IAEA BULLETIN

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرّية

منشور الوكالة الرئيسي | حزيران/يونيه ٢٠١٩

للاطّلاع على النسخة الإلكترونية
www.iaea.org/bulletin

التصرُّف في الوقود المستهلك الناتج عن مفاعلات القوى النووية

التعلُّم من الماضي، وتمكين المستقبل

الوافدون الجدد على المجال النووي يتناولون مسألة التصرُّف في الوقود النووي المستهلَك والنفايات المشعَّة، صفحة ١٠

إنشاء المرفق الأول من نوعه للتخلُّص الآمن من الوقود المستهلَك، صفحة ١٤

مراعاة الضمانات في تصميم مرافق خزن الوقود المستهلَك، صفحة ٢٠

طالعوا أيضاً:
أخبار الوكالة

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرِّية

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

العنوان:
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
الهاتف: ٠-٢٦٠٠ (١-٤٣)
البريد الإلكتروني: iaeabulletin@iaea.org

المحرِّر: ميكلوس غاسبر
التصميم والإنتاج: ريتو كين

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

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

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

صورة الغلاف:
المنظر من داخل أولكيلوتو ١
(الصورة من: هانو هيوفيلا/شركة Teollisuuden Voima Oyj)

تابعونا على

IAEA

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

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

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

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

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

ولعمل الوكالة جوانب متعدِّدة، وتشارك فيه طائفة واسعة ومتنوِّعة من الشركاء على الصعيد الوطني والإقليمي والدولي. وتُحدَّد برامجُ الوكالة وميزانياتها من خلال مقرَّرات جهازَيْ تقرير سياسات الوكالة — أيْ مجلس المحافظين المؤلَّف من ٣٥ عضواً والمؤتمر العام الذي يضمُّ جميع الدول الأعضاء.

ويوجد المقرُّ الرئيسي للوكالة في مركز فيينا الدولي. كما توجد مكاتب ميدانية ومكاتب اتصال في جنيف ونيويورك وطوكيو وتورونتو. وتدير الوكالةُ مختبراتٍ علميةً في كلٍّ من موناكو وزايبرسدورف وفيينا. وعلاوةً على ذلك، تدعم الوكالةُ مركز عبد السلام الدولي للفيزياء النظرية في تريبستي بإيطاليا وتوفِّر له التمويلَ اللازم.

أهمية التصرُّف في الوقود المستهلَك على نحو مأمون وآمن ومستدام

بقلم يوكيا أمانو، المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرِّية

بإمكان القوى النووية المساعدة في مجابهة التحدِّي المزدوج المتمثِّل في ضمان إمدادات موثوقة من الطاقة والحدِّ من انبعاثات غازات الدفيئة. وتوفِّر مفاعلات القوى النووية البالغ عددها ٤٥١ مفاعلاً العاملة في ٣٠ بلداً حاليًّا أكثر من ١٠٪ من إجمالي كهرباء العالم وثلث القوى المنخفضة الكربون. وستواصل القوى النووية الاضطلاع بدور رئيس في مزيج الطاقة المنخفضة الكربون في العالم لعقود قادمة.

وإنَّ التصرُّف في الوقود المستهلَك الوارد من مفاعلات القوى النووية على نحو مأمون وآمن ومستدام لأمر أساسي لمستقبل الطاقة النووية.

ويواجه واضعو السياسات والمهندسون هذا التحدِّي بنفس الدرجة. وهناك حلول تقنية للتصرُّف في الوقود المستهلَك تتراوح من إعادة المعالجة وإعادة التدوير حتى تكييفه للتخلص منه في مستودعات جوفية عميقة. وعلاوة على ذلك، أثبت البحث جدوى العمليات المتقدِّمة، مثل التجزئة والتحويل، التي لها القدرة على تقليل تأثير النفايات النووية بشكل أكبر. وقد يستغرق الأمر عقوداً لتنفيذ أيِّ استراتيجية مختارة وغالباً ما يكون تخصيص الموارد اللازمة لتنفيذ الاستراتيجية أمراً صعباً.

وينطوي التصرُّف في الوقود المستهلَك على التزام طويل الأجل، ويجب أن تكون الاستراتيجيات الوطنية مرنة بما يكفي ليتسنَّى دمج تكنولوجيات جديدة من شأنها تعزيز وتحسين كفاءة القوى النووية وأمانها وأمنها واستدامتها.

وفي هذا الإصدار من مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية ندرس حلولاً من جميع أنحاء العالم. ونوضح استراتيجية روسيا المتكاملة للتعامل، في مكان واحد، مع الخزن الرطب والجاف وإعادة المعالجة وصنع الوقود حتى التخلُّص في نهاية المطاف من النفايات القوية الإشعاع (ص. ٦). ويخبرنا الخبراء الفرنسيون بما يجعل تصرُّفهم في الوقود المستهلَك يتَّسم بالكفاءة (ص. ٨)، بينما ينصبُّ تركيز مقالنا بشأن التصرُّف في الوقود المستهلَك في المملكة المتحدة على النقل المأمون والآمن (ص. ١٢).

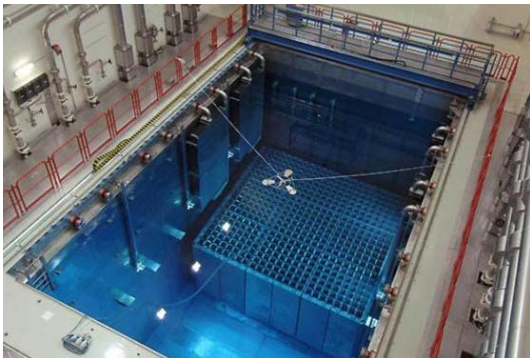
ونقدِّم لمحةً عن البحث المشترك الذي تجريه السويد وفنلندا في مجال تطوير المستودعات الجوفية (ص. ١٤). ونحن ندرس كيف يمكن أن تؤدِّي الاعتبارات الخاصة بالضمانات دوراً في تصميم مرافق التصرُّف في الوقود المستهلَك (الصفحة ٢٠)، ممَّا يجعل الحياة أسهل لكلٍّ من المشغِّلين ومفتِّشي ضمانات الوكالة. وننظر إلى المستقبل من خلال مناقشة النهج الذي يمكن أن تتَّبعه البلدان الجديدة في مجال القوى النووية إزاء التصرُّف في الوقود المستهلَك (ص. ١٠) ونستكشف كيف يمكن لإدخال المفاعلات الصغيرة والنمطية المخطَّط لها في بعض البلدان أن يؤثِّر على التصرُّف في الوقود المستهلَك (ص. ١١).

ومؤتمر الوكالة الدولي هذا العام المعني بالتصرُّف في الوقود المستهلَك الناتج عن مفاعلات القوى النووية: التعلُّم من الماضي، وتمكين المستقبل، هو متابعة لمؤتمرنا السابق حول هذا الموضوع في عام ٢٠١٥. وفي ذلك الوقت، أكَّد المندوبون على الحاجة إلى نهج أكثر تكاملاً لدورة الوقود، مع مزيد من التنسيق بين الجهات الفاعلة الرئيسية وأصحاب القرار. وسيركِّز المشاركون هذا العام، من بين موضوعات أخرى، على كيفية تأثُّر التصرُّف في الوقود المستهلَك بالقرارات المتَّخذة في المرحلة الاستهلالية من دورة الوقود النووي وعلى تبادل أفضل الممارسات والدروس المستفادة في هذا المجال.

وستواصل الوكالة الدولية للطاقة الذرية مساعدة الدول الأعضاء في المجال المهم الخاص بالتصرُّف في الوقود المستهلَك من خلال توفير الخبرة التقنية ومنصَّة للتبادل الدولي. وأتمنَّى للمندوبين مؤتمراً ناجحاً للغاية.

”إن التصرُّف في الوقود المستهلَك الوارد من مفاعلات القوى النووية على نحو مأمون وآمن ومستدام لأمر أساسي لمستقبل الطاقة النووية.“

— يوكيا أمانو،
المدير العام للوكالة الدولية
للطاقة الذرِّية



(الصورة من: محطة القوى النووية Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG)

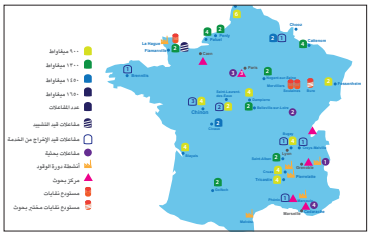
(الصورة من: حلول الطاقة)

(الصورة من: روزاتوم)

١ أهمية التصرُّف في الوقود المستهلَك على نحو مأمون وآمن ومستدام

٤ دورة حياة الوقود النووي

٦ تحت سقف واحد: استراتيجية روسيا المتكاملة للتصرُّف في الوقود المستهلَك



٨ كفاءة فرنسا في مجال دورة الوقود النووي: ما الذي يمكننا أن نتعلَّمه؟

١٠ الوافدون الجدد على المجال النووي يتناولون مسألة التصرُّف في الوقود النووي المستهلَك والنفايات المشعَّة

١١ المفاعلات النمطية الصغيرة: هل تشكِّل تحدِّياً في مجال التصرُّف في الوقود المستهلَك؟

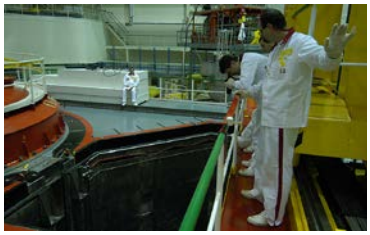
١٢ تعزيز الأمان والأمن في نقل الوقود المستهلَك في المملكة المتحدة

١٤ إنشاء المرفق الأول من نوعه للتخلُّص الآمن من الوقود المستهلَك

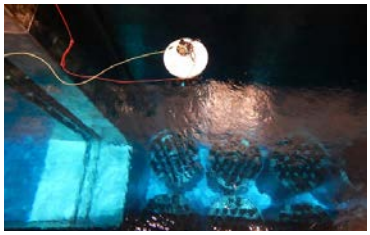
١٦ التكيُّف مع النمو: استراتيجية الصين للتصرُّف في الوقود المستهلَك

١٧ دورة تعلُّم إلكتروني جديدة بشأن التصرُّف في الوقود المستهلَك الناتج عن مفاعلات القوى النووية

١٨ التصرُّف في الوقود المستهلَك: أربعة عقود من البحوث



٢٠ مراعاة الضمانات في تصميم مرافق خزن الوقود المستهلَك



٢٢ تصميم فائز في مسابقة «تحدِّي الروبوطيات» يساعد على تسريع عملية التحقّق من الوقود المستهلَك

٢٤ سؤال وجواب: تبسيط نقل وتخزين الوقود المستهلَك من مفاعلات القوى النووية

رؤية عالمية

٢٦ التعلُّم من الماضي
— بقلم سوزان بيكرينج

تحديثات الوكالة

٢٨ من المختبر إلى الحقل: علماء إندونيسيون يطوِّرون محاصيل جديدة للمزارعين باستخدام العلوم النووية

٢٩ الأخصائيون المهنيون في المجال النووي يشاركون في كيفية الترويج لثقافات أمان أمتن: دورة الوكالة التعليمية حول القيادة فيما يتعلق بالأمان

٣٠ فييت نام تعزِّز جودة الأغذية باستخدام التشعيع

٣١ الوكالة تطوِّر أسلوباً جديداً لتتبُّع مصادر تلوُّث المياه

٣٢ المنشورات

دورة حياة ال

في الوقت الحاضر، يعتمد الوقود المستخدم في معظم مفاعلات القوى النووية على أكسيد اليورانيوم الخزفي. ويختلف تصميم الوقود ومحتواه الانشطاري فيما بين أنواع المفاعلات المختلفة. ويستخدم الوقودُ في مفاعلات الماء الخفيف، مثل مفاعلات الماء المضغوط ومفاعلات الماء المغلي، وفي المفاعلات الحديثة المبرَّدة بالغاز، اليورانيوم المثرى لزيادة محتواه من اليورانيوم الانشطاري-٢٣٥ ليصل إلى ٥ في المائة، في حين أن المفاعلات من طراز CANDU ومفاعلات الماء الثقيل المضغوطة تستخدم بشكل رئيسي اليورانيوم المثرى قليلاً أو الطبيعي، مع محتوى من اليورانيوم-٢٣٥ ليصل إلى ٠,٧ في المائة.

ويحتوي قلب مفاعل الماء المضغوط بقوة ١٠٠٠ ميغاواط كهربائي عادةً على ما بين ١٢٠ و٢٠٠ مجمعة وقود. وتحتوي كل مجمعة وقود على حوالي ٥٠٠ كيلوغرام من أكسيد اليورانيوم ويمكنها توليد حوالي ٢٠٠ مليون كيلوواط-ساعة من الكهرباء على مدار عمرها في القلب. ويقوم مفاعل بهذا الحجم بتصريف حوالي ٤٠ مجمعة من الوقود المستهلَك سنويًّا تحتوي على حوالي ٢٠ طنًّا من أكسيد اليورانيوم.

ويعتبر الوقود النووي مستهلَكاً عندما لا يعد بإمكانه تحمل تفاعل الانشطار. وفي مفاعل الماء المضغوط، يستغرق هذا من حوالي ثلاث إلى سبع سنوات، وهذا يتوقف على الوقود وموقعه في قلب المفاعل. وعندما يتم إزالة الوقود المستهلَك من القلب، يشبه الوقود المستهلَك مجمعة الوقود الطازجة، ولكنه يكون شديد الإشعاع وساخناً ويجب تبريده وتدريعه. ويتم نقله إلى حوض خزن لأن الماء مادة جيدة للتبريد والتدريع. وبعد فترة من التبريد، يمكن نقله إلى مرفق خزن جاف، إذا لزم الأمر.

وحاليًّا، بعد فترة كافية من الخزن، يمكن أن يكون الوقود المستهلَك:

- نفايات يتم تكييفها والتخلص منها في مستودع جيولوجي عميق. وهذا ما يسمى بدورة الوقود المفتوحة؛ أو
- أو معاد المعالجة لاستعادة المواد الانشطارية المتبقية التي يمكن إعادة تدويرها كوقود جديد في المفاعلات النووية، مما يولد نفايات قوية الإشعاع سيتم التخلص منها في مستودع جيولوجي عميق. ويشار إلى ذلك بدورة الوقود المغلقة.

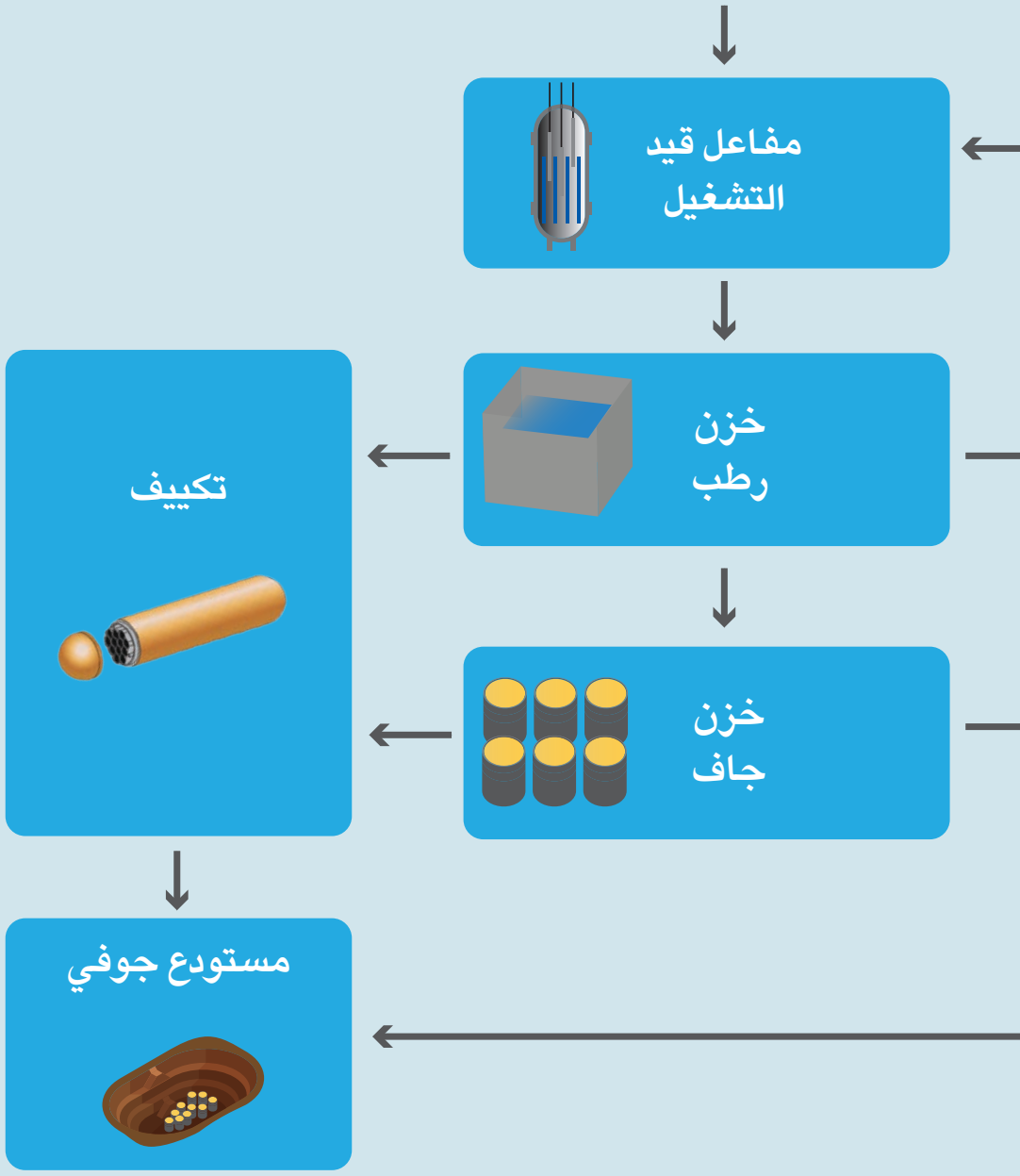
وقود النووي

خطوات مرحلة استهلالية

التنقيب عن اليورانيوم وتعدينه

إثراء اليورانيوم

صنع الوقود



تحت سقف واحد: استراتيجية روسيا المتكاملة للتصرُّف في الوقود المستهلَك

بقلم نيكول جاويرث

”سيؤدي المجمع المتكامل إلى تحسين كفاءة الصناعة النووية الروسية وقدرتها التنافسية وجعل الطاقة النووية أكثر أماناً وملاءمة للبيئة.“

— بيتر غافريلوف، المدير العام للمجمع التعديني والكيميائي، روسيا

إحدى الطرق التي يمكن بها وصف المجمع التعديني والكيميائي الروسي الكائن بالقرب من كراسنويارسك في سيبيريا أنه مكان شامل للتصرف في الوقود المستهلَك. وتم تصميم المجمع للتعامل مع الوقود المستهلَك في مراحله المختلفة في موقع واحد فقط. وفي العديد من البلدان، يتم تنفيذ هذه الأنشطة — التي تتضمن وقوداً لم يعد مفيداً ولكنه لا يزال مشعًّا للغاية — في مرافق منفصلة تفصل بينها في بعض الحالات مئات الكيلومترات. ومن خلال اتباع نهج متكامل، تهدف الاستراتيجية الوطنية الروسية للتصرف في الوقود المستهلَك إلى تحسين الكفاءة وخفض التكاليف وتحسين الأمان والأمن.

