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)