الوقود الأحفوري.

ويمكن أن يكون الإنتاج النووي للهيدروجين الخالي من الانبعاثات منافساً من حيث التكلفة مع سائر أساليب الإنتاج الخالية من ثاني أكسيد الكربون ولديه القدرة على المنافسة من حيث التكلفة مع إعادة تشكيل الميثان بالبخار في الغاز الطبيعي منخفض التكلفة (انظر: Allen et al. 1986; BloombergNEF 2020; Boardman et al. 2019; Gogan and Ingersoll 2018; Hydrogen Council 2020; IEA 2019b; NREL 2019b; M. Ruth et al. 2017; Yan 2017). وحتى المحطات النووية التقليدية الباهظة التكلفة وغير المسبوقة في الاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة يمكنها إنتاج الهيدروجين النظيف بتكاليف مماثلة لموارد الطاقة الشمسية وطاقة الرياح اليوم، مع عوامل قدرة جيدة.

ويمكن للهيدروجين النظيف المتاح على نطاق واسع بتكلفة منخفضة أن يمكِّن من إزالة الكربون من قطاعات الطيران، والشحن، وإنتاج الإسمنت، والصناعة، إذا ما كان منافساً للنفط الرخيص. ونحن نقدِّر أن هذا السعر المستهدف هو ٠,٩٠ دولار أمريكي/كغم.

وتشير التوقعات الحالية إلى انخفاض سعر الهيدروجين المتولد عن مصادر طاقة متجددة ليصل إلى ٢ دولار أمريكي بحلول عام ٢٠٣٠، وحتى إلى أقلّ من ذلك بحلول عام ٢٠٥٠.

ويتقيَّد انخفاض الأسعار بعوامل القدرة المتدنية، على الرغم من أننا نتوقع أن يستمر تراجُع التكاليف الرأسمالية للطاقة المتجددة.

ويمكن للمحطات النووية اليوم أن توفر هيدروجيناً نظيفاً بأقلّ من دولارين أمريكيين/كغم، ويمكن أن يحقق جيل جديد من المفاعلات النمطية المتقدمة ٠,٩٠ دولار أمريكي/كغم، وربما يكون ذلك بحلول عام ٢٠٣٠.

وللدفع نحو زيادة هائلة في إنتاج الهيدروجين النظيف، ستحتاج الصناعة النووية إلى تحقيق تحوُّل في نماذج إنجاز وانتشار المشاريع من أجل توسيع نطاق وتوفير الحرارة والوقود والطاقة بأشكالها النظيفة. وسيتطلب ذلك كثافة التركيز نفسها على خفض التكلفة، وتحسينات الأداء، ومعدلات الانتشار التي مكّنت أشكال الطاقة المتجددة من البدء في تحقيق تحوُّل في نظام الطاقة العالمي.

وتحقيق خَفْض حاد في الأجل القريب في التكلفة أمر ممكن من خلال التحوُّل من مشاريع البناء التقليدية إلى بيئات التصنيع عالية الإنتاجية، مثل أحواض بناء السفن، أو «مصانع الهيدروجين العملاقة»، وهي الجيل التالي من المصافي الواقعة في مناطق مهجورة حاليًّا بعد أن كانت معمورة في السابق، مثل مصافي النفط والغاز الساحلية الكبيرة.

ومن شأن الانتقال من البناء التقليدي إلى التصنيع عالي الإنتاجية للمفاعلات المتقدمة أن يخفض بشكل كبير جدًّا تكلفة إنتاج الهيدروجين والوقود الاصطناعي. وتتمتع أحواض بناء السفن الرائدة بالفعل بقدرة تصنيعية واسعة، ويمكنها أن تنتج مرافق إنتاج الهيدروجين المصممة للغرض.

ويمكن للمصانع العملاقة ومحطات الطاقة النووية البحرية المصنعة في أحواض بناء السفن أن تعيد العالم إلى المسار الصحيح لتحقيق أهداف اتفاقية باريس المتمثلة في الحدِّ من زيادة درجة الحرارة العالمية بمقدار ١,٥ درجة مئوية إلى درجتين مئويتين.