وقالت أنزيليكا كابيرسكايا، مديرة عليا في مكتب مشروع التصرف في الوقود النووي المستهلَك التابع للشركة الروسية الحكومية للطاقة الذرية (روزاتوم)، وإحدى مصممي النهج المتكامل: «تواصل صناعة القوى النووية في روسيا تطوير وزيادة مساهمتها في مزيج الطاقة العام في البلاد. ولذلك، نحن بحاجة إلى التأكد من أن التصرف في الوقود النووي المستهلَك موثوق ومستدام ومأمون وآمن». وأضافت: «سيساعدنا المجمع المتكامل في تقليل الحاجة إلى نقل المواد أو النفايات النووية وسيسمح لنا بتركيز إجراءات الأمان والأمن في مكان واحد، وهذا الأمر أفضل أيضاً من الناحية الاقتصادية.»

وعلى بعد حوالي ٤٠٠٠ كيلومتر شرق موسكو، في وسط سيبيريا، بدأت عملية إعادة استخدام المجمع التعديني والكيميائي في أغراض جديدة في ظل هذا النهج المتكامل في عام ٢٠١٧. ووفَّر الموظفون والمرافق الموجودة في الموقع البنية الأساسية اللازمة لبدء عملية التكامل.

وفي السابق، خزَّنت روسيا في المقام الأول الوقود المستهلَك وعالجته جزئيًّا في محطة RT-1 الكائنة في مجمَّع مایاك الإنتاجي بالقرب من إيكاترينبرج، على بعد حوالي ١٦٠٠ كم شرق موسكو، في غرب سيبيريا.

وبخلاف محطة RT-1، التي تتولى بشكل أساسي إعادة المعالجة ولديها مرفق تصنيع تجريبي صغير، لدى المجمع التعديني والكيميائي بالفعل مرفق لخزن الوقود المستهلَك الرطب والجاف، بالإضافة إلى مرافق لإعادة معالجة وتصنيع أنواع جديدة من الوقود لمفاعلات الماء الخفيف والمفاعلات السريعة، وسيكون لديه في نهاية المطاف مختبر أبحاث تحت الأرض للتخلص من النفايات القوية الإشعاع. ومن المتوقع أن يتم التكامل التام للمجمع وتشغيله بحلول عام ٢٠٣٥.

تبسيط العملية

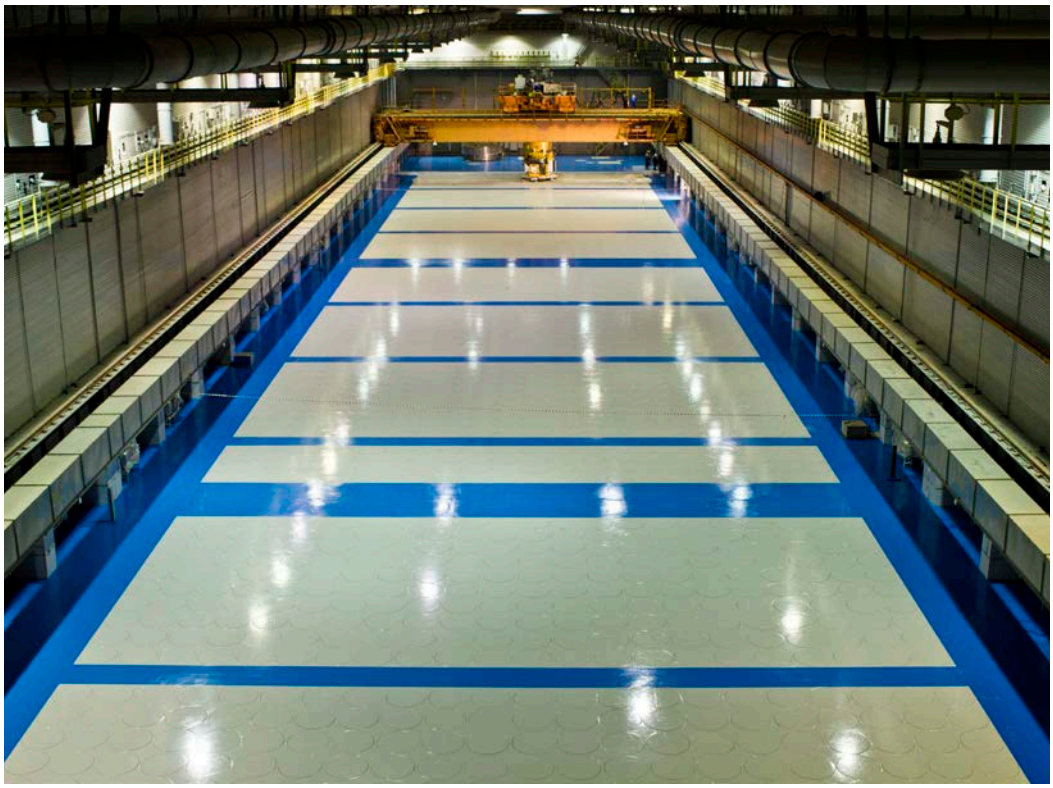
يتعين اتخاذ تدابير الأمان والأمن في كل خطوة من خطوات عملية التصرف لحماية الأشخاص والبيئة وتقليل مخاطر الهجمات أو السرقات أو إساءة استخدام المواد النووية.

فعلى سبيل المثال، يتم نقل الوقود المستهلَك عادة عدة مرات، بدءاً من المكان الذي تم استخدامه فيه، كما هو الحال في محطة قوى نووية، ومن ثم فيما بين المرافق الموجودة في مواقع مختلفة للخزن أو إعادة المعالجة أو التصنيع أو التخلص منه. وتتطلب حركة المواد النووية اتخاذ تدابير إضافية للأمان والأمن.

وقال بيتر جافريلوف، المدير العام للمجمع التعديني والكيميائي، الذي يعد جزءاً من روزاتوم: «في الاستراتيجية المتكاملة بأسرها، اتخذنا خطوات للقضاء على المخاطر المُحيقة بالأمان والأمن من أجل حماية الناس والبيئة. وتتمثل إحدى هذه الخطوات في إدخال العديد من عمليات التصرف في الوقود، وهي الخزن الرطب والجاف وإعادة المعالجة وتصنيع الوقود الجديد في موقع واحد بالمجمع التعديني والكيميائي للحد من نقل المواد النووية».

وكان إيجاد طرق فعالة لتقليل عدد العمليات خطوة أساسية في وضع النهج الجديد. وعمل خبراء من المجمع التعديني والكيميائي، ومؤسسات رائدة في الصناعة، وأكاديمية العلوم الروسية معاً لاختيار واختبار، وفي بعض الحالات تطوير تكنولوجيات ومعدات وأساليب جديدة تلتزم بمعايير الأمان وإرشادات الأمن الصادرة عن الوكالة التي يمكنها حل التحديات العلمية والتقنية المعقدة .

وعلى سبيل المثال، سيتولى المجمع التعديني والكيميائي معالجة نوع جديد من وقود اليورانيوم-البلوتونيوم يسمى «ريميكس». وتم تطوير هذا الوقود كجزء من النهج المتكامل لتقليل أوقات خزن الوقود المستهلَك وتقليل كمية النفايات المشعَّة التي سيجري التخلص منها. وعلى عكس الأنواع الأخرى من الوقود النووي



نظرة داخل محطة مُشغِّل في المجمَّع التعديني والكيميائي. موظفون يشرفون على مجمَّعات الوقود النووي المستهلَك التي يتم إعادة تحميلها تلقائيًّا من مرفق الخزن الرطب إلى مرفق الخزن الجاف.

(الصورة من: المجمع التعديني والكيميائي – القسم الإعلامي)

لمفاعلات الماء الخفيف، يمكن إعادة تدوير الوقود «ريميكس» في محطات القوى النووية الحالية حتى سبع مرات، مما يعني أنه يمكن أن يوفر ما يكفي من الوقود النووي لتغطية العمر الكامل لمفاعل الماء الخفيف في محطة قوى.

وقالت كابيرسكايا: «لا نزال نطور تكنولوجيات جديدة ومبتكرة لإعادة المعالجة وإعادة التدوير والتجزئة، وكذلك البنية الأساسية المتعلقة بدورة الوقود النووي. ونحاول بشكل أساسي تقليص تأثير التصرف في الوقود المستهلَك ودعم التنمية المستدامة في المستقبل عن طريق إعادة تدوير اليورانيوم والبلوتونيوم عدة مرات للمفاعلات الحرارية والسريعة وتقليل السمية الإشعاعية للنفايات المشعَّة».

الاستراتيجيات الوطنية

في عام ٢٠١٨، شكَّلت القوى النووية ١٨,٤٪ من إنتاج الطاقة في روسيا. وفي كل عام، تنتج البلاد حوالي ٧٠٠ طن من الوقود النووي المستهلَك من محطات القوى النووية ومفاعلات البحوث والغواصات. وفي ظل خطط البلاد لتوسيع صناعتها النووية، بما في ذلك تنفيذ المفاعلات السريعة على نطاق واسع، من المتوقع أن يساعد النظام المتكامل للمجمع التعديني والكيميائي في تقليل تأثير هذه الزيادة.

وقال جافريلوف: «إن التعامل المأمون مع الوقود النووي المستهلَك هو اتجاه استراتيجي لتطوير القوى النووية في روسيا. ومن الضروري توفير خزن مأمون وفعال من حيث التكلفة للوقود النووي المستهلَك الدائم أو المولَّد حديثاً لتلبية احتياجات القوى النووية». وأضاف: «سيؤدي المجمع المتكامل إلى تحسين كفاءة الصناعة النووية الروسية وقدرتها التنافسية وجعل الطاقة النووية أكثر أماناً وملاءمة للبيئة».

ونهج روسيا المتكامل مجرد مثال واحد على كيفية تصرف بلد في الوقود النووي المستهلَك لديه. وجميع البلدان التي لديها برامج للقوى النووية لديها سياسات واستراتيجيات وطنية بشأن التصرف في الوقود المستهلَك.

وتم تصميم استراتيجية وطنية وفقاً لحجم واحتياجات البرنامج النووي للبلد، بما يضمن توافقها مع الخطة الشاملة للطاقة في البلاد. وفي حين أن كل استراتيجية تختلف عن الأخرى، فإن معظمها يتناول الجوانب التقنية والسياسية والاجتماعية والاقتصادية والجوانب المتعلقة بالأمان والأمن للخطوات المختلفة للتصرف في الوقود المستهلَك، بما يضمن التقيد بمعايير الأمان وإرشادات الأمن الصادرة عن الوكالة.

وعلى الرغم من أن البلدان مسؤولة عن التصرف المأمون والآمن في وقودها النووي المستهلَك، فإن الوكالة تقدم إرشادات تقنية وتساعد البلدان في تبادل المعلومات لوضع استراتيجيات مستنيرة. كما أنها توفر الخبرة والدعم التدريبي لتنفيذ هذه الاستراتيجيات. ونظراً لأن الوقود النووي المستهلَك هو شكل من أشكال المواد النووية، فإن ضمانات الوكالة تؤدي أيضاً دوراً رئيسيًّا في ضمان عدم إساءة استخدام الوقود المستهلَك أو تحريفه عن الاستخدامات السلمية.

كفاءة فرنسا في مجال دورة الوقود النووي: ما الذي يمكننا أن نتعلَّمه؟

بقلم شانت كريكوريان

”إن إعادة تدوير الوقود المستهلَك عنصر رئيسي في استراتيجية القطاع النووي الفرنسي، الذي يتمتع بأكثر من ٣٠ عاماً من الخبرة في هذه الصناعة.“

— دينيس ليبي، نائب الرئيس الأول ورئيس شعبة الوقود النووي في هيئة كهرباء فرنسا

فرنسا واحدة من البلدان التي لديها أعلى حصة من القوى النووية في إنتاج الطاقة حيث لديها ٥٨ مفاعلاً للقوى النووية تنتج ما يقرب من ٧٢٪ من الكهرباء في فرنسا في عام ٢٠١٨. وإلى جانب مسؤولية أسطول فرنسا النووي عن إنتاج هذه الطاقة، فهو مسؤول أيضاً عن إنتاج كمية كبيرة من الوقود المستهلَك والنفايات المشعَّة.

وقال خبراء فرنسيون إن قوة السياسة الوطنية بشأن الوقود المستهلَك في فرنسا، بالإضافة إلى التشريعات الصارمة ووجود هيئة رقابية قوية، يمكن أن تعزى إلى توحيد أسطولها النووي وسياسة إعادة تدوير الوقود المستهلَك. وهذا يؤدي إلى توفير إمدادات فعالة وآمنة وخفض عبء النفايات المشعَّة.

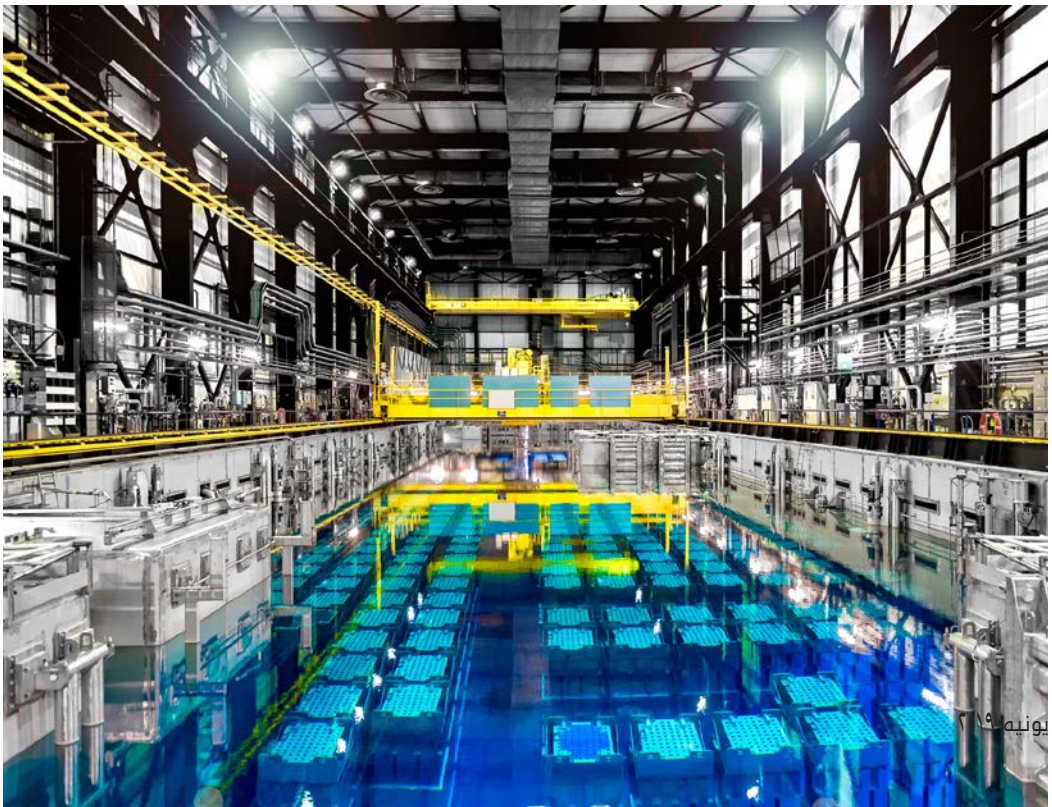
وفي فرنسا، جميع وحدات التشغيل عبارة عن مفاعلات ماء مضغوط بثلاثة أنواع قياسية فقط، كلها من تصميم شركة فراماتوم: ثلاث حلقات ٩٠٠ ميغاواط كهربائي (٣٤ مفاعلاً)، وأربع حلقات ١٣٠٠ ميغاواط كهربائي (٢٠ مفاعلاً)، وأربع حلقات ١٤٥٠ ميغاواط كهربائي (٤ مفاعلات). وبالتالي، تتمتع مفاعلات القوى النووية الفرنسية بأعلى درجة من التوحيد بين البلدان التي لديها أساطيل نووية كبيرة. وهذا يُترْجَم أيضاً إلى نهج موحد عند التعامل مع المرحلة الختامية لدورة الوقود النووي، والذي يتضمن التصرف في الوقود المستهلَك والنفايات، والإخراج من الخدمة، والاستصلاح البيئي.

