استكشاف بدائل الوقود

بقلم: راي سولّيتشين

ضمن إطار المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (إنبرو)، ينظر الخبراء في إمكانية استخدام دورات الوقود القائمة على الثوريوم للمساعدة على تحقيق الطاقة النووية المستدامة في القرن الحادي والعشرين.

الثوريوم، مثل اليورانيوم، مادة خصبة يمكن استخدامها لإنتاج مواد انشطارية، يمكن استخدامها هي الأخرى وقوداً في مفاعل نووي. ويجري حالياً استكشاف إمكانية استخدام الثوريوم لدعم نشر نظم الطاقة النووية على نطاق واسع، في مشروع تعاوني عنوانه «مواصلة استقصاء دورات وقود الثوريوم». وتشمل الأطراف المشاركة في المشروع المفوّضية الأوروبية والهند وكندا وسلوفاكيا والاتحاد الروسي والصين وفرنسا وجمهورية كوريا.

والنيوترونات المستمدّة من تفاعل انشطاري مبتدأ بنظير اليورانيوم ٢٣٥ يمكن استخدامها أيضاً لتحويلها من خلال أسر مواد خصبة، مثل نظير اليورانيوم يو ٢٣٨ ونظير الثوريوم ثو ٢٣٢، لتوليد مادة انشطارية جديدة، نظير البلوتونيوم بلو ٢٣٩ ونظير اليورانيوم يو ٢٣٣، على التوالي. وهذا مهم لتمديد نطاق توافر المادة الانشطارية التي تجعل الطاقة النووية مستدامة.

أما داعي القلق الرئيسي المتأتّي من إنتاج كمية كبيرة من نظير البلوتونيوم بلو ٢٣٩ فيتعلّق بانتشار هذه المادة لأن النظير بلو ٢٣٩ يمكن استخدامه لأغراض صنع سلاح نووي. ويوجد هذا الداعي إلى القلق نفسه بشأن انتشار هذه المواد باستخدام الثورنيوم، لأن نظير اليورانيوم يو ٢٣٣ يمكن نظرياً استخدامه في سلاح نووي. غير أن أي مقدار صغير من المنتج الانشطاري يو ٢٣٢، الذي يبتعث اضمحلاله المشعّ أشعةَ غاما قوية شديدة الاختراق، يجعل إخفاء الأسلحةَ التي يُستخدم فيها نظير اليورانيوم يو ٢٣٣ بالغ الصعوبة كما يجعل مناولتها أكثر خطورة بكثير من غيرها. وعلاوة على ذلك، لا يوجد أسلحة معروفة قائم صنعها على نظير اليورانيوم يو ٢٣٣ قيدَ التطوير في العالم اليوم؛ ذلك أنه بموجب القرار بوقف الاختبارات المطبّق في الوقت الراهن، فإن أي تطوير ناجح لتكنولوجيا جديدة خاصة بمثل هذه الأسلحة بالاستناد إلى استخدام نظير اليورانيوم يو ٢٣٣، سوف يصعب بيانه عملياً أو حتى اختباره.

ويمكن أيضاً تحسين مقاومة الانتشار فيما يخصّ دورة وقود الثوريوم، في تصاميم المفاعلات الحرارية في المستقبل، من خلال «إعادة تدوير» استخدام نظير اليورانيوم يو ٢٣٣ داخل المفاعل من دون نقله من مرفق المفاعل المؤمّن من أجل إعادة معالجته.

ذلك أن استخدام الثوريوم يمكن أن يخفض إنتاج عنصري البلوتونيوم وما وراء اليورانيوم، وأن يساعد على تصريف البلوتونيوم العسكري. وفي بعض تصاميم المفاعلات المعيّنة التي يُستخدم فيها الثوريوم، يمكن «حرق» البلوتونيوم، مما يتيح طريقة عملية واقتصادية للتخلّص من مواد الأسلحة النووية.

ولوقود الثوريوم خصائص حرارية وفيزيائية وكذلك أداء إشعاعي أفضل من وقود اليورانيوم. ومن ثم يمكن أن يكون خيار وقود أفضل من أجل تصاميم نظم الطاقة النووية باستخدام مفاعلات تعمل على درجة حرارة أعلى، مثل التطبيقات غير الكهربائية. وعلاوة على ذلك، فإن نقطة انصهار ثاني أُكسيد الثوريوم أعلى بنحو ٥٠٠ درجة بالميزان المئوي «سلسيوس» من ثاني أُكسيد اليورانيوم. وهذا الفرق يوفّر هامشَ أمان أضافياً في حال حدوث طفرة مفاجئة مؤقّتة في القدرة أو فقدان مؤقّت للمبرِّد في المفاعل.

