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