ولكي تتمكن فرنسا من التصرف فيما يقرب من ١١٥٠ طنًّا من الوقود المستهلَك الذي تنتجه كل عام، قررت، كالعديد من البلدان الأخرى، في وقت مبكر، إغلاق دورة الوقود النووي الوطنية لديها عن طريق إعادة تدوير الوقود المستهلَك أو إعادة معالجته. وبالقيام بذلك، يمكن للصناعة النووية الفرنسية استرداد اليورانيوم والبلوتونيوم من الوقود المستخدم لإعادة استخدامهما، وبالتالي التقليل أيضاً من حجم النفايات القوية الإشعاع.

وتتضمن عملية إعادة تدوير الوقود النووي تحويل البلوتونيوم المستهلَك، الذي يتشكل في مفاعلات القوى النووية كمنتج ثانوي لحرق وقود اليورانيوم، وتحويل اليورانيوم إلى «خليط الأكسيدين» (موكس) الذي يمكن إعادة استخدامه في محطات القوى النووية لإنتاج مزيد من الكهرباء.

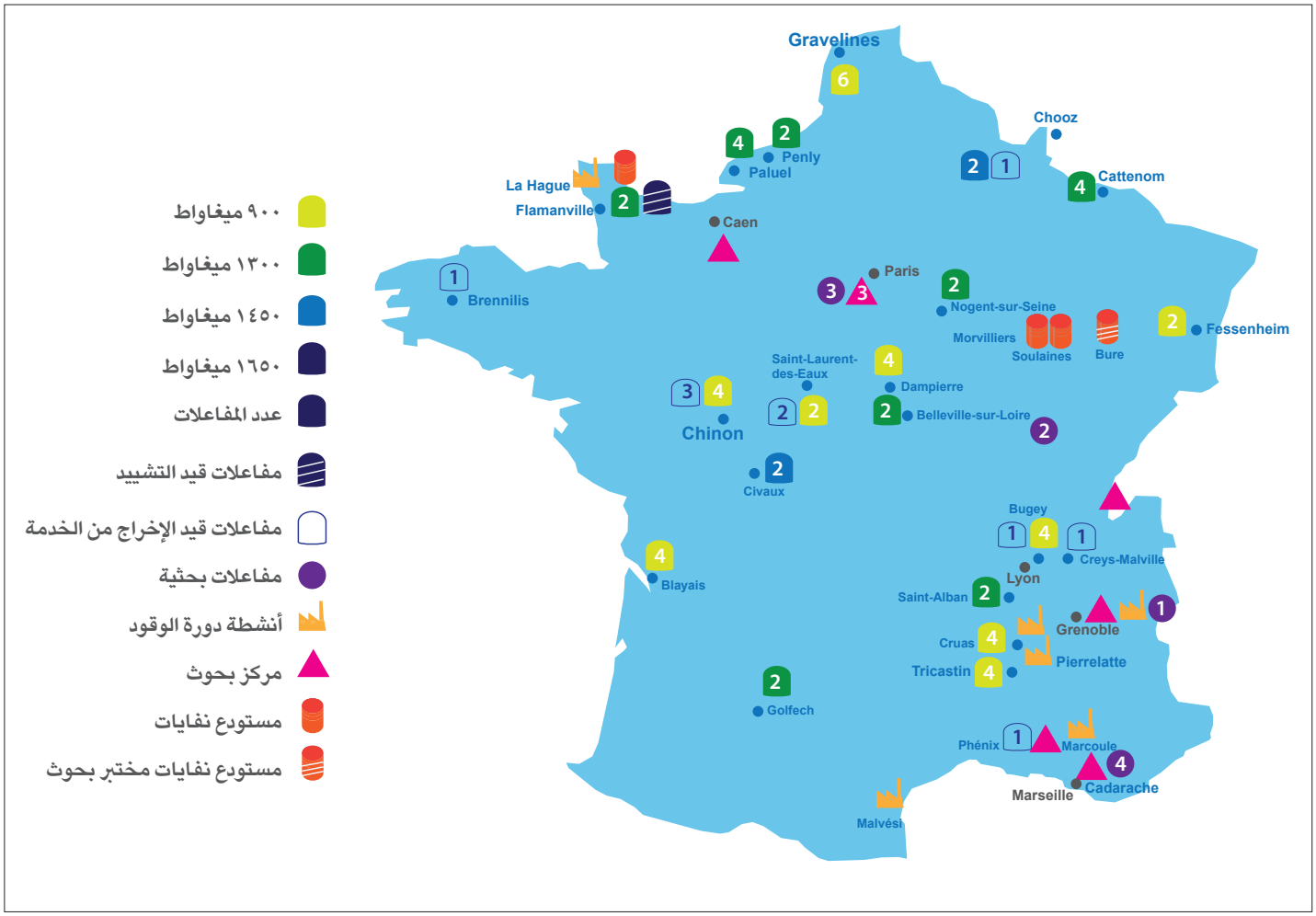
وقال دينيس ليبي، نائب الرئيس الأول ورئيس شعبة الوقود النووي في هيئة كهرباء فرنسا، وهي شركة المرافق الكهربائية الفرنسية المسؤولة عن تشغيل محطات القوى النووية في البلاد: «إن إعادة تدوير الوقود المستهلَك عنصر رئيسي في استراتيجية القطاع النووي الفرنسي، الذي يتمتع بأكثر من ٣٠ عاماً من الخبرة في هذه الصناعة».

وأضاف: «وهذا يجعل من الممكن الحد من حجم المواد وتقليل النفايات، مع تكييفها بطريقة مأمونة. وهذه الاستراتيجية، التي تعد أحد الركائز المهمة للإنتاج



مرفق أورانو لإعادة المعالجة في لاهاغ. تمَّت هنا معالجة أكثر من ٣٤ ٠٠٠ طن متري من الوقود المستهلَك منذ تشغيل الموقع في عام ١٩٧٦.

(الصورة من: شركة أورانو)



النووي الكلي للكهرباء في فرنسا، تساهم مساهمة كبيرة في استقلال البلاد في مجال الطاقة».

ومن خلال إعادة التدوير، يمكن استرداد ما يصل إلى ٩٦٪ من المواد القابلة لإعادة الاستخدام من الوقود المستهلَك. وتبين فرنسا، في تقريرها الوطني السادس بموجب الاتفاقية المشتركة بشأن أمان التصرف في الوقود المستهلَك وأمان التصرف في النفايات المشعَّة، أن السياسة الوطنية لإعادة تدوير الوقود المستهلَك تفيد بأنها تحتاج من أجل تشغيل محطاتها إلى اليورانيوم الطبيعي بمقدار يقل بنسبة ١٧٪ مما كانت عليه دون إعادة التدوير.

وأعلنت شركة أورانو، الشركة الفرنسية المسؤولة عن أنشطة دورة الوقود النووي التي توفر الوقود وتتولى التصرف في النفايات الناتجة عن محطات القوى النووية في البلاد، أن استراتيجيتها هي إعادة معالجة الوقود المستهلَك مع تحسين إنتاج الطاقة من الوقود النووي. وتتم إعادة المعالجة في محطة لاهاغ لإعادة المعالجة وفي محطة تصنيع وقود موكس الموجودة في ماركول.

وعالجت محطة لاهاغ بأمان، منذ بدء العمليات في منتصف الستينات، أكثر من ٢٣ ٠٠٠ طن من الوقود المستهلَك — وهو ما يكفي لتشغيل الأسطول النووي الفرنسي لمدة ١٤ عاماً. ويتم نقل مجمَّعات الوقود المستخدم من مختلف محطات القوى النووية إلى محطة لاهاغ، حيث يتم الاحتفاظ بها في حوض للخزن. ثم يتم فصل المكونات من الوقود المستهلَك واستعادة المواد القابلة لإعادة التدوير. وفي مرفق ميلوكس، يتم إعادة خلط البلوتونيوم مع اليورانيوم المستنفد لإنتاج وقود موكس.

وقال جون شيرفين، نائب الرئيس الأول لدعم التسويق والمبيعات في أورانو، إن استراتيجية إعادة المعالجة وإعادة التدوير هذه تتطلب تنسيقاً وثيقاً ومنتظماً بين مختلف الجهات الصناعية الفاعلة. وتشمل هذه الجهات الفاعلة من يضطلعون بإدارة البنى الأساسية للمفاعلات والوقود والتخلص على نحو يضمن تماسك النظام الصناعي المتكامل.

وأضاف جون: «هذا يؤكد فوائد هذه الاستراتيجية: أولاً، الحفاظ على نفايات نووية محدودة؛ وثانياً، توفير موارد اليورانيوم من خلال تعزيز إعادة استخدام المواد؛ وأخيراً، الاستعداد للمستقبل من أجل تعزيز استقلال فرنسا في مجال الطاقة وضمان استدامة الطاقة النووية».

وتقوم الهيئة الفرنسية للأمان بانتظام بتقييم تأثير هذا النهج على الأمان.

خريطة بالمرافق النووية الفرنسية

(المصدر: هيئة كهرباء فرنسا، المفوضية الفرنسية للطاقة الذرية والطاقات البديلة)

الوافدون الجدد على المجال النووي يتناولون مسألة التصرُّف في الوقود النووي المستهلَك والنفايات المشعَّة

بقلم شانت كريكوريان

دفع الطلب المتزايد على الكهرباء الواسعة النطاق والمنخفضة الكربون العديد من الدول إلى التفكير في القوى النووية لتلبية احتياجاتها المتزايدة من الطاقة. وفي ظل وجود تسعة مفاعلات نووية قيد الإنشاء في أربعة بلدان تقوم بإدخال القوى النووية لأول مرة، فإن إظهار الالتزام بالصكوك القانونية الدولية ومعايير الأمان والمبادئ التوجيهية فيما يخص الأمن والطاقة النووية ومتطلبات الضمانات يمثل جانباً مهمًّا في الإعداد لبرنامج للطاقة النووية. ويشمل هذا مسألتي التصرف في الوقود المستهلَك والنفايات المشعَّة والتخلص منهما.

وقال ميخائيل تشوداكوف، نائب مدير عام الوكالة ورئيس إدارة الطاقة النووية إنه بالنسبة للبلدان المستجدة مثل بنغلاديش وبيلاروس وتركيا والإمارات العربية المتحدة، ينبغي معالجة مسألة التصرف في الوقود المستهلَك والنفايات المشعَّة منذ بداية أي برنامج للقوى النووية ويجب عدم إغفالها، لأنها تؤثر على كل من الاقتصاد وقبول الجمهور للقوى النووية.

وتدعم الوكالة دولها الأعضاء في وضع سياسات بشأن الوقود النووي المستهلَك. ويتم دمج هذه المساعدة في الدعم الشامل الذي تقدمه الوكالة للبلدان المستجدة في شكل مبادئ توجيهية، وبعثات الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية، وحلقات العمل الإقليمية والوطنية والدولية بشأن القضايا المتعلقة بتطوير البنى الأساسية.

ولطالما دعا السيد يوكيا أمانو، المدير العام للوكالة، البلدان المستجدة إلى الانضمام إلى الاتفاقية المشتركة بشأن أمان التصرف في الوقود المستهلَك وأمان التصرف في النفايات المشعَّة والتصديق عليها. وقال إن مبادئ الاتفاقية يجب أن تكون جزءاً من البنية الأساسية النووية الوطنية خلال تطوير أي برنامج نووي.

وبعثات الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية أدوات مهمة لتقييم حالة البنية الأساسية النووية الوطنية وتقديم توصيات وإرشادات لتطوير برامج القوى النووية بشكل مأمون وآمن ومسؤول.

وأكَّد ميلكو كوفاشيف، رئيس قسم إرساء البنية الأساسية النووية التابع للوكالة، قائلاً: «من الممكن أن تُسْتغرَق العديد من العقود بداية من تشييد محطة قوى نووية حتى التخلص النهائي من جميع النفايات التي تنتجها. وهذا هو السبب في أنه من المهم وجود استراتيجية وخطط تقنية موثوق بها، وكذلك طرق تمويلها، منذ البداية لتنفيذ جميع الإجراءات المستقبلية بطريقة تضمن الأمان والأمن والموارد والكفاءات اللازمة في جميع الأوقات».

وتتمثل الرسالة الرئيسية المتعلقة بالنفايات التي تُسدى إلى الوافدين الجدد فيما يلي: يجب التصرف في النفايات المشعَّة بطريقة تتلافى فرض عبء لا مبرر له على الأجيال المقبلة.

وفيما يتعلق بالتصرف في الوقود المستهلَك، تنصح الوكالة الوافدين الجدد بما يلي:

- التأكد من أن البنية الأساسية للتصرف في الوقود المستهلَك والنفايات المشعَّة تم تطويرها بشكل كامل عند تنفيذ برامج القوى النووية. ومن الأفضل بناء هذه البنية الأساسية من خلال صياغة سياسة وطنية والاستراتيجيات ذات الصلة بشأن الوقود المستهلَك والنفايات المشعَّة.
- مراعاة أن وضع وتنفيذ سياسة وطنية يتطلب منهجاً متدرجاً منظماً يدوم لعدة عقود.
- إنشاء البنية الأساسية للتصرف في النفايات في المراحل الأولى من التخطيط لبرامج القوى النووية.

المفاعلات النمطية الصغيرة: هل تشكِّل تحدِّياً في مجال التصرُّف في الوقود المستهلَك؟

بقلم إيرينا تشاتزيس

منذ سنوات عديدة، يكثر الحديث في أوساط الصناعة النووية عن المفاعلات النمطية الصغيرة — ولكن إلى أي حد سينطوي تشغيل تلك المفاعلات، المتوقع أن يبدأ للمرة الأولى في العام المقبل، على تحديات في مجال التصرُّف في الوقود المستهلَك؟ يقول الخبراء إنَّ ذلك يتوقف على التصميم المحدَّد لكلِّ مفاعل وعلى الممارسات القائمة المعمول بها لدى البلد المعني في مجال التصرُّف في الوقود المستهلَك.

وتتَّسم المفاعلات النمطية الصغيرة بصغر حجمها نسبيًّا ومرونتها: وتصل قدرتها على توليد القوى إلى ٣٠٠ ميغاواط (كهربائي) ويمكن أن يتفاوت إنتاجها بحسب مقدار الطلب. ولذلك فهي تحظى بجاذبية خاصة للمناطق النائية ذات الشبكات الكهربائية الأقل تطوُّراً، وكذلك للاستخدام كعناصر مكمِّلة لمصادر الطاقة المتجدِّدة ولأغراض التطبيقات غير الكهربائية للقوى النووية. ويمكن أن تُصنع المفاعلات النمطية الصغيرة ثم تُشحن وتُركَّب في الموقع، ومن ثم فمن المتوقع أن ينطوي إنشاؤها على تكلفة أقل.

وعلى الصعيد العالمي، يبلغ عدد التصاميم والمفاهيم الخاصة بالمفاعلات النمطية الصغيرة قرابة ٥٠ تصميماً ومفهوماً في مراحل مختلفة من عملية الإعداد. ووصلت ثلاث محطات قائمة على المفاعلات النمطية الصغيرة إلى مراحل متقدِّمة من التشييد أو الإدخال في الخدمة في الأرجنتين وروسيا والصين، ومن المقرر أن يبدأ تشغيلها جميعاً بين عامي ٢٠١٩ و٢٠٢٠.

وفي البلدان التي لديها برامج راسخة في مجال القوى النووية، يُضطلع بأنشطة التصرُّف في الوقود المستهلَك منذ عقود. وقد اكتسبت هذه البلدان خبرات مستفيضة ولديها بنية أساسية ملائمة قائمة بالفعل. ويقول كريستوف كزيري، مدير شعبة دورة الوقود النووي وتكنولوجيا النفايات بالوكالة، إنَّه فيما يخصُّ هذه البلدان، يُفترض ألا يشكِّل التصرُّف في الوقود المستهلَك الناتج عن المفاعلات النمطية الصغيرة تحدياً إذا اختارت نشر المفاعلات النمطية الصغيرة القائمة على التكنولوجيات الحالية.

وأضاف السيد كزيري أنَّه «حيث إنَّ هذا النوع من المفاعلات النمطية الصغيرة يستخدم نفس الوقود المستخدم في محطات القوى النووية الكبيرة التقليدية، فسيكون من الممكن التصرُّف في الوقود المستهلَك الناتج من هذه المفاعلات بنفس الطريقة المستعملة مع المفاعلات الكبيرة». وحتى فيما يخصُّ المفاعلات النمطية الصغيرة القائمة على تكنولوجيات جديدة، مثل المفاعلات المرتفعة الحرارة المبرَّدة بالغاز، التي سوف تستخدم الوقود المعبَّأ في كتل منشورية من الغرافيت أو في حصوات الغرافيت، فإنَّ البلدان التي تملك محطات للقوى النووية سوف يكون لديها بالفعل حلول معمول بها لتخزين الوقود المستهلَك والتصرُّف فيه. وقال السيد كزيري إنَّ هذه البلدان «يمكنها إمَّا أن تستخدم البنية الأساسية القائمة أو أن تُكيِّف هذه البنية الأساسية لكي تتلاءم مع التدفقات الجديدة من النفايات المشعَّة».