وثمة مزيّة ممكنة أخرى في دورة وقود الثوريوم تتعلق بإدارة تصريف الوقود المستنفد الطويلة الأمد. وذلك لأن الكمية التي تنتجها دورات وقود الثوريوم من الوقود المستنفَد العالي المستوى مع النواتج الاندماجية، التي تتّسم بقصر نصف عمرها الإشعاعي، أصغر بالمقارنة بدورات وقود اليورانيوم – البلوتونيوم. كما إن هندسة المكوّنات اللازمة للتخلّص من النفايات الطويلة الأمد في دورة وقود الثوريوم قد تكون أقلّ تطلّباً منها في دورة وقود اليورانيوم – البلوتونيوم، من وجهة النظر إلى عمرها في المستودع ومستلزمات الحيّز المكاني.

غير أن ارتفاع درجة إشعاعية وقود الثوريوم المستنفد، مما يُعزى بصفة رئيسية لوجود انبعاثات يو ٢٣٢ من أشعة غاما وسلاسل اضمحلالها، ينشئ تحدّيات هندسية، ولكنها لا تعتبر مشاكل فيزيائية جوهرية، يواجهها مصمّمو مرافق إدارة تصريف الوقود المستنفد ومشغّلوها. ولكنْ، من الناحية الأخرى، يتيح وجود مبتعثات أشعة غاما القوية فرصاً سانحة لأعمال التطوير الابتكارية في مجال التطبيقات الصناعية الجديدة. وعلى سبيل المثال، فإن وقود الثوريوم المستنفد يمكن دمجه في صلب تصميم مكوّنات الوقود الطويل الأجل (فيما يخصّ استخدام مفاعلات صغيرة ومتوسطة دونما حاجة لمعاودة التزوّد بالوقود في الموقع)، باعتبار ذلك رادعاً مُبيّنا فيها لدرء التخريب أو السرقة أثناء شحن ذلك الوقود إلى مرفق مركزي لمعالجة الوقود المستنفد. وقد تتعلق تطبيقات أخرى باستخدامه لتعقيم المعدات الطبية وفي تشعيع

خطوات نحو الثوريوم، مقترحة في إطار المشروع الدولي «إنبرو»

أثناء الاجتماع الاستشاري المشترك بين الوكالة الدولية للطاقة الذرّية والمشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود النووي الابتكارية «إنبرو»، الذي عُقد في كانون الثاني/يناير ٢٠٠٩، حُدِّد عدد من خيارات دورة الوقود القائمة على أساس الثوريوم، لكي تنظر فيها الدول الأعضاء في المشروع الدولي المذكور. وفي ذلك الاجتماع، حُدِّدت على وجه الخصوص ثلاث فئات من خيارات دورة الوقود الملائمة للتطبيقات على الأمد القصير والأمد المتوسط، وهي:

١ دورة وقود اليورانيوم/الثوريوم المستخدَم لمرة واحدة في مفاعل الماء الثقيل والمفاعل المبرّد بالماء المضغوط ومفاعل الماء المغلي والمفاعل المرتفع الحرارة المبرّد بالغاز. وهذا الخيار يشمل الطرائق التقليدية المتّبعة في الاستخدام لمرة واحدة للوقود، وخلط الوقود وإعادة دورة الاستخدام فيما يخصّ الوقود المعادلة تشكيله آلياً؛

٢ دورة وقود البلوتونيوم/الثوريوم المستخدَم لمرة واحدة في مفاعل الماء الثقيل والمفاعل المبرّد بالماء المضغوط ومفاعل الماء المغلي والمفاعل المرتفع الحرارة المبرّد بالغاز. وهذا الخيار يشابه الخيار الأول، باستثناء استخدام نظير البلوتونيوم بلو ٢٣٩ الحالي، بدلاً من نظير اليورانيوم يو ٢٣٥، لمباشرة عملية الانشطار من قبل تكوين ما يكفي من نظير اليورانيوم يو ٢٣٣ في قلب المفاعل. ومن التنويعات الخاصة البديلة لهذا الخيار التصاميم المعدَّة لغرض خفض البلوتونيوم كمادة يمكن استخدامها لصنع سلاح نووي؛

٣ الحجم التآزري بين المفاعلات السريعة والمفاعلات الحرارية، حيث يُشغّل عدد من المفاعلات السريعة كمصانع لتحويل نظير الثوريوم ثو ٢٣٢ إلى نظير اليورانيوم يو ٢٣٣ من أجل تغذية مفاعلات أخرى.

وقد أسهم في هذا الاجتماع، إضافةً إلى الأعضاء المشاركين في المشروع التعاوني، عدّة مراقبين من شركة ثوريوم بَوَر (الولايات المتحدة)، وشركة ثور إنرجي (النرويج)، ومعهد أبحاث الطاقة في يوليخ (ألمانيا).

الأغذية وأجهزة العلاج بالأشعة وأجهزة التشخيص الطبي ومرافق التفتيش الجمركي، وغير ذلك.

اقتصاديات وقود الثوريوم

عندما تُنفّذ دورة وقود الثوريوم على نطاق كبير، يُحتمل أن تقدّم مزية اقتصادية ترجّح على دورة الوقود النووي المفتوحة القائمة على أساس اليورانيوم حالياً، على الرغم من التوقّع القائل بأن تكلفة صنع وقود الثوريوم قد تكون أعلى منها في صنع وقود اليورانيوم.