ويمكن تحقيق هذا الجهد الهائل لإزالة الكربون من خلال الاستحواذ على أراضٍ قليلة للغاية، ما يسمح بتجنيب مساحات كبيرة من الأرض وتخصيصها لإعادة بناء وتجديد النظم البيئية الطبيعية، على عكس «التوسع في الطاقة» المرتبط بالتطورات الصناعية للطاقة المتجددة بحسب حجم البلد.

وباستخدام نماذج الإنجاز المذكورة، يمكن تحقيق التحوُّل المستغرق ثلاثة عقود من ١٠٠ مليون برميل من النفط المستهلك يوميًّا إلى تدفق مكافئ من الوقود البديل النظيف بتكلفة أقلّ بكثير: فبدلاً من ٢٥ تريليون دولار أمريكي المطلوبة للحفاظ على تدفق النفط حتى عام ٢٠٥٠، سيكلف الوقود البديل ذو الطاقة ١٧ تريليون دولار أمريكي. ويزداد الفرق اتساعا مقارنةً بالـ٧٠ تريليون دولار المطلوبة لاستراتيجية تقتصر على الطاقة المتجددة.

ويمكن للطاقة النووية، من خلال نماذج الإنجاز المتحوّلة، أن تزيل الكربون من الاقتصاد بتكلفة أقلّ من تلك المطلوبة للحفاظ على الوقود الأحفوري. ومع ذلك، لن يبدأ هذا الانتقال من دون أن تتخذ الحكومات والجهات الفاعلة الأخرى إجراءات عاجلة لخفض التكاليف وتسريع الابتكار والانتشار. ويجب إدخال الطاقة النووية بشكل كامل ضمن جهود إزالة الكربون في العالم.

تبسيط أسلوب الخَزْن

الوكالة تجري تدريباً في مجال التصرف في النفايات المشعَّة في أفريقيا

متدربون يراقبون أحد خبراء الوكالة إذ يقوم بإزالة مصدر مهمَل — نُشر سابقاً في سياق صناعي — أثناء التدريب العملي.

(الصورة من: عمر يوسف/الوكالة)

تُعَدُّ معالجة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة وتكييفها وخَزْنها على نحو ملائم مسألةً أساسيةً لضمان أمان وأمن الأشخاص والبيئة.

بَيْدَ أن هذه الأنشطة يمكن أن تمثِّل تحدِّياً، خصوصاً للبلدان التي ليس لديها بعدُ الدراية المحلية في هذا الشأن. لذا، دعمت الوكالة وَضْعَ نَهْج للتصرُّف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة أكثر بساطةً وأكثر فعاليةً من حيث التكلفة للبلدان التي تملك عدداً أقلّ نسبيًّا من المصادر المشعة المختومة المهمَلة. واستخدمت دورة تدريبية للوكالة عُقدت في كمبالا بأوغندا في عام ٢٠٢٠ هذا النَّهْج الجديد للمرة الأولى.

ويتضمن النَّهج مرفقاً يوفر جميع العناصر اللازمة لمعالجة وتكييف وخَزْن المصادر الضعيفة الإشعاع الباعثة للنيوترونات وأشعة غاما، من النوع المستخدَم في العادة في مجال الصناعة والطب. ويتألف المرفق، المسمَّى مفهوم «حاوية الآيزو ٢»، من حاويتين قياسيتين للشحن — موضوعتين على مقربة إحداهما من الأخرى— ومجهَّزتين بالبنية الأساسية المناسبة للتهوية والتحكم في التلوث والأمان والأمن.

وإحدى هاتين الحاويتين بمثابة مرفق للمعالجة والتكييف، بينما توفر الحاوية الأخرى الاستلام والخزن المؤقت للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الضعيفة الإشعاع ومن ثم للمصادر بعد تكييفها.

واستفاد المرفق وإجراءاته من بعثة دولية لاستعراض النظراء. فقد اجتمعت لجنة من خبراء دوليين في مجال التصرُّف في النفايات المشعَّة — من ألمانيا وغانا والمغرب والولايات المتحدة — لمراقبة عمل مرفق «حاوية الآيزو ٢» وكذلك لمراقبة سير الدورة التدريبية نفسها التي نظمتها الوكالة.