أمَّا البلدان المستجدة في مجال القوى النووية، فينبغي أن تدرس بعناية موضوع التصرف في الوقود المستهلَك، وأن تُرسي البنية الأساسية اللازمة لذلك في إطار عملها على الأخذ بالطاقة النووية. وسوف يكون عليها أن تفعل ذلك ولو اختارت إنشاء محطات تقليدية للقوى النووية أو مفاعلات نمطية صغيرة قائمة على التكنولوجيات الراهنة. وقال السيد كزيري إنَّ هذه البلدان «سوف تواجه تحديات أكبر إذا اختارت الأخذ بتكنولوجيا تُطبَّق للمرة الأولى أو ليس لها سجل تطبيق راسخ، لأنَّ ذلك سوف ينطوي على قلة الخبرات والمعايير المرجعية المتاحة فيما يخصُّ إدارة دورة الوقود ككل». وأضاف أنَّ «توافر الحلول اللازمة للتصرُّف في الوقود المستهلَك والنفايات المشعَّة الناتجة عن المفاعلات النمطية الصغيرة سوف يكون واحداً من أهم العوامل التي يتعيَّن أخذها في الحسبان عند اختيار التكنولوجيا، إلى جانب أمن إمدادات الوقود».

وتنطوي بعض المفاعلات النمطية الصغيرة على سمات يمكن أن تقلِّل من حجم المهام المرتبطة بالتصرُّف في الوقود المستهلَك. وتحتاج محطات القوى القائمة على هذه التصاميم إلى إعادة التزويد بالوقود بوتيرة أقل، تتراوح بين مرة كل ٣ إلى ٧ سنوات، مقارنة بمرة كل سنة أو سنتين في المحطات التقليدية، بل إنَّ بعضها مصمم للعمل لفترة تصل إلى ٣٠ عاماً دون إعادة التزويد بالوقود. ومع ذلك، فحتى في تلك الحالات سوف يتبقى قدرٌ ما من الوقود المستهلَك الذي يتطلب التصرُّف فيه بطريقة سليمة.

ومن أجل التصدي لهذه المسائل وتقديم الدعم للبلدان المستجدة، هناك حاجة إلى الاضطلاع بمزيد من أعمال البحث والتطوير بشأن دورة الوقود الخاصة ببعض تكنولوجيات المفاعلات النمطية الصغيرة. وسلَّط السيد كزيري الضوء على أنَّ المهندسين والمصمِّمين أمامهم فرصة فريدة للعمل على إيجاد حلول لتحسين التصرف في الوقود المستهلَك والنفايات المشعَّة في المفاعلات النمطية الصغيرة التي لا تزال في المراحل المبكِّرة من طور الإعداد. وقال إنَّ «هذا النهج سوف يساعد على التصدي لأوجه عدم اليقين المرتبطة بالمرحلة الختامية من دورة الوقود، والتقليل من التكاليف، وتعزيز القبول المجتمعي للقوى النووية». وتشارك الوكالة في عدَّة أنشطة جارية بشأن المفاعلات النمطية الصغيرة وتعمل على تكثيف جهودها الرامية إلى دعم أنشطة البحث والتطوير التي تضطلع بها الدول الأعضاء في هذا المجال.

تعزيز الأمان والأمن في نقل الوقود المستهلَك في المملكة المتحدة

بقلم نتالي ميخائيلوفا

يجري نقل الوقود المستهلَك في براميل مصمَّمة خصيصاً بهدف حماية الناس من المحتويات المشعَّة المعبَّأة فيها، وأيضاً بحيث تصمد عند وقوع أي حوادث نقل عنيفة دون أن تتسرَّب منها كميات ذات شأن.

(الصورة من: شركة الخدمات النووية الدولية)

يتَّسم الوقود النووي المستهلَك بمستوى مرتفع من النشاط الإشعاعي، ويمكن أن يشكِّل أثناء نقله هدفاً محتملاً للسرقة أو التخريب. ولهذا السبب، فإنَّ نقل الوقود المستهلَك بين المرافق يتطلَّب تخطيطاً دقيقاً، كما يتطلَّب تنفيذ تدابير عديدة متصلة بالأمان والأمن.

وفي المملكة المتحدة، التي لديها ١٥ مفاعلاً للقوى النووية، فعلى مدى عدَّة عقود مضت، تتولى شركات متخصصة نقل الوقود المستهلَك بطريقة مأمونة وآمنة، سواء في داخل البلاد أو من خارجها، وبلغ مجموع المسافات المقطوعة في عمليات نقل الوقود التي اضطلعت بها هذه الشركات ١٩ مليون كيلومتر. وتقول الجهات الفاعلة في هذا القطاع إنَّ وجود إطار رقابي قوي والتواصل الفعال فيما بين الجهات المعنية كانا عاملين رئيسين في نجاحها.

وفي المملكة المتحدة، تجري عمليات شحن الوقود المستهلَك بصورة منتظمة: حيث تشهد البلاد نقل شحنة من الوقود المستهلَك في إحدى مناطقها مرة كلَّ أسبوع تقريباً. وكان معظم الوقود المستهلَك الناتج عن مفاعلات القوى، وما يزال، يُنقل إلى مرفق سيلافيلد في كومبريا بإنكلترا. وتضطلع شركة «دايركت ريل سيرفسز» بجانب كبير من عمليات نقل الوقود المستهلَك، وهي تعمل في مجال نقل المواد النووية منذ عام ١٩٩٥ دون وقوع أي حوادث تنطوي على انبعاث إشعاعي.

"يتعيَّن علينا أن نواصل تنفيذ عمليات النقل بالامتثال للمعايير والتواصل على نحو وافٍ بشأن الأنشطة التي نقوم بها والأسباب التي تجعل هذه الأنشطة مأمونة."

— جون مولكيرن، الأمين العام، المعهد العالمي للنقل النووي

وقال جون مولكيرن، الأمين العام للمعهد العالمي للنقل النووي، وهو منظمة شبكية تعبِّر عن المصالح الجماعية لقطاع نقل المواد النووية: «إنَّ لدينا ما يلزم من القدرات والبنية الأساسية لضمان الأمان والأمن في نقل الوقود المستهلَك. والأهم من ذلك هو أنَّ لدينا خبرات تمتدُّ على مدى عقود مضت. وتحظى هذه الخبرات بقيمة خاصة في سياق البلدان التي تستهلُّ برامج للقوى النووية ومن ثمَّ تتطلع إلى إنشاء نظم النقل اللازمة لذلك».

إرساء إطار سليم للنقل الفعَّال والمحافظة عليه

تساعد الوكالة البلدان على وضع الاستراتيجيات وتنفيذها في مجال النقل بالامتثال لمعايير الأمان ذات الصلة الصادرة عن الوكالة. وقد اعتُمدت متطلبات الأمان المحدَّدة المنصوص عليها في لائحة النقل المأمون للمواد المشعَّة (العدد SSR-6 من سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة (الصيغة المنقَّحة Rev.1)) من منظمة الطيران المدني الدولي فيما يخصُّ النقل عن طريق الجو، ومن المنظمة البحرية الدولية فيما يخصُّ الشحن البحري، ومن السلطات الرقابية الوطنية المعنية فيما يخصُّ النقل البري — سواء عبر الطرق البرية أو عبر السكك الحديدية.

وتشمل المتطلبات المنصوص عليها في العدد SSR-6 (الصيغة المنقَّحة Rev.1)، المنشور في عام ٢٠١٨، مستويات النشاط الإشعاعي وتصنيف المواد المشعَّة، وتعريف أنواع العبوات وتحديد المحتويات المسموح بها لكلِّ نوع، وأداء تصميم العبوات ومعايير الاختبار المعمول بها لكلِّ نوع. وفيما يخصُّ كلَّ نوع من أنواع العبوات، يعرِّف المنشور متطلبات موافقة السلطات الرقابية الوطنية على التصميم قبل الاستخدام وبصورة دورية بعد ذلك؛ وتوثيق العبوات ووضع البطاقات عليها ووسمها؛ والحدود القصوى لدرجة حرارة سطح العبوة الخارجي والإشعاع والتلوث؛ والحدود القصوى للكميات المشحونة؛ والتدريب.

وتستند المتطلبات المتعلقة بالتعبئة إلى مستوى الخطر الذي تنطوي عليه المواد المتوخَّى احتواؤها. وفيما يخصُّ المواد المشعَّة العالية الأخطار، مثل الوقود المستهلَك، يتعيَّن أن تمتثل العبوات المستعملة للمتطلبات المنصوص عليها بشأن تصميم العبوات وأدائها حتى تتحمَّل حوادث النقل العنيفة التي تنطوي على التصادم والحريق دون أن يترتب على وقوعها انبعاث كميات ذات شأن من محتويات العبوات. ويجري التحقُّق من ذلك الامتثال عن طريق إجراء اختبارات صارمة للمواد في ظروف متنوعة. وعلى سبيل المثال، فقد أجرت شركة الوقود النووي البريطانية المحدودة سلسلة من العروض الإيضاحية القائمة على محاكاة حوادث تنطوي على اصطدام قطار ببرميل وقود مستهلك بسرعة تبلغ نحو ١٦٠ كم/ساعة. ولم يتعرض البرميل لأضرار تُذكر، وهو ما يوضح كونه عبوة مأمونة (انظر مربع العلوم).

وقال السيد مولكيرن إنَّه «من الجوانب المهمة الأخرى في مجال النقل كيفية طمأنة المجتمعات المحلية التي تُنقل هذه المواد بالقرب منها بأنَّها مأمونة وآمنة. فكثيراً ما تنشأ شواغل لدى الناس فور رؤيتهم البراميل». فعلى سبيل المثال، تعقد شركة الخدمات النووية الدولية، وهي شركة تعمل في مجال التصرُّف في الوقود النووي ونقله، اجتماعات منتظمة مع المجتمعات المحلية والجهات المعنية في بلدة بارو-إن-فيرنس، وهي ميناء في شمال انكلترا يربطه بموقع سيلافيلد خط سكة حديد مباشر، وذلك لمناقشة المواد التي تنقلها الشركة في المقاطعة وحول العالم، وكيف تضمن أنَّ هذه المواد مأمونة وآمنة.

وينطوي نقل المواد الخطرة أيضاً على منع وقوع أعمال سرقة أو تخريب محتملة، وهو ما يتطلب توفير القدر المناسب من الحماية المادية، لا من خلال تصميم الحاويات فحسب، وإنما أيضاً من خلال إرساء الإجراءات الأمنية ذات الصلة. وتساعد الوكالة البلدان، بناءً على طلبها، في إرساء نظم الحماية المادية وصونها، بما في ذلك من خلال تقديم الدعم في صياغة لوائح أمن النقل وإجراء تمارين أمن النقل. والغرض من هذه التمارين هو الوقوف على أي مواطن ضعف محتملة في نظام أمن النقل وإدخال أيِّ تعديلات لازمة.

التخطيط للمستقبل

يقول السيد مولكيرن إنَّه «في سبيل المضي قدماً، من المهم مواصلة تشجيع الشباب على المشاركة المباشرة في قطاع الصناعة النووية، ولا سيما في قطاع النقل». وأضاف: «هناك محطات قوى جديدة تُنشأ في مختلف أنحاء العالم، ولذلك يتعيَّن علينا أن نتأكَّد من نقل التجارب والخبرات القائمة بطريقة سليمة. ولا تقتصر الاحتياجات على المعلومات، وإنما يحتاج الناس أيضاً إلى خبرة تنفيذ الشحنات، سواءً كانت تنطوي على وقود مستهلك أو على نفايات ناتجة عن عملية إخراج من الخدمة، كما يحتاجون إلى الثقة اللازمة لنقل هذه الشحنات بالطريقة الصحيحة. ويتعيَّن علينا أن نواصل تنفيذ عمليات النقل بالامتثال للمعايير والتواصل على نحو وافٍ بشأن الأنشطة التي نقوم بها والأسباب التي تجعل هذه الأنشطة مأمونة».

العلوم

نقل الوقود النووي المستهلَك

تُعرَّف أنواع العبوات ومعايير قياس أدائها لأغراض نقل المواد المشعَّة بناءً على الأخطار التي تنطوي عليها محتويات تلك العبوات والظروف التي يُتوقع فيها أن تحافظ العبوات على احتواء المواد النووية وتدريعها. وتُستخدم العبوات التي يُطلق عليها عبوات النوع باء لنقل المواد ذات المستويات الأعلى من النشاط الإشعاعي، ومنها الوقود المستهلَك. وهذه العبوات مصمَّمة لا بحيث تتحمَّل الحرارة التي تولِّدها محتوياتها المشعَّة فحسب، وإنما أيضاً لكي تصمد عند وقوع حوادث النقل العنيفة دون أن تتسرَّب منها كميات ذات شأن من الوقود المستهلَك الذي تحتوي عليه.

ويخضع نقل المواد المشعَّة أيضاً لشروط خاصة فيما يتعلق بوسم العبوات ووضع الملصقات والبطاقات عليها، وكذلك فيما يتعلق بالتوثيق، والحدود القصوى للإشعاع الخارجي والتلوُّث، والضوابط التشغيلية، وتوكيد الجودة والإبلاغ بها، والموافقة على أنواع معيَّنة من الشحنات والعبوات.

إنشاء المرفق الأول من نوعه للتخلُّص الآمن من الوقود المستهلَك

بقلم نتالي ميخائيلوفا

”القبول الاجتماعي مرتبط بالثقة في الجهة المنفِّذة والهيئة الرقابية ومتَّخذي القرارات. ولا بدَّ من بناء هذه الثقة والحفاظ عليها.“

— جاسي هاينونن، مدير إدارة الرقابة على النفايات النووية والضمانات، هيئة الأمان الإشعاعي والنووي في فنلندا

بعد عدَّة عقود من الالتزام بتنفيذ استراتيجيات للتخلُّص في فنلندا والسويد، فضلاً عن التعاون من أجل إيجاد حلٍّ مأمون للتخلُّص استناداً إلى تصميم سويدي، يجري الآن تشييد المستودع الأول من نوعه للتخلُّص الجيولوجي العميق من الوقود المستهلَك في أولكيلوتو، فنلندا. كما تعمل السويد، بالتعاون مع بلدان أخرى، على بناء مرفق مشابه.

وبعد تفريغ الوقود المستهلَك من مفاعلات القوى النووية، يظلُّ يولِّد قدراً كبيراً من الحرارة لعدَّة عقود. ومن ثمَّ يوضع في أحواض مياه أو في مرافق للخزن الجاف حتى يبرد. وتكفل أحواض وحاويات الخزن أن يحتفظ الوقود المستهلَك بسلامته، وعدم انبعاث أي إشعاع أو تسرُّب أي مواد مشعَّة، ومن ثم حماية الناس والبيئة من التعرُّض. ومع ذلك، يظلُّ الوقود المستهلَك قوي الإشعاع لعدَّة آلاف من السنوات، ويتعيَّن أن يبقى معزولاً لفترة تصل إلى عدَّة مئات من ألوف السنوات.

وتتمثَّل إحدى طرق التخلُّص من الوقود المستهلَك — عند الإعلان عنه باعتباره من النفايات — فور تراجع مستويات الحرارة المنبعثة منه في دفنه في مرافق مصمَّمة هندسيًّا على عمق عدَّة مئات من الأمتار تحت مستوى سطح الأرض، في مرافق للتخلص الجيولوجي العميق. والغرض من ذلك هو احتواء النشاط الإشعاعي عن طريق وضع الوقود المستهلَك في حاويات متينة ومانعة للتسريب، وعزله عن طريق الدفن تحت الأرض. وتتكوَّن هذه المرافق من منظومة من الأنفاق أو الغرف، تُشيَّد في موقع ملائم جيولوجيًّا لضمان أمان المواد المدفونة فيه في الأجل الطويل (انظر مربع العلوم).

ويستند المرفق الذي يجري تشييده في فنلندا إلى مفهوم التخلُّص ’KBS-3‘، الذي وضعته الشركة السويدية للتصرُّف في الوقود والنفايات النووية، بالتعاون الوثيق مع شركة بوسيفا، المسؤولة عن التخلُّص من الوقود النووي المستهلَك في فنلندا. وأسلوب التخلُّص المتوخَّى في ذلك المفهوم هو وضع الوقود المستهلَك في علب من النحاس المقاوم للتآكل، ثم طمر هذه العلب في طين منتفخ داخل أنفاق المستودع على عمق يصل إلى ٥٠٠ متر تحت سطح الأرض.

وقال ماغنوس فسترليند، كبير المستشارين في الشركة السويدية للتصرُّف في الوقود والنفايات النووية: «إنَّنا لا نشترك فقط في اختيارنا التخلُّص المباشر من الوقود المستهلَك، فالمفاعلات في فنلندا والسويد من أنواع متشابهة، وهو ما يعني أن الوقود المستهلَك متشابه أيضاً. ولذلك فقد كان التوسُّع في التعاون المباشر بشأن العديد من أنشطة البحث والتطوير أمراً منطقيًّا لكلٍّ منا. وعلى سبيل المثال، فقد اضطلعنا بكلِّ الجهود المتعلقة بالعلب النحاسية تقريباً في إطار مشروع تطوير مشترك».

وفي كلا البلدين، اتُّخذت في أواخر السبعينات وأوائل الثمانينات من القرن العشرين قرارات حكومية أدَّت إلى الأخذ بسياسات تشترط على منتجي النفايات النووية أن يتحمَّلوا المسؤولية أيضاً عن التصرُّف في تلك النفايات. وفي فنلندا، كان الوقود المستهلَك الناتج من محطة لوفييسا للقوى النووية يُنقل إلى الاتحاد السوفياتي، وبعد ذلك إلى روسيا، لإعادة معالجته حتى عام ١٩٩٦. وحين أصدرت الحكومة الفنلندية رخصة تشغيل محطة أولكيلوتو للقوى النووية في عام ١٩٧٨، طلبت أن تضع الجهة المرخَّص لها خطة للتصرُّف في النفايات، بما فيها الوقود النووي المستهلَك، التي لا بدَّ من التخلُّص منها فنلندا.

وفي السويد، اجتمعت الجهات المالكة لمحطات القوى في أواخر سبعينات القرن العشرين لتكوِّن الشركة السويدية للتصرُّف في الوقود والنفايات النووية لغرض التصرف المشترك في الوقود المستهلَك. وقد أسفر ذلك عن استهلال أنشطة بحث وتطوير من أجل وضع مفهوم للتخلُّص، وهو ما أدَّى في نهاية المطاف إلى تطوير أسلوب KBS-3. ووقع الاختيار على هذا الأسلوب باعتباره وسيلة ملائمة للتخلُّص من النفايات في عام ١٩٨٣، وهو منذ حينها يخضع لمزيد من التطوير. واختير موقع لتنفيذ المفهوم ويجري الآن إعداد خطط التشييد.

وقال فسترليند إنَّ «أحد العناصر المهمة في تنفيذ استراتيجية التخلُّص في الواقع العملي هو عملية الاستعراض التي تُجرى كلَّ ثلاث سنوات. وفي إطار هذه العملية، تُدعى أطراف عديدة — مثل الجامعات والوكالات الحكومية والمنظمات غير الحكومية والبلديات — للتعليق على استراتيجيتنا. ولم يقتصر الإسهام الكبير الذي قدَّمه الاستعراض على الجانب التقني من البرنامج فحسب، وإنما امتدَّ أيضاً إلى التأكُّد من تماشي البرنامج مع السياسات المتَّبعة في السويد». وأضاف أنَّه قد اضطُلع، فضلاً عن ذلك، بعمل مكثَّف لا يزال جارياً من أجل اكتساب قبول الجمهور والمحافظة عليه فيما يتعلق بتحديد موقع مرفق التخلُّص من الوقود المستهلَك وتشييده.

تشييد مرفق التخلُّص الأول من نوعه في فنلندا

قبل أن يكون البدء في تشييد مرفق للتخلص ممكناً، يلزم أن تحصل الشركة المكلَّفة بتنفيذ المفهوم على رخصة تشييد. وقد أُصدرت هذه الرخصة في فنلندا في عام ٢٠١٥، لتكون أول رخصة تشييد تصدر لمرفق للتخلُّص الجيولوجي العميق في العالم أجمع.

وقد وقع الاختيار على الموقع بعد عدَّة سنوات من العمل على فرز طائفة من المواقع المحتملة. وبعد مسح مجمل اليابسة في البلاد بناءً على المعلومات الجيولوجية، واصلت شركة بوسيفا عملية تحديد خصائص المواقع من خلال دراسات أُجريت في كلِّ موقع على حدَة، بما في ذلك الحفر، بحثاً عن البيئة المناسبة من الناحية الجيولوجية. وخلال هذه العملية، استهلَّت شركة بوسيفا أيضاً مناقشات مع عدَّة بلديات بشأن استضافة المرفق.

وقال جاسي هاينونن، مدير إدارة الرقابة على النفايات النووية والضمانات في هيئة الأمان الإشعاعي والنووي في فنلندا: «يؤدي القبول الاجتماعي والعوامل الاجتماعية دوراً حاسم الأهمية في اختيار الموقع. والقبول الاجتماعي مرتبط بالثقة في الجهة المنفِّذة والهيئة الرقابية ومتَّخذي القرارات. ولا بدَّ من بناء هذه الثقة والحفاظ عليها».

وتعكف شركة بوسيفا الآن على تشييد مرفق أونكالو للتخلُّص، على عمق يزيد على ٤٠٠ متر تحت مستوى سطح الأرض، ومن المقرَّر أن تبدأ أعمال حفر أنفاق التخلُّص قريباً. ومن المخطَّط له أن تبدأ عملية التخلُّص في عام ٢٠٢٤.

مرفق أونكالو للتخلُّص من الوقود المستهلَك أثناء تشييده في أولكيلوتو، فنلندا. ويتكوَّن المرفق من منظومة من الأنفاق المصمَّمة هندسيًّا، وهو يُستخدم أيضاً لتحديد خصائص الصخور المستضيفة له دعماً لعملية إعداد بيان حالة الأمان.

(الصورة من: بوسيفا أوي)

التقدُّم المحرز في البلدان الأخرى

في عام ٢٠١١، تقدَّمت الشركة السويدية للتصرف في الوقود والنفايات النووية بطلب للحصول على رخصة لتشييد مرفق للتخلُّص في فورسمارك، على بعد ١٥٠ كيلومتراً شمال ستوكهولم، وخضع الطلب للاستعراض من قبل الهيئة السويدية للأمان الإشعاعي ومحكمة الأراضي والشؤون البيئية. ومنذ ذلك الحين، قدَّمت كل سلطة من هاتين السلطتين بياناً عما انتهت إليه في استعراضها إلى الحكومة للبتِّ نهائيًّا في إصدار الرخصة.

وفنلندا والسويد ليسا البلدين الوحيدين اللذين يحرزان تقدُّماً في هذا المجال. ففي فرنسا، تعمل الوكالة المعنية بالتصرف في النفايات المشعَّة على إعداد طلب الرخصة الذي ستتقدَّم به. وفي كندا وسويسرا، تعكف الوكالتان الوطنيتان المعنيتان بالتصرُّف في النفايات على دراسة المواقع الملائمة عن طريق تحديد خصائص المواقع.

العلوم

مرافق التخلص الجيولوجي العميق

بعد إجراء بحوث مكثَّفة، حُدِّد مدى ملاءمة أنواع متعدِّدة من الصخور لإيواء مرافق التخلص الجيولوجي العميق بهدف عزل النفايات المشعَّة. وتُشَيَّد هذه المرافق في تكوينات جيولوجية مناسبة على عُمق عدة مئات من الأمتار وتكون مصمَّمة بحيث تحتوي النفايات القوية الإشعاع لمئات الآلاف من السنين.

وإحدى الخصائص الأساسية التي تتَّسم بها مرافق التخلص الجيولوجي العميق هي أنَّها توفِّر الأمان السلبي، بمعنى أنَّه فور إغلاق مرفق التخلص، لا يعود هناك ما يتطلَّب أيَّ إجراء بشري.

وينطوي تشييد هذه المرافق على عمق عدَّة مئات من الأمتار تحت مستوى سطح الأرض، بما يتيح عزل النفايات بفعالية عن أي اضطرابات محتملة يمكن أن تجري على السطح لمئات الآلاف من السنين، على وضع النفايات في بيئة غير ديناميكية، على النقيض من وضعها في بيئة جيولوجية أكثر ديناميكية أقرب إلى سطح الأرض، حيث تميل الظروف إلى أن تكون أقلَّ استقراراً.

التكيُّف مع النمو: استراتيجية الصين للتصرُّف في الوقود المستهلَك

مع بداية التوسُّع الاقتصادي الهائل الذي شهدته الصين في أوائل التسعينات من القرن العشرين، اعتبرت السلطات الصينية الطاقة النووية عنصراً رئيسيًّا في أمن إمدادات الطاقة وخفض البصمة الكربونية في البلاد. واستهلَّت الصين برنامجاً طموحاً في مجال القوى النووية، وشهد هذا البرنامج نموًّا كبيراً على مرِّ السنوات.

وفي الوقت الراهن، تشغِّل الصين ٤٦ مفاعلاً نوويًّا بقدرة إجمالية على توليد الكهرباء تبلغ ٤٥ غيغاواط، بما يمثِّل نحو ٤٪ من إجمالي الكهرباء المولَّدة في البلاد. وبالنظر إلى وجود ١١ مفاعلاً جديداً قيد التشييد أو التخطيط، تستأثر الصين بنسبة ٢٠٪ من المفاعلات النووية قيد التشييد في العالم. ومن المتوقع أن تبلغ القدرة النووية في الصين ١٥٠ غيغاوط في عام ٢٠٣٥ و٣٠٠ غيغاواط في عام ٢٠٥٠، وفقاً لتقديرات الأكاديمية الصينية للهندسة.

ومع هذا التوسع، سوف تشهد كمية الوقود المستهلَك التي يتعيَّن التصرُّف فيها زيادة مماثلة. ومن ثمَّ تعمل الصين على إحراز تقدُّم في النهوض باستراتيجيتها في مجال دورة الوقود النووي، وتتوسَّع في بنيتها الأساسية للتصرُّف في الوقود المستهلَك والنفايات المشعَّة.

وقد اختارت الصين اتِّباع سياسة قائمة على دورة الوقود النووي المغلقة، بما في ذلك خزن الوقود المستهلَك إمَّا بالقرب من المفاعل أو مرافق بعيدة عن المفاعل، وبعد ذلك نقل الوقود لإعادة معالجته واستخدامه في نهاية المطاف في مفاعلات سريعة. وقد وُصِّل المفاعل التجريبي الصيني السريع الذي تبلغ قدرته ٦٥ ميغاواط، وهو أول نموذج لهذه المفاعلات، بالشبكة الكهربائية في عام ٢٠١١، واستُخدم كأساس لتطوير مفاعل سريع إيضاحي قدرته ٦٠٠ ميغاواط هو الآن قيد التشييد ومن المقرر إدخاله في الخدمة بحلول عام ٢٠٢٣. ويمكن أن يبدأ في كانون الأول/ديسمبر ٢٠٢٨ تشييد أول وحدة تجارية، بقدرة تتراوح بين ١٠٠٠ و١٢٠٠ ميغاواط، على أن يبدأ التشغيل نحو عام ٢٠٣٤. ومن المتوقع أن تصبح تكنولوجيا المفاعلات السريعة التكنولوجيا السائدة بحلول منتصف القرن، وفقاً لاستراتيجية الصين المنشورة في مجال القوى النووية.

وفي الوقت الراهن، تتمثَّل الاستراتيجية في إعادة معالجة الوقود المستهلَك الناتج عن مفاعلات الماء المضغوط القائمة وإعادة تدويره في شكل وقود خليط الأكسيدين (وقود موكس) لاستخدامه في مفاعلات الماء المضغوط. وتشغِّل الصين بالفعل محطة تجريبية لإعادة المعالجة في مقاطعة غانسو بقدرة ٢٠٠ طن من اليورانيوم سنويًّا. وفي كانون الثاني/يناير ٢٠١٨، وقَّعت الصين وفرنسا اتفاقاً بشأن تشييد محطة لإعادة المعالجة وإعادة التدوير لإنتاج وقود موكس لمفاعلات الماء المضغوط. وفي حزيران/يونيه ٢٠١٨، أطلقت شركة أورانو والشركة الوطنية النووية الصينية الأعمال التحضيرية لمحطة إعادة معالجة الوقود المستهلَك، التي ستبلغ قدرتها ٨٠٠ طن من اليورانيوم في السنة.

ومن المخطط له الانتهاء من تشييد مستودع جيولوجي للتخلُّص من النفايات القوية الإشعاع بحلول عام ٢٠٥٠. وتمَّ اختيار الموقع الخاص بمختبر تحت الأرض ويُعتزم تشييد المختبر بحلول عام ٢٠٢٦.

خزن الوقود المستهلَك في محطة كينشان للقوى النووية في الصين. ويُعتزم خزن الوقود المستهلَك في الموقع في حاويات محمية ومزوَّدة بالتهوية إلى حين الانتهاء من إنشاء المرفق الصيني لإعادة معالجة الوقود النووي المستهلَك وإعادة تدويره.

(الصورة من: ميكلوس غاسبر/ الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

دورة تعلُّم إلكتروني جديدة بشأن التصرُّف في الوقود المستهلَك الناتج عن مفاعلات القوى النووية

بقلم ناتاليا إيفانوفا

أعدَّت الوكالة دورة للتعلُّم الإلكتروني عبر الإنترنت تهدف إلى تقديم لمحة عامة عن مختلف الاستراتيجيات المطبَّقة حول العالم للتصرُّف في الوقود المستهلَك. وتشكِّل هذه الدورة الدراسية جزءاً من المنهج الدراسي بشأن التصرُّف في الوقود المستهلَك والنفايات المشعَّة، والإخراج من الخدمة، والاستصلاح البيئي، بما في ذلك عدَّة وحدات نمطية أخرى.

وتستهدف الدورة الدراسية المهنيين العاملين في المجال النووي والوافدين الجدد على هذا الموضوع وطلاب الهندسة والعلوم، وتقدِّم شرحاً لمختلف خيارات التصرُّف في الوقود المستهلَك والعوامل التي يمكن أن تؤثِّر في اختيار استراتيجية تصرُّف بعينها في بلد من البلدان. وهي الدورة الأكثر تفصيلاً من بين الدورات الدراسية التي أعدَّتها الوكالة بشأن هذا الموضوع حتى اليوم.

وفي الوقت الراهن، فمن بين ١٣ محاضرة تتألَّف منها الدورة الدراسية، هناك ٤ محاضرات متاحة عن طريق منصة الوكالة للتعلُّم الإلكتروني لأغراض التعليم والتدريب، وكذلك عن طريق شبكة CONNECT التابعة للوكالة. وسوف يجري تحميل بقية المحاضرات بحلول أوائل عام ٢٠٢٠. وبالإضافة إلى اللغة الإنكليزية، ستُتاح المحاضرات باللغات الإسبانية والروسية والفرنسية واليابانية.

محتويات الدورة الدراسية

تعطي أول محاضرتين مقدِّمة لموضوع التصرف في الوقود المستهلَك، وتتناولان جميع جوانب التصرف في الوقود المستهلَك — منذ تفريغه من قلب مفاعل نووي وحتى اعتباره من النفايات والتخلُّص منه في مستودع جيولوجي عميق. وتوفِّر هاتان المحاضرتان لمحة عامة عن مختلف خيارات التصرُّف في الوقود المستهلَك، والعوامل التي تؤثِّر في اختيار استراتيجية التصرُّف في الوقود المستهلَك، والتبعات التي تترتَّب على الخيارات المختلفة. وتتناول المحاضرتان ٣ و٤ موضوع خزن الوقود المستهلَك، وتوضِّحان مختلف الخيارات والتكنولوجيات المستخدمة في خزن الوقود النووي المستهلَك — بنوعيه الرطب والجاف، وكذلك اعتبارات الأمان العامة المتعلقة بخزن الوقود النووي المستهلَك بهدف تحقيق غاية الأمان الأساسية المتمثِّلة في حماية الناس والبيئة من الآثار الضارة الناجمة عن الإشعاعات المؤيِّنة.

وتقول السيدة أمبارو غونزاليس إسبارتيرو، الرئيسة التقنية في مجال التصرُّف في الوقود المستهلَك لدى الوكالة: «إنَّ بقية المحاضرات سوف تتناول خصائص الوقود المستهلَك ونقله، وكذلك تكنولوجيات إعادة تدوير الوقود المستهلَك ودورات الوقود الابتكارية الخاصة بالجيل الرابع من المفاعلات».

وأضافت أنَّ «المحتويات التقنية لهذه المحاضرات وضعها فريق خبراء من بلدان مختلفة في رؤاها واستراتيجياتها بشأن التصرف في وقودها المستهلَك. ومن ثم فهي متوازنة للغاية ومستندة إلى الحقائق والأرقام».

وتبدأ المحاضرات بقائمة وموجز مختصر لأهداف التعلُّم الإلكتروني، وتعقب ذلك شروح أكثر تفصيلاً. وتتألَّف كلُّ محاضرة من عدَّة فصول بحيث تقدِّم فهماً أعمق للمادة قيد النظر. وتنتهي كل محاضرة بامتحان قصير لاختبار معارف المستخدمين، وموجزات صوتية تتناول أهم النقاط المتوخَّى تعلُّمها. ويكفل هيكل المحاضرات القائم على الوحدات الدراسية أن يتقدَّم المستخدمون من موضوع إلى آخر كلٌّ بوتيرته الخاصة. وبغية توضيح المعلومات وتيسير فهمها، تستخدم الوحدات الدراسية أشكالاً مختلفة من الوسائط، بما في ذلك مقاطع فيديو وتمارين تفاعلية. ويتوفر نص المحاضرات أيضاً في صيغة مكتوبة فضلاً عن مواد تكميلية ومسرد مصطلحات بهدف تحسين فهم المستخدمين.

التصرُّف في الوقود المستهلَك: أربعة عقود من البحوث

بقلم لورا غيل

في حين أنَّ الازدهار الذي شهده تشييد محطات القوى النووية في فترة الستينات والسبعينات من القرن العشرين كان يبشِّر بعهد جديد في مجال الطاقة، فقد كان ينطوي أيضاً على تحدٍّ جديد، ألا وهو التعامل مع الوقود المستهلَك المفرَّغ من هذه المحطات. هل يمكن إعادة تدوير هذا الوقود؟ وهل يمكن التخلُّص منه؟ وهل يمكن خزنه، وإن أمكن ذلك، فإلى متى وفي أيِّ ظروف؟

"إنَّ كلَّ واحد منا يمكن أن يقدِّم زاوية مختلفة للنظر إلى نفس القضية المشتركة."

— فيرينك تاكاتس، المدير الإداري لشركة إينيركون

وعلى مرِّ السنوات، توصَّل الخبراء إلى إجابات لهذه الأسئلة. والآن يصدر منشور جديد يضمُّ ثمرة ما يقرب من أربعة عقود من البحوث التي نسَّقت الوكالة إجراءها بشأن التصرُّف في الوقود المستهلَك. ويصدر هذا المنشور عن الوكالة بعنوان سلوك الوقود المستهلَك لمفاعلات القوى خلال خزنه (وثيقة الوكالة التقنية TECDOC-1862)، وهو يضمُّ تجميعاً للبيانات والملاحظات والتوصيات ذات الصلة التي سجَّلها الخبراء بشأن هذا الموضوع منذ عام ١٩٨١.

وقال فيرينك تاكاتس، المدير الإداري لشركة تي إس إينيركون، وهي شركة استشارات هندسية هنغارية: «حين بدأنا إجراء البحوث مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية في أوائل الثمانينات، كنا ندرك أنَّ خزن الوقود المستهلَك، الذي يتسم بمستوى مرتفع من النشاط الإشعاعي، ينطوي على سلسلة من الدلالات التقنية والعلمية. وكنا بصدد البحث عن معلومات أساسية عن هذه الدلالات من أجل إنشاء قاعدة بيانات عامة تضمُّ البلدان ذات الخبرة في هذا المجال، لأنَّ ذلك لم يكن موجوداً آنذاك».