ويستند توقّع ارتفاع التكلفة المرجّح إلى صعوبة مناولة نظير اليورانيوم يو ٢٣٣ الزائدة وإلى ارتفاع إشعاعية نظير اليورانيوم يو ٢٣٢ المقترن به. غير أن هنالك عوامل أخرى قد تخفّض ارتفاع تكلفة الصنع، ومنها على سبيل المثال عدم لزوم اللجوء إلى الإثراء في دورة وقود الثوريوم، وقلّة الخطوات الخاصة بعملية التحويل اللازمة لصنع أُكسيد الثوريوم الطبيعي بتحويله إلى أشكال وقود جاهزة لأول تشعيع، عن الخطوات المماثلة بالنسبة إلى اليورانيوم.

علاوة على ذلك، فإن قابلية وقود الثوريوم «لإعادة تدويره» وما يتيحه من إمكانية للتشغيل العالي الحرارة، عاملان من المرجّح أن يقدّما منفعة اقتصادية إضافة على نحو ما. ذلك أن عملية التحويل من نظير ثوريوم خصب ثو ٢٣٢ إلى نظير يورانيوم يو ٢٣٣ تتم أثناء الانشطار، أي في حين توليد الطاقة، ونظير اليورانيوم يو ٢٣٣ الانشطاري الناتج يمكن مواصلة إخضاعه للانشطار لإنتاج طاقة لمدة زمنية طويلة (أي درجة احتراق استهلاكي أعلى)، لغاية الحدّ الذي يفرضه سلوك مواد تكسية الوقود والبُنى المساندة. ومن ثم فإن التشغيل الزائد ارتفاع الحرارة المتوخّى في المستقبل في تصاميم المفاعلات العاملة أساساً على الثوريوم من شأنه أن يزيد درجة الكفاءة الحرارية في نظم الطاقة النووية من ٣٤ في المائة في أفضل الأحوال إلى غاية ٥٠ في المائة أو حتى أعلى من ذلك، مما يسهم مباشرةً في خفض تكلفة الوقود في كل وحدة من وحدات توليد الطاقة.

لماذا لا نستطيع أن نباشر استعمال الثوريوم؟

إن استخدام الثوريوم يمكن أن يُباشَر اليوم في نظم توليد الطاقة النووية الحالية، مع بعض التعديل في التصاميم وإعادة الترخيص. غير أن استعمال وقود الثوريوم، في دورة وقود نووي يُستخدم لمرة واحدة (أي بلا إعادة تدويره من أجل استعادة نظير اليورانيوم يو ٢٣٣ المتبقّي بعد التصريف)، ليس اقتصادياً جداً.

ويجري حالياً إعداد عدّة تصاميم متقدّمة بغية استعمال الثوريوم على نحو أمثل مع العناية بتحسين كفاءة الاستخدام أو بأغراض معيّنة (على سبيل المثال، التخلّص من البلوتونيوم). وهي تشمل التصاميم المعدّلة أو التصاميم التطوّرية بالاستناد إلى أنواع من المفاعلات الحالية، ومنها مثلاً مفاعل الماء الثقيل المتقدّم في الهند، والمفاعل «في في آر» الذي يُستعمل فيه الثوريوم (VVR–١٠٠) المطوّر بالاشتراك بين الولايات المتحدة وروسيا؛ والمفاعلات السريعة من طراز المفاعل الحصَوي القاع التي يُستعمل فيها الثوريوم (المبرّدة بالمعدن السائل والمبرّدة بالغاز)؛ وكذلك تصاميم مفاعلات متقدّمة مثل المفاعل المبرّد بالملح المصهور، والنظام العامل بواسطة المعجِّلات.

إضافةً إلى ذلك، هنالك عدّة مفاهيم مقترحة بخصوص المفاعلات، يجري تطبيقها حالياً، الهدف منها تلبية احتياجات مستعملي الطاقة على نطاق صغير. وبعض هذه المفاهيم التصميمية يمكن تحسينها على النحو الأمثل لاستعمال وقود الثوريوم فيها.

وأكبر التحدّيات التي تواجه إدخال دورة وقود الثوريوم من أجل توليد القدرة الكهربائية بالطاقة النووية لأغراض تجارية إنما هو الافتقار إلى البُنى التحتية ذات الصلة بصنع الوقود.

وقد استفادت الصناعة النووية من وجود بُنى تحتية مشابهة متاحة لوقود اليورانيوم، حيث أتاح الإمكانية لذلك الاستثمارات التي تمّت في الماضي لأغراض التطبيقات غير المدنية. غير أنه لا بدّ من تطوير البُنى التحتية الخاصة بصنع الوقود اللازمة لدورة وقود الثوريوم وذلك لاعتبارات تجارية.

راي سوليّتشين هو المدير التنفيذي لمعهد نيو بانورا–شبكة تكنولوجيات الطاقة؛ وكان عضواً في فريق المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية من عام ٢٠٠٦ إلى عام ٢٠٠٩ بصفة خبير دونما تكلفة وبرعاية مالية من حكومة كندا. البريد الإلكتروني: ray.sollychin@neopanora.com