كما استعرض الخبراء المرفق والإجراءات التقنية للتصرُّف في النفايات — من الاستلام الأولي إلى الخَزْن النهائي — من أجل تقييم النَّهْج على ضوء جميع المعايير الدولية وأفضل الممارسات ذات الصلة. وهذه الجهود، المدعومة ماليًّا من الاتحاد الأوروبي، هي جزء من مبادرة أوسع للوكالة بموجب اتفاق التعاون الإقليمي الأفريقي للبحث والتنمية والتدريب فيما يتعلق بالعلم والتكنولوجيا النوويين (اتفاق أفرا) الذي يركِّز على تقديم الدعم للبلدان الإفريقية في تعزيز ما لديها من بنى أساسية، قانونية ورقابية، لأغراض الأمان والأمن النوويين.

ويتعيَّن ترخيص الهيئة الرقابية الوطنية في كل بلد لاستخدام المرفق ذي المصادر المشعَّة النشطة. وفي أوغندا، تم ذلك قبل انعقاد الدورة التدريبية. وقال ديوغراتياس سيكيانزي، الرئيس التنفيذي لمجلس الطاقة الذرية في أوغندا، الجهة الرقابية في هذا البلد: «نُفِّذ هذا النَّهْج بما يتماشى مع معايير الأمان الصادرة عن الوكالة.»

ولدى بعض البلدان، مثل الكاميرون، خطط متقدمة لاستخدام حاويات الشحن لخَزْن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، ولكن في بلدان أخرى، لم يتم بعدُ إثبات أمان هذا الأسلوب. وفي إطار مشروع تعاون تقني جديد، أُطلق في عام ٢٠٢٠، تعمل الوكالة على زيادة قدرات المنظمات الوطنية لتبيان أمان الخَزْن، كما أوضح ديفيد بينيت، الاختصاصي في أمان النفايات في الوكالة.

نَهْج الحاوية والكبسولة

بمجرد تشييد المرفق، تصبح الخطوة التالية هي استرداد المصادر المشعة من أجهزتها بما يتماشى مع المتطلبات والإرشادات الموضحة في مدوَّنة قواعد السلوك المتعلقة بأمان المصادر المشعَّة وأمنها وفي معايير الأمان الصادرة عن الوكالة. وفي صُلب النَّهْج المقترح ثمة إجراءات تقنية يجب على الموظفين المحليين التقيُّد بها لاسترداد المصادر المهمَلة وتكييفها في شكل مناسب للخَزْن. وتتضمَّن الإجراءات استخدام كبسولة خاصة مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ تُغلَّف المصادر المهمَلة داخلها. ويتيح تصميم هذه الكبسولة إحكام الإغلاق بشكل ملائم دون استخدام معدات متخصصة، ما يسهِّل التعامل معها في أي بلد. وتوضَع الكبسولة التي تحتوي على المصادر، بمجرَّد ختمها، داخل درع من الرصاص، والذي بدوره يُوضع في برميل مبطَّن بالخرسانة يكون بمثابة غلاف لخَزْن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ونقلها.

وقال محمد المغربي، أحد كبار خبراء الوكالة: «يمكن بناء مرفق جديد من النوع الذي تمَّ عرضه في أوغندا على مساحة تقلُّ عن ١٠٠٠ متر مربع وبتكلفة معقولة».

تدريب مديري التصرُّف في النفايات المشعَّة في أفريقيا

تنظم الوكالة، كجزء من جهودها المستمرة لدعم مراقبة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة حول العالم، سلسلة من الدورات التدريبية العملية، تُطرح من خلال برنامج الوكالة للتعاون التقني، بما في ذلك تشييد وترخيص واستخدام مرافق «حاوية الآيزو ٢».

ومن المتوقع إجراء هذه الدورات التدريبية في جميع أنحاء أفريقيا، لا سيما في البلدان التي لا توجد بها بعدُ مرافق لمعالجة النفايات وتكييفها وخزنها.

وبعد العروض التوضيحية لنَهْج «حاوية الآيزو ٢» في أوغندا، وكذلك في الكاميرون والسنغال وزمبابوي، والاستفادة من استنتاجات استعراضات النظراء التقنية الدولية، ثمة خطط لتقديم المفهوم إلى المزيد من البلدان، بما في ذلك الكاميرون وإثيوبيا ومدغشقر ونيجيريا.

ونفَّذت الوكالة المشروع RAF9062، المعنون «تعزيز التصرُّف في النفايات المشعَّة (أفرا)»، بتمويل مشترك من المفوضية الأوروبية وإسبانيا والولايات المتحدة.

— بقلم عمر يوسف

خضروات ألذّ طعماً وأعلى قيمةً غذائية

بلغاريا تحسِّن جودة الغذاء بدعم من الوكالة

ناسيا توموليكوفا، البروفسورة في معهد ماريتسا لبحوث محاصيل الخضروات، وإيليا فالتشانوف، مزارع يزرع الأصناف المطوَّرة مؤخراً.

(الصورة من: معهد ماريتسا لبحوث محاصيل الخضروات (MCVRI))

لطالما كانت بلغاريا، وهي واحدة من أكثر البلدان تنوُّعاً بيولوجيًّا في أوروبا، مصدراً رئيسيًّا لمختلف المنتجات الغذائية. ومع ارتفاع درجات الحرارة تدريجيًّا على مدى العقود الماضية، شهد المزارعون تراجعاً في غلة المحاصيل الرئيسية وجودتها. وللتكيف مع البيئة المتغيرة والاستمرار في توفير خضروات صحية ومستدامة، تُستخدم الآن التقنيات النووية.

وقالت ناسيا توموليكوفا، رئيسة مختبر البيولوجيا الجزيئية في معهد ماريتسا لبحوث محاصيل الخضروات الواقع بمدينة بلوفديف، ثاني أكبر مدن بلغاريا: «نحن معروفون بالمحاصيل عالية الجودة في بلغاريا، بالاستناد إلى التقاليد التليدة في إنتاج الخضروات في جميع أنحاء بلدنا. ولدينا الآن مسائل أكثر تعقيداً تتعلق بالإنتاج المنخفض وجودة الأصناف المحلية. ونحن بحاجة إلى التطوير في هذا المجال والترويج لهذه المنتجات — باستخدام التقنيات النووية، وهذا أمر ممكن.»

وتركز برامج استيلاد النباتات الحالية، التي تدعمها الوكالة بالشراكة مع منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، على تطوير أصناف جديدة من الفلفل والطماطم والبطاطس.

وابتداء من عام ٢٠٢٠، سيتمُّ توفير ثلاثة أصناف من الفلفل للمزارعين على مدار السنوات الثلاث المقبلة.

ويتسم أحدها، المعروف باسم Zlatna shipka، والذي أُطلق في عام ٢٠٢٠، بغلة أكبر بنسبة ٧ بالمئة مقارنةً بالأصناف التقليدية. وفي عام ٢٠٢١، سيُطلق صنف من الفلفل يُعرف باسم Desislava ويتسم بغلة أكبر وبتركيزات عالية من البيتا كاروتين، وبكمية مساوية لتلك الموجودة في الجزر. وهذا أمر مهم، لأن تناول كميات كبيرة من البيتا كاروتين، وهو ما تحوِّله أجسامنا إلى فيتامين أ، مسألة بالغة الأهمية

لصحة الجلد والعينين وكذلك لامتلاك نظام مناعة قوي. وثمة صنف من الفلفل يُعرف باسم Toniko سيُطلق في عام ٢٠٢٢ وسيتسم أيضاً بكميات مرتفعة من البيتا كاروتين.

وقال يانشو فالتشيف، أحد المزارعين المشاركين في الاختبارات التجريبية لبرنامج استيلاد النباتات: «مثل كل مزارع، استثمرتُ الكثير من العناية والعمل لتوفير محصول صحي وعالي الجودة. ونواجه العديد من الصعوبات — تغيُّر المناخ وأمراض الخضروات، والحشرات والآفات — ولكن من خلال هذه البرامج تمكَّنا من تحقيق غلات أكبر وجودة أفضل في محاصيلنا.»

وقال إيليا فالتشانوف، وهو مزارع آخر مشارك في البرنامج: «بصفتي شابًّا في أواخر العشرينات من العمر، أنا مهتم بالطعام الصحي والحياة الصحية، وبصفتي مزارعاً، يمكنني توفير ذلك بالاستعانة بالأصناف الجديدة». «وفي الوقت الحاضر، تُفضَّل مثل هذه المنتجات في الأسواق المحلية، وخاصة من قبل الشباب، الذين يبدون اهتماماً مشتركاً بالأكل الصحي».

وما سبق لا يمثل إلا أحدث الجهود التي تبذلها الوكالة والفاو لدعم الزراعة في بلغاريا. وعلى مدى السنوات الخمسين الماضية، طوَّر متخصصون بلغاريون ٧٦ صنفاً من المحاصيل بعدَ مشاركتهم في دورات الوكالة التدريبية وبحوثها في مجال استخدام التقنيات النووية لإنتاج الغذاء المستدام وتحقيق أمن الغذاء (انظر مربع الأساس العلمي)

وقالت فاطمة سارسو، مربِّية النباتات وأخصائية علم وراثة النبات في الشعبة المشتركة بين الفاو والوكالة لاستخدام التقنيات النووية في الأغذية والزراعة: «سيستمر التعاون المثمر بين الوكالة والفاو ومعهد ماريتسا لبحوث محاصيل الخضروات في تطوير أصناف محسَّنة من الفلفل والطماطم والبطاطس بغلات مرتفعة، وتحسين الجودة الغذائية والقدرة على التكيُّف مع تغيُّر المناخ، ما يعزز أمن الغذاء في جميع أنحاء البلد.»

الأساس العلمي

ما الاستيلاد الطفري؟

يعمل الاستيلاد الطفري من خلال استخدام التكنولوجيات النووية مثل الأشعة السينية أو أشعة غاما لاستحثاث تغييرات في النباتات ابتغاء تحسين المحاصيل. وتتعرض بذور أو خلايا النبات للإشعاع، ويستعيد العلماء هذه النُّبَيْتات أو البذور الطافرة الجديدة ويضعونها في وسط معقم لتنمو. وأثناء نمو النباتات، يتمُّ رصدها وانتقاؤها بالاستناد إلى سمات مثل النمو واللون والقيمة الغذائية وتحمُّل الحرارة. ويستمرُّ رصد هذه الاختيارات على مدار بضعة أجيال، وبعدَ ذلك يتم تطوير سلالات جديدة وأصناف جديدة من النباتات.

وتُستخدم التقنيات النووية لتسريع عملية النشوء الطبيعية، وتظهر أصناف المحاصيل ذات الخصائص المحسَّنة.

ويوجد في الوقت الحاضر ١٨ مرفقاً للتشعيع بأشعة غاما في بلغاريا، ما يسمح لهذا البلد بمواصلة العمل من أجل توفير الغذاء المستدام للاستهلاك المحلي والحفاظ على الصادرات القوية.

وفي مرافق التشعيع الوطنية، يتمُّ خَزْن السلالات والأصناف الطافرة التي تمَّ تطويرها وتُظهر السمات المرغوبة في بنك الجينات الوطني، الذي يضمُّ ٦٠٠٠٠ عينة من البذور، أو في المؤسسات البحثية في جميع أنحاء البلاد لاستخدامها في المستقبل. ومن خلال برنامج الوكالة للتعاون التقني والمشاريع البحثية المنسَّقة المنفَّذة في بلغاريا على مدار الخمسين سنة الماضية، تمَّ إطلاق ٧٦ صنفاً من المحاصيل. وهذه مسجَّلة في قاعدة بيانات الفاو/الوكالة للأصناف الطافرة.

— بقلم كارلي ويليس

بدعم من الوكالة: صناعة الحزم الإشعاعية الإلكترونية في الصين تفتتح أكبر مرفق لمعالجة المياه العادمة في العالم

بقدرة على المعالجة تبلغ ٣٠ مليون لتر من المياه العادمة الصناعية يوميًّا، افتُتح أكبر مرفق لمعالجة المياه العادمة في العالم باستخدام تقنية الحزم الإلكترونية في الصين في حزيران/يونيه ٢٠٢٠. وستوفر عملية المعالجة، التي بنيت باستخدام التكنولوجيا التي نقلتها الوكالة منذ عام ٢٠١٠، ٤,٥ مليار لتر من المياه العذبة سنويًّا — وهو ما يكفي لإرواء عطش ١٠٠٠٠٠ شخص كل عام.

وتستخدم محطة المعالجة، التي تُشغَّل من داخل مصنع غوانهوا للغزل، في جنوب الصين، وهو أكبر مستورد للغزل المشط في العالم، تقنية الحزم الإلكترونية لمعالجة المياه الملوثة بمخلفات الصبغة الصناعية، والتي لا يمكن تفكيك جزيئاتها باستخدام البكتيريا أو المواد الكيميائية. ويمكن، باستخدام تقنية الحزم الإلكترونية، أن تتحلل هذه الجزيئات الطويلة والمعقدة في مياه الصرف، ويمكن إعادة استخدام المياه المعالجة.

والصين هي أكبر منتج للمنسوجات في العالم، وتستخدم صناعة النسيج فيها، بشكل تقليدي، المواد الكيميائية لمعالجة مياه الصرف الصحي. ولكن مع السياسات الرامية إلى حماية البيئة، بدأت الصناعة تتحول إلى تقنية الحزم الإلكترونية، التي توفر طريقة عالية الكفاءة ورفيقة بالبيئة في معالجة المياه العادمة.

وقال بوم سو هان، اختصاصي الكيمياء الإشعاعية في الوكالة: «عادةً ما تُعالج هذه المياه العادمة من خلال العمليات الكيميائية التي تولد نفايات ثانوية. والمعالجة بالحزم الإلكترونية طريقة رفيقة بالبيئة وفعالة من حيث التكلفة لمعالجة المياه العادمة، لأنها تقتصر الوقت اللازم المعالجة وتقلل من تكلفة المواد الكيميائية، ولا ينتج عنها نفايات ثانوية.»

وبدأ الأمر كله في شكل مشروع من مشاريع التعاون التقني للوكالة في عام ٢٠١٢، حيث طوَّر العلماء الصينيون من خلاله برنامجاً لمعالجة المياه العادمة باستخدام الحزم إلكترونية. وشمل الدعم الذي قدمته الوكالة منحاً دراسية في المرافق القائمة في بلدان أخرى، ودورة تدريبية وطنية، ومشورة من

سبعة معجلات إلكترونية تعالج المياه العادمة الناتجة عن الطباعة والصباغة في مصنع كوانغهوا للغزل.

الصورة من: معهد ماريتسا لبحوث محاصيل الخضروات (MCVRI))

الخبراء الزائرين، الذين قدموا التوجيه بشأن تطوير المشاريع.

وقال شيجون هي، الأستاذ في معهد تكنولوجيا الطاقة النووية والجديدة بجامعة تسينغهوا: «لقد ذهبت في منحة دراسية إلى المجر في عام ٢٠١٣ بدعم قدمّته الوكالة. وقد انعكس أثر العمل الذي حظيت به في مختبر دولي ومشاركتي في الدورات التدريبية انعكاساً مباشراً على العمل الذي نقوم به حالياً هنا.»

في عام ٢٠١٧، أقيم مرفق تجريبي في جينهوا، وهي مدينة تقع على بعد ٣٠٠ كيلومتر جنوب غرب شنغهاي، بطاقة معالجة ١,٥ تبلغ مليون لتر يوميًّا من المياه العادمة الصادرة عن مصنع نسيج قريب. وبعد عامين من إطلاق هذا المشروع التجريبي، بدأ بناء محطة معالجة المياه العادمة التجارية في مصنع غزل غوانهوا. وقامت بتشييد محطة معالجة المياه الجديدة الجديدة شركة تنمية التكنولوجيا النووية، التابعة لشركة الطاقة النووية العامة الصينية، وتعالج أكثر من ٣٠ مليون لتر من المياه العادمة يوميًّا من خلال تشغيل سبعة معجِّلات إلكترونية. وقال دونغمنغ هو، المدير العام بشركة تنمية التكنولوجيا النووية: «يمكن إعادة استخدام أكثر من ٧٠٪ من المياه العادمة التي تمر خلال هذه العملية ليستفاد منها في المصنع، ارتفاعاً من معدل إعادة الاستخدام السابق البالغ ٥٠٪. ويعني ذلك أن الحاجة إلى المياه من النهر القريب لتشغيل المصنع باتت أقل، مما يوفر ٤,٥ مليار لتر من المياه كل عام.»

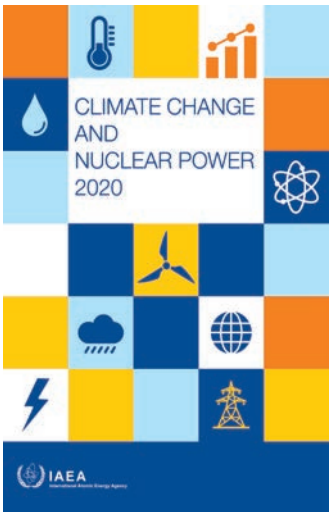
ونُشر نجاح هذا المشروع على نطاق واسع لدى الصناعات الأخرى في الصين، بهدف تنفيذ التكنولوجيا لمعالجة كميات متزايدة من المياه العادمة الناتجة عن النمو السكاني والتنمية الصناعية والزراعية. وقال هيي: «لدينا كمية كبيرة من المياه العادمة التي تصرَّف في الصين، ومن الصعب معالجتها بالتقنيات التقليدية. ولكن باستخدام الحزم الإلكترونية، يمكننا تحسين معدل إعادة تدوير المياه العادمة بشكل كبير.» وهناك مشاريع إيضاحية أخرى جارية في مقاطعات شينجيانغ وهوبي وقوانغشي. وقال هيي: «نحن نعمل على تنفيذ تقنية الحزم الإلكترونية في مجموعة متنوعة من الصناعات المختلفة في الصين.»

كيفية العمل

تستهلك صناعة النسيج كميات هائلة من المياه والمواد الكيميائية، مثل الأصباغ والنشويات والأحماض والأملاح والمنظفات، والتي تُصرَّف كلها أثناء عملية الإنتاج. وقال هان: «يمكن لتقنيات الإشعاع باستخدام تقنية الحزم الإلكترونية أن تحلل الكمية الكبيرة من الملوثات في المياه العادمة وأن تزيل هذه الملوثات المعقدة.» وفي هذه العملية، يولِّد معجِّل الإلكترونات شعاعاً إلكترونيًّا قادراً على تأيين جزيئات الماء، وبالتالي يولِّد جذوراً نشطة تتفاعل مع الملوثات العضوية الضارة الموجودة في المياه العادمة. ثم تتحلَّل هذه الملوثات وتصبح أشكالاً كيميائية أبسط ويسهل معالجتها بالطرق التقليدية.

وقال غاشو وولد، الذي يدير مشاريع التعاون التقني للوكالة في الصين: «هذا المشروع هو مثال بارز على كيف يمكن لمقدار صغير من الدعم الأولي من برنامج التعاون التقني للوكالة والمشاريع البحثية المنسقة أن يساهم في تحفيز ظهور صناعة مستدامة في بلد ما. والنتيجة هي عمليات صناعية أكثر نظافة وكفاءة لها تأثيرها الاجتماعي والاقتصادي الواضح على المستوى الوطني.»

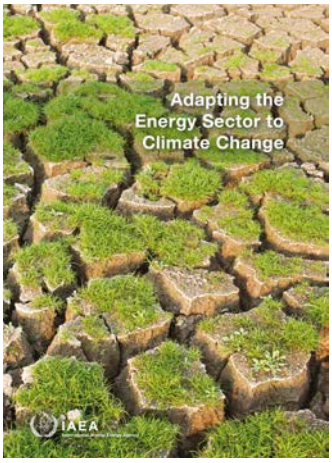
— بقلم كارلي ويليس



تغيُّر المناخ والقوى النووية لعام ٢٠٢٠

يقدم تحديثاً للوضع الحالي للقوى النووية وآفاق مساهمتها، جنباً إلى جنب مع مصادر الطاقة منخفضة الكربون الأخرى، في استراتيجيات التخفيف الطموحة التي ستساعد العالم على الحد من ظاهرة الاحترار العالمي إلى ١,٥ درجة مئوية بما يتماشى مع اتفاقية باريس لعام ٢٠١٦. وما انفكت الوكالة، منذ عام ٢٠٠٠، تُصدر هذه المعلومات والتحليلات بانتظام، من أجل دعم الدول الأعضاء التي تختار أن تدرج القوى النووية في نظام الطاقة لديها وكذلك تلك التي تدرس استراتيجيات أخرى. ويركز منشور ٢٠٢٠ على الإمكانات الكبيرة للطاقة النووية، المدمجة في نظام للطاقة منخفضة الكربونة، بغية المساهمة في هدف التخفيف من حدة تغير المناخ المحدد بـ١,٥ درجة مئوية، والتحديات التي تحدق ببلوغ هذا الهدف. ويجري استعراض لنظام الطاقة والعوامل المتعلقة بالسوق التي تؤثر على الانتقال إلى نظام للطاقة منخفضة الكربون. ويوضح هذا الإصدار أيضاً التطورات اللازمة لتحقيق الزيادة الكبيرة في السعة المطلوبة لإزالة الكربون بسرعة عن نظام الطاقة العالمي بما يتماشى مع الحد من ظاهرة الاحترار العالمي إلى ١,٥ درجة مئوية.

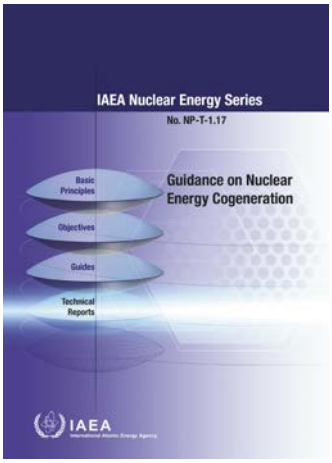
منشورات غير مسلسلة؛ الرقم الدولي الموحد للكتاب: ٢-١١٥٠٢٠-٠-٩٢-٩٧٨؛ الطبعة الإنكليزية؛ ٢٨,٠٠ يورو؛ ٢٠٢٠



تكييف قطاع الطاقة مع تغير المناخ

يستكشف المجموعة المتنوعة من التأثيرات على قطاع الطاقة الناتجة عن تغير المناخ التدريجي والظواهر الجوية المتطرفة، والسبل الممكنة لمكافحتها. وتُستَكشف جميعُ عناصر سلسلة الإمداد: قاعدة الموارد، واستخراج مصادر الطاقة المستنفدة ونقلها، وتوليد القوى، ونقلها وتوزيعها. ويتضمن المنشور ثلاث دراسات حالة لتقييم هشاشة قطاع الطاقة في الأرجنتين وباكستان وسلوفينيا.

منشورات غير متسلسلة؛ الرقم الدولي الموحد للكتاب: ٧-١٠٠٩١٩-٠-٩٢-٩٧٨؛ الطبعة الإنكليزية؛ ٤٠,٠٠ يورو؛ ٢٠١٩



إرشادات حول التوليد المشترك للطاقة النووية

يعطي مقدمة سريعة عن المزايا والخبرة والتخطيط المستقبلي لتنفيذ التوليد المشترك للطاقة النووية. كما يسلط الضوء على بعض المشاريع الإيضاحية التي وُضعت سابقاً فيما يتعلق بالصناعات، ووصف المفاهيم التقنية للمجمعات الصناعية النووية المشتركة. والغرض من المنشور هو أن يعود بالفائدة على المستخدمين في الأوساط الأكاديمية والصناعية وكذلك الوكالات الحكومية والمؤسسات العامة التي تحتاج إلى معلومات أساسية عن جوانب مختلفة من استخدام الطاقة النووية في التوليد المشترك.

العدد NP-T-1.17 من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة؛ الرقم الدولي الموحد للكتاب:
٧-١٠٤١١٩-٠-٩٢-٩٧٨؛ الطبعة الإنكليزية؛ ٣٢,٠٠ يورو؛ ٢٠١٩

للحصول على معلومات إضافية، أو لطلب كتاب، يُرجى الاتصال على العنوان التالي:

Marketing and Sales Unit
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100, A-1400 Vienna, Austria
البريد الإلكتروني: sales.publications@iaea.org

ISSN 1819-1800 20-02283

الملتقى العلمي

تسخير الطاقة النووية لأغراض المناخ

2020

#Atoms4Climate

IAEA
الوكالة الدولية للطاقة الذرية
تسخير الذرة من أجل السلام والتنمية

اطَّلعوا على هذا العدد والأعداد الأخرى من مجلة الوكالة على الموقع
www.iaea.org/bulletin

للحصول على المزيد من المعلومات عن الوكالة وعملها، زوروا موقعنا الشبكي
www.iaea.org

أو تابعونا على