وفي الأيام الأولى للقوى النووية، كانت بلدان عديدة تخطِّط لإعادة تدوير ما لديها من وقود مستهلك، ومن ثم تحقيق أكبر استفادة ممكنة من مواردها من اليورانيوم. والخطوة الأولى في إعادة التدوير هي إعادة المعالجة، وهي عملية كيميائية تنطوي على فصل المادة الانشطارية غير المستخدمة، أي البلوتونيوم واليورانيوم المتبقيين في الوقود، لإعادة استخدمهما في وقود خليط الأكسيدين (أو وقود موكس). وحاليًّا، توجد لدى فرنسا وروسيا والمملكة المتحدة مرافق إعادة معالجة تجارية.

وقد اختارت بعض البلدان الأخرى التخلُّص من الوقود المستهلَك بدلاً من إعادة تدويره. وتشمل هذه البلدان السويد وفنلندا وكندا والولايات المتحدة. وينطوي هذا الخيار البديل على وضع الوقود المستهلَك بطريقة مأمونة في مكان عميق داخل الأرض، في ظروف لا تسمح باستخراجه مجدَّداً.

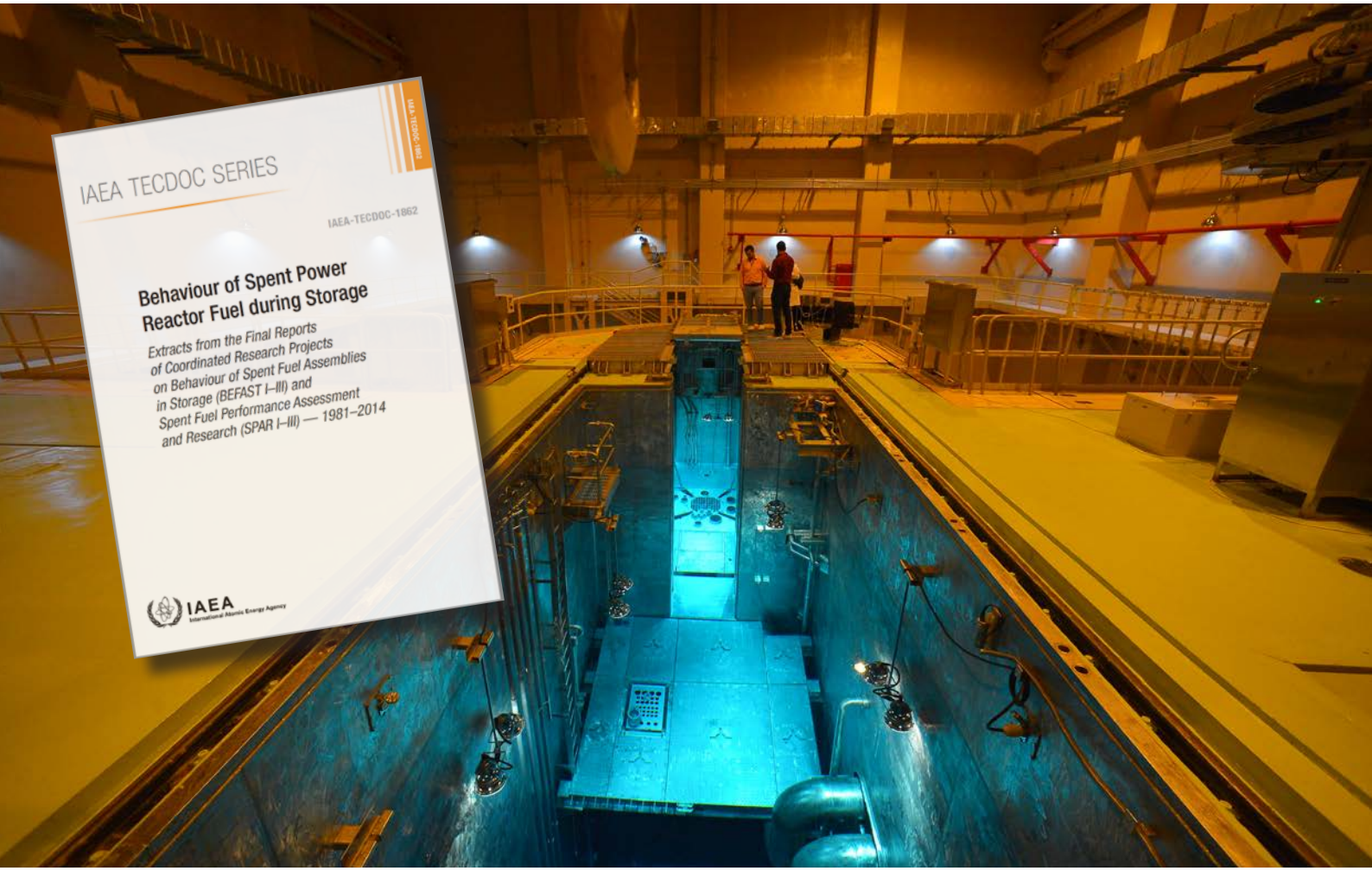
وفي بداية الأمر، كانت كل البلدان تخطِّط لإعادة معالجة وقودها المستهلَك، إمَّا في مرافقها الخاصة أو في مرافق في بلدان أخرى. ومع ذلك، فقد صار التخلُّص المباشر هو الخيار المفضَّل في معظم البلدان في الثمانينات والتسعينات من القرن العشرين، بالنظر إلى أنَّ أسعار اليورانيوم ظلَّت منخفضة وإلى إثارة شواغل بيئية متعلقة بإعادة المعالجة. وبعد ذلك، في أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، بدأت جاذبية إعادة المعالجة تتزايد مجدداً في ضوء الحاجة إلى توليد الكهرباء الرخيصة المنخفضة الكربون ونشوء شواغل بشأن توافر اليورانيوم في الأجل الطويل.

وفي الوقت الذي كان فيه الجدال جارياً وكانت وجهات النظر تتبدَّل، كثيراً ما كانت السلطات المعنية تؤجِّل قرارها، وكان الوقود المستهلَك، في نهاية المطاف يبقى قيد الخزن المؤقت لفترات أطول ممَّا هو متوقع.

مشروع الوكالة البحثي

في هذا السياق، واستجابةً لتفضيل خيار «الخزن المؤقت»، أطلقت الوكالة سلسلة من المشاريع البحثية المنسَّقة التي استُهلَّ أولُّها في عام ١٩٨١، حيث بدأ خبراء من ١٠ بلدان دراسة ومناقشة سلوك الوقود المستهلَك خلال خزنه (مشاريع BEFAST)، بما يشمل جميع الأنشطة المتعلقة بخزن الوقود إلى حين إعادة معالجته أو إرساله للتخلُّص منه. وساهمت البلدان المشاركة بما توصَّلت إليه من نتائج البحث والتطوير فيما يتعلق بالأسئلة الأساسية المتصلة بخزن الوقود المستهلَك وبدأت إعداد قاعدة بيانات للمساعدة على تقييم تكنولوجيات خزن الوقود المستهلَك لأغراض الخزن لفترات بالغة الطول. وبدءاً من عام ١٩٩٧، أُطلقت سلسلة جديدة من المشاريع البحثية المنسَّقة، ركَّزت هذه المرة بمزيد من التحديد على تقييم أداء الوقود المستهلَك والبحوث المتعلقة به (مشاريع SPAR).

وشاركت في المشاريع المنفَّذة في إطار السلسلتين ٣٠ منظمةً من ٢١ بلداً والمفوضية الأوروبية. وأفضت البحوث المضطلع بها إلى تبادل معلومات مفيد للجهات المشغِّلة للوقود ومصمِّمي محطات القوى النووية والرقابيين والجهات المصنِّعة، وبوجه خاص،



للمشاركين في إعداد تقييمات الأمان. وقال السيد تاكاتس: «إنَّ كلَّ واحد منا يمكن أن يقدِّم زاوية مختلفة للنظر إلى نفس القضية المشتركة».

وكان السيد تاكاتس يعمل لدى شركة استشارية هنغارية في عام ١٩٩٧، وفي ذلك الوقت كانت هنغاريا تشغِّل برنامجها للقوى النووية منذ عشر سنوات. ولأنَّ إمكانية تصدير الوقود المستهلَك لم تكن متوفرة، اضطرت هنغاريا إلى إنشاء مرفق إضافي للخزن الجاف بجانب محطة القوى. وكان إنشاء هذا المرفق مهمة صعبة، حيث كان الرقابيون يشعرون بالقلق من أنَّ الوقود المستهلَك، الذي يظلُّ مشعًّا وينبعث منه في البداية قدرٌ كبير من الحرارة، ستكون درجة حرارته أعلى من أن تتيح خزنه.

وقال السيد تاكاتس: «وبسبب هذه الشكوك، وضعنا حدًّا أقصى لدرجة الحرارة، بحيث يجب خزن الوقود المستهلَك دون ٣٥٠ درجة مئوية، وهو ما كان يمثِّل عبئاً إضافيًّا دون ضرورة على عاتق المصمِّم»، وأضاف أنَّ نتائج مشروع الوكالة كان لها دورٌ مفيد في إرشاد الجهات الرقابية. ويقول السيد تاكاتس: «لحسن الحظ، كنت أشارك في المشروع البحثي المنسق BEFAST، وأُتيحت لي فرصة التشاور مع خبير من ألمانيا، حيث كانت توجد معرفة أفضل كثيراً بسلوك كسوة الوقود خلال الخزن الجاف عند درجات الحرارة المرتفعة. وعن طريق جمع القرائن من بلدان أخرى، كان بوسعنا أن نثبت أنَّ اللوائح الرقابية مفرطة التعسُّف وينبغي تعديلها، بناءً على البحوث الجماعية».

وأُعدَّت دراسة على أساس استنتاجات المشروع البحثي المنسق، وقدِّمت بعد ذلك إلى الجهة الرقابية، التي قبلت المسوغات المقدَّمة ورفعت الحد الأقصى لدرجة حرارة الخزن. وهذا مثال واحد من بين أمثلة كثيرة على كيفية استفادة الجهات المشغِّلة من الجهود البحثية التي تنسِّقها الوكالة ويبذلها الخبراء في الميدان.

وقالت لورا مكمانيمان، الأخصائية في مجال التصرف في الوقود المستهلَك بالوكالة: «إنَّ جميع البحوث المضطلع بها تساعدنا في المحافظة على رصد التكنولوجيات بصورة مستمرة فيما يتعلق بأداء الوقود المستهلَك. وتُعدُّ هذه المشاريع أدوات جيدة للتعاون وإجراء البحوث لأنَّها توفِّر منبراً لتقاسم المعلومات بحرية فيما بين الخبراء».

ويمكن الاطلاع على أبرز جوانب الأعمال البحثية المجمَّعة في وثيقة الوكالة التقنية TECDOC-1862 على شبكة الإنترنت، وبناءً على الطلب في نسخة مطبوعة.

مراعاة الضمانات في تصميم مرافق خزن الوقود المستهلَك

بقلم آدم موتلور

”من منظور التصميم، من المفيد تكوين فهم لأنشطة الضمانات المحتملة بكامل نطاقها وتأثير هذه الأنشطة في تصميم مرافق الوقود المستهلَك قبل اتِّخاذ قرار نهائي بشأن خيارات التصميم.“

— جيريمي ويتلوك، رئيس قسم المفاهيم والنهج بإدارة الضمانات في الوكالة

تعمل الوكالة الدولية للطاقة الذرية على تعزيز مساهمة التكنولوجيا النووية في تحقيق السلام والازدهار في العالم أجمع، مع التحقُّق في الوقت نفسه من عدم تحريف المواد النووية عن الاستخدامات السلمية. وتشكِّل ضمانات الوكالة جزءاً مهمًّا من النظام العالمي لعدم الانتشار النووي، حيث تكفل التحقُّق بصورة مستقلة من امتثال الدول لالتزاماتها القانونية الدولية. وبغية الإسهام في تحقيق ذلك، تصدر الوكالة إرشادات في إطار سلسة من الوثائق بعنوان «إدراج الضمانات في التصميم»، لمساعدة مصمِّمي المرافق النووية ومشغِّليها على مراعاة أنشطة الضمانات ذات الصلة، في مرحلة مبكِّرة من عملية تصميم المرافق النووية، بما في ذلك مرافق خزن الوقود المستهلَك.

وتُعدُّ مراعاة متطلبات الضمانات قبل الشروع في تشييد المرافق أو تعديلها، في إطار المفهوم المعروف بإدراج الضمانات في التصميم، ممارسة طوعية، وتهدف إلى المساعدة على تحسين تنفيذ متطلبات الضمانات القائمة. فإذا ما طُبِّق مفهوم إدراج الضمانات في التصميم، يمكن تنفيذ عمليات التفتيش الخاصة بالضمانات بمزيد من الفعالية والكفاءة، مع التخفيف في الوقت نفسه من العبء الذي تتحمله الجهة المشغِّلة للمرفق.

وقال جيريمي ويتلوك، رئيس قسم المفاهيم والنهج بإدارة الضمانات في الوكالة: «إن الهدف هو أن يجري تشييد المرافق الجديدة المعنية بالوقود المستهلَك بحيث تكون مزوَّدة بسمات تمكِّن من تنفيذ الضمانات. ومن خلال إدراج هذه السمات في تصميم مرافق الوقود المستهلَك وتشييدها، يمكن تنفيذ أنشطة الضمانات بأقل قدر من تعطيل عمليات المرفق الخاضع للتفتيش».

وتؤدي مراعاة الضمانات في وقت مبكِّر من عملية التصميم والتشييد إلى تيسير إجراء حوار مفتوح بين الجهات المعنية بشأن تشغيل المرفق ومتطلبات الضمانات والمواضيع ذات الصلة. ويتيح ذلك وضع أساليب تحقُّق تقلِّل إلى أدنى حدٍّ من تأثير تنفيذ الضمانات على الجهة المشغِّلة، دون الانتقاص من فعالية أنشطة الضمانات المنفَّذة. وبالإضافة إلى ذلك، فمن شأن تلك الأساليب أن تحسِّن كفاءة الضمانات من خلال مساعدة الوكالة على تنفيذ أنشطة التحقُّق على الوجه الأمثل.

وإذا تسلَّح المصمِّم بفهم جيِّد لأنشطة الضمانات، يكون بوسعه أيضاً أن يخطِّط بكفاءة أكبر للاحتياجات المتوقعة المطلوبة لأنشطة الضمانات. وتشمل هذه الاحتياجات التقليل إلى أدنى حدٍّ من تعرُّض المفتشين للإشعاع، وتحسين إمكانية الوصول إلى معدَّات

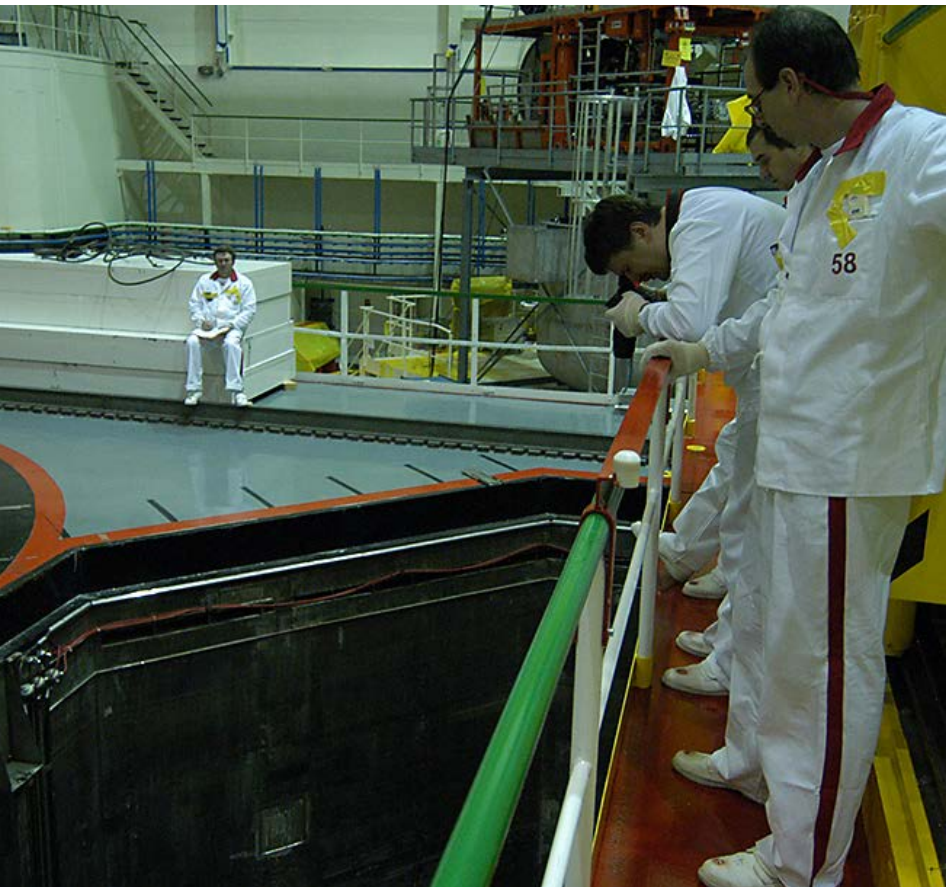
الضمانات لأغراض الصيانة، وضمان وجود القدرات اللازمة لنقل البيانات عن بُعد داخل الموقع، والتخفيف من تأثير الأحداث التي يمكن أن تعطِّل التحقُّق.

وتشكِّل مرافق خزن الوقود المستهلَك جزءاً حيوي الأهمية من دورة الوقود النووي، وسوف تواصل ضمانات الوكالة تطوُّرها من أجل التصدي للتحديات المرتبطة بالتحقُّق في هذه المرافق. ويشكِّل تطبيق الضمانات على مرافق خزن الوقود النووي المستهلَك بدوره جزءاً جوهريًّا من أنشطة التحقُّق التي تضطلع بها الوكالة. وفي عام ٢٠١٨، طُبِّقت الضمانات على ٨٢ من مرافق خزن الوقود النووي المستهلَك في أكثر من ٢٥ دولة حول العالم. وكانت هذه المرافق تضمُّ نحو ٥٧ ٠٠٠ كمية معنوية من المواد النووية.

وعند إعداد المخططات لمرافق خزن الوقود النووي المستهلَك، من المهم بصفة خاصة أن يكون المصمِّمون على دراية بالفترة العمرية للوقود المستهلَك. ويمكن أن تكون مرافق الوقود المستهلَك ملزمة بضمان إمكانية استرجاع المواد لفترة طويلة من الزمن، تصل إلى ١٠٠ سنة على سبيل المثال.

وفي هذا الصدد، يقول السيد ويتلوك: «من منظور التصميم، من المفيد تكوين فهم لأنشطة الضمانات المحتملة بكامل نطاقها وتأثير هذه الأنشطة في تصميم مرافق الوقود المستهلَك قبل اتِّخاذ قرار نهائي بشأن خيارات التصميم. ويمكن أن يشتمل التخطيط المبكِّر على مراعاة المرونة في البنية الأساسية للمرفق بحيث يدعم ما يُستجد في المستقبل من الابتكارات التكنولوجية التي يمكن أن تكون مفيدة لكلٍّ من الجهة المشغلة ولتنفيذ الضمانات».

ويمكن الاطِّلاع على سلسلة وثائق «إدراج الضمانات في التصميم» في موقع الوكالة على شبكة الإنترنت.



تدريب المفتشين في مرفق خزن الوقود النووي المستهلَك في محطة موهوفتسي للقوى النووية في سلوفاكيا.

(الصورة من: دين كالما/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

تصميم فائز في مسابقة «تحدِّي الروبوطيات» يساعد على تسريع عملية التحقّق من الوقود المستهلَك

بقلم آدم موتلور

”من المثير للغاية أن يتمكن المرء من المساهمة في جهود منع الانتشار وأعمال التحقق المهمة التي تضطلع بها الوكالة الدولية للطاقة الذرية.“

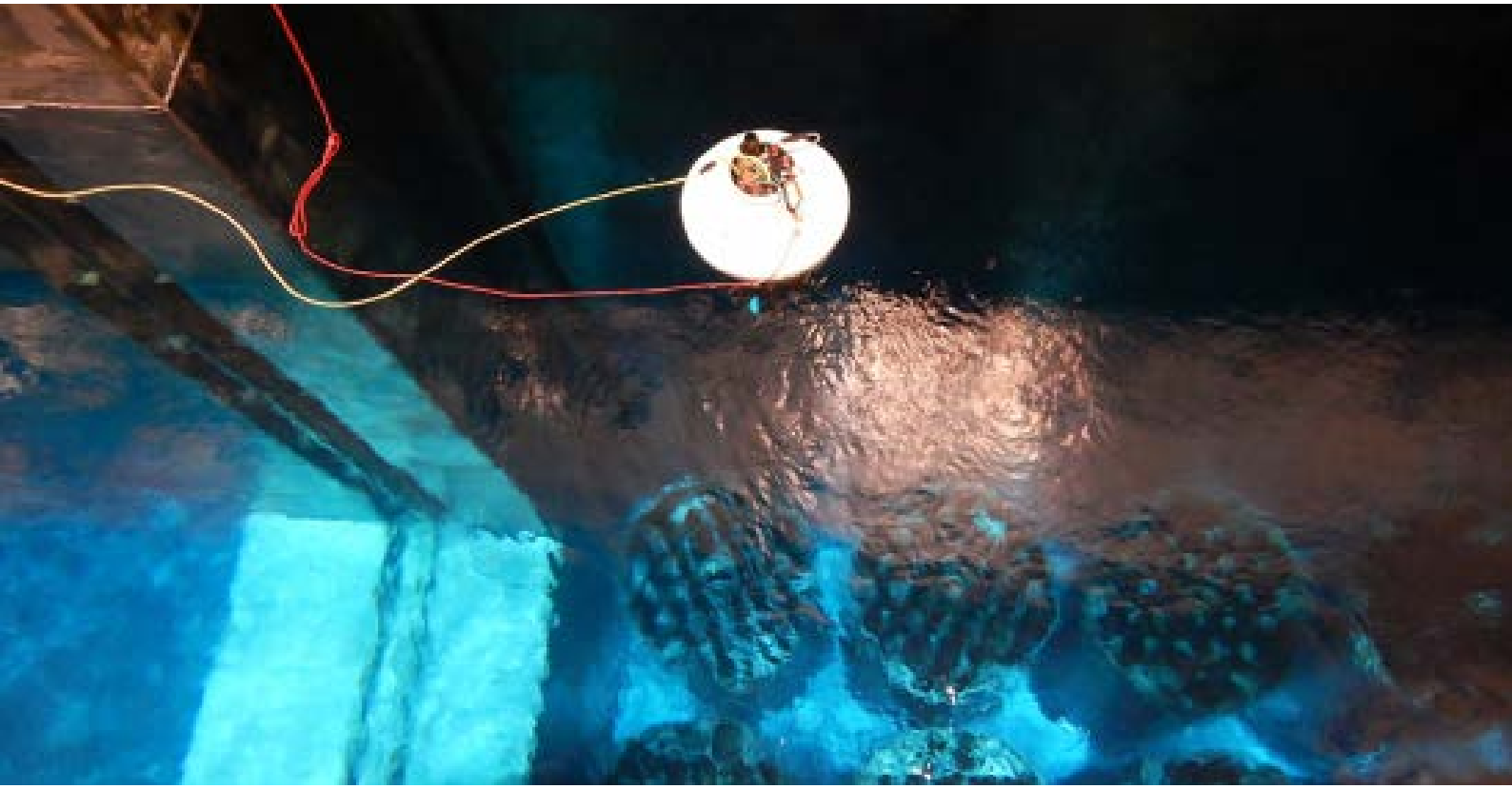
— بيتر كوبياس، مالك شركة داتا ستارت ورئيسها التنفيذي

في حين أنَّ الوقود النووي بعد استهلاكه لا يكفل إمكانية إحداث تفاعلات نووية متسلسلة يمكن استخدامها في توليد الكهرباء، فإنَّه يظلُّ محتوياً على مواد نووية يمكن استغلالها في صنع الأسلحة. ولهذا السبب يُعدُّ التحقُّق من الوقود المستهلَك مكوِّناً محوريًّا في العمل الذي تضطلع به الوكالة في مجال الضمانات النووية.

وعادة ما يُخزَّن الوقود المستهلَك تحت الماء لغرض التبريد. ويمكن أن ينطوي التحقُّق من الوقود النووي المستهلَك تحت الماء على عملية معقَّدة وتستغرق وقتاً طويلاً. وتتطلب هذه العملية من مفتشي الوكالة أن يتخذوا مواقع فوق أحواض الوقود النووي المستهلَك ليلتقطوا صوراً لكلِّ مجمعة من مجمعات الوقود المستهلَك، التي قد يصل عددها إلى المئات في المرة الواحدة. وقد حُدِّدت هذه العملية باعتبارها من المجالات التي يمكن أن تؤدي فيها الروبوطيات دوراً مفيداً، وفي عام ٢٠١٧، أطلقت الوكالة مسابقة لجمع الأفكار والتماس الحلول لزيادة الفعالية والكفاءة في عملية التحقُّق من الوقود المستهلَك.

وحين يضطلع مفتشو الضمانات النووية بأنشطة التفتيش في المرافق النووية حول العالم، كثيراً ما يستخدمون جهازاً بصريًّا صغيراً محمولاً باليد يسمَّى جهاز الرؤية المحسَّن باستخدام ظاهرة تشيرينكوف (جهاز الرؤية المحسَّن). ويُستخدم جهاز الرؤية المحسَّن في التحقُّق من وجود الوقود النووي المستهلَك المخزَّن تحت الماء، حيث يوضع عادةً بهدف تبريده بعد تفريغه من قلب المفاعل. ويُكلَّف المفتِّشون بالتحقُّق من تطابق كمية الوقود المخزَّنة مع الكمية المعلن عنها من السلطات الوطنية، ومن عدم إزالة أي جزء من هذه الكمية ومن ثمَّ احتمالية تحريفه عن الاستخدامات السلمية.

وفي الوقت الراهن، يُضطر مفتشو الضمانات إلى الإمساك بجهاز الرؤية المحسَّن من أعلى قنطرة معلَّقة فوق حوض الوقود المستهلَك وإمعان النظر من خلال عدسة في كلِّ مجمعة من مجمعات الوقود. وطلبت الوكالة من المشاركين في مسابقة «تحدي الروبوطيات» تقديم تصاميم تنطوي على تركيب جهاز رؤية ظاهرة تشيرينكوف من الجيل التالي (جهاز الرؤية من الجيل التالي)، المزوَّد بالقدرة على التسجيل الرقمي، داخل



تصميم المركبة الآلية السطحية الفائز أثناء خضوعه للاختبار الواقعي في محطة لوفييسا للقوى النووية في فنلندا.

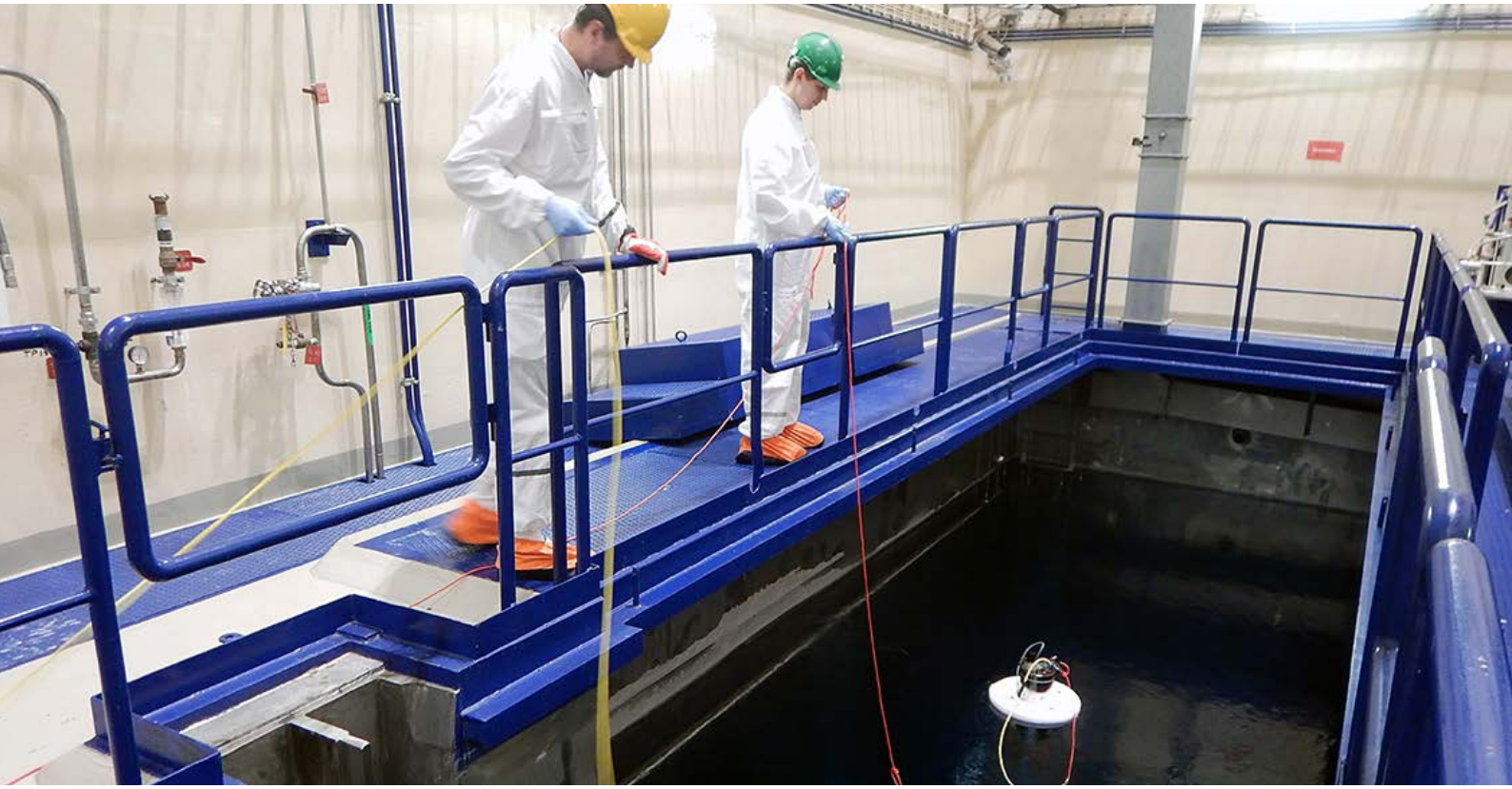
(الصورة من: الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

منصة عائمة روبوطية صغيرة تتحرك بالدفع الذاتي على سطح حوض الوقود المستهلَك. وعن طريق تثبيت جهاز الرؤية من الجيل التالي في وضع رأسي، يمكن للمركبة الآلية السطحية أن تتيح التقاط صور أوضح في فترة زمنية أقل.

وقد اجتذبت مسابقة «تحدي الروبوطيات» أكثر من ٣٠٠ مشاركة. ومن بين ١٢ اقتراحاً وقع عليهم الاختيار لتقديم عرض إيضاحي، اختُبرت ٣ تصاميم في بيئة واقعية. وفي أوائل عام ٢٠١٩، أُعلن عن فوز مركبة آلية سطحية من تصميم فريق من المهندسين الهنغاريين بمسابقة «تحدي الروبوطيات» التي نظَّمتها الوكالة. وقد وقع الاختيار على التصميم الفائز بعد خضوعه لتقييم دقيق لجوانب التصميم والأداء من خبراء الوكالة. وقال ديميتري فينكر، أخصائي التبصُّر التكنولوجي في إدارة الضمانات بالوكالة: «في إطار المرحلة الأخيرة من مسابقة 'تحدي الروبوطيات' في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٨، خضعت التصاميم للاختبار الواقعي في حوض لخزن الوقود المستهلَك في محطة للقوى النووية في فنلندا. وأتاح ذلك الفرصة أمام خبرائنا لاستعراض مزايا كلِّ تصميم وتقييم أيِّها يلائم الاحتياجات التشغيلية الخاصة بالضمانات ويراعي اعتبارات الأمان ويوفِّر أعلى جودة للصور لأغراض التحقُّق». وسوف تعمل الوكالة الآن بالتعاون مع دولها الأعضاء والجهات المشغِّلة للمرافق النووية ومصمِّمي المركبة الآلية السطحية من أجل إدخال اللمسات النهائية على التصميم وضمان امتثاله لجميع المتطلبات واللوائح المنطبقة. وفي غضون ذلك، سوف تطلب الوكالة من دولها الأعضاء أن تأذن باستخدام المركبة الآلية السطحية في الميدان.

وقال بيتر كوبياس، مالك شركة داتا ستارت الفائزة بالمسابقة ورئيسها التنفيذي: «إنَّ سعادتنا بالغة باختيار تصميمنا من بين هذه المجموعة من المشاركات القوية. ومن المثير للغاية أن يتمكن المرء من المساهمة في جهود منع الانتشار وأعمال التحقق المهمة التي تضطلع بها الوكالة الدولية للطاقة الذرية». وأضاف قائلاً: «كان المطلوب في مسابقة 'تحدي الروبوطيات' هو تقديم حلٍّ هندسي ابتكاري. وأنا سعيد بأنَّ تصميمنا الفريد من نوعه يلبي احتياجات المستخدمين».

وبالإضافة إلى مسابقة «تحدي الروبوطيات»، تعقد الوكالة أيضاً مسابقات تكنولوجية أخرى للوقوف على التكنولوجيات الواعدة التي تنطوي على إمكانية مساعدتها في عملها ودعم تطوير هذه التكنولوجيات. وقال السيد فينكر: «في حالة المناقصات العمومية الرسمية لتوريد المعدات التقنية التي لها تطبيقات محتملة في أعمال الضمانات، عادةً ما لا يُطلب تقديم العطاءات إلا من عدد قليل من المؤسسات العالية التخصُّص. أمَّا مسابقات الوكالة التكنولوجية فتكون المشاركة فيها بتقديم الحلول العلمية مفتوحة أمام مئات من الجهات المعنية بالتكنولوجيا». وأحدث المسابقات التي تنظِّمها الوكالة، وهي مسابقة «تحدي الوكالة الدولية للطاقة الذرية لإعادة تشكيل الصور الملتقطة بالتصوير المقطعي وتحليلها»، تهدف إلى تحسين عملية التحقُّق من الوقود النووي المستهلَك بالاستعانة بتقنيات معالجة البيانات المتقدِّمة لتحليل الصور الملتقطة بأجهزة الرؤية المحسَّنة، وربما أيضاً الصور الملتقطة بأجهزة الرؤية من الجيل التالي.



خبراء الوكالة يستعرضون أداء تصميم المركبة الآلية السطحية الفائز.

(الصورة من: الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

تبسيط نقل وتخزين الوقود المستهلَك من مفاعلات القوى النووية

بقلم نيكول جاويرث

تتطلَّب عملية تخزين **وأيضاً** نقل الوقود النووي المستهلَك القويِّ الإشعاع اتخاذ احتياطات وإجراءات قوية في مجال الأمان والأمن. وحتى الآن، تُستخدم في العادة حاويات منفصلة، أو براميل، لتخزين ونقل الوقود المستهلَك من محطات القوى النووية إلى مكان التخزين، ومن ثم في نهاية المطاف إلى مكان التخلُّص منه أو إعادة تدويره. وثمة طريقة أخرى، باستخدام براميل مزدوجة الغرض صالحة للتخزين والنقل كليهما، تبسِّط هذه العملية، ما يجعلها أرخص تكلفة وأكثر أماناً.

ولمعرفة المزيد عن هذه البراميل الفريدة ودورها في التصرُّف المأمون في الوقود النووي المستهلَك، جلست نيكول جاويرث، مديرة تحرير مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية، مع بيرند رويث، من قسم النقل ومرحلة ما قبل التخلُّص في هيئة التفتيش الاتحادية السويسرية المعنية بالأمان النووي (ENSI).وتمتدُّ خبرة رويث لمدة ٨ أعوام في العمل مع حلول النقل والتخزين للوقود النووي المستهلَك. كما يشارك رويث بانتظام كخبيرٍ في مشاريع الوكالة المتعلقة بتعزيز التصرُّف المأمونِ في الوقود المستهلَك.

سؤال: بما أنَّ الوقود النووي المستهلَك هو مزيج من العناصر المشعَّة، مثل اليورانيوم والبلوتونيوم، فإنَّ مناولته المأمونة والآمنة مسألة بالغة الأهمية. ما هي بالضبط البراميل المزدوجة الغرض وكيف تلائم التصرُّف المأمون والآمن في الوقود المستهلَك؟

جواب: لا يوجد حلٌّ واحدٌ «يناسب الجميع» للتصرُّف في الوقود المستهلَك؛ فكلُّ بلد له عملية واستراتيجية خاصتان به. فبعض البلدان يخزِّن الوقود المستهلَك في أحواض، والبعض الآخر يستخدم أنظمة قائمة على البراميل أو مبانٍ خاصة ذات حالة جافة. وإعادة معالجة الوقود نهج آخرُ مستخدَم مِن قبل بعض البلدان.

وتُعدُّ البراميل المزدوجة الغرض أحد خيارات الخزن الجاف والنقل. وهذه البراميل مصمَّمة بما يكفل عدم انطلاق أيِّ مواد مشعَّة، سواء أثناء تخزينها أو أثناء نقلها. وعلى الرغم مِن أن سماتها الدقيقة تعتمد على احتياجات كل بلد في مجال التصرُّف في الوقود المستهلَك، إلا أن هذه البراميل، على وجه العموم، هي حاويات كبيرة وضيِّقة إلى حدٍّ ما تشبه في تصميمها تصميم البراميل المعتادة، وتحتوي هذه البراميل على الوقود النووي المستهلَك أو النفايات المشعَّة القوية الإشعاع أثناء النقل أو التخزين المؤقت. وتُصنع البراميل المزدوجة الغرض عادةً من الفولاذ أو الحديد المصبوب، وهي ذات مغلاق وغطاء مزدوج يمنع التسرُّب، وفي الوقت نفسه يكون من الممكن استعادة الوقود حسب الضرورة بطريقة مأمونة وبسيطة.

”يجب أن يفي كلُّ برميل مزدوج الغرض بمعايير الأمان الصارمة وأن يغطي أربع وظائف رئيسية: السلامة الميكانيكية، وإزالة الحرارة، والتدريع، والمراقبة الحرجة.“

— بيرند رويث، قسم النقل ومرحلة ما قبل التخلُّص، هيئة التفتيش الاتحادية السويسرية المعنية بالأمان النووي *(ENSI)*

ويجب أن يفي كلُّ برميل مزدوج الغرض بمعايير الأمان الصارمة وأن يغطي أربع وظائف رئيسية: السلامة الميكانيكية، وإزالة الحرارة، والتدريع، والمراقبة الحرجة. وتضمين كل هذا في تصميم واحد، مع التقيُّد في الوقت نفسه بمتطلبات النقل الدولي والتخزين الوطني، يجعل تطوير واستخدام البراميل مزدوجة الغرض مسألة معقّدة للغاية، ولكن بمجرد تهيئتها، فإنها تبسِّط الخطوات الأخرى في عملية التصرُّف في الوقود المستهلَك.

سؤال: وما مزايا البراميل المزدوجة الغرض مقارنةً بأساليب التخزين الأخرى؟

جواب: تزيل البراميل المزدوجة الغرض الحاجة إلى بعض المناولة الإضافية للوقود المستهلَك. فعادةً، في حال العديد من الخيارات الأخرى، ثمة حاجة إلى حاويات أو مرافق تخزين مختلفة مع كل خطوة، ما يعني عمليات نقل إضافية للوقود، وغالباً لا تُصمَّم هذه الحاويات لنقلها على طرقات عامة. أما البراميل المزدوجة الغرض فيمكن تعبئتها بالوقود، ونقلها إلى التخزين المؤقت والإبقاء عليها هناك إلى حين، ومن ثمَّ نقلها إلى مرفق التخزين النهائي أو إعادة المعالجة، وكلُّ ذلك دون إعادة مناولتها أو إعادة تعبئتها. وهذا يجعلها واحدة من أكثر الخيارات رواجاً بالنسبة للبلدان التي يتمُّ فيها نقل الوقود المستهلَك على الطرقات العامة.

سؤال: وأين تتناسب الوكالة مع تطوير البراميل المزدوجة الغرض واستخدامها؟

جواب: يتأثر تصميم البراميل المزدوجة الغرض بنوع مرفق التخزين وموقعه. وهذا يعني أنه ليس من السَّهل إعداد المتطلبات المحدَّدة التي تناسب جميع البراميل المزدوجة الغرض في جميع أنحاء العالم دون مراعاة هذه الاختلافات. لذا أنشأت الوكالة متطلبات الأمان المتعلقة بنقل البراميل المزدوجة الغرض وهي في وَضْع يسمح لها بمواءمة متطلبات التخزين المختلفة للبراميل المزدوجة الغرض على امتداد البلدان. لذلك، عندما تبدأ البلدان بإنتاج الطاقة النووية، يمكنهم الرجوع إلى الوثائق الداعمة الصادرة عن الوكالة لتحديد ما إذا كانت البراميل المزدوجة الغرض تلائم احتياجاتها، وكيفية تصميم واستخدام البراميل المزدوجة الغرض للتعامل مع الوقود المستهلَك.

وتنسِّق الوكالة أيضاً البحوث التي تتناول كيفية تحقيق المستوى الأمثل على صعيد تصميم واستخدام البراميل المزدوجة الغرض. وعلى سبيل المثال، تناولت إحدى المناقشات التي أثيرت في اجتماعات الوكالة تقادُم الوقود المخزَّن في الخزن الجاف. وعلى وجه العموم، تُصمَّم البراميل المزدوجة الغرض لما لا يقلُّ عن ٤٠ أو ٥٠ عاماً من الاستخدام، ولكن ثمة المزيد من التفكير اليوم في إمكانية استخدامها لمدة ١٠٠ عام أو أكثر. وقد يتطلب ذلك إدخال تعديلات على التصميمات الفعلية أو التصميمات الجديدة لتقليل التأثير المحتمَل للتخزين طويل الأجل على البراميل المزدوجة الغرض والتأكد من استمرارها في تلبية معايير الأمان العالية، سواء كان ذلك أثناء نقلها أو تخزينها.

سؤال: وفي اعتقادك ماذا يحمل المستقبل للبراميل المزدوجة الغرض؟

جواب: يحاول مصمِّمو البراميل المزدوجة الغرض على الدوام تحسين تصميماتهم مع تطوُّر محطات القوى النووية. وحيث أنَّ محطات القوى النووية تعمل لفترات أطول، فإنه يتمُّ توليد المزيد من الوقود المستهلَك، وبالتالي ثمة هدف لتحقيق المستوى الأمثل في تصميماتها بحيث تستوعب البراميل المزدوجة الغرض أكبر قدر من محتوى الوقود. وهذا يعني أيضاً استخدام مواد جديدة لاستيعاب تخزين أطول، وكذلك أحمال حرارة أعلى لأنَّ محطات القوى النووية تستخدم المزيد من الوقود المثرى. ومن المرجح أن تكون التصميمات الجديدة أكثر بساطة، ما يجعلها أسهل وأقلّ تكلفة عند تصنيعها، مع تلبية جميع متطلبات النقل والتخزين.

ويتخلَّص بعض البلدان تدريجيًّا من إنتاج الطاقة النووية، وسيتقاعد الجيل الحالي من الخبراء في نهاية المطاف. وقد يقلُّ اهتمام الأشخاص الأصغر سنًّا بالعمل في هذه الصناعة، لكن من الواضح أننا سنحتاج إلى أشخاص في هذا المجال في المستقبل. وهنا يمكن للوكالة أن تساعد حقًّا من خلال تنظيم دورات التعلُّم الإلكتروني وتوفير التدريب لبناء المعرفة.

براميل مزدوجة الغرض في مرفق تخزين ZWILAG في سويسرا.

(الصورة من: ZWILAG)

التعلُّم من الماضي

ما تعلَّمت خلال أكثر من ٢٨ عاماً في مجال دورة وقود الطاقة النووية عن الأنظمة وإدارة المعارف وإدارة المرافق النووية

بقلم سوزان بيكرينج

سوزان بيكرينج، المديرة الفخرية لمختبرات ساندیا الوطنية، تمتدُّ خبرتها لأكثر من ٢٨ عاماً في مجال البحث والتطوير في المجال النووي في مختبرات ساندیا الوطنية.

يدور مؤتمر الوكالة الدولي المعنيّ بالتصرُّف في الوقود المستهلَك الناتج عن مفاعلات القوى النووية لعام ٢٠١٩ حول موضوع «التعلُّم من الماضي وتمكين المستقبل». وثمَّة دروس مهمة يجب تعلُّمها من خبرتنا الجماعية في العمل في مجال الطاقة النووية، سواء كنا قادمين من برامج ناضجة أو ناشئة في مجال الطاقة النووية، ويوفر المؤتمر مكاناً مثاليًّا لتقاسُمها.

وتتطلب برامج الطاقة النووية التزاماً طويل الأجل بالوقت والموارد إذا ما أريدَ لها أن تنجح. وينجم عنها العديد من التحدِّيات، التقنية وغير التقنية على السواء. وأنا عملتُ في مجال دورة الوقود النووي لأكثر من ٢٨ عاماً. وواجهت العديد من التحدِّيات وتعلَّمت الكثير والكثير من الدروس. واسمحوا لي أن أشارككم بعض ملاحظاتي وأفكاري في هذا المجال.

أنظمة الطاقة النووية معقَّدة ومتكاملة. وعلى سبيل المثال، مرافق التخلص عبارة عن أنظمة احتواء متعدِّدة الحواجز تتألف من شكل النفايات والحاويات والردم والصخور المستضيفة، وأداءُ كل مكوِّن منها يؤثر في المكوِّنات الأخرى. ولكن، كيف ستؤثر قرارات التخزين المتخذة اليوم في خيارات التخلص المستقبلية؟ وهل يمكن لحاوية الوقود المستهلَك أن تحُول دون وسيلة نقل معيَّنة أو مفهوم/موقع تخلُّص محدَّد؟ نحتاج إلى عرض هذه الأنظمة باستخدام نهج المهد إلى اللحد.

إذ يمكن أن تمتدَّ حياة المرافق النووية لعدة عقود. على مدى عُمر أي مرفق نووي، ستظهر أسئلة يجب الإجابة عنها مِن قبل أشخاص لم يؤدوا العمل الأصلي، بل ربما مِن قبل أشخاص لم يكونوا قد وُلدوا بعدُ عندما اكتمل العمل الأصلي! لذلك ينبغي البدء ببرنامج ضمان الجودة وإدارة المعارف في أقرب وقت ممكن.

وغالباً يمكن أن تُعزى المشكلات في المرافق النووية إلى أوجه قُصور في الأشخاص (people) أو الأجزاء (parts) أو الإجراءات (procedues)؛ ما يُعرف اختصاراً في اللغة الإنكليزية باسم Three Ps. ويتمتع الأشخاص الذين يشغلون مناصب قيادية بتأثير كبير في الجوانب الثلاثة المذكورة للتو. ومن شأن تطبيق برنامج قوي لضمان الجودة وإدارة المعارف أن يُدخل ضوابط لتعزيز هذه الجوانب الثلاثة. ومثل هذا البرنامج (١) سيوفِّر دلائل موضوعية على مؤهلات الموظفين، (٢) وسيوفِّر عملية لتسوية الآراء المهنية المختلفة، (٣) وسيضمن أن تكون المعدات والأجزاء كافية للاستخدام المقصود منها، (٤) وسيعزِّز الاتساق عن طريق تحديد عمليات العمل، (٥) وسيزيد مصداقية الأعمال التقنية وقابلية حمايتها، (٦) وسيتيح إدارة المعارف على امتداد عمر المشروع (٧) وسيقدِّم نظرة معمَّقة بشأن مشكلات المشروع وحلولها. ويُعدُّ برنامج ضمان الجودة وإدارة المعارف المصمَّم والمنفَّذ جيداً أحد العوامل الحاسمة لنجاح المشروع.

وأعتقد أنَّ هناك فئتين عريضتين من المعلومات يجب حفظهما ضمن برنامج ضمان الجودة وإدارة المعارف: المعلومات المحدَّدة بالمعايير التقليدية، على سبيل المثال سجلات ضمان الجودة، والمعلومات التي لم تحدِّدها مثل هذه المعايير، على سبيل المثال المنطق وراء القرارات الرئيسية. وغالباً ما يتم إغفال هذه الفئة الثانية من المعلومات على الرغم من أنها ضرورية لحماية المرافق النووية عند حدوث مشكلات. وعلى سبيل المثال، هل يُلمُّ المرفق النووي بالكيفية التي تُسفر فيها الأنشطة الحيوية عن النتائج والاستنتاجات؟ وهل يمكن استنساخها؟

وغالباً ما ينظر إلى الأنظمة النووية على أنها مثيرة للجدل. والأطراف المعنية متعدِّدة، وغالباً ما تكون لديها آراء متعارضة، وقد يكون ذلك مصدر صراع. ويجب تقدير تأثير الأطراف المعنية، إذ يمكنها التأثير في واضعي السياسات وصانعي القرارات. وعلى وجه العموم، تريد الأطراف المعنية المشاركة بصورة متكررة، والشفافية، والتأثير. والعلاقة بين المرفق النووي والأطراف المعنية به مهمة، ويجب استخدام الموارد لدعم تلك العلاقة. ومن شأن التعاون مع الجمهور والأطراف المعنية والحكومات المحلية أن يعزِّز احتمال النجاح.

حوض الوقود المستهلَك في الوحدة ٢ في محطة برونزويك للقوى النووية، الولايات المتحدة الأمريكية.

(الصورة من: الهيئة الرقابية النووية/الولايات المتحدة الأمريكية)

والحفاظ على مستوى عالٍ من تميُّز التشغيل مسألة صعبة على مدى العمر الطويل للمرافق النووية. ويمكن أن يقود الضغط لخفض التكاليف إلى اتخاذ قرارات غير حكيمة. ويمكن أن يقود تغيُّر الموظفين والتغيُّر في طواقم المؤسسة إلى فقدان المعارف. والرضا عن النفس يمكن أن ينمو مع مرور الوقت. والمرافق يزيد عمرها بمرور الوقت ويمكن أن تصبح أقلَّ موثوقية. وقد تظهر مَواطن ضعف جديدة غير متوقعة على مرِّ السنين، مثل ثغرات الفضاء الإلكتروني.

وفَهْم المخاطر مسألة بالغة الأهمية إذا ما أردنا إدارة برنامج نووي كما ينبغي. وفي العادة، تُصنَّف حوادث المرافق النووية ضمن فئة مخاطر «الأحداث ذات العواقب الوخيمة والاحتمالية المنخفضة». وعلى الرغم مِن أنَّ تقديرات تواتُر الحوادث منخفضة للغاية، إلا أنَّ العواقب قد تكون وخيمة ومكلفة وبعيدة الأمد. والأنظمة معقَّدة وتتطلب علوماً موثوقة وهندسة متطورة لضمان إدارة المخاطر بشكل صحيح. وتمثل القيادة ذات الكفاءة التقنية في الحكومة الراعية والوكالة الرقابية وفريق التنفيذ أحد عوامل النجاح الرئيسية.

ومِن بين الأدوات القوية المتاحة للقادة المراجعة المستقلة. ويمكن أن يتحقق ذلك في شكل استعراض نظراء أو تقييم مستقل. وتوفر الوكالة عدَّة أنواع من الاستعراضات. وفي جميع الحالات، يجب أن يكون المستعرِضون مؤهلين ومستقلين عن العمل قيد الاستعراض. فكلنا بشر ونرتكب الأخطاء. ويعتمد القادة الحكماء على الاستعراض المستقل عند النقاط الحاسمة لاتخاذ خطوات وقرارات من أجل تحديد المشكلات بينما الآثار ما زالت محدودة والحلول الواجب تنفيذها أقلّ تكلفة.

ويجب على القادة على جميع المستويات داخل منظمة ما أن يتبنَّوا سلوكيات تعزز ثقافة قوية للأمان النووي. وكلّ يوم وفي كل موقف، يجب عليهم إظهار التزامهم بالأمان، ومكافأة السلوكيات الإيجابية، وضبط السلوكيات السلبية. وهُم يتقبلون كثيراً أنه ستكون هناك مفاجآت، ويخططون للأحداث الطبيعية وغير الطبيعية. ويتعين عليهم أن يفهموا أوجه عدم اليقين، والمخاطر، والهامش، والدفاع في العُمق، والمرونة. والأشخاص ذوو الكفاءة هم عامل النجاح الأكثر أهمية لثقافة الأمان القوية. وكما قال الأميرال إتش. جي. ريكوفر، أبو الأمان النووي في الولايات المتحدة الأمريكية، فