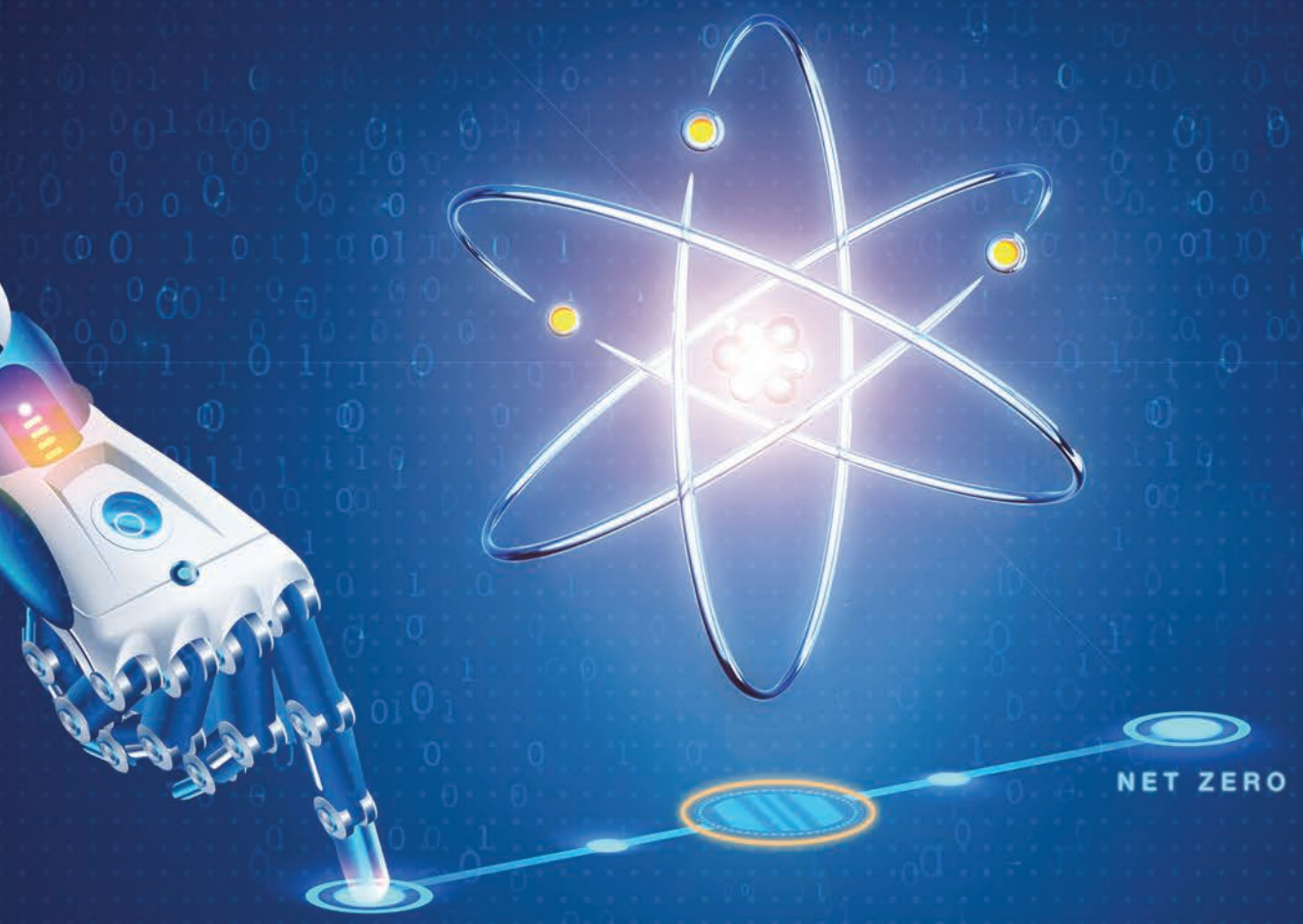
IAEA BULLETIN

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية

منشور الوكالة الرئيسي | أيلول/سبتمبر 2023 | www.iaea.org/ar/bulletin



الابتكارات النووية

من أجل عالم خالٍ من الانبعاثات

ابتكارات للطاقة المنخفضة الكربون على مدار الساعة طيلة أيام الأسبوع: قوة نُظم الطاقة الهجينة، صفحة 6

إزالة الكربون من الصناعات بالاستعانة بالمفاعلات النووية الصغيرة والمتناهية الصِّغر، صفحة 12

حين تكون النفايات النووية ذخراً لا عبئاً، صفحة 20

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية

يصدرها مكتب الإعلام العام والاتصالات
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

العنوان:
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
الهاتف: 0-2600 (1- 43)
البريد الإلكتروني: iaeabulletin@iaea.org

مديرة التحرير: جوان ليو
التصميم والإنتاج: ريتو كين

مجلة الوكالة متاحة عبر الإنترنت
على الموقع التالي:
www.iaea.org/ar/**bulletin**

يمكن استخدام مقتطفات من مواد الوكالة التي تتضمنها 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.

ووجهات النظر المُعرَب عنها في أي مقالة موقَّعة واردة في مجلة الوكالة لا تُمثِّل بالضرورة وجهة نظر الوكالة الدولية للطاقة الذرية، ولا تتحمَّل الوكالة أي مسؤولية عنها.

الغلاف:
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

تابعونا على

IAEA

تكمن مهمة الوكالة الدولية للطاقة الذرية في منع انتشار الأسلحة النووية ومساعدة جميع البلدان، لا سيما في العالم النامي، على الاستفادة من استخدام العلوم والتكنولوجيا النووية استخداماً سلميًّا ومأموناً وآمناً.

وقد تأسَّست الوكالة كمنظمة مستقلة في إطار منظومة الأمم المتحدة في عام 1957، وهي المنظمة الوحيدة ضمن هذه المنظومة التي لديها الخبرة في مجال التكنولوجيات النووية. وتساعد مختبرات الوكالة المتخصصة الفريدة من نوعها على نقل المعارف والدراية إلى الدول الأعضاء في الوكالة في مجالات مثل الصحة البشرية والأغذية والمياه والصناعة والبيئة.

وتقوم الوكالة كذلك بدور المنصة العالمية لتعزيز الأمن النووي. وقد أسَّست الوكالة سلسلة الأمن النووي لتصدر في إطارها المنشورات المحتوية على الإرشادات المتوافق عليها دوليًّا بشأن الأمن النووي. وتركِّز أنشطة الوكالة أيضاً على تقديم المساعدة للتقليل إلى أدنى حد من مخاطر وقوع المواد النووية وغيرها من المواد المشعة في أيدي الإرهابيين والمجرمين، أو خطر تعرُّض المرافق النووية لأعمال شريرة.

وتوفِّر معايير الأمان الصادرة عن الوكالة المبادئ الأساسية والمتطلبات والتوصيات اللازمة لضمان الأمان النووي وتجسيد توافق الآراء الدولي حول ما يشكِّل مستوى عالياً من الأمان لحماية الناس والبيئة من التأثيرات الضارة للإشعاعات المؤينة. وقد وُضِعت معايير الأمان الخاصة بالوكالة لتطبيقها في جميع أنواع المرافق والأنشطة النووية التي تُستَخدَم للأغراض السلمية، وكذلك لتطبيقها في الإجراءات الوقائية الرامية إلى الحد من المخاطر الإشعاعية القائمة.

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

ويشمل عمل الوكالة جوانب متعددة، وتشارك فيه طائفة واسعة ومتنوعة من الشركاء على الصعيد الوطني والإقليمي والدولي. وتُحدَّد برامج الوكالة وميزانياتها من خلال مقررات جهازي تقرير سياسات الوكالة، أي مجلس المحافظين المؤلَّف من 35 عضواً والمؤتمر العام الذي يضم جميع الدول الأعضاء.

ويوجد المقر الرئيسي للوكالة في مركز فيينا الدولي. كما توجد مكاتب ميدانية ومكاتب اتصال في جنيف ونيويورك وطوكيو وتورونتو. وتدير الوكالة مختبراتٍ علميةً في كلٍّ من موناكو وزايبرسدورف وفيينا. وعلاوةً على ذلك، تدعم الوكالة مركز عبد السلام الدولي للفيزياء النظرية في تريستي بإيطاليا وتوفر له التمويل اللازم.

رحلتنا المبتكرة نحو عالم خالٍ من الانبعاثات

بقلم رافائيل ماريانو غروسي،
المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية

في الوقت الذي نواجه فيه العواقب المتفاقمة لتغيُّر المناخ والحاجة الملحّة للتنمية المستدامة، يتمّ التسليم على نحو متزايد بأنّ القوى النووية هي حلٌّ موثوق لدعم تحوُّلنا إلى عالم خالٍ من الانبعاثات.

وسيتعين أن تزداد قدرة الطاقة النووية إلى أكثر من الضِّعف عن مستوياتها الحالية إذا ما أريدَ حقاً تحقيق أهداف المناخ العالمية. ومع ذلك، فإن تكنولوجيا الطاقة الحالية لن تكون كافيةً. ويتعيّن تحقيق نِصف تخفيضات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون اللازمة لبلوغ صافي الانبعاثات الصفري في عام 2050 من تكنولوجيات غير متاحة بعدُ في الأسواق. وهنا تكمن الأهمية البالغة للابتكارات التقنية. ويتفق خبراء الصناعة النووية على أن تعزيز القدرة التصنيعية والقدرة على إنتاج الوقود، بالإضافة إلى تنسيق النُّهج الرقابية، سيكون أمراً بالغ الأهمية لنشر الجيل التالي من المفاعلات النووية.

ومع الحاجة الملحّة إلى تخفيف الانبعاثات وتحسين أمن الطاقة في جميع أنحاء العالم، لا يمكن التقليل من أهمية القوى النووية، وكذلك الابتكارات التي ستساعدنا على تحقيق إمكاناتها الكاملة - من تصاميم المفاعلات الجديدة التي تتجاوز معايير الكفاءة إلى إدماج الذكاء الاصطناعي في حلول دورة حياة محطات القوى النووية. وبالإضافة إلى توليد الكهرباء، تُستخدم المفاعلات النووية بالفعل لتحلية مياه البحر، وثمة إمكانات هائلة لمزيد من التطبيقات غير الكهربائية. وتقدّم هذه المجلة لمحة عامة على هذه التطورات المبتكرة وتتضمّن مساهمات من خبراء بارزين.

وثمة اهتمام متزايد بالمفاعلات النمطية الصغيرة، والمفاعلات النووية المتقدمة التي تولّد عادةً ما يصل إلى 300 ميغاواط (كهربائي). ويبدو أن المفاعلات النمطية الصغيرة باتت على وشك أن توسّع نطاق الوصول العالمي إلى الطاقة النووية لأنها أكثر ملاءمةً لشبكات الكهرباء الصغيرة وتتكامل بسهولة أكبر مع مصادر الطاقة المتجددة. وهو ما يجعلها حلاً محتملاً للبلدان النامية، التي أظهرَ الكثير منها اهتماماً بفهم التكنولوجيا بشكل أفضل. وهناك ما يربو على 80 تصميماً للمفاعلات النمطية الصغيرة في مراحل مختلفة من التطوير في 18 بلداً، مع نشر وحدات المفاعلات النمطية الصغيرة بالفعل في الصين والاتحاد الروسي، وهناك تصميم واحد قيد الإنشاء في الأرجنتين. وتؤدي منصة الوكالة المعنية بالمفاعلات النمطية الصغيرة وتطبيقاتها، وكذلك مبادرة الوكالة للتنسيق والتوحيد في المجال النووي، دورين مهمين في دعم نشر المفاعلات النمطية الصغيرة المأمونة والآمنة في جميع أنحاء العالم.

وخلال مؤتمر الأمم المتحدة المعني بتغير المناخ العام الماضي (COP27)، أطلقتْ مبادرة Atoms4NetZero. وهي تزوّد البلدان والأطراف المعنيّة بالخبرة التقنية والأدلة العلمية بشأن الطاقة النووية لإزالة الكربون من إنتاج الكهرباء، فضلاً عن القطاعات التي يصعب إزالة الكهرباء منها مثل الصناعة والنقل. وتساعد المبادرة على وضع نموذج لكيفية مساهمة القوى النووية في خفض انبعاثات غازات الدفيئة إلى مستوى الصفر بحلول عام 2050.

الأمر بات واضحاً: لتحقيق غايات الانبعاثات العالمية، نحن بحاجة إلى الطاقة النووية. وسيتوقف النجاح على استمرار تشغيل العديد من المحطات القائمة؛ وتشييد المزيد من محطات القوى النووية التقليدية الضخمة؛ ونشر المفاعلات المتقدمة، بما في ذلك المفاعلات النمطية الصغيرة. وهو ما يستلزم المزيد من الابتكار والتعاون في كل نقطة من نقاط دورة الوقود. وستواصِل الوكالة الاضطلاع بدورها الفريد في تيسير كليهما حتى تتمكن الطاقة النووية من القيام بدورها في خلق عالم مزدهر لا يكلفنا كوكبنا.

”مع الحاجة الملحّة إلى تخفيف الانبعاثات وتحسين أمن الطاقة في جميع أنحاء العالم، لا يمكن التقليل من أهمية القوى النووية، وكذلك الابتكارات التي ستساعدنا على تحقيق إمكاناتها الكاملة.“

– رافائيل ماريانو غروسي، المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية

الصور: الوكالة الدولية للطاقة الذرية

1 رحلتنا المبتكرة نحو عالم خالٍ من الانبعاثات

4 ما صافي الانبعاثات الصفري؟
وما دور القوى والابتكارات النووية؟

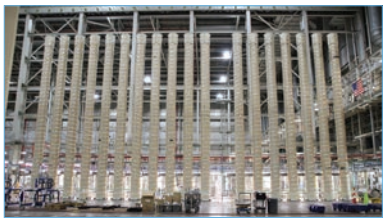
6 ابتكارات للطاقة المنخفضة الكربون على مدار الساعة طيلة أيام الأسبوع
قوة نُظم الطاقة الهجينة

8 إزالة الكربون من إنتاج الصّلب بالاستعانة بالهيدروجين النووي

10 تسخير القوى النووية في تحلية المياه لضمان موارد المياه العذبة

12 إزالة الكربون من الصناعات بالاستعانة بالمفاعلات النووية الصغيرة والمتناهية الصّغر

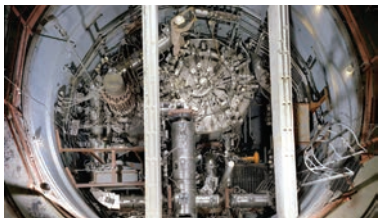
14 الأخذ بوعد التصنيع بإضافة الطبقات للمفاعلات النووية المتقدّمة



16 مدٌّ المستقبل بالوقود
بناء سلاسل توريد الوقود للمفاعلات النمطية الصغيرة والمفاعلات المتقدمة

18 تحسين إنتاج القوى النووية بالاستعانة بالذكاء الاصطناعي

20 حين تكون النفايات النووية ذخراً لا عبئاً



22 إمكانات الثوريوم على المدى الطويل في مجال الطاقة النووية

24 تنظيم تصاميم المفاعلات الابتكارية

26 التحقق من الوقود النووي المستهلَك في المستودعات الجيولوجية العميقة

أسئلة وأجوبة

28 تشكيل التصورات بشأن الطاقة النووية

تحديثات الوكالة

30 أخبار الوكالة

32 المنشورات

ما صافي الانبعاثات الصفري؟ وما دور القوى والابتكارات النووية؟

بقلم جوان ليو

في إطار السعي لتحقيق مستقبل مستدام وقادر على التكيُّف مع المناخ، برز تحقيق صافي الانبعاثات الصفري لغازات الدفيئة كغايةٍ متوخاة في جميع أنحاء العالم. ويُقصد بتحقيق صافي الانبعاثات الصفري إما استخدام التكنولوجيات التي لا تنبعث منها أيُّ غازات دفيئة - مثل مصادر الطاقة المتجددة والطاقة الكهرمائية والقوى النووية - أو السماح ببعض مستويات الانبعاثات وإزالة كمية مساوية من الغلاف الجوي من خلال احتجاز الكربون أو تكنولوجيات أخرى.

وأوضح هنري بايير، رئيس قسم التخطيط والدراسات الاقتصادية في الوكالة قائلاً: "ثمة إجماع داخل الأوساط المناخية على أنه، لضمان أن يقتصر الاحترار العالمي على 1.5 درجة مئوية بحلول نهاية هذا القرن، يتعيّن تحقيق الحيادية الكربونية في نظام الطاقة، وهو المصدر الرئيسي لانبعاثات غازات الدفيئة. وهذا يعني عدم وجود انبعاثات أو تحقيق صافي الانبعاثات الصفري". ويهدف اتفاق باريس لعام 2015 - وهو اتفاق تبناه 196 بلداً - إلى خفض الاحترار العالمي إلى مستوى دون درجتين مئويتين، ويُفضل إلى مستوى 1.5 درجة مئوية.

وثمة توافُق آراء في الأوساط العلمية على أن النشاط البشري هو المحرك الرئيسي لتغيُّر المناخ. ويؤدي حرق أنواع الوقود الأحفوري وإزالة الغطاء النباتي وقطع أشجار الغابات، بما في ذلك الأيكات الساحلية (المانجروف)، إلى توليد غازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون والميثان، التي تحبس الحرارة وتؤدي إلى ارتفاع درجات الحرارة. وتزايُد تواتر الظواهر الجوية المتطرفة، وارتفاع مستويات سطح البحر، والتغيرات في درجات الحرارة العالمية كلها أمور تؤكد الحاجة الملحّة للانتقال إلى مجتمع محايد الكربون.

وقد التزمت الدول في جميع أنحاء العالم بخفض انبعاثات غازات الدفيئة للحدّ من أثرها والتصدّي للأزمة المناخية. وقال بايير: "تحقيق صافي الانبعاثات الصفري يتطلب نَهْجاً متعدد الأوجه يشمل تقليل استهلاك الوقود الأحفوري وزيادة الاعتماد على مصادر الطاقة النظيفة". وتوفر محطات القوى النووية 10 في المائة من إجمالي الكهرباء في العالم ورُبع إمداداته المنخفضة الكربون، وذلك وفقاً لمنشور World Energy Outlook 2022 (توقعات الطاقة في العالم لعام 2022) الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة.

وأضاف بايير قائلاً: "تَبْرُز القوى النووية، التي تشتهر ببصمتها الكربونية المنخفضة وتوليد الطاقة بشكل موثوق، كأحد أبرز الأطراف الفاعلة في التحول نحو الطاقة النظيفة".

مسار مبتكر إلى الأمام

الابتكارات في الصناعة النووية ستكون حاسمة الأهمية في تسخير الإمكانات الكامنة الكاملة للقوى النووية نحو تحقيق أهداف صافي الانبعاثات الصفري. وتدخل تصاميم المفاعلات الجديدة إلى المشهد جنباً إلى جنب مع أساليب التصنيع النمطية الجديدة، فكلها توفر فرصاً وتنطوي على تحدّيات فيما يتعلق بنشر المفاعلات. وتجد مبادرة التنسيق والتوحيد في المجال النووي المنبثقة عن الوكالة أرضيةً مشتركةً فيما بين الرقابيين والمصممين والمشغّلين وغيرهم من الأطراف المعنيّة لدعم النشر المأمون والآمن لهذه المفاعلات المتقدمة، بما في ذلك المفاعلات النمطية الصغيرة.

ومع ذلك، فإن آفاق القوى النووية لا تعتمد على الابتكارات في تكنولوجيات المفاعلات فحسب ولكن أيضاً الابتكارات في عمليات التصنيع، وتأمين إمدادات الوقود، وحلول الوقود المستهلَك وعوامل

أخرى. وبالفعل هناك أمثلة على الكيفية التي تعمل بها ابتكاراتٌ، مثل الذكاء الاصطناعي والتصنيع بإضافة الطبقات، على تمهيد الطريق لحلول مأمونة ومستدامة يمكن أن تدعم الوفورات في التكاليف وتحسّن اقتصاديات تشغيل محطات القوى النووية.

وفي حين أن طاقة الرياح والطاقة الشمسية هي مصادر طاقة متغيرة تعتمد على الطقس والوقت من اليوم، فإن محطات القوى النووية هي مصادر طاقة يمكن التحكم في مخرجاتها - أي يمكنها ضبط ناتجها وفقاً للطلب على الكهرباء. وإمكانات أنظمة الطاقة الهجينة التي توحّد مصادر الطاقة النووية والمتجددة تلبي الحاجة إلى مرونة الشبكة الكهربائية وخفض الانبعاثات، مع تحسين الموارد المالية. وبالإضافة إلى ذلك، فإنّ التوسع في استخدام القوى النووية في التطبيقات غير الكهربائية، بما في ذلك تدفئة الأحياء السكنية، وإنتاج الهيدروجين، وتحلية المياه، والحرارة للعمليات الصناعية، يوفر خيارات لتقليل الانبعاثات.

وفي إطار السعي لتحقيق صافي الانبعاثات الصفري، تقول وكالة الطاقة الدولية إنّ الطاقة النووية في وَضْع يؤهلها للمساعدة على إزالة الكربون من إمدادات الكهرباء، وإنّ تقليل القوى النووية من شأنه أن يجعل طموحات تحقيق صافي الانبعاثات الصفري أكثر تكلفةً ويصعب تحقيقها. ومن أجل تسخير قوة الطاقة النووية في الانتقال إلى تحقيق عالم خالٍ من الانبعاثات، أطلقت الوكالة مبادرة تسخير الذرة من أجل عالمٍ خالٍ من الانبعاثات Atoms4NetZero. وتسعى المبادرة إلى إعلام واضعي السياسات وصناع القرار بشأن الطريق المحتمل للمُضيّ قُدُماً في القوى النووية بصفتها الدعامة الموثوقة لعمليات التحوُّل نحو الطاقة النظيفة والميسورة التكلفة والمرنة والأكثر أمناً. وحتى آب/أغسطس 2023، كان هناك 410 مفاعلات قوى نووية قيد التشغيل بإجمالي أكثر من 368 000 غيغاواط (كهربائي) من القدرة المنشأة في 31 بلداً. وبالإضافة إلى ذلك، هناك 57 مفاعلاً قيد الإنشاء في 17 بلداً، بما في ذلك 3 بلدان تقوم ببناء باكورة مفاعلاتها النووية.

وكان التحول العالمي نحو القوى النووية واضحاً العام المنصرم في المؤتمر العام للوكالة لعام 2022. فقد عزز 51 بلداً، وهو عدد غير مسبوق، دور القوى النووية في تحقيق الأهداف المتعلقة بالتخفيف من حدة تغيُّر المناخ وأمن الطاقة والتنمية المستدامة.

وقال المدير العام للوكالة رافائيل ماريانو غروسي في كلمته الموجّهة للمؤتمر: "لقد دفعت أزمة المناخ وأزمة الطاقة المزيد من البلدان إلى النظر إلى القوى النووية كجزء من الحلّ، وقد أظهرت استطلاعات الرأي العام في جميع أنحاء العالم معدَّل قبول متزايد لها". وأردف قائلاً: "ما تنفرد به القوى النووية بصفتها مصدراً مأموناً وآمناً وموثوقاً للطاقة مسألة بالغة الأهمية للتحول نحو الطاقة الخضراء في العالم".

"تَبْرُز القوى النووية، التي تشتهر ببصمتها الكربونية المنخفضة وتوليد الطاقة بشكل موثوق، كأحد أبرز الأطراف الفاعلة في التحول نحو الطاقة النظيفة."

- هنري بايير،
رئيس قسم التخطيط والدراسات الاقتصادية، الوكالة الدولية للطاقة الذرية

ابتكارات للطاقة المنخفضة الكربون على مدار الساعة طيلة أيام الأسبوع:

قوة نُظم الطاقة الهجينة

بقلم إيما ميدجلي

جميع مصادر الطاقة المنخفضة الكربون يُعدُّ نشرها أمراً أساسياً للحدّ من الانبعاثات الناجمة عن قطاع الطاقة. ومع ازدياد حصة النُظم المتجددة المتقطعة في شبكات الطاقة لضمان إمدادات الطاقة المنخفضة الكربون على مدار الساعة طيلة أيام الأسبوع 7/24، تُستخدم محطات القوى النووية في نُظم الطاقة الهجينة لسدّ الفجوات التي يخلّفها إنتاج الكهرباء بالطاقة الشمسية وطاقة الرياح.

والقوى النووية مصدر يمكن التحكم بمخرجاته لتوليد الطاقة، وهي قادرة على التكيف مع الطلب المتغير على الطاقة، ويمكنها توليد كميات هائلة من الكهرباء الموثوقة والمنخفضة الكربون على مدار الساعة. وهذا الاستقرار هو السبب في استخدام القوى النووية عادةً للأحمال الأساسية - فهي تعمل بشكل متواصل مع اختلاف ضئيل، إنْ وُجد، في ناتج الطاقة. وإلى جانب مصادر الطاقة المتجددة، تسهم القوى النووية أيضاً في استقرار شبكات الكهرباء من خلال دعم الناتج المتقطع للمصادر المتجددة. وعلى سبيل المثال، فمن المعتاد لدى بعض محطات القوى النووية في الولايات المتحدة الأمريكية تعديل القدرة الإنتاجية بنحو 10 إلى 15 في المائة تبعاً للتفاوتات الاعتيادية في الطلب على الكهرباء وتقطُّع مساهمة مصادر الطاقة المتجددة في تلبية هذا الطلب.

وقالت تاتيانا جبريموفيتش، رئيسة فريق تطوير تكنولوجيا المفاعلات المبرَّدة بالماء في الوكالة: "توفر نُظم الطاقة الهجينة النووية-المتجددة أوجُه تآزر قوية، فهي تجمع بين الموثوقية وقدرة الأحمال الأساسية للقوى النووية والمصادر المتجددة المتقطعة. وهذا النَّهْج المتكامل هو المفتاح للطاقة القادرة على التكيف والمنخفضة الكربون في المستقبل والتي يمكنها تلبية الطلب المتزايد مع التخفيف من حدّة تغيُّر المناخ في آنٍ معاً".

وإذا ما أردنا إزالة الكربون في كلّ ساعة من استهلاك الطاقة، يتعيّن علينا استخدام جميع التكنولوجيات الخالية من الكربون. وما يزال يتعيّن استغلال إمكانات التآزر فيما بين موارد الطاقة استغلالاً كاملاً، ويقوم الخبراء باستقصاء المزايا الاستراتيجية للدمج المباشر لبدائل هذه النُظم. وتسعى نُظم الطاقة الهجينة النووية-المتجددة إلى تسخير مصادر الطاقة النووية والمتجددة في آنٍ معاً والاستفادة من كلّ فوائدهما. والهدف هو تزويد الشبكة بكهرباء يمكن الاعتماد عليها ومستدامة، مع توفير طاقة منخفضة الكربون في الوقت نفسه لمختلف قطاعات استهلاك الطاقة.

النُظم المقترنة

تتضمن النُظم الهجينة مولّدات طاقة متعددة بطريقتين متميزتين. أولاهما من خلال نُظم مقترنة اقتراناً فضفاضاً، والتي تجمع بين نواتج مصادر الطاقة المختلفة لتعزيز الأداء العام للنظام وموثوقيته. وثانيهما، وهي لم تتحقق بعدُ - من خلال نُظم أكثر تكاملاً ومقترنة اقتراناً محكماً. ويستفيد هذا النوع من النُظم من نقاط القوة الفريدة لكلّ مكوّن لتحقيق ما هو أمثل على صعيد ناتج الطاقة والفوائد البيئية.

"توفر نُظُم الطاقة الهجينة النووية-المتجددة أوجُه تآزر قوية، فهي تجمع بين الموثوقية وقدرة الأحمال الأساسية للقوى النووية والمصادر المتجددة المتقطعة."

- تاتيانا جبريموفيتش، رئيسة الفريق، تطوير تكنولوجيا المفاعلات المبرَّدة بالماء، الوكالة الدولية للطاقة الذرية

وقالت جبريموفيتش: "الانتقال نحو نُظم طاقة أكثر تكاملاً ينطوي على إمكانية ضمان تلبية الطلب المتسق على الشبكة، بصرف النظر عما إذا كان توليد الطاقة يأتي من مصادر الطاقة النووية أو طاقة الرياح أو الطاقة المائية أو الطاقة الشمسية أو الكتلة الحيوية أو الطاقة الحرارية الأرضية. ومن الناحية المثالية، ستتضمن مثل هذه النُظم أيضاً حلول تخزين الطاقة لإدارة التقلبات في صافي الطلب على الطاقة بشكل فعّال". وأردفت قائلة: "بالإضافة إلى ذلك، فإن إدراج الضرائب على استخدام الكربون في التقييم الاقتصادي لاعتماد نُظم الطاقة الهجينة النووية-المتجددة يمكن أن يجعل تكاليفها التشغيلية أقلّ من تلك المرتبطة بمصادر طاقة الوقود الأحفوري التقليدية".

وفي المستقبل، ستُصمَّم نُظم الطاقة الهجينة المقترنة اقتراناً محكماً لتحقيق أقصى قدر من أوجُه التآزر وتحسين توليد الطاقة بناء على الظروف الآنية. فعلى سبيل المثال، يمكن إدماج المصادر المتجددة بشكل أكبر مع محطات القوى النووية لتوفير الطاقة التكميلية خلال فترة ذروة الطلب، والتعويض عن عدم مرونة القوى النووية في تغيير الناتج بسرعة. وفي مثال آخر، إذا ما أُدمجت القوى النووية في النظم الكهرمائية، يمكن استخدام الطاقة الفائضة من المفاعلات النووية خارج ساعات الذروة لضخ المياه إلى المستودعات المرتفعة، والتي يمكن إطلاقها لاحقاً لتشغيل توربينات الطاقة الكهرمائية خلال فترات ارتفاع الطلب.

ونُظُم الطاقة الهجينة النووية-المتجددة يمكن استخدامها أيضاً لإدارة وتنسيق توليد الكهرباء في المواقع النائية أو الموجودة خارج نطاق الشبكة بما يكفل إمدادات الكهرباء للبنية الأساسية الحيوية، مثل المستشفيات أو مستودعات النقل. وقد عرض مختبر أيداهو الوطني مؤخراً نظاماً قائماً بذاته يسمى "الشبكة الصّغرية في صندوق" (microgrid in a box). وفي هذا السيناريو، يُدمج مفاعل معياري صغير مع الطاقة المائية أو الشمسية أو طاقة الرياح لتزويد الكهرباء في حالة انقطاع التيار الكهربائي أو تعطُّل الشبكة الكهربائية على نطاق واسع.

دور الوكالة الدولية للطاقة الذرية

أطلقت الوكالة مؤخراً مشروعاً بحثياً منسقاً في مجال التقييم التقني لنُظُم الطاقة الهجينة النووية-المتجددة وتحقيق المستوى الأمثل فيما يخصها. والهدف من ذلك هو تحسين منهجيات تقييم الدور الذي يمكن أن تقوم به نُظُم الطاقة الهجينة النووية-المتجددة في نُظم الطاقة الحالية والمستقبلية، وتحديد الفرص، وتعزيز التعاون الدولي، وتبادل المعارف بشأن هذا الموضوع لمساعدة البلدان على تحقيق أهدافها على صعيد صافي الانبعاثات الصفري. وباكستان من البلدان المشاركة في المشروع. وقال حسيب الرحمن، المهندس الأول والأستاذ المساعد في المعهد الباكستاني للهندسة والعلوم التطبيقية: "وَسْط احتياجات باكستان من الطاقة وبالنظر إلى التحديات البيئية العالمية، تتألق استراتيجية تكامُل الطاقة النووية-المتجددة". وأضاف قائلاً: "أشعة الشمس والرياح وفيرتان، بينما تتميز القوى النووية بإضافة النواة الثابتة. وهذا المزيج يقلّل من الانبعاثات ويعزز أمن الطاقة".

وأطلقت الوكالة منصة اسمها المركزَ الإلكتروني لأجهزة محاكاة أجزاء ومهامّ محددة في محطات القوى النووية (هوبز) بالتعاون مع المركز المتعاون مع الوكالة في المعهد الباكستاني للهندسة والعلوم التطبيقية. وتتضمن منصة هوبز جهازَي محاكاة يعتمدان على نظام الطاقة الهجينة النووية-طاقة الرياح ونظام الطاقة الهجينة النووية-الشمسية. وتمكّن أجهزة المحاكاة عبر الإنترنت المستخدمين من إجراء تدريب على الأداء التشغيلي لنُظم محطات القوى النووية والأنظمة الفرعية. وتُوزَّع أجهزة المحاكاة والوثائق المرتبطة بها عند الطلب دون أي تكلفة على المهنيين النوويين في جميع أنحاء العالم.

نُظم الطاقة المتكاملة لديها القدرة على ضمان تلبية الطلب المتسق على الشبكة، بصرف النظر عما إذا كان توليد الطاقة يأتي من مصادر الطاقة النووية أو المتجددة.
(الصورة: الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

إزالة الكربون من إنتاج الصُّلب بالاستعانة بالهيدروجين النووي

بقلم ماريا بلاتونوفا

”بلدان عدة في جميع أنحاء العالم تستكشف وتختبر استخدام الطاقة النووية لإنتاج الهيدروجين النظيف، بما في ذلك استخدامه في إنتاج الصُّلب.“

– آلين دي كلوازو، مديرة شعبة القوى النووية، الوكالة الدولية للطاقة الذرية

يستحوذ إنتاج الصُّلب على أكثر من 7 في المائة من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون العالمية. بل من المتوقع أن ترتفع هذه النسبة المئوية في العقود المقبلة، بالاقتران بالطلب المتزايد على الصُّلب، لما له من أهمية حيوية لقطاعات تتراوح من الطاقة والنقل إلى البناء والأجهزة الاستهلاكية. ومع ذلك، يمكن أن تساعد الطاقة النووية على وَضْع إنتاج الصُّلب على طريق تحقيق صافي الانبعاثات الصفري.

ويُنتج قرابة مليارَي طنّ من الصُّلب سنوياً حول العالم. ووفقاً لوكالة الطاقة الدولية، من المتوقع أن يرتفع الطلب على الصُّلب بأكثر من الثُّلث بحلول عام 2050، خصوصاً في البلدان النامية. ويبحث عدد متزايد من الشركات العالمية عن طرق لإزالة الكربون من العمليات الصناعية التي تتسم بكثافة استهلاك الطاقة في هذا القطاع.

وتعتمد صناعة الصُّلب إلى حد بعيد على فحم الكوك لتشغيل أفران الصَّهْر، التي تحوّل خام الحديد إلى صُلب، وتنبعث من هذه العملية كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون. لكن من الممكن تصنيع الصُّلب باستخدام طريقة تُسمّى الاختزال المباشر للحديد، حيث يتفاعل الهيدروجين مع خام الحديد دون أن ينصهر وينبعث منه بخار الماء وبدون ثاني أكسيد الكربون.

وقال فرانشيسكو غاندا، رئيس الفريق التقني للتطبيقات غير الكهربائية في الوكالة: "كمية الهيدروجين اللازمة لإنتاج الصُّلب الأخضر مذهلة. وتقليدياً، استُخدم الوقود الأحفوري لتوليد كلّ الهيدروجين تقريباً، وبالتالي فإن إيجاد الكمية الضرورية من هيدروجين خالٍ من الكربون سيكون أحد أكبر التحديات". وأضاف قائلاً: "إنتاج الهيدروجين النووي، بدون انبعاثات، يمكن أن يغيّر قواعد اللعبة تماماً في هذا القطاع، فالقوى النووية تنطوي على إمكانية توفير قدر كافٍ من الحرارة والكهرباء على مدار الساعة طوال أيام الأسبوع لإنتاج الكمية المطلوبة من الهيدروجين. وهذا يمكن أن يساعد على اتخاذ خطوات كبيرة في التحوُّل نحو الطاقة النظيفة".

ويمكن لمفاعلات القوى النووية المقترنة بمحطة إنتاج الهيدروجين أن تنتج بكفاءة كلاً من الطاقة والهيدروجين كنظام توليد مشترك، مزوَّد بمكونات إما للتحليل الكهربائي أو العمليات الحرارية الكيميائية. والتحليل الكهربائي هو عملية تحفيز جزيئات الماء على الانقسام باستخدام تيار كهربائي مباشر، ما ينتج كلاً من الهيدروجين والأكسجين.

ويعمل التحليل الكهربائي للماء عند درجات حرارة منخفضة نسبياً تقلُّ عن 100 درجة مئوية، بينما يعمل التحليل الكهربائي بالبخار عند درجات حرارة أعلى بكثير تتراوح من نحو 700 إلى 800 درجة مئوية ويتطلب كهرباء أقلّ من التحليل الكهربائي للماء. والتحليل الكهربائي للماء هو عملية يتمّ من خلالها استخدام الكهرباء لفصل الهيدروجين عن الأكسجين في الماء. وهذا النوع من التكنولوجيا متاح تجارياً منذ عقود. ويتبع التحليل الكهربائي بدرجة حرارة عالية المبدأ نفسه لكنه يستخدم الماء في شكل بخار، ما يقلّل من كمية الكهرباء المطلوبة.

وهذا التقدم في تكنولوجيات المحلّل الكهربائي يجعل إنتاج الهيدروجين من مفاعلات القوى النووية التقليدية أكثر كفاءةً وأقلّ تكلفة. وتقوم محطة قوى نووية واحدة على الأقلّ في الولايات المتحدة الأمريكية – محطة القوى النووية في Prairie Island في مينيسوتا - بتركيب محلّل كهربائي بدرجة حرارة عالية وتستخدم الحرارة المتأتية من المفاعل لخفض استخدام الكهرباء، وبالتالي تكلفة إنتاج الهيدروجين النووي.

وقال أخيل باتيجا، مدير تطوير أعمال الهيدروجين في Bloom Energy، وهي شركة تنتج خلايا وقود الأكسيد الصلب لتوليد الطاقة: "يمكن أن تستفيد العملية العالية الحرارة للمحلّلات الكهربائية للأكسيد الصلب من الطاقة الحرارية المتأتية من محطة القوى النووية على شكل بخار، ما يمنح المحلّلات الكهربائية معدل كفاءة عالياً للغاية". وأردف قائلاً: "ونظراً لأن تكاليف الكهرباء تمثل غالبية التكاليف التي ينطوي عليها الهيدروجين المولَّد بالكهرباء، فإن هذا يمثل أفضل عرض للقيمة الاقتصادية لمحطة القوى النووية ولإنتاج هيدروجين منخفض الكربون".

دور الوكالة الدولية للطاقة الذرية

تساعد الوكالة البلدانَ من خلال دعم البحوث الجارية عن استخدام القدرات النووية الحالية لإنتاج الهيدروجين، بما في ذلك من خلال مشاريع بحثية منسَّقة. ولمساعدة البلدان على تقييم وتخطيط ووضع استراتيجيات لتطوير مشاريع الهيدروجين النووي، نظّمت الوكالة أيضاً اجتماعات تقنية ووضعت برنامج التقييم الاقتصادي للهيدروجين، وهو أداة لتقييم الجدوى التقنية- الاقتصادية لإنتاج الهيدروجين على نطاق واسع باستخدام الطاقة النووية. وبالإضافة إلى ذلك، في عام 2022، أطلقت الوكالة مبادرة لوضع خريطة طريق للنشر التجاري لإنتاج الهيدروجين باستخدام الطاقة النووية، وأصدرت دورة تعلُّم إلكتروني عن إنتاج الهيدروجين من خلال التوليد المشترك للطاقة النووية.

وقالت ألين دي كلوازو، مديرة شعبة القوى النووية في الوكالة: "بلدان عدة في جميع أنحاء العالم تستكشف وتختبر استخدام الطاقة النووية لإنتاج الهيدروجين النظيف، بما في ذلك استخدامه في إنتاج الصُّلب". وأضافت قائلة: "ومع ظهور تكنولوجيا المحلّلات الكهربائية الجديدة والأكثر كفاءةً، ومع عملية نشر تكنولوجيات المفاعلات المتقدمة، مثل المفاعلات العالية الحرارة، في الأفق، أصبحت الطاقة النووية في وضع جيد لتقديم مساهمة رئيسية في إنتاج الهيدروجين النظيف وإزالة الكربون من إنتاج الصُّلب والصناعات الأخرى".

استخدام القوى النووية المنخفضة الكربون لإنتاج الهيدروجين يمكن أن يكون له تأثير في عملية إزالة الكربون من صناعة الصُّلب.
(الصورة: Adobe Stock)

تسخير القوى النووية في تحلية المياه لضمان موارد المياه العذبة

بقلم عمر يوسف

تتبوأ المياه مكانة مهمة في صُلب الأزمة المناخية. ومن المتوقع أن يؤدي ارتفاع مستويات سطح البحر، وتزايُد تواتُر حدوث الفيضانات والجفاف، وانحسار الغطاء الجليدي والثلجي، إلى إعاقة الوصول إلى مصادر المياه الصالحة للشرب. وبدون حلول للتخفيف من هذه الآثار وغيرها من آثار تغيُّر المناخ، ستشكل نُدرة المياه تهديداً متزايداً لنوعية الحياة على نطاق عالمي. والطلب على المياه العذبة لأغراض الشرب والاستخدامات الصناعية لا يقتصر على البلدان غير الساحلية، بل يؤثر أيضاً في الدول الجزرية الصغيرة النامية والبلدان ذات الأقاليم الساحلية الكبيرة.

ويمكن لمحطات القوى النووية أن تقدّم أحد الحلول بأن تخدم غرضاً مزدوجاً: إنتاج كهرباء منخفضة الكربون وتحويل مياه البحر إلى مياه عذبة. وقال فرانشيسكو غاندا، رئيس الفريق التقني للتطبيقات غير الكهربائية في الوكالة: "التطبيقات غير الكهربائية التي تعمل بالطاقة النووية، مثل تحلية المياه، تقدّم حلولاً مستدامة لعدد من المساعي التي تستخدم المياه بكثافة - من الاحتياجات الاستهلاكية لملايين الأُسر والتطبيقات الصناعية للمياه العذبة إلى الزراعة وتربية الماشية - التي تواجهها الأجيال الحالية وأجيال المستقبل".

وعلى مدى ما يقرب من 30 عاماً، دعمت الوكالة جهودَ البلدان الرامية إلى تحسين إمدادات المياه النظيفة وجودتها وإمكانية الحصول عليها من خلال التحلية النووية، وهي عملية تستخدم الحرارة والكهرباء الناجمتين عن محطات القوى النووية لإزالة الملح والمعادن من مياه البحر من خلال التقطير أو الفصل بالأغشية، وعلى الأغلب بالتناضح العكسي. وتحلية المياه بالاستعانة بالقوى النووية أقلّ كثافةً كربونيةً، وذات تكلفة تنافسية مقارنة بالطرق البديلة، مثل التقنيات القائمة على الوقود الأحفوري. والهند واليابان وكازاخستان لديها الخبرة الأكبر في مجال التحلية النووية، فخبرتها التراكمية في تشغيل المفاعلات بنجاح تمتد لمئات السنوات. ويوفّر هذا الحل مساراً قابلاً للتطبيق وفعالاً من حيث التكلفة لمياه الشرب لآلاف المجتمعات. وأضاف غاندا قائلاً: "محطات القوى النووية يمكنها أن تساعد على تلبية الطلب المتزايد على المياه الصالحة للشرب وإعطاء بارقة أمل للمناطق التي تعاني نقصاً حاداً في المياه في العديد من المناطق القاحلة وشبه القاحلة".

وفي عام 1996، أنشأت الوكالة فريقاً استشارياً هو الأول من نوعه معنياً بالتحلية النووية، والذي ساعد على حَفز النقاش بشأن أنشطة التحلية النووية ووفر منتدى للبلدان لتبادل خبراتها في تطبيق محطات القوى النووية لتحلية المياه. ومنذ ذلك الحين، ازداد الاهتمام عالمياً بتحلية مياه البحر باستخدام الطاقة النووية.

وقال غاندا: "يفكّر عدد متزايد من البلدان بجدّية في تحلية المياه بالاستعانة بالطاقة النووية لتلبية

ثبتَ أن محطات التحلية النووية، مثل تلك التي تظهر هنا في مجمّع كراتشي للقوى النووية في باكستان، تمثّل خياراً قابلاً للتطبيق لتلبية الطلب المتزايد على المياه الصالحة للشرب.
(الصورة: هيئة الطاقة الذرية الباكستانية)

احتياجاتها من المياه، مع تجنُّب الانبعاثات الكربونية". وأضاف قائلاً: "وتحلية المياه تكنولوجيا مستهلِكة للطاقة بكثافة، لذا يتحتم تشغيلها بمصادر واسعة النطاق وخالية من الكربون، مثل الطاقة النووية، من أجل الاستمرار في إتاحة الإمكانية الأساسية للحصول على المياه النظيفة لعدد متزايد من الناس في جميع أنحاء العالم، وفي الوقت نفسه التصدّي لتغيُّر المناخ وتلبية الالتزامات بتحقيق صافي الانبعاثات الصفري. وتتصدَّر الوكالة الجهود المبذولة الرامية إلى دعم البلدان في تحقيق هذه الأهداف".

ولترسيخ وتسريع العمل في هذا المجال العلمي، طوّرت الوكالة وأطلقت برنامجين حاسوبيين هما: برنامج التقييم الاقتصادي لتحلية المياه (DEEP) وبرنامج التجويد الديناميكي الحراري لتحلية المياه (DE-TOP). والبرنامجان كلاهما مصمَّم لتمكين الخبراء من إجراء تحليلات اقتصادية وديناميكية حرارية وتحسينية لمصادر الطاقة المختلفة عندما تقترن بمختلف إجراءات تحلية المياه.

تحقيق إمكانات تحلية المياه

في عام 2022، استضافت الوكالة، من خلال برنامجها للتعاون التقني، دورة تدريبية وطنية في عمّان بالأردن لبناء القدرات في مجال استخدام المفاعلات النمطية الصغيرة لأغراض تحلية المياه. ومن خلال منصة الوكالة بشأن المفاعلات النمطية الصغيرة وتطبيقاتها، طلبت هيئة الطاقة الذرية الأردنية من خبراء القوى النووية في الوكالة إجراء استعراض لدراسة عن التحلية النووية بالاستعانة بالمفاعلات النمطية الصغيرة.

وقال خالد الخصاونة، مفوَّض مفاعلات الطاقة النووية في هيئة الطاقة الذرية الأردنية: "تُعدُّ تحلية المياه المصدر الرئيسي للمياه العذبة في الأردن لغرض تلبية الطلب المتوقع وتقليل العجز بين العرض والطلب". ووجدت الدراسة أن استخدام الطاقة النووية لتحلية المياه مجدية في الأردن، وأضاف الخصاونة قائلاً "إنها توفر أسعاراً تنافسية للمياه العذبة للمستهلكين النهائيين مقارنة بمصادر الطاقة المستورَدة".

وستستضيف الوكالة دورة تدريبية أقاليمية في موسكو في تشرين الأول/أكتوبر 2023 لاستكشاف اعتبارات التصميم لمشاريع التوليد المشترك للطاقة باستخدام المفاعلات النمطية الصغيرة والمفاعلات الصّغرية، حيث تُستخدم الطاقة الكهربائية أو توليد الحرارة لمدّ عملية تحلية المياه بالوقود.

وتكمل سلسلة من المنشورات التقنية المصمَّمة لتعريف الخبراء بتصاميم تحلية مياه البحر واقتصادياتها وأمانها باستخدام القوى النووية برنامجاً حاسوبياً للتحليل، ومجموعة أدوات الوكالة الخاصة بالتحلية النووية، والتدريب الذي توفره الوكالة. وفي إطار جهد لحَفْز الابتكار في هذا المضمار، أكملت الوكالة أيضاً عدداً من المشاريع البحثية المنسقة المتعلقة بتحلية المياه.

وتواصِل الوكالة تنظيم الجهود الرامية إلى تحسين الكيفية التي يمكن بها للمفاعلات النووية الحالية والمستقبلية أن تسهمَ في تحسين فرص إتاحة المياه النظيفة من خلال تكنولوجيات تحلية المياه الخالية من الكربون التي تستخدم القوى النووية. وفي السنة الماضية، أطلقت الوكالة مشروعاً بحثياً جديداً لتقييم مختلف تطبيقات التوليد المشترك للطاقة النووية، بما في ذلك التحلية النووية، واستكشاف أسباب وكيفية نظر البلدان في التوليد المشترك للطاقة النووية ضمن مجموعة خياراتها للتصدي للتحدي المناخي.

"تحلية المياه تكنولوجيا مستهلِكة للطاقة بكثافة، لذا يتحتم تشغيلها بمصادر واسعة النطاق وخالية من الكربون، مثل الطاقة النووية، من أجل الاستمرار في إتاحة الإمكانية الأساسية للحصول على المياه النظيفة لعدد متزايد من الناس في جميع أنحاء العالم، وفي الوقت نفسه التصدّي لتغيُّر المناخ وتلبية الالتزامات بتحقيق صافي الانبعاثات الصفري."

- فرانشيسكو غاندا،
رئيس الفريق التقني للتطبيقات غير الكهربائية، الوكالة الدولية للطاقة الذرية

إزالة الكربون من الصناعات بالاستعانة بالمفاعلات النووية الصغيرة والمتناهية الصّغر

بقلم إيما ميدجلي

من الأسمنت والشحن إلى إنتاج النفط والغاز والصُّلب، تعكف الصناعات على استقصاء ممارساتها وتغييرها بهدف تقليل الانبعاثات والانتقال بعملياتها نحو صافي الانبعاثات الصفري. وتبرز حلول الطاقة النووية الجديدة كأحد الخيارات الرئيسية.

ويذكر أن العمليات الاستهلالية الأساسية، مثل استخراج الغاز والنفط من خلال الحفر والضخ والتشقق الهيدروليكي، تستلزم كمياتٍ هائلة من الطاقة، تُستمدّ حالياً من الوقود الأحفوري. وعلى المنوال ذاته، فإن العمليات النهائية، مثل تكرير ومعالجة الغاز والنفط لاستخدامهما كوقود، أو لاستخدامهما في منتجات مثل المستحضرات الصيدلانية أو الأسمدة، تحتاج بدورها إلى الحرارة والكهرباء، وغالباً ما يكون مصدرهما أيضاً هو الوقود الأحفوري.

وقالت ألين دي كلوازو، مديرة شعبة القوى النووية في الوكالة: "إن معظم عمليات النفط والغاز تحرق الوقود الأحفوري لإنتاج الطاقة اللازمة لعملياتها الاستهلالية الأساسية وكذلك الأمر لعملياتها النهائية". وأضافت قائلةً: "ولخفض انبعاثات الكربون الناجمة عن تلك العمليات، من الناحية المثالية، تتمُّ كَهْرَبة عمليات الحفر وتسييل الغاز الطبيعي وتكريره بالاستعانة بمصادر منخفضة الكربون، مثل الطاقة النووية".

ويتـمُّ العديد مـن عمليات النفط والغاز والحفر والاسـتخراج في أماكن نائية، وفي كثير من الحالات يتعـذر مدُّ هـذه العمليات بالكهرباء اللازمة من الشـبكة الكهربائية. وهنـا يمكن للمفاعلات الصّغرية أو المفاعـلات النمطية الصغيرة أن توفر بديلاً منخفض الكربون.

وقال تشـيرايو باترا، كبير المديرين التقنيين في منظمـة Terra Praxis، وهي منظمة غير ربحية تركّز علـى حلول إزالة الكربون للقطاعات التي يصعب إزالة الكربـون منها، بما في ذلك الفحم والحرارة الصناعية والنقل الثقيل: "الشـركات التي تقوم بعمليات التكرير وعمليـات الحفر بحاجة إلى الطاقة النووية. وهذه العمليـات ذات كثافة كربونية مرتفعة للغاية، وفي 30% من الحالات، لا تسـتطيع شبكة الكهرباء الوصول إلى المناطق التي يتم فيها الاسـتخراج أو التكرير". وأضـاف قائلاً: "حرق الديزل والغاز لإنتاج الطاقة اللازمة لهذه العمليات يُعَدُّ خسـارة تجارية للصناعة ويتسـبب بزيادة انبعاثات الكربون. وثمة طريقة لكَهْرَبة هـذه العمليات من خلال مصدر بعيد وموثوق وخالٍ من الكربون. ويمكن اسـتخدام المفاعلات الصّغرية في معظـم المواقـع، حتى في عرض البحر إذا ما وُضعت على السـفن أو المنصات العائمة".

> **"الشركات التي تقوم بعمليات التكرير وعمليات الحفر بحاجة إلى الطاقة النووية. وهذه العمليات ذات كثافة كربونية مرتفعة للغاية، وفي 30% من الحالات، لا تستطيع شبكة الكهرباء الوصول إلى المناطق التي يتم فيها الاستخراج أو التكرير."**
>
> – تشيرايو باترا،
> كبير المديرين التقنيين في منظمة Terra Praxis

عمليات كفؤة ونظيفة

يمكن نشر المفاعلات النمطية الصغيرة والمفاعلات الصّغرية في أماكن نائية، بل وقد تكون للمفاعلات النمطية الصغيرة أيضاً استخدامات مهمة في صناعات مثل تصنيع المواد البلاستيكية أو غيرها من أشكال المعالجة الصناعية باستخدام الحرارة. وتولّد مفاعلات القوى النووية الحالية كميات ضخمة من الحرارة، ولكن تنبعث قرابة 60 إلى 70 في المائة من هذه الحرارة نحو البيئة بسبب كفاءة تحويل البخار إلى كهرباء.

وتتمثل إحدى طرق استخدام القوى النووية بكفاءة أكبر، مع خفض انبعاثات الكربون، في استخدام الحرارة الناتجة عن المفاعلات النووية في العمليات الصناعية أو الكيميائية. ويدعم برنامج إيضاح المفاعل المتقدم التابع لوزارة الطاقة الأمريكية تطوير مفاعل نمطي صغير مرتفع الحرارة مبرَّد بالغاز لنشره في مجمّع تصنيع المنتجات الاستهلاكية.

وتعتزم شركة داو للكيماويات استبدال محركات الاحتراق والبخار التي تعمل بالغاز بمفاعلات نمطية صغيرة كجزء من التزام شركة داو بخفض انبعاثات الكربون بنسبة 30 في المائة بحلول عام 2030. وتهدف شركة داو إلى تحقيق الحيادية الكربونية بحلول عام 2050.

ويعدُّ المفاعل النووي المرتفع الحرارة، القادر على إنتاج الحرارة عند 750 درجة مئوية، مناسباً على وجه التحديد كوسيلة منخفضة الكربون لإنتاج الأوليفينات، وهي مركبات كيميائية يمكن استخدامها كمواد بادئة للمواد البلاستيكية والمنظفات والمواد اللاصقة. وسيقام المفاعل النمطي الصغير المقترَح لشركة داو في موقع تصنيع قائم في سيدريفت بولاية تكساس، ومن المتوقع أن يخفض الانبعاثات في الموقع بنحو 440000 طن من ثاني أكسيد الكربون سنوياً. وسيُستخدم المفاعل النمطي الصغير لتوفير الحرارة المستخدَمة في المعالجة الصناعية لتصنيع منتجات مثل البولي إيثيلين المستخدَم في التغليف والدهانات والرغاوي.

ومن المتوقع أن يبدأ بناء مشروع المفاعلات الأربعة في عام 2026 وأن يكتمل بحلول نهاية العقد. وقال جيم فيترلينغ، رئيس مجلس الإدارة والرئيس التنفيذي لشركة داو، إن المشروع "سيمكّن شركة داو من أن تقطع شوطاً كبيراً في خفض انبعاثات الكربون لدينا، مع تقديم منتجات ذات بصمة كربونية أقلّ لعملائنا والمجتمع". وأضاف قائلاً إنّ المبادرة "ستكون بمثابة مثال رائد لكيفية قيام قطاع الصناعة بإزالة الكربون بطريقة مأمونة وفعالة وبتكلفة ميسورة".

وتساعد الوكالة على تنسيق جهود البلدان في جميع أنحاء العالم لتطوير المفاعلات النمطية الصغيرة والمفاعلات الصّغرية من خلال الجمع بين الخبراء والهيئات الحكومية والرقابية للنهوض بالنشر المأمون والآمن لهذه التكنولوجيا الجديدة. وكانت الوكالة قد أطلقت مبادرة التنسيق والتوحيد في المجال النووي في حزيران/يونيه 2022، وأطلقت المنصة المعنية بالمفاعلات النمطية الصغيرة وتطبيقاتها في عام 2021. وتهدف مبادرة التنسيق والتوحيد في المجال النووي إلى النهوض بتنسيق وتوحيد نُهج التصميم والتشييد والنُّهج الرقابية والصناعية المعمول بها فيما يخصُّ المفاعلات النمطية الصغيرة، بينما تدعم المنصة المعنية بالمفاعلات النمطية الصغيرة جميع جوانب تطوير المفاعلات النمطية الصغيرة ونشرها وترخيصها والإشراف عليها.

تدعم وزارة الطاقة الأمريكية تطوير مفاعل نمطي صغير لنشره في مجمّع تصنيع منتجات استهلاكية في ولاية تكساس.
(الصورة: داو وإكس-إنيرجي)

الأخذ بوعد التصنيع بإضافة الطبقات للمفاعلات النووية المتقدّمة

بقلم لوسي أشتون

لنتخيَّل طباعة قلب المفاعل النووي - أو أقراص الوقود النووي - بالطباعة الثلاثية الأبعاد. ربما يبدو من قبيل المبالغة القول بأنّ الطباعة الثلاثية الأبعاد يمكن أن تنشئ مواد متينة بما يكفي للصمود في البيئة القاسية لمفاعل نووي، بَيْد أن العديد من الخبراء يرون ذلك ضروريًا لتسريع وتيرة نشر المفاعلات المتقدمة وتقديم الطاقة النووية لأقصى مساهمة ممكنة في التصدي لتغيُّر المناخ.

وبالفعل تُستخدم الطباعة الثلاثية الأبعاد في عدد من الصناعات، وهي شكل من أشكال التصنيع بإضافة الطبقات وتتضمن عملية طباعة الأشياء عن طريق بناء المواد، طبقةً تلو أخرى. وهذا على عكس التصنيع بالطرح أو التصنيع بالإزالة، والذي يقطع أو يحرق المواد الفائضة. وتعمل الطباعة الثلاثية الأبعاد مباشرةً من رسمة رقمية ويُتحكَّم بها بواسطة الحاسوب، وتَنتج عنها أشكال معقدة كان من الصعب أو في حُكم المستحيل صُنعها في السابق. وهذه الطريقة في التصنيع أسرع، وتَنتج عنها نفاياتٌ أقلّ، وتقلّل من احتمال حدوث أخطاء، وغالباً ما تتيح للمصممين تقليل وزن الأشياء - وهذه السمات جميعها يمكن أن تقلّص كثيراً تكاليف التصنيع.

وقال أنيندا دوتا راي، وهو مهندس نووي يعمل في مجال التصنيع المتقدم في الوكالة: "في المستقبل، قد تستخدم الصناعة النووية بشكل مكثّف الطباعة الثلاثية الأبعاد وغيرها من التقنيات التصنيعية المتقدمة، تماماً كما تفعل صناعة الطيران وصناعة السيارات بالفعل". وأضاف قائلاً: "الإمكانات موجودة بالتأكيد. وقطعت الخطوات الأولى شوطاً بإجراء بحوث واستعراضات مكثفة للمقارنة بمدوَّنات ومعايير التصاميم النووية الحالية، بل وبدأت بعض الجهات الرقابية في صَوْغ إرشادات للجهات المرخَّصة".

> **"في المستقبل، قد تستخدم الصناعة النووية بشكل مكثّف الطباعة الثلاثية الأبعاد وغيرها من التقنيات التصنيعية المتقدمة، تماماً كما تفعل صناعة الطيران وصناعة السيارات بالفعل."**
>
> - أنيندا دوتا راي،
> مهندس نووي، الوكالة الدولية للطاقة الذرية

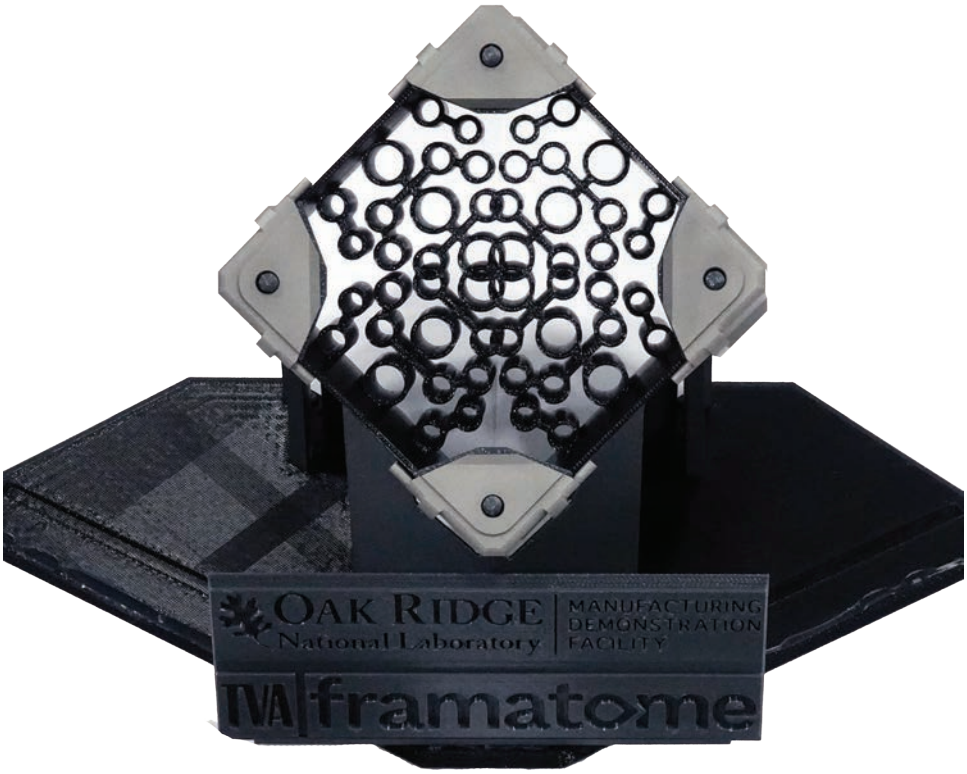
إدخال المطبوعات الثلاثية الأبعاد واختبارها

كما هو الحال مع معظم العمليات التصنيعية الجديدة، تكون الخطوات الاستهلالية صغيرة وبطيئة وحذرة. وشهدت الصناعة النووية عدداً من حالات الاستخدام غير المسبوق، مثل ضاغطة المضخة المنفَّذة بالطباعة الثلاثية الأبعاد والتي تمّ تركيبها في مفاعل في سلوفينيا في عام 2017. وتضخ المروحة أو المكوّن الذي يشبه التوربين الماءَ عبر المضخة. ونُفّذت بالطباعة الثلاثية الأبعاد لأن الرسومات الأصلية للمكوّن لم تَعُد متاحة.

وفي الولايات المتحدة الأمريكية، يعكف مختبر أوك ريدج الوطني (ORNL) على تطوير تكنولوجيات الطباعة الثلاثية الأبعاد الخاصة بالمجال النووي وصناعات أخرى. وفي اختبار هو الأول من نوعه، قام مختبر أوك ريدج الوطني بطباعة دعامات تُسمّى مُثبتات القنوات. وتمَّ تركيب هذه القطع في مفاعل قوى نووية في عام 2021 وستبقى مثبّتة فيه حتى عام 2027، قبل استخراجها والتحقُّق منها لتقييم أدائها في ظلّ ظروف المفاعل. وقامت شركة «فراماتوم» Framatome الفرنسية المتعددة الجنسيات بتركيب أول مكوّن وقود من الفولاذ المقاوم للصدأ منفَّذ بالطباعة الثلاثية الأبعاد في محطة فورسمارك للقوى النووية في السويد في عام 2022. وبالإضافة إلى ذلك، قام الاتحاد الروسي مؤخراً ببناء طابعة ثلاثية الأبعاد قادرة على طباعة أشياء بقُطر يصل إلى 2.2 متر وارتفاع متر واحد، بينما تُستخدم الطباعة الثلاثية الأبعاد في جمهورية كوريا لتصنيع مفردات مثل مكوّنات صمّامات التحكم.

ولأن الصناعة النووية لم تؤخذ في الحسبان عند اختراع الطباعة الثلاثية الأبعاد، تتمّ مواءمة التقنيات التصنيعية وفقاً لاحتياجات هذه الصناعة. وبينما تقوم منظمات المعايير الصناعية بوضع معايير للطباعة ثلاثية الأبعاد في الصناعات الأخرى، ما تزال تلك الخاصة بالصناعة النووية قيد التطوير.

ووفقاً لدوتا راي، يمكن القول إنّ التوصل إلى أفضل طُرق الاختبار وتوحيدها حول العالم والحصول على موافقة الجهات الرقابية عليها يمثّل تحدّياً أكبر من عملية الابتكار الفعلية وبلوغ الكمال في التقنيات التصنيعية نفسها. وفي أوروبا، يقوم مشروع NUCOBAM (المكوّنات النووية القائمة على التصنيع بإضافة الطبقات)، والذي يجمع مجموعة من 13 منظمة في 6 بلدان أوروبية، بإجراء بحوث لتطوير عملية التأهيل والتقييم التي من شأنها أن تسمح باستخدام الطباعة الثلاثية الأبعاد في محطات القوى النووية.



دعامة مجمعة الوقود، التي يصنعها مختبر أوك ريدج الوطني في إطار شراكة مع شركة Framatome وشركة Tennessee Valley Authority، تمثّل أول مكوّن متعلق بالأمان منفَّذ بالطباعة الثلاثية الأبعاد يتمّ تركيبه داخل محطة قوى نووية.

(الصورة: فريد ليست/مختبر أوك ريدج الوطني، وزارة الطاقة الأمريكية)

ويعمل معهد بحوث الطاقة الكهربائية (EPRI) أيضاً جنباً إلى جنب مع وزارة الطاقة الأمريكية والمصنِّعين لإجراء بحوث الغاية منها تبسيط عملية الحصول على موافقة الجهات الرقابية على التكنولوجيات الجديدة، مثل الطباعة الثلاثية الأبعاد. وينصبّ تركيز تلك البحوث على استقصاء قابلية تطبيق التكنولوجيات التصنيعية المتقدمة، ووضع المدوَّنات والمعايير، وتدعيم الاستعراضات الرقابية بنتائج اختبارات مستقلة لأداء المواد في مقابل التدهور البيئي. وقال مارك ألبرت، قائد الفريق الرئيسي للمشاريع التصنيعية المتقدمة: "يتزايد بشكل ملحوظ الطلب على سلاسل التوريد البديلة والنشر المتسارع مع استمرار صناعة الطاقة في الانتقال إلى أنظمة الطاقة المتقدمة مثل المفاعلات المتقدمة". وأضاف قائلاً: "ويُعدُّ التصنيع بإضافة الطبقات وطُرق التصنيع المتقدمة الأخرى عوامل تمكين لتسريع نشر التكنولوجيات النظيفة".

دور الوكالة

ويتمثل أحد أدوار الوكالة في توطيد التعاون الدولي وتبادُل المعارف. وفي نيسان/أبريل 2023، أطلقت الوكالة الشبكةَ الدولية المعنيّة بالابتكار لدعم محطات القوى النووية العاملة (ISOP). والشبكة المذكورة هي شبكة شاملة وبمثابة منصة للبلدان للتعاون في مجموعة من موضوعات الابتكار، بما في ذلك التقنيات التصنيعية المتقدمة مثل الطباعة الثلاثية الأبعاد.

وفي حزيران/يونيه 2022، أطلقت الوكالة أيضاً مبادرة التنسيق والتوحيد في المجال النووي (NHSI)، والتي وتركّز على تيسير نشر مفاعلات نووية متقدمة ومفاعلات نمطية صغيرة مأمونة وآمنة. وتهدف المبادرة إلى مواءمة النُّهج الرقابية ووضع نُهج صناعية أكثر توحيداً، بما في ذلك النُّهج المشتركة للمدوَّنات والمعايير النووية المطبقة على التصنيع بإضافة الطبقات للمفاعلات النمطية الصغيرة.

وقال إِد برادلي، رئيس فريق تشغيل محطات القوى النووية ودعمها الهندسي في الوكالة: "التضافر في الابتكار هو المفتاح لإخراج الجيل التالي من التكنولوجيا النووية بأمان من المختبر إلى العالم بأسرع ما يمكن للإسهام في تحقيق أهداف صافي الانبعاثات الصفري". وأردف قائلاً: "ومن شأن تبادُل الاستنباطات والتقنيات والمعارف توفير الوقت والموارد من خلال إزالة حاجة كلّ دولة نووية إلى إكمال الاختبار نفسه أو إنفاق الأموال للتغلب على النقاط الشائكة نفسها. وهذا هو طريقنا نحو تحقيق النجاح المرجوّ".

مدُّ المستقبل بالوقود

بناء سلاسل توريد الوقود للمفاعلات النمطية الصغيرة والمفاعلات المتقدمة

بقلم لوسي أشتون

يستعدُّ المهندسون للجيل التالي من مفاعلات القوى النووية الرامية لتحسين أمن الطاقة والتخفيف من حدّة تغيُّر المناخ. وسيتطلب العديد من تصاميم المفاعلات المتقدمة، بما في ذلك المفاعلات النمطية الصغيرة، وقودَ اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز، الذي يتراوح بين 5 و20 في المائة من اليورانيوم-235 - وهو ما يتجاوز مستوى 5 في المائة الذي يشغّل أغلب محطات القوى النووية قيد التشغيل.

وقالت أولينا ميكولايتشوك، مديرة شعبة دورة الوقود النووي وتكنولوجيا النفايات لدى الوكالة: "وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز سيمكّن من تحقيق تصاميم أصغر، ودورات تشغيل أطول، وكفاءة بقدر أكبر". وأضافت قائلة: "ومع ذلك، من أجل جني الفوائد الكاملة لوقود اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز، يعمل بعض البلدان على تعزيز الطاقة الإنتاجية بما يكفل توافر إمدادات كافية، وستكون لذلك أهمية حاسمة لنشر المفاعلات النمطية الصغيرة".

ويُنتَج اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز في الاتحاد الروسي والولايات المتحدة الأمريكية، في الغالب لاستخدامه في مفاعلات البحوث ولاستخدامه المحتمل في تشغيل مفاعلات الماء الخفيف. والمرفق الموجود في روسيا هو حالياً الوحيد الذي يقوم بتصنيع اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز على نطاق تجاري.

وفي العام المنصرم، أعدّت وكالة إمدادات اليوراتوم تقريراً عن إمدادات الوقود المستقبلية لإنتاج اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز في أوروبا لمفاعلات البحوث المحوَّلة، أو التي سيتمُّ تحويلها قريباً. وتقليدياً، كانت مفاعلات البحوث في أوروبا تعمل باليورانيوم الشديد الإثراء. وتُزوَّد مفاعلات البحوث المحوَّلة إلى اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز حالياً بالوقود من روسيا والولايات المتحدة الأمريكية، وتقول الأخيرة إنه ليس بإمكانها ضمان هذا الإمداد إلا حتى عام 2035 أو 2040، بسبب النقص الراهن في قدرات إنتاج اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز، ما يفاقم خطر نقص الإمدادات لمفاعلات البحوث التي سيتمُّ تحويلها في المستقبل.

وتقدّر وكالة إمدادات اليوراتوم أنه بحلول عام 2035 سيحتاج الاتحاد الأوروبي إلى ما بين 700 كيلوغرام وطنّ من اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز كلّ عام للإبقاء فقط على تشغيل مفاعلات البحوث لديه. ولا يشمل هذا التقدير أي طلبات مستقبلية من المفاعلات المتقدمة المستخدَمة لتوليد الطاقة. لذا توصي اليوراتوم بأن يطوّر الاتحاد الأوروبي قدرته الذاتية على إنتاج وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز، بسبب الشواغل المتعلقة بأمن الإمدادات في المستقبل.

وفي حين أن إنتاج اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز لم يُرَ له أيُّ مؤشر في الأفق بعدُ في أوروبا، فإن أكبر منتجي الوقود النووي في القارة يتصدّرون العالم في تكنولوجيا الإثراء. ويقوم هؤلاء المنتجون حالياً بإثراء اليورانيوم بنسبة تصل إلى 6 في المائة، ووفقاً لتقرير وكالة إمدادات اليوراتوم يمكنهم استخدام التكنولوجيا نفسها لإنتاج اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز بدون مواجهة تحدّيات تقنية رئيسية.

ومع ذلك، فإنّ ترخيص مثل هذه المرافق وبناءها وضمان أمنها وتشغيلها يستلزم استثمارات ضخمة، ويقول المنتجون الأوروبيون إنهم لم يروا بعدُ الجدوى الاقتصادية لمثل هذا الاستثمار. ويمكن للشركات الأوروبية أن تبدأ في إنتاج اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز خلال فترة قصيرة لا تتجاوز خمس سنوات، وجارٍ النظر في خُطط لتوسيع محطة فرنسية قائمة، بالإضافة إلى بناء مرافق جديدة في المملكة المتحدة أو الولايات المتحدة الأمريكية.

إلا أنّ الصناعة النووية في الولايات المتحدة تحذّر من أنّ نشر بعض تصاميم المفاعلات النمطية الصغيرة قد يتأخر لسنوات بسبب نقص اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز. وفي الوقت الراهن، تسعة من أصل عشرة تصاميم لمفاعلات متقدمة تموّلها حكومة الولايات المتحدة بحاجة إلى وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز في غضون العقد المقبل. وتشير توقعات وزارة الطاقة الأمريكية إلى أن ثمة حاجة إلى أكثر من 40000 كيلوغرام من اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز بحلول عام 2030، مع توقُّع ازدياد هذه الكمية عاماً تلو آخر مع بدء تشغيل الأسطول الجديد من المفاعلات المتقدمة.

وفي إطار سعيها لتلبية هذه الحاجة، تستثمر وزارة الطاقة الأمريكية في الخط المحلي لإنتاج اليورانيوم

> **"سيتطلب الجيل التالي من التكنولوجيات النووية سلاسل إمداد جديدة لأنواع جديدة من الوقود"**
>
> - كي سيوب سيم، اختصاصي هندسة الوقود النووي، الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الضعيف الإثراء العالي التركيز. وقد أنشأت اتحادَ اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز وشاركت في تمويل محطة إنتاجية توضيحية في بيكيتون بولاية أوهايو. وفي حزيران/يونيه 2023، سمحت الهيئة الرقابية بالولايات المتحدة للمرفق في بيكيتون ببدء عمليات الإثراء.

ومن المتوقع أن تنتج سلسلة الطاردات المركزية التعاقبية لليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز في بيكيتون 20 كيلوغراماً من اليورانيوم المذكور بحلول نهاية عام 2023 و900 كيلوغرام منه بحلول نهاية عام 2024. وتبلغ القدرة الإجمالية للسلسة التعاقبية المتكاملة لإنتاج اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز والتي تتألف من 120 جهاز طرد مركزي فردي قرابة 6000 كيلوغرام من اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز سنوياً.

واستكمالاً لذلك، بدأ إنتاج نوع آخر من وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز للاستخدام من خلال تخفيف درجة إثراء المخزونات الحكومية من اليورانيوم الشديد الإثراء. ويتكون وقود الجسيمات النظيرية الثلاثية الهيكل (TRISO) من اليورانيوم والكربون والأكسجين المغطى بثلاث طبقات من المواد القائمة على الكربون والخزف لمنع إطلاق نواتج الانشطار المشعّ. ومن ثم يمكن تشكيل هذه الجسيمات إمّا في شكل أجسام كروية بحجم كرة البلياردو تُسمّى الحصى أو أقراص أسطوانية. ويُستخدم وقود TRISO-HALEU في المفاعلات المرتفعة الحرارة المبرَّدة بالغاز، ويعتزم بعض البائعين استخدام وقود TRISO-HALEU لتصاميم المفاعلات النمطية الصغيرة والمفاعلات المتناهية الصّغر.

وقال كي سيوب سيم، اختصاصي هندسة الوقود النووي في الوكالة: "سيتطلب الجيل التالي من التكنولوجيات النووية سلاسل إمداد جديدة لأنواع جديدة من الوقود". وأردف قائلاً: "الجهود جارية الآن لبناء سلاسل التوريد هذه، ولكن ما يزال ثمة الكثير الذي يتعين القيام به، بما في ذلك إثبات دراسة جدوى واضحة لهذه المفاعلات المتقدمة في العديد من المناطق، إذا ما أردنا ضمان الإمدادات اللازمة من وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز. ومع ذلك، أنا واثق من أنه يمكننا القيام بذلك ".

استثمرت وزارة الطاقة الأمريكية في إنتاج وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز محليًّا. ويُتوقع أن ينتج البرنامج الإيضاحي لليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز، ومقره في بيكيتون بولاية أوهايو، 20 كيلوغراماً من اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي التركيز بحلول نهاية عام 2023.

(الصورة: شركة سنتراس للطاقة)

تحسين إنتاج القوى النووية بالاستعانة بالذكاء الاصطناعي

بقلم فولفجانج بيكوت

ينطوي الذكاء الاصطناعي على إمكانات واعدة للنهوض بإنتاج الطاقة النووية. وهذه النُظم الحاسوبية المتطورة تحاكي المنطق البشري في حلّ المشكلات واتخاذ القرارات. والذكاء الاصطناعي، بفضل قدرته على تحسين الكفاءة والأتمتة والأمان والصيانة التنبؤية، فضلاً عن جَعْل العمليات تحقق مستواها الأمثل، يقطع بالفعل أشواطاً واسعة في بعض جوانب المجال النووي.

والذكاء الاصطناعي هو مصطلح جامع يندرج تحته العديد من التكنولوجيات التي طُوّرت طوال العقود الماضية. وهو يتراوح من البرامج الحاسوبية البسيطة، مثل مرشّحات رسائل الإيميل غير المرغوب بها، إلى مفاهيم أكثر تقدُّماً مثل التعلُّم الآلي، حيث تتعلم الحواسيب من التجارب السابقة من خلال التدريب المكثف بالاستعانة بكمية ضخمة من البيانات. ومع ظهور الرقائق الدقيقة الفائقة القدرة، ظهرَ التعلُّم العميق، الذي يتضمن شبكات عصبية اصطناعية على غرار دماغ الإنسان.

واستحوذ الذكاء الاصطناعي التوليدي، وهو مجموعة فرعية من التعلُّم العميق، على اهتمام عامة الناس لقدرته على توليد النصوص والصور ومقاطع الفيديو الأصلية. وله استخدامات شتى ويمكن تكييفه مع العديد من المهامّ أو الأنشطة المختلفة.

وقال جيريمي رينشو، الذي يقود ابتكارات الذكاء الاصطناعي والحوسبة الكمومية والتقنية النووية في معهد بحوث الطاقة الكهربائية، المعروف اختصاراً باللغة الإنجليزية باسم EPRI: "ثمة حماسة مُحقّة بشأن ما يمكن أن تقوم به الأدوات التوليدية. النماذج الحالية قوية جداً بالفعل، وجارٍ بذل جهد كبير لتطوير أدوات جديدة وأفضل من المتاحة حاليًا".

وفي حين أن الذكاء الاصطناعي يمكن أن يساعد في القيام بالمهامّ الإدارية، كما هو الحال في الصناعات الأخرى، فإنّ استخدامه في تشغيل محطات القوى النووية ليس أمراً ممكناً بعدُ بسبب حداثته وما يكتنفه من غموض؛ فلم تُفهَم بعدُ فهماً تامًّا كيفية عمل الشبكات الاصطناعية وكيفية توصُّلها إلى الاستنتاجات. والنُظم الأكثر شفافيةً التي يُطلق عليها الذكاء الاصطناعي القابل للتفسير تبشّر بالخير لاستخدامها على نطاق أوسع في عمليات محطات القوى النووية. وثمة تطورات جارية تقود نحو مثل هذا الذكاء الاصطناعي، ورينشو واثق من أنه عندما يتحقق فإنه سيسمح باستخدام الذكاء الاصطناعي في محطات القوى النووية في المستقبل المنظور.

تطبيقات التعلُّم الآلي

تمَّ تطبيق التعلُّم الآلي في الصناعة النووية لبعض الوقت وأثبت فائدته في مجالات مختلفة. فالمشغّلون يستفيدون من خوارزميات التعلُّم الآلي في الرصد الآني والصيانة التنبؤية. وتقوم نماذج التعلُّم الآلي بغربلة كمية هائلة من بيانات أجهزة الاستشعار، ما يتيح للمحللين البشريين التركيز على الاختلالات المحتملة في جزء يسير من البيانات. وقال رينشو: "المفتش يتعيّن عليه فقط تقييم البيانات ذات الصلة.

> **"يمكن للذكاء الاصطناعي، جنباً إلى جنب مع التكنولوجيات الأخرى، مثل التوائم الرقمية، أن يعزّز بشكل حاسم كفاءة إنتاج القوى النووية."**
>
> - نيلي نغوي كوبيلوا
> مهندسة نووية، الوكالة الدولية للطاقة الذرية

وبدلاً من البحث عن "إبرة في كَوْمَة قشّ"، نحن نزيل كَوْمَة القش".

وهذه التكنولوجيا لا تحلُّ محلَّ التحليل البشري. ومع ذلك، يمكنها أن تعطينا نتائج أسرع وأكثر دقةً، مع الاعتماد على تفاعل أقلّ للإنسان، وإنْ كان لا يمكن الاستغناء عنه بعدُ. ويُطبَّق التعلُّم الآلي بالفعل في فحص الشقوق في الخزانات المعدنية والأنابيب في محطات القوى النووية. وبفضل الدقة المحسَّنة، والتكلفة المنخفضة، والرقابة البشرية المثلى المتأتية من التعلُّم الآلي ستتحقق فوائد جمة لقطاع القوى النووية.

والتطبيقات المحتملة للذكاء الاصطناعي في محطات القوى النووية واسعة النطاق. فمن شأن الذكاء الاصطناعي، على سبيل المثال، تعزيز الكفاءة وضمان إمدادات ثابتة من الكهرباء عن طريق تعديل توليد الطاقة بالاستناد إلى بيانات آنية، مثل طلب المستهلكين والطقس وأداء المعدات. ويمكن للأتمتة بالاستعانة بعلم الروبوتات ونُظم الذكاء الاصطناعي القيام بالمهامّ الاعتيادية، بحيث ينصبّ تركيز التدخلات البشرية على المهامّ ذات القيمة العالية وتعزيز كفاءة المحطة. ويمكنها أيضاً تحقيق المستوى الأمثل في استهلاك الوقود وزيادة ناتج الطاقة من المفاعلات إلى أكبر قدر ممكن.

وقالت نيلي نغوي كوبيلوا، وهي مهندسة نووية متخصصة في التكنولوجيا المبتكرة في الوكالة: "يمكن للذكاء الاصطناعي، جنباً إلى جنب مع التكنولوجيات الأخرى، مثل التوائم الرقمية، أن يعزّز بشكل حاسم كفاءة إنتاج القوى النووية". والتوأم الرقمي هو تمثيل رقمي لجسم مادي أو شخص أو عملية، ويمكنه محاكاة المواقف الحقيقية ونواتجها.

وتقول نغوي كوبيلوا إنّ ثمة اهتماماً هائلاً بحلول الذكاء الاصطناعي في الصناعة، ولكن قبل أن تُستخدم أيُّ تكنولوجيا جديدة في محطات القوى النووية، الرقابيون بحاجة إلى معرفتها وفهمها بشكل كامل من أجل وَضْع المبادئ التوجيهية وإصدار التراخيص والتصاريح لاستخدامها.

وفي هذا الصدد، تقول نغوي كوبيلوا: "يدور الكثير من النقاش بشأن ما إذا كان الذكاء الاصطناعي، وخاصة الذكاء الاصطناعي التوليدي، هو شيء جديد في جوهره لدرجة أننا بحاجة إلى نَهْج جديد كليًّا لتنظيمه أو ما إذا كان بإمكاننا تكييف المعايير الحالية. ولنشر هذه التكنولوجيا، يتعين علينا وَضْع أطر العمل بالتعاون مع الجهات الرقابية".

وقد دعمت الوكالة التطبيق المحتمل للذكاء الاصطناعي في محطات القوى الطاقة النووية منذ عام 2021، وأصدرت تقريراً عن الذكاء الاصطناعي ثم أنشأت بعد ذلك أفرقة عاملة في إطار الشبكة الدولية للابتكار لدعم محطات القوى النووية العاملة والتي تركّز على الجوانب الرقابية والتقنية لنشر الذكاء الاصطناعي. وتؤكد هذا الالتزامَ المنشوراتُ التي ستُنشر قريباً عن تطبيقات الذكاء الاصطناعي في الصناعة النووية وعن الآثار المترتبة على الأمان بالنسبة للذكاء الاصطناعي في محطات القوى النووية. وتقود الوكالة أيضاً مشروعاً بحثيًّا منسّقاً لاستكشاف كيف يمكن للذكاء الاصطناعي والتكنولوجيا المبتكرة أن يساعدا على تسريع نشر المفاعلات النمطية الصغيرة، وتنظر في إنشاء مراكز متعاونة مع الوكالة ينصبّ تركيزها على الذكاء الاصطناعي.

وبالنسبة لنغوي كوبيلوا، فإن الموضوع ليس تقنيًّا فحسب. وتقول في هذا الشأن: "استخدام الذكاء الاصطناعي وغيره من التقنيات الناشئة سيدلُّ على أن الصناعة النووية مواكبة لأحدث التطورات. والمشاركة الاستباقية في هذا المجال سيكون لها دورٌ مهم في جذب اهتمام جيل الشباب، وهذه مسألة حيوية لتأمين مستقبل إنتاج الطاقة النووية".

تقود الوكالة مشروعاً بحثياً منسّقاً لاستكشاف كيف يمكن أن يساعد الذكاء الاصطناعي على نشر المفاعلات النمطية الصغيرة.

(الصورة: Adobe Stock)

حين تكون النفايات النووية ذُخراً لا عبئاً

بقلم لوسي أشتون

ماذا لو كانت النفايات النووية القوية الإشعاع الناتجة عن محطات القوى النووية قادرة على تغذية الاقتصاد الدائري في قطاع الطاقة؟ يمكن لمفاعلات النيوترونات السريعة التي تعمل في دورة وقود مغلقة أن تحقق ذلك بالفعل.

وتوفر مفاعلات النيوترونات السريعة، التي تستخدم النيوترونات التي لا يبطئها وسيطٌ، مثل الماء، للحفاظ على التفاعل الانشطاري المتسلسل، مزايا مقارنة بالمفاعلات النووية الحرارية الحالية. وعند تشغيلها في دورة وقود مغلقة بالكامل، حيث يُعاد تدوير الوقود النووي ويُعاد استخدامه، تتمتع المفاعلات السريعة بالقدرة على استخلاص طاقة أكبر بمعدل 60 إلى 70 مرة من الكمية نفسها من اليورانيوم الطبيعي مقارنة بالمفاعلات الحرارية، ما يقلّل بقدر كبير من كمية النفايات القوية الإشعاع.

وقال ميخائيل شوداكوف، نائب المدير العام للوكالة ورئيس إدارة الطاقة النووية في الوكالة: "عند استخدام المفاعلات السريعة في دورة وقود مغلقة، يمكن إعادة تدوير كيلوغرام واحد من النفايات النووية مراتٍ عدة حتى يُستهلَك كلّ اليورانيوم وحتى تحترق كلّ الأكتينات - التي تظلُّ مشعةً لآلاف السنين. وما يتبقى بعد ذلك هو نحو 30 غراماً من النفايات التي ستكون مشعة لمدة 200 إلى 300 عام".

وكانت المفاعلات السريعة من أوائل التكنولوجيات التي نُشرت خلال الأيام الأولى للقوى النووية، عندما كان يُنظر إلى موارد اليورانيوم على أنها شحيحة. ولكن، لأن التحديات التقنية والمادية أعاقت التطوير وتم تحديد رواسب يورانيوم جديدة، أصبحت مفاعلات الماء الخفيف هي المعيار المعمول به في الصناعة. ومع ذلك، ثمة جهود جارية في العديد من البلدان لتطوير تكنولوجيا المفاعلات السريعة، بما في ذلك في شكل مفاعلات نمطية صغيرة ومفاعلات صغيرة.

وهناك خمسة مفاعلات سريعة قيد التشغيل في الوقت الحاضر منها مفاعلان عاملان (BN-600 و BN-800) ومفاعل اختبار واحد (BOR-60) في الاتحاد الروسي، والمفاعل التجريبي السريع التوليد في الهند، والمفاعل التجريبي السريع في الصين. ولدى الاتحاد الأوروبي واليابان والولايات المتحدة الأمريكية والمملكة المتحدة وبلدان أخرى مشاريع جارٍ تنفيذها لمفاعلات سريعة مصمَّمة خصيصاً لمجموعة متنوعة من الأهداف والمهامّ، بما في ذلك المفاعلات النمطية الصغيرة والمفاعلات الصغرية.

وبالنسبة لبعض البلدان، يُنظر إلى تشغيل المفاعلات السريعة في دورة وقود مغلقة بالكامل على أنه الطريق إلى ضمان استدامة الطاقة النووية في الأجل الطويل.

ويحتضن مجمع الطاقة التجريبي الإيضاحي في روسيا، وهو قيد الإنشاء في سيفيرسك، مفاعلاً سريعاً مبرّداً بالرصاص من طراز BREST-OD-300، ومحطة لتصنيع وإعادة تصنيع الوقود، ومحطة لإعادة معالجة الوقود المستهلَك من خليط نيتريد اليورانيوم ونيتريد البلوتونيوم. وسيُبنى أيضاً مستودع جيولوجي عميق للتخلص من النفايات. ولا تقتصر أهمية هذا المشروع التجريبي على إيضاح كيفية تصنيع وقود جديد وتشعيعه ومن ثمّ إعادة تدويره، وإنما تشمل القيام بذلك كله في موقع واحد.

وقالت أمبارو غونزاليس إسبارتيرو، رئيسة الفريق التقني المعني بدورة الوقود النووي في الوكالة: "إجراء عملية دورة الوقود المغلقة بأكملها في موقع واحد أمرٌ جيد للأمان النووي والأمن النووي والضمانات". وأضافت قائلة: "ولابدّ أن يكون الأمر أكثر منطقيةً من الناحية الاقتصادية فلا يلزم نقل النفايات والمواد النووية فيما بين المواقع - كما هو الحال حالياً في بعض البلدان - وبالتالي التقليل من تحديات النقل والتحديات اللوجستية إلى أدنى حد ممكن".

وتشغيل دورة وقود مغلقة على أي نطاق يحتاج إلى مفاعلات سريعة وبنية أساسية لإعادة المعالجة وإعادة التدوير. ومن بين أسباب أخرى، الجوانب الاقتصادية وجوانب الضمانات تجعل من الصعب وجود مرافق إعادة المعالجة في كل بلد. ولإبقاء التكاليف منخفضة، تقدّم مرافق إعادة المعالجة الخدمات إلى بلدان أخرى، أو تتقاسَم البلدان تلك المرافق.

وتعتزم روسيا أيضاً نشر جيل تالٍ من المفاعلات السريعة بقدرة 1200 ميغاواط (كهربائي) بعد عام 2035 كجزء من نظام مستدام ذاتياً إلى جانب مفاعلات الماء الخفيف. وبمساعدة المفاعل السريع، ستُعاد معالجة الوقود المستهلَك من المفاعلات الحرارية ومن ثم سيُعاد استخدامه، ما يجعل بصمة النفايات النهائية أصغر بمقدار يصل إلى عشر مرات مقارنة بتلك الناجمة عن دورة الوقود النووي العادية.

وتتقدم المشاريع في بلدان أخرى. فالصين تقوم ببناء مفاعلين سريعين مبرَّدين بالصوديوم (CFR-600) في مقاطعة شيابو بإقليم فوجيان. الوحدة الأولى قيد الإدخال في الخدمة ومن المتوقع أن يتمَّ ربطها بالشبكة في عام 2024. وفي الولايات المتحدة

"تبحث البلدان أكثر فأكثر عن طرق لإعادة تدوير الموارد مثل الوقود النووي المستهلَك لتوفير الطاقة النظيفة لاقتصاداتها."

- فلاديمير كريفينتسيف، رئيس فريق تطوير تكنولوجيا المفاعلات السريعة، الوكالة الدولية للطاقة الذرية

تحتضن محطة بيلوياركسك للقوى النووية في الاتحاد الروسي مفاعلَيْن سريعين.
(الصورة: روزإينيرغوأتوم)

الأمريكية، يجري تطوير مشروع مفاعل سريع يدعمه بيل جيتس، المؤسس المشارك لشركة مايكروسوفت؛ ولن يعمل المفاعل في دورة وقود مغلقة، على الرغم من أن هذا البلد يجدد جهوده للعمل على دورات الوقود النووي المغلقة واستخدام النفايات النووية الموجودة لديها لتطوير إمداداتها الخاصة من الوقود. وفي أوروبا، يهدف مشروع MYRRHA في بلجيكا إلى بناء نظام يعمل بالمعجّلات ومبرَّد بالرصاص-البزموث بحلول عام 2036 لاختبار قدرته على تحلُّل الأكتينات الثانوية كجزء من دورة وقود مغلقة بالكامل في المستقبل.

وقال فلاديمير كريفينتسيف، رئيس فريق تطوير تكنولوجيا المفاعلات السريعة في الوكالة: "تبحث البلدان أكثر فأكثر عن طرق لإعادة تدوير الموارد مثل الوقود النووي المستهلَك لتوفير الطاقة النظيفة لاقتصاداتها". وأضاف قائلاً: "ويأتي هذا في الوقت الذي أدَّت فيه الابتكارات التكنولوجية في علوم المواد وفيزياء المفاعلات والهندسة إلى تصاميم أفضل، مع ميزات أمان معزَّزة وخفض تكاليف البناء والتشغيل والتي تعمل على تحسين اقتصاديات المحطات النووية التي تعمل بمفاعلات سريعة".

وتتولى الوكالة دوراً رئيسياً في دعم تطوير ونشر المفاعلات السريعة من خلال تبادل المعلومات والخبرات في إطار المشاريع البحثية المنسقة والمنشورات التقنية والأفرقة العاملة التقنية والمؤتمرات. كما يساعد مشروع الوكالة الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود النووي الابتكارية على النهوض بالمفاعلات السريعة ودورات الوقود النووي ذات الصلة من خلال دعم البلدان في التخطيط والتعاون.

إمكانات الثوريوم على المدى الطويل في مجال الطاقة النووية

بقلم آرتم فلاسوف

تزخر رمال الهند بالإمكانات الكفيلة بدفع هذا البلد نحو مستقبل خالٍ من الكربون. وبما أن الهند هي موطن أكبر احتياطات العالم من الثوريوم، فإن استراتيجيتها الطويلة الأجل في مجال القوى النووية تُتوِّج باستغلال هذا المعدن الفضي المشعّ بدرجة طفيفة، والذي يُعدُّ أنظف وأكثر كفاءةً من الوقود النووي التقليدي.

وقال أنيل كاكودكار، رئيس معهد هومي بهابها الوطني في مومباي، الهند: "الثوريوم هو أحد محاور التركيز الرئيسية للبحث والتطوير منذ بداية برنامج الطاقة النووية في الهند". وقد صمّمت الهند وتعكف على تطوير مفاعل يعمل بالثوريوم - مفاعل الماء الثقيل المتقدّم - الذي سيكون، وفقاً لكاكودكار، بمثابة منصة إيضاحية ليس لدورة وقود الثوريوم فحسب، ولكن أيضاً لسمات الأمان الكامن.

والهند ليست وحدها في نواياها للاستفادة من خصائص الثوريوم الفريدة. ففي حزيران/يونيه 2023، أصدرت الصين تصريح تشغيل لمفاعل نووي تجريبي يعمل بالأملاح المصهورة والثوريوم. وشُيّد المفاعل في وسط صحراء غوبي في شمال البلاد، وسيخضع للاختبار على مدى السنوات القليلة المقبلة. كما أظهرت اليابان والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية وبلدان أخرى حماساً لإجراء بحوث بشأن إمكانية تطبيق الثوريوم في مجال القوى النووية.

تحديات الثوريوم لإنتاج الطاقة

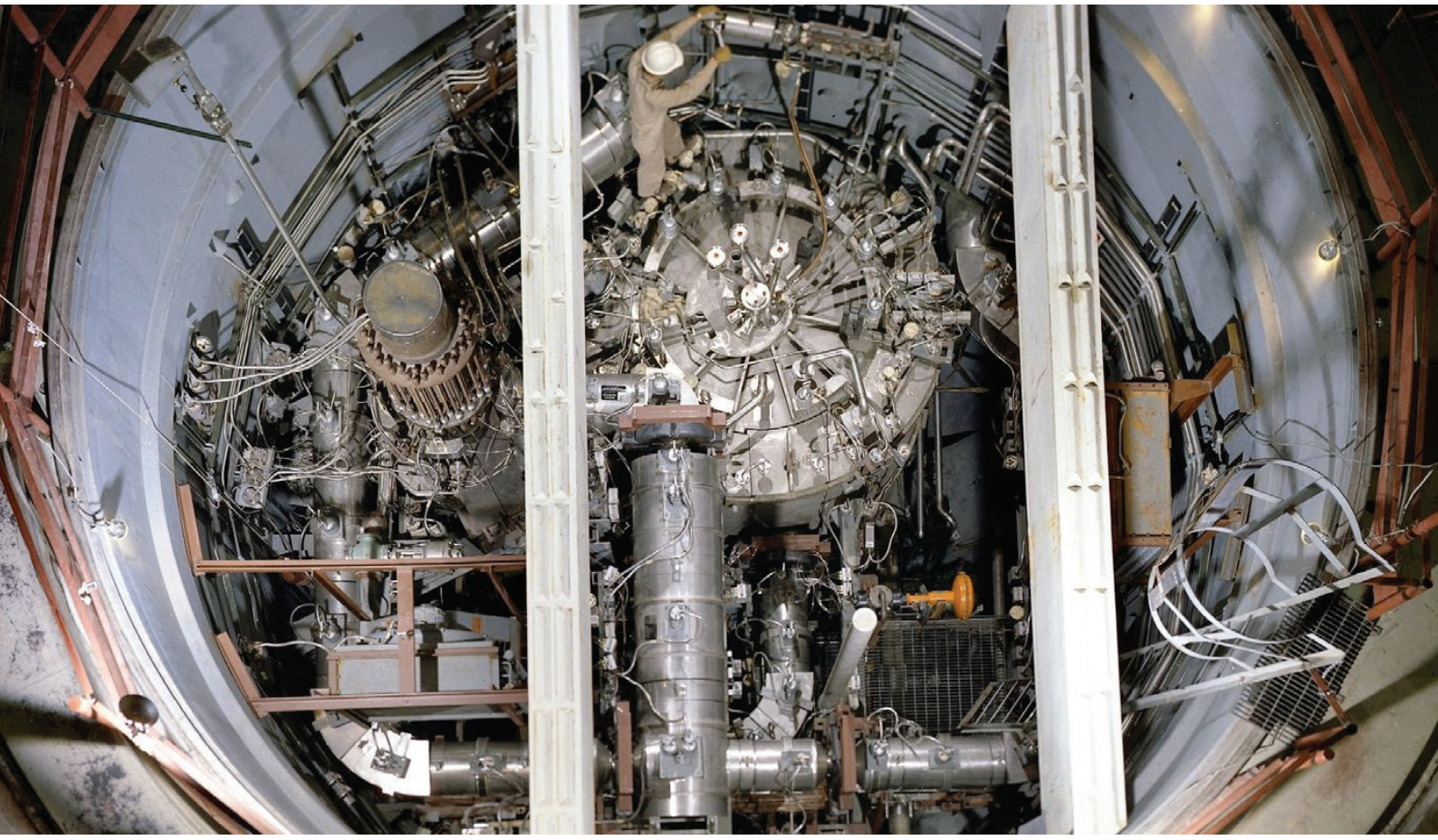
الثوريوم، الذي يوجد عادة في الصخور النارية ورمال المعادن الثقيلة، سُمي على اسم "ثور" Thor، وهو إله الرعد في الأساطير الإسكندنافية. وهو أكثر وفرةً في الطبيعة من اليورانيوم بثلاث مرات، لكن تاريخيًّا قلّما استُفيدَ منه في الصناعة أو في توليد الطاقة. ومردُّ ذلك إلى أسباب أحدها أن الثوريوم نفسه ليس وقوداً نوويًّا ، وإنْ كان يمكن استخدامه لاستحداث مثل هذا الوقود. ويُعدُّ الثوريوم-232، وهو النظير الوحيد للثوريوم الموجود في البيئة الطبيعية، "خصباً" للانشطار. ويُقصد بذلك أنه بحاجة إلى عامل محفّز، مثل اليورانيوم أو البلوتونيوم لاستهلال تفاعل متسلسل والحفاظ عليه. ويشهد الثوريوم-232، عند تشعيعه، سلسلة من التفاعلات النووية، ما يؤدي في نهاية المطاف إلى تكوُّن اليورانيوم-233، والذي يمكن بعد ذلك انشطاره لإطلاق الطاقة اللازمة لتشغيل مفاعل نووي.

ومع ذلك، فإن استخدام الثوريوم لإنتاج الطاقة لا يخلو من التحديات. فثمة العديد من العقبات الاقتصادية والتقنية التي تجعل نشر الثوريوم أمراً صعباً. وعلى الرغم من وفرته، فإن هذا المعدن مكلف في الوقت الراهن لاستخراجه. وقال مارك ميهالاسكي، اختصاصي موارد اليورانيوم في الوكالة: "معدن المونازيت، الذي يُعدُّ أحد أبرز العناصر الأرضية النادرة، هو أيضاً أحد المصادر الرئيسية للثوريوم". وأضاف قائلاً: "وبدون الطلب الراهن على العناصر الأرضية النادرة، لن يتم تعدين المونازيت لمحتواه من الثوريوم وحده. فالثوريوم حصيلة جانبية، ويتطلب استخراج الثوريوم أساليب أكثر تكلفةً من اليورانيوم. ومع ذلك، يمكن أن يتغير هذا في حال وجود طلب أكبر على الثوريوم وتطبيقاته في مجال القوى النووية".

ولا يقلُّ عن ذلك تكلفة البحث والتطوير والاختبار في المنشآت النووية التي تعمل بالثوريوم، بسبب الافتقار إلى الخبرة الكبيرة في مجال الثوريوم وتفوُّق اليورانيوم تاريخيًّا في مجال القوى النووية. وقالت أنخيليكا خابرسكاي، المسؤولة التقنية لهندسة الوقود ومرافق دورة الوقود في الوكالة: "ثمة عقبة أخرى أمام الثوريوم تتمثل في صعوبة التعامل معه بعد التشعيع". وأضافت قائلةً: "وقود الثوريوم يتطلب عمليات تصنيع وقود عن بُعد بتكلفة أكبر مقارنة بوقود اليورانيوم، بسبب وجود نواتج وليدة في الثوريوم باعثة بقوة لأشعة غاما. وعلاوةً على ذلك، فإن إعادة معالجة وقود الثوريوم المستهلَك تمثل تحدّياً. وثمة صعوبات في إذابة ثاني أكسيد الثوريوم وفي التعامل مع النواتج الغازية، وهو يحتاج إلى النضج على المستوى الصناعي. وبسبب استخدام الفلوريدات أثناء الذوبان، فإن معدات إعادة المعالجة معرَّضة أيضا للتآكل".

وركّز مشروع بحثي منسَّق للوكالة مدته أربع سنوات على إمكانات تطوير الطاقة النووية القائمة على الثوريوم، ودراسة فوائد وتحديات استخدام الثوريوم كوقود، وتحليل تطبيقه في أنواع مختلفة

> **"الثوريوم، بفضل وفرته وقدرته على توالُد المواد الانشطارية، يمكنه أن يوفر حلاً طويل الأجل لاحتياجات البشرية من الطاقة."**
>
> - كايلاش أغاروال
> اختصاصي مرافق دورة الوقود، الوكالة الدولية للطاقة الذرية



منظر من أعلى إلى أسفل لمفاعل نووي تجريبي قائم على الثوريوم من ستينيات القرن العشرين.
(الصورة: مختبر أوك ريدج الوطني، وزارة الطاقة الأمريكية)

من المفاعلات - من المفاعلات المبرَّدة بالماء الأكثر انتشاراً إلى مفاعلات الأملاح المصهورة. ونُشرت نتائج المشروع مؤخراً في تقرير بعنوان Near Term and Promising Long Term Options for the Deployment of Thorium Based Nuclear Energy (الخيارات في المدى القريب والخيارات الواعدة في المدى البعيد لنشر الطاقة النووية القائمة على الثوريوم) (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة TECDOC-2009).

ما الذي يمكن أن يقدّمه الثوريوم؟

يتسم الثوريوم بالعديد من المزايا مقارنةً بالوقود النووي التقليدي، اليورانيوم-235. ويمكن أن يولّد الثوريوم مواد انشطارية (اليورانيوم-233) أكثر مما يستهلكه أثناء تزويد المفاعل المبرَّد بالماء أو مفاعل الأملاح المصهورة، ويولّد عدداً أقلّ من الأكتينيدات الثانوية الطويلة العمر من وقود البلوتونيوم. وتشير التقديرات إلى أن القشرة العليا للأرض تحتوي في المتوسط على 10.5 أجزاء في المليون من الثوريوم، مقارنةً بنحو 3 أجزاء في المليون من اليورانيوم.

وقال كايلاش أغاروال، اختصاصي مرافق دورة الوقود في الوكالة وأحد مؤلفي التقرير الصادر عن الوكالة: "الثوريوم، بفضل وفرته وقدرته على توالُد المواد الانشطارية، يمكنه أن يوفر حلاً طويل الأجل لاحتياجات البشرية من الطاقة".

وبالإضافة إلى حقيقة أن المفاعلات التي تعمل بوقود الثوريوم - والقوى النووية بشكل عام - لا تنبعث منها غازات الدفيئة أثناء التشغيل، ثمة ميزة أخرى تتمثل في أنها تنتج نفايات نووية معمّرة أقلّ من المفاعلات الحالية التي تعمل باليورانيوم.

تنظيم تصاميم المفاعلات الابتكارية

بقلم نايانا جاياراجان وفولها بيوتوخ

اللوائح الحالية التي تحكم الصناعة النووية وُضعت بما يلائم أنواع المفاعلات المستخدَمة منذ بدء تشغيل أولى محطات القوى النووية التجارية في ستينيات القرن العشرين. وقد تطورت هذه اللوائح بحسب الخبرات المكتسبة طوال العقود الستة الماضية. ومع تطوير المفاعلات النووية المتقدمة الجديدة، ومنها المفاعلات النمطية الصغيرة، تعمل السلطات الرقابية لضمان تحقيق الابتكار في عملياتها ولوائحها وإرشاداتها أيضاً من أجل نشر التكنولوجيات غير المسبوقة بطريقة مأمونة وآمنة.

ويرى بريان سميث، مدير شعبة التراخيص الجديدة والمجدَّدة في الهيئة الرقابية النووية في الولايات المتحدة ورئيس محفل الوكالة للرقابيين المعنيّين بالمفاعلات النمطية الصغيرة، أنّ وَضْع لوائح وإرشادات محايدة تكنولوجيًا يمثّل أولوية. وقال في هذا الصدد: "في الولايات المتحدة، لم يكن لدينا طوال أكثر من 50 عاماً سوى مفاعلات الماء الخفيف الكبيرة الحجم، وتستند لوائحنا إلى تلك الأنواع من المفاعلات". وأضاف قائلاً: "وعلى الرغم من أن بعض المفاعلات النمطية الصغيرة يستخدم الماء الخفيف كمبرّد، فإنّ بعضها الآخر يختلف اختلافاً كليًا. وعلينا أن نتوصل إلى إطار جديد كليًا تقريباً لها، وأن يكون إطاراً محايداً تكنولوجيًا، وقائماً على عِلم بالمخاطر، ويستند إلى الأداء".

ومن أجل التصدي لتحديات تنظيم هذه التقنيات المبتكرة، الرقابيون أنفسهم يستكشفون استراتيجيات مختلفة، مثل استعراض قابلية تطبيق اللوائح الحالية، وإعطاء صفة الأولوية لتعيين موظفين تقنيين من تخصصات متنوعة، والاستفادة من تجارب المتقدّمين بالطلبات والرقابيين الآخرين.

وقال سميث: "يستخدم بعض هذه التصاميم المستجدة مواد مختلفة داخل المفاعل، مثل الغرافيت؛ ويبلغ بعضها أيضاً درجات حرارة أعلى من الأسطول القائم (من مفاعلات الماء الخفيف)، لذلك علينا أن نأخذ ذلك في الحسبان". وأضاف قائلاً: "وجود الموظفين التقنيين المناسبين يمثّل تحدّياً أيضاً، ليس بالنسبة لنا فحسب، بل بالنسبة لجميع الرقابيين. وبالنسبة لهذه التصاميم المستجدة، لا بدّ أن يكون لديك خبراء تقنيون على دراية بمختلف التكنولوجيات الجديدة لتتمكن من تقييم جوانب الأمان للمفاعل نفسه".

وثمة استراتيجية ناجحة أخرى تتمثل في تشجيع المشاركة السابقة لتقديم الطلب، المعروفة أيضاً باسم استعراضات تصاميم البائعين أو الاستعراضات السابقة للترخيص. ويتيح هذا النَّهج للرقابيين استعراض قابلية تطبيق لوائحهم على المواصفات التقنية للتصاميم المبتكرة، مثلما يتيح للمتقدمين بالطلبات فرصة التعرف على المتطلبات الرقابية، قبل بدء عملية الترخيص الرسمية. ويوصي محفل الرقابيين المعنيين بالمفاعلات النمطية الصغيرة بضرورة الاستفادة من التفاعلات السابقة للترخيص فيما بين الرقابيين وبائعي المفاعلات للتنبؤ بنقاط التدخلات الرقابية على مستوى عالٍ وتحديد تلك النقاط، والتي قد تؤدي إلى توقُّف مؤقت في أنشطة المرخَّص له أو تأخيرها.

تحقيق التنسيق من خلال التعاون

التكلفة الرأسمالية الأولية المنخفضة، والحاجة إلى موارد أقلّ، وإمكانات التطبيقات غير الكهربائية للمفاعلات النمطية الصغيرة أمور تجعل هذه المفاعلات تجتذب على نحو متزايد البلدان المستهلة لبرامج للقوى النووية أو تفكر فيها. فعلى سبيل المثال، يفكّر الأردن في استخدام المفاعلات النمطية الصغيرة لأسباب من بينها الصعوبة المنطوية على إيجاد الموارد المائية الكافية لتبريد محطة قوى نووية تقليدية في دولة جافة وغير ساحلية، وذلك على حدّ تعبير خالد طوقان، رئيس مجلس هيئة الطاقة الذرية الأردنية.

وبالنسبة لهذه البلدان، يُعدُّ التعاون الدولي وفرصة التعلُّم من الرقابيين المتمرسين الآخرين أمراً أساسياً لضمان برنامج قوى نووية مأمون وآمن. ومحفل الرقابيين المعنيين بالمفاعلات النمطية الصغيرة، الذي أُسّس في عام 2015، هو مجموعة دولية من الرقابيين الذين يحددون قضايا الأمان المشتركة ويقترحون حلولاً لها والتي قد تشكّل تحدّياً أمام الاستعراضات الرقابية للمفاعلات النمطية الصغيرة.

ويرى سميث أن المحفل بمثابة منصة مهمة لتبادل المعارف والخبرات بشأن تنظيم المفاعلات النمطية الصغيرة. ويعقد المحفل حلقات عمل إقليمية وتتمخض عنه مواقف مشتركة إزاء الموضوعات الرئيسية، والتي "يمكننا أن نعود بها إلى بلداننا لنرى كيف يمكننا أن نغيّر أو نعدّل الإرشادات الخاصة بنا".

> **"وعلى الرغم من أن بعض المفاعلات النمطية الصغيرة يستخدم الماء الخفيف كمبرّد، فإنّ بعضها الآخر يختلف اختلافاً كليًا. وعلينا أن نتوصل إلى إطار جديد كليًا تقريباً لها، وأن يكون إطاراً محايداً تكنولوجيًا، وقائماً على عِلم بالمخاطر، ويستند إلى الأداء".**
>
> – بريان سميث، مدير شعبة التراخيص الجديدة والمجدَّدة، الهيئة الرقابية النووية في الولايات المتحدة

ومع وجود أكثر من 80 تصميماً للمفاعلات النمطية الصغيرة قيد التطوير في جميع أنحاء العالم، تهدف الوكالة إلى تعزيز النشر الفعّال للمفاعلات النووية المتقدمة المأمونة والآمنة في العالم من خلال وضع نُهج رقابية وصناعية مشتركة منسقة من خلال مبادرة التنسيق والتوحيد في المجال النووي (مبادرة التنسيق والتوحيد).

وقد أعاد المدير العام للوكالة رافائيل ماريانو غروسي التأكيد على أهمية المبادرة المذكورة للوكالة خلال الجلسة العامة لمبادرة التنسيق والتوحيد في حزيران/يونيه 2023. وقال في هذا الصدد: "تنسيق النُّهج من شأنه أن ييسّر التجارة الدولية في المفاعلات النمطية الصغيرة ومكوناتها حيث يقوم المطورون بتصميم وتصنيع مفاعلات تتوافق مع مجموعة أكثر اتساقاً من المعايير العالمية، بدلاً من أن يُضطروا إلى التعامل مع مجموعات متعددة، وأحياناً متضاربة، من المتطلبات في بلدان مختلفة".

وأضاف قائلاً إنّ الوكالة، وبفضل عقود من الخبرة كمركز للمسائل المتعلقة بالأمان والمسائل التنظيمية، كانت في وَضْع مثالي يؤهلها لتوطيد التعاون الدولي فيما يتعلق بالأطر الرقابية الوطنية. وأردفَ قائلاً: "من شأن النُّهج الرقابية الأكثر تنسيقاً أن تسمح بتعاون دولي أوسع نطاقاً وأن تمكّن البلدان من تنفيذ معايير عالية في مجال الأمان والأمن". وتتألف مبادرة التنسيق والتوحيد، الذي أُطلقت في حزيران/يونيه 2022، من مسارين منفصلين لكنهما متكاملان: المسار الرقابي والمسار الصناعي. ويدعم محفل الرقابيين المعنيين بالمفاعلات النمطية الصغيرة المسارَ الرقابي ويعكف على تطوير عمليات للاستفادة من استعراضات الترخيص للرقابيين الآخرين وإجراء استعراضات مشتركة.

ويتضمن المسار الرقابي المنبثق عن مبادرة التنسيق والتوحيد أيضاً فريقاً عاملاً معنيًا بوضع إطار لتبادُل المعلومات فيما بين الرقابيين، وآخر ينصبّ تركيزه على الاستعراضات السابقة للتراخيص المتعددة الجنسيات. وفي إطار جهود الاستعراضات السابقة للترخيص المتعددة الجنسيات، سيعمل الرقابيون معاً لتحديد التحديات المحتملة في تصميم مفاعل جديد قبل تقديمه لإجراء استعراض وطني للترخيص.

وإطلاع الجمهور وإشراكه هُما حجز الزاوية في تطوير القوى النووية. وستكون المعلومات العامة عن، ومشاركة أصحاب المصلحة في، أمان تصاميم المفاعلات المبتكرة، مثل المفاعلات النمطية الصغيرة، ضرورية للنجاح في نشر تلك المفاعلات. وقال سميث: "نظراً لأن هذه المفاعلات قد تكون أكثر قرباً بكثير من السكان، فمن أولويات الرقابيين إشراكُ الجمهور والإصغاء إليه، خصوصاً في البلدان المستهلة للمجال النووي، حيث سيكون هذا أول مفاعل بالنسبة لهم". وأضاف قائلاً: "يواجه الرقابيون هذا التحدي من خلال بناء ثقافة الانفتاح، والمهنية، والأمان المتين، والتأكيد على استقلاليتهم وشفافيتهم ودورهم كمصدر موثوق للمعلومات المتاحة في الوقت المناسب، والجديرة بالثقة، والتي يسهل الوصول إليها".

مبادرة التنسيق والتوحيد في المجال النووي، التي أُطلقت في حزيران/يونيه 2022، تعمل على وضع نُهج رقابية ونُهج صناعية مشتركة.

التحقق من الوقود النووي المستهلَك في المستودعات الجيولوجية العميقة

بقلم إيفا موريلا لام ريدوندو

في الوقت الذي يتطلع فيه العالم نحو بدائل للوقود الأحفوري في إطار مكافحة تغيُّر المناخ، تقوم بلدان عدة بتطوير برامج قوى نووية لتوفير مصدر مستدام للطاقة المنخفضة الكربون. والبلدان التي تشغّل مفاعلات نووية مسؤولة عن توفير قدرات التخلص الجيولوجي من النفايات القوية الإشعاع. والنَّهْج الراسخ دولياً لمثل هذا التخلص يتمثل في المستودعات الجيولوجية العميقة. ولدى كندا وفنلندا وفرنسا والسويد وسويسرا البرامج الأكثر تقدّماً في مجال المستودعات الجيولوجية العميقة.

ومن الأمثلة على المرافق الجديدة قيد التطوير محطة التغليف والمستودع الجيولوجي العميق في فنلندا. ففي محطة التغليف يُغلَّف الوقود المستهلَك بطريقة مأمونة في عبوات التخلص، ومن ثمَّ تخزَّن العبوات بشكل دائم ومأمون في المستودع الجيولوجي العميق. وكلاهما مطالب بالامتثال لالتزامات فنلندا القانونية الدولية بأن تسمح بتحقُّق الوكالة من الاستخدام السلمي للمواد النووية.

وتضطلع الوكالة بمهمتها للتحقُّق النووي بتنفيذ سلسلة من التدابير التقنية المعروفة باسم الضمانات للإشراف على المرافق والمواد والأنشطة النووية. وتسمح هذه التدابير للوكالة بالتحقُّق بشكل مستقل من أن الدول تفي بمسؤوليتها القانونية عن استخدام المواد النووية للأغراض السلمية فقط. وتقبل الدول بهذه التدابير عبر إبرام اتفاقات ضمانات مع الوكالة. وبناء على ذلك، ومن خلال الاضطلاع بأنشطة الضمانات، يمكن للوكالة أن تزوّد العالم بتأكيدات موثوقة بأن الدول تفي بالتزاماتها المتعلقة بعدم الانتشار النووي.

وقال ماركو هامالاينن، رئيس قسم ضمانات المواد النووية في هيئة الأمان الإشعاعي والنووي في فنلندا: "تعاوُن فنلندا مع الوكالة يجسد التزاماً قوياً بالوفاء بالتزاماتنا الدولية بعدم الانتشار من خلال ضمانات فعالة".

وتنطوي مرافق محطة التغليف والمستودع الجيولوجي العميق على تحديات وفرص فيما يتعلق بتطبيق الضمانات، وجارٍ تطوير حلول مبتكرة بحيث يتمكّن مفتشو الضمانات لدى الوكالة من التحقُّق من المواد النووية المخزنة. ويُعدُّ الوصول إلى المستودع الجيولوجي العميق، وهو على عُمق نحو 500 متر تحت سطح الأرض ومن المقرر أن يعمل لمدة 100 عام قادمة، أحد تلك التحديات. وعند تشغيلهما، ستكون محطة التغليف والمستودع الجيولوجي العميق أول مرفقين من نوعيهما في العالم خاضعين لاتفاق ضمانات شاملة مع الوكالة. لذ يتعيَّن على مفتشي الوكالة وَضْع نُهْج ضمانات جديدة ومستدامة للتحقُّق الآن وفي المستقبل البعيد من المواد النووية التي يصعب الوصول إليها.

> **"نحن كمفتشي ضمانات يلزمنا أن نكون قادرين على التحقُّق من الوقود النووي المستهلَك قبل نقله إلى مرافق محطة التغليف والمستودع الجيولوجي العميق. ومن ثمَّ ننفّذ تدابير الضمانات للتأكد من عدم تحريف أو استبدال الوقود المستهلَك، وأن المرافق لا تُستخدم لأغراض غير معلَنة".**
>
> - كورتني إيميس
> مفتشة الضمانات النووية لدى الوكالة

وقالت كورتني إيميس، مفتشة الضمانات النووية لدى الوكالة: "نحن كمفتشي ضمانات يلزمنا أن نكون قادرين على التحقُّق من الوقود النووي المستهلَك قبل نقله إلى مرافق محطة التغليف والمستودع الجيولوجي العميق. ومن ثمَّ ننفّذ تدابير الضمانات للتأكد من عدم تحريف أو استبدال الوقود المستهلَك، وأن المرافق لا تُستخدم لأغراض غير معلَنة". وأضافت قائلة: "تمثل مرافق محطة التغليف والمستودع الجيولوجي العميق تحدياً لمفتشي الضمانات لدى الوكالة من حيث الحفاظ على استمرارية المعرفة في أثناء عملية نقل الوقود المستهلَك وبعدها، خاصة مع محدودية الوصول المادي إلى المستودع الجيولوجي. ومن خلال استخدام التقنيات الجديدة والعمل الجماعي والتحليل الدقيق، يمكن تحقيق أهدافنا المتعلقة بالضمانات".

وللتعاون بين الوكالة والمفوضية الأوروبية وهيئة الأمان الإشعاعي والنووي في فنلندا أهمية أساسية لوضع تدابير وتقنيات الضمانات، بما في ذلك من خلال تطوير واختبار تكنولوجيات التحقُّق من الوقود النووي المستهلَك قبل التخلص من الوقود المستهلَك.

وفي عام 2012، استهلّت الوكالة مشروع محطة التغليف والمستودع الجيولوجي لمعالجة، على وجه التحديد، تحديات تنفيذ الضمانات التي تفرضها الأنواع الجديدة من المرافق. ومن خلال العمل عن كثب مع النظراء، نفّذ المشروع نَهْجاً شاملاً يتضمن مبادئ إدراج الضمانات في التصميم، والذي يمكن أن يقلّل إلى أدنى حدّ ممكن من الآثار التشغيلية في المستودع الجيولوجي العميق. وينطوي إدراج الضمانات في التصميم على إدماج اعتبارات الضمانات في وقت مبكر من مرحلتَي تخطيط المرفق وتصميمه، مع استمرار التكامل طوال فترة تشييده وتشغيله وإخراجه من الخدمة. وفي حالة فنلندا، من شأن إدراج الضمانات في التصميم أن يمكّن مفتشي

المدخل إلى أونكالو ONKALO، المستودع الجيولوجي العميق للوقود النووي المستهلَك في فنلندا.
(الصورة: شركة بوسيفا أوي)

الضمانات لدى الوكالة واليوراتوم على حدّ سواء، والهيئة الوطنية (هيئة الأمان الإشعاعي والنووي)، من أداء واجباتهم بكفاءة دون تعطيل تشغيل مرافق محطة التغليف المستودع الجيولوجي العميق.

وقال هامالاينن: "من خلال مشروع محطة التغليف والمستودع الجيولوجي، قمنا بتنفيذ إدراج الضمانات في التصميم. وهذا النَّهج الاستباقي يقلل من الحاجة إلى التعديلات التحديثية ويوفر موارد قيّمة للمشغّل، وهيئة الأمان الإشعاعي والنووي في فنلندا، والوكالة، والمفوضية الأوروبية".

وجارٍ أيضاً تنفيذ مفاهيم وتدابير أخرى وُضعت مؤخراً، بما في ذلك نُظم الرصد عن بُعد. وباستخدام نُظم الرصد عن بُعد لمراقبة موقع المواد النووية، يمكن للوكالة أن تقلّل من عمليات التفتيش الميدانية، وبالتالي أن تخفض انبعاثات الكربون الناشئة عن السفر إلى المرافق ومنها. كما يمكن لتقنيات مثل الرصد الزلزالي ونُظم الاحتواء باستخدام الليزر أن تقوم بدورٍ في الحد من عمليات التفتيش. فالرصد الزلزالي يمكنه اكتشاف أي اختراقات غير معلنة للصخور المحطية بالمستودع الجيولوجي العميق، بينما تقوم نُظم الاحتواء باستخدام الليزر بتحليل تهيئة اللِّحام لغطاء الحاوية لتنتج "توقيعاً" طبيعياً فريداً من نوعه والذي إذا ما طرأ عليه أي تغيير فإنه يشير إلى فتح العبوة.

وبحلول عام 2025، ستكون مرافق محطة التغليف والمستودع الجيولوجي العميق في فنلندا قد بدأت تعمل بكامل طاقتها من أجل وضع الوقود النووي المستهلَك. وتنفّذ الوكالة والمفوضية الأوروبية وهيئة الأمان الإشعاعي والنووي في فنلندا معاً، من خلال التعاون والابتكار، ضمانات فعالة وكفؤة تحقّق أهداف الوكالة في مجال التحقُّق، مع ضمان الحدّ الأدنى من التأثير في عمليات المرافق ومن شأن إدماج إدراج الضمانات في التصميم جنباً إلى جنب مع مرافق محطة التغليف والمستودع الجيولوجي العميق أن توفّر حلاً لمناولة الوقود النووي المستهلَك والتخلص منه، ما يدعم الانتقال إلى القوى النووية المنخفضة الكربون، وييسّر تحقُّق الوكالة من المواد والتكنولوجيا النووية.

تشكيل التصورات بشأن الطاقة النووية

بقلم إيرينا تشاتزيس

ما فتئت التصورات العامة بشأن الطاقة النووية تتغيّر وَسْط مخاوف بشأن تغيُّر المناخ وأمن الطاقة، فضلاً عن عدالة الطاقة والتنمية المستدامة. وفي الوقت نفسه، يجد المناصرون للاستفادة من القوى النووية طرقاً مبتكرة ومثيرة للاهتمام لإبراز فوائد هذا المصدر من مصادر الطاقة النظيفة. ومن بين هؤلاء المؤثّرة في مجال الطاقة النووية وعارضة الأزياء إيزابيل بوميكي.

وتقول بوميكي، المعروفة باسم "آيزودوب" Isodope على شبكات التواصل الاجتماعي، إنها تعتقد أن القوى النووية مسألة حيوية لمستقبل لا يشهد بقاء البشرية فحسب، بل وازدهارها أيضاً. وفي هذه المقابلة، تشرح بوميكي كيف تستخدم شخصيتها الرقمية لتعريف الأجيال الشابة بالقوى النووية.

كيف أصبحتِ مهتمة بالطاقة النووية؟

في عام 2015، نشر عالم أتابعه على شبكات التواصل الاجتماعي تغريدة عن مفاعلات الثوريوم القائمة على الأملاح المصهورة. وأجريتُ بعض البحث دون أن أجدَ معلومات يمكن أن يفهمها شخص مثلي ليس لديه خلفية تقنية. وهو ما أثار فضولي عن القوى النووية ورحتُ أسأل الناس عن رأيهم فيها. وتلخصت الردود فيما يلي: إنها في الواقع جيّدة. نحن بالتأكيد بحاجة إليها لحلّ مشكلة تغيُّر المناخ، لكن الناس يكرهونها تماماً.

ومع اندلاع حرائق عام 2019 في أستراليا وغابات الأمازون وكاليفورنيا، أدركتُ أننا لم نتحرك بالسرعة الكافية في مكافحة تغيُّر المناخ وبدأتُ في البحث عن حلول؛ لأصادف القوى النووية مجدداً. وما أذهلني أنّ الناس كانوا مخطئين في كلّ ما يعتقدون أنهم يعرفونه عن القوى النووية. وكانوا مخطئين لأنهم استقوا معلوماتهم في الغالب من مراجع ثقافية وأفلام ورسوم متحركة، مثل عائلة سمبسون. وحاولتُ معرفة كيفية تعريف الناس بأنّ القوى النووية هي ثاني أكبر مصدر للطاقة النظيفة في العالم وبأن البلدان التي أزالت الكربون من الكهرباء إنما فعلت ذلك في الغالب من خلال الطاقة الكهرمائية أو القوى النووية.

أهكذا وُلدت شخصية "آيزودوب"؟

نعيش في عالم تشكّل ملامحه وسائل التواصل الاجتماعي ويزخر بالمؤثرين على وسائل التواصل الاجتماعي. وأدركتُ أن أفضل طريقة لإيصال الرسالة بشأن الطاقة النووية هي إنشاء محتوى يجذب الناس ويتحدث إليهم عبر وسائل التواصل الاجتماعي. كنتُ أعلم أن المحتوى الذي سأنشئه لا بدّ أن يكون مختلفاً تماماً لأني لم أُرِد إنشاء مقاطع فيديو كسابقاتها فحسب. توصَّلتُ إلى شخصية بأزياء مستقبلية تتحدّث بلغة سهلة الفهم وتستعين بأدوات بصرية ملونة. وأسميتُ تلك الشخصية "آيزودوب"، وهذا الاسم هو تَوْرِيَة لغوية للمصطلح الشائع في الكيمياء isotope (النظير).

ما الفئة المستهدَفة الأساسية؟

ينصبُّ تركيزي على جيل الألفية (مَن وُلدوا في ثمانينيات وتسعينيات القرن العشرين) وجيل الشبّان. فسُبل عيش الشبّان على المحكّ. ونحن، وأطفالنا، سنكون من يعايش أسوأ الآثار الناجمة عن تغيُّر المناخ.

كيف يمكنكِ الوصول إلى جمهور أوسع، خارج نطاق الأوساط المؤيدة للطاقة النووية؟

وسائل التواصل الاجتماعي أداة مفيدة للغاية في هذا الصدد. فليس باستطاعتنا إنشاء المحتوى المراد فحسب، وهو ما أفعله، ولكن يمكننا أيضا التفاعل مع الأشخاص من خلال هذا المحتوى. فيمكننا الرد على أولئك الذين لديهم أسئلة وأولئك الذين لديهم فضول في هذا الشأن.

وكل مناسبة هي فرصة لطرح موضوع القوى النووية. فعندما أذهب إلى الطبيب، على سبيل المثال، ويسألني أحدهم عن وظيفتي، أقول له إني أعمل في مجال الطاقة النووية، وينتهي الأمر دائما بحوار شائق. وإشراك المجتمعات المحيطة بمحطات القوى النووية أمر مهم للغاية أيضاً. هؤلاء الناس هم أفضل المناصرين لنا لأن مجتمعاتهم تستفيد كلّ الاستفادة من المرافق النووية.

وثمة موضوع آخر ينبغي لنا شرحه باستفاضة وهو النفايات المشعة، لأنها واحدة من أكبر القضايا التي يثيرها الناس. ويمكن لأي شخص رأى النفايات النووية بعينيه أن يقول لنا إنها أكثر شيء يثير الملل على كوكب الأرض: فما هي إلا براميل خرسانية قابعة في مكان ما. وسيكون من المفيد حقاً الاستمرار في إظهار شكل النفايات النووية وإرسال رسالة مفادها أن تلك النفايات تُدار بطريقة مأمونة، وأن تلك النفايات النووية، بصراحة، مملة أكثر بكثير مما يعتقد الناس.

ما أكبر إنجاز في حياتكِ المهنية كشخصية مؤثرة في مجال الطاقة النووية؟

يأتي في صدارتها إنقاذ محطة ديابلو كانيون للقوى النووية في كاليفورنيا من الإغلاق في عام 2022 وذلك لأسباب عدة. عندما بدأتُ العمل كمؤثرة في مجال الطاقة النووية، بحثتُ في مجال محطات القوى النووية التي كان من المقرَّر إغلاقها قبل الأوان بالولايات المتحدة الأمريكية. كان هناك 5 منها في ذلك الوقت وبرزت منها محطة ديابلو كانيون، ليس فقط لجمال هذا المرفق وإمكانية استمرار تشغيله لمدة 20 عاماً أخرى، ولكن أيضاً لأن هذه المحطة تمثّل رمزاً للحركة المناهضة للطاقة النووية بالولايات المتحدة الأمريكية. فعندما شُيّدت محطة ديابلو كانيون في أواخر ستينيات وسبعينيات القرن العشرين، وُوجِهَت بالكثير من الاحتجاجات، بما في ذلك مسيرة واحدة حضرها قرابة 30000 شخص.

وكان إنقاذ هذه المحطة بمثابة إرسال رسالة إلى عامة الناس وإلى السياسيين مفادها أن مسار الأمور قد تغيَّر؛ وأن الناس الآن يتقبلون محطات القوى النووية. اعتقدتُ أنها قضية جديرة بالاهتمام، وتعاونتُ مع الكثير من المنظمات المختلفة في الولايات المتحدة الأمريكية. ونظّمنا أكبر تجمُّع مؤيد للطاقة النووية في هذا البلد. كما أنشأتُ منظمة غير ربحية باسم Save Clean Energy (إنقاذ الطاقة النظيفة)، وأرسلتُ رسالة إلى حاكم كاليفورنيا حملت إمضاء 80 من أبرز خبراء الطاقة والمناخ وروّاد الأعمال، وحثثتهُ في الرسالة على إبقاء محطة ديابلو كانيون مفتوحة. ونتيجة لذلك، ستظلّ المحطة مفتوحة لمدة خمس سنوات على أقلّ تقدير بعدَ موعد إغلاقها المقرَّر في الأصل في عام 2025.

> **"كل مناسبة هي فرصة لطرح موضوع القوى النووية".**
>
> إيزابيل بوميكي، مؤثرة في مجال الطاقة النووية وعارضة أزياء، المعروفة باسم "آيزودوب" Isodope

ما أحدثُ مشاريعكِ وخططكِ لشخصية آيزودوب؟

أقوم حالياً بتأليف كتاب بعنوان Rad Future عن القوى النووية؛ وهو مكتوبٌ بأسلوب على غرار شخصية آيزودوب وسهل الفهم. وعلى الجانب غير الربحي، أركزُ بشدة على التحول من الفحم إلى الطاقة النووية، فأنا أعتقد أن هذا ربما يكون أفضل رهان لتسريع نشر القوى النووية، على الأقلّ في الولايات المتحدة الأمريكية.

وأخيراً، أعتقد أنه يمكننا الوصول إلى جمهور مختلف تماماً من خلال صناعة الأزياء. فقد أعددتُ مقالات افتتاحية وأجريتُ مقابلات عن عالم الأزياء تطرقت للقوى النووية، وسأستمر في ذلك. وثمة الكثير من التعاون المثير للاهتمام في المستقبل الذي يمكن أن يحدث هناك.

40 عاماً من فريق استعراض أمان التشغيل:
تحسين أمان محطات القوى النووية في جميع أنحاء العالم

أعضاء فريق استعراض أمان التشغيل خلال الاستعراض رقم 200 للفريق في ألماراز، إسبانيا، في عام 2018.
(الصورة: م. كلينغنبويك/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

تحتفل الوكالة الدولية للطاقة الذرية بمرور أربعين عاماً على إنشاء فريق استعراض أمان التشغيل (OSART)، أحد أهمّ خدمات استعراض النظراء للأمان التي توفرها الوكالة للدول الأعضاء فيها. ويهدف برنامج فريق استعراض أمان التشغيل إلى مساعدة البلدان على تعزيز أمان محطات القوى النووية لديها عند إدخالها في الخدمة وفي أثناء تشغيلها من خلال مقارنة الممارسات الفعلية بمعايير الأمان الصادرة عن الوكالة. ومنذ أول بعثة إلى محطة كوري للقوى النووية في جمهورية كوريا في آب/أغسطس 1983، أوفدت الوكالة 218 بعثةً لفريق استعراض أمان التشغيل إلى 37 بلداً، حيث قدّمت تقييماتٍ موضوعية ومستقلة لأدائها في مجال أمان التشغيل.

وقال المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية رافائيل ماريانو غروسي: "من خلال هذه البعثات، دعمَ آلاف الخبراء التحسين المستمر لأمان محطات القوى النووية العاملة في جميع أنحاء العالم".

وبعثات فريق استعراض أمان التشغيل مصمَّمة لمساعدة المشغلين النوويين على تعزيز أمان تشغيل محطاتهم من خلال تحديد المجالات التي ينبغي تحسينها والتوصية بطُرق للقيام بذلك.

وخلال بعثة فريق استعراض أمان التشغيل، يقوم خبراء من الدول الأعضاء والوكالة بتقييم أداء الأمان في المرافق النووية مقارنةً بمعايير الأمان الصادرة عن الوكالة، والمعايير المقبولة دوليًا للأمان النووي، ويقدّمون توصياتٍ واقتراحاتٍ محدّدة لتحسين الأمان. وخلال البعثة، يتمُّ تقييم تطبيق هذه المعايير في مجموعة واسعة من المجالات، بما في ذلك إدارة المحطة النووية، وتدريب الموظفين وتأهيلهم، والعمليات التشغيلية وثقافة الأمان.

ويمكن إيفاد بعثات فريق استعراض أمان التشغيل لمحطات القوى النووية العاملة في أيّ وقت بعد بدء تشغيل تلك المحطات تجارياً. وفي العادة، توفَد زيارة متابعة بعدَ مُضيّ نحو 18 شهراً على البعثة الرئيسية. وتوفَد بعثات فريق استعراض الأمان قبل التشغيل خلال مرحلة إدخال محطة قوى نووية في الخدمة، ويكون ذلك في العادة قبل بضعة أشهر من تحميل أول وقود نووي في المفاعل النووي. ولاستكمال هذه البعثات، توفَد أيضاً بعثات فريق استعراض أمان التشغيل المؤسسية لاستعراض الوظائف المركزية لجوانب أمان تشغيل محطات القوى النووية داخل الأسطول، مثل الإدارة المؤسسية؛ ورصد أداء الأمان؛ والإشراف أو المشتريات أو الموارد البشرية.

برنامج فريق استعراض أمان التشغيل اليوم

أظهرَ تحليل أُجري مؤخراً أنّ مشغلي المرافق النووية يتخذون إجراءات على وجه السرعة بناء على استنتاجات بعثات فريق استعراض أمان التشغيل، وأن أكثر من 95 في المائة من تلك الاستنتاجات تتمّ تسويتها أو تحقق تقدُّماً مُرضياً بحلول الوقت الذي توفَد به بعثات المتابعة.

وفي السنوات الأخيرة، ركّز البرنامج بقدر أكبر على مجالات مثل إدارة الحوادث والتفاعل بين البشر والتكنولوجيا والمنظمات. ويركّز البرنامج أيضاً على ثقافة الأمان، والتي تشير إلى كيفية إعطاء الثقافة السائدة في منظمة ما الأولوية للأمان وتقديرها له. ويسعى برنامج فريق استعراض أمان التشغيل إلى غَرْس ثقافة الأمان التي تشجّع المنظمات المضيفة على تحديد وحلّ مشكلات الأمان بنفسها في مرحلة مبكرة.

تعزيز تبادل المعلومات والشفافية والثقة

حتى الآن، حدّدت بعثات فريق استعراض أمان التشغيل 1350 ممارسة جيدة، وهي متاحة أيضاً للجمهور على الموقع الشبكي للوكالة. وتستعرض المنظمات المشغّلة مراراً هذه الممارسات الجيدة وتنفّذ تلك القابلة للتطبيق منها.

ولضمان الشفافية، تتوافر المبادئ التوجيهية لفريق استعراض أمان التشغيل للجمهور، وكذلك معايير الأمان الصادرة عن الوكالة والتي تستند إليها هذه الخدمة.

وقال المدير العام غروسي: "أصبحت بعثات استعراض النظراء المنبثقة عن الوكالة أكثر أهميةً الآن من أي وقت مضى، لأنها تضع حجر الأساس للتوسُّع الكبير في الطاقة النووية المطلوبة لتحقيق أهداف المناخ العالمي".

— بقلم نايانا جاياراجان

الوكالة تستعرض دعم أهداف التنمية المستدامة في منتدى الأمم المتحدة السياسي الرفيع المستوى

شاركت الوكالة الدولية للطاقة الذرية في منتدى الأمم المتحدة السياسي الرفيع المستوى لعام 2023 المنعقد في مقرّ الأمم المتحدة في نيويورك في الفترة من 10 إلى 19 تموز/يوليو، حيث ركّزت على المساهمات البالغة الأهمية التي قدّمتها العلوم والتكنولوجيا النووية نحو تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

وقال هوا ليو، نائب المدير العام للوكالة ورئيس إدارة التعاون التقني: "نواجه مستقبلاً يكتنفه الغموض في وقت تتقارب فيه أزمات المياه والطاقة والمناخ. ويجب علينا أن نعمل معاً لإيجاد حلول قابلة للتطبيق لمعالجة أولويات البلدان، وزيادة قدرتها على التأقلم، وتقليل التفاوتات العالمية".

وينصبُّ تركيز الوكالة على مساعدة البلدان على تحقيق الغايات المندرجة تحت أهداف التنمية المستدامة الخاصة بها، وقد تضمّن المنتدى السياسي الرفيع المستوى لعام 2023 استعراضاتٍ لخمسة من أهداف التنمية المستدامة، بما في ذلك المياه النظيفة والصرف الصحي (الهدف 6) والطاقة النظيفة وبأسعار معقولة (الهدف 7). وتشجّع الوكالة على استخدام العلوم والتكنولوجيا النووية لتوليد طاقة نظيفة وموثوقة وبأسعار معقولة، واستخدام التقنيات النووية، مثل الهيدرولوجيا النظيرية، لتعزيز إدارة المياه.

ويصادف هذا العام منتصف الطريق لتنفيذ أهداف التنمية المستدامة السبعة عشر، وهي أهداف مترابطة الغاية منها مواجهة التحديات العالمية التي يواجهها عالمنا والتي يتعيّن تحقيقها بحلول عام 2030. واستضافت الوكالة معرضاً، ونظّمت فعالية جانبية ركّزت على تحسين إتاحة المياه والطاقة النظيفتين من خلال التعاون فيما بين بلدان الجنوب والتعاون الثلاثي.

وأكّدت ديما الخطيب، مديرة مكتب الأمم المتحدة للتعاون فيما بين بلدان الجنوب، على أهمية هذا النَّهج. وقالت في كلمتها: "أثبتَ التعاون فيما بين بلدان الجنوب والتعاون الثلاثي جدارتهما كطريقة مبتكرة لتحسين القدرات والتخفيف من وطأة التحديات التي تكابدها بلدان الجنوب - سواء على صعيد إدارة المياه، أو الطاقة، أو الرقمنة، أو الفقر. والتعاون فيما بين بلدان الجنوب آلية تعاونية قيّمة لها تأثيرها على المستويات كافة".

وشدّد السفير زوليسا مابهونغو من جنوب إفريقيا على أهمية التعاون فيما بين بلدان الجنوب في تخطيط الطاقة لما يتطلبه هذا الأمر من مستوى عالٍ من الكفاءة التقنية. فبدعمٍ من الوكالة، استضافت جنوب إفريقيا دورات دراسية في مجال إدارة الطاقة النووية لمساعدة الخبراء من البلدان الإفريقية على بناء معارفهم ومهاراتهم في دورة حياة الطاقة النووية.

وقالت فيفيان أوكيكي، ممثلة المدير العام للوكالة لدى الأمم المتحدة ومديرة مكتب اتصال الوكالة في نيويورك: "من خلال الاجتماع مع شركاء موثوقين، يمكننا معالجة أزمتَيْ المناخ والطاقة من خلال توسيع نطاق الحلول التي أثبتت جدواها والتي أصبحت ممكنة بفضل العلم والتكنولوجيا".

وعلى الرغم من تحسُّن إتاحة الطاقة النظيفة على مستوى العالم، ما يزال 675 مليون شخص يفتقرون إلى الكهرباء، و2.3 مليار شخص لا تتوافر لديهم مصادر وقود مأمونة للطهي، وذلك وفقاً لتقرير أهداف التنمية المستدامة 2023: إصدار خاص. وتساعد الوكالة البلدانَ على تحقيق أهداف التنمية المستدامة من خلال برنامجها للتعاون التقني.

وأبرزَ ليو، نائب المدير العام للوكالة ، في سياق مداخلة له خلال فعالية جانبية لمنظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة بشأن التقييم العلمي للمياه، أنه "بالاستعانة بالتقييم القائم على العلم، يمكن للعلماء تزويد واضعي السياسات بالمعلومات الضرورية لإدارة الموارد المائية وحمايتها والحفاظ عليها؛ وجَعْل إتاحة المياه النظيفة للجميع بمثابة حجر الأساس للتنمية المستدامة".

وعلى الصعيد العالمي، ما زال 2.2 مليار شخص يفتقرون للمياه المأمونة و3.5 مليار شخص يفتقرون لخدمات الصرف الصحي. وأدّى تغيُّر المناخ واندلاع الصراعات إلى تفاقُم قضايا ندرة المياه في بعض المناطق. ووصفَ الممثل الدائم لطاجيكستان لدى الأمم المتحدة، السفير جونيبك حكمت، كيف تواجه طاجيكستان في الوقت الراهن تحديات الأمن المائي التي تفاقمت بسبب تغيُّر المناخ. وقدّمت الوكالة دعماً مخصصاً في إطار التعاون التقني لطاجيكستان لتقييم موارد المياه الجوفية في حوض بحر آرال، وقد بدأ للتوّ مشروع وطني بشأن الأنهار الجليدية.

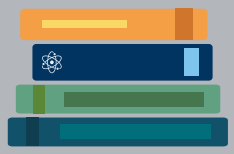
— بقلم ميليسا إيفانز

منشورات الوكالة

متاحة مجاناً إلكترونياً

التنزيل هنا

www.iaea.org/books



لطلب كتاب، يرجى الكتابة إلى:

sales.publications@iaea.org

التنزيل

تغيُّر المناخ والقوى النووية لعام ٢٠٢٢

ومنشورات عن الحلول المبتكرة لتحقيق صافي الانبعاثات الصفري

خارطة طريق التكنولوجيا الخاصة بنشر المفاعلات النمطية الصغيرة

نظم الطاقة الهجينة النووية-المتجددة

فوائد المفاعلات السريعة النمطية الصغيرة والتحديات التي تواجهها

www.iaea.org/bulletin/64-3

شاركونا

من أجل نُظم طاقة خالية من الانبعاثات

تسخير الذرة
من أجل
عالم خالٍ من الانبعاثات

ترحّب الوكالة بشراكة الدول الأعضاء وقطاع الصناعة والمؤسسات المالية وسائر الجهات المعنية من أجل المساهمة بما لديهم من الخبرات وأدوات النمذجة والمعلومات الصناعية وجهود الترويج والموارد المالية.

www.iaea.org/Atoms4NetZero

IAEA

#Atoms4NetZero

SCIENTIFIC FORUM

NUCLEAR ENERGY FOR CLIMATE

26–27 أيلول/سبتمبر 2023

شاهد واعرف المزيد

atoms.iaea.org/SciFoNetZero

طالعوا مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية عبر الرابط:

www.iaea.org/ar/bulletin

للحصول على مزيد من المعلومات بشأن الوكالة وعملها، زوروا موقعنا الشبكي

www.iaea.org

أو تابعونا على

ISSN 1819-1800 23-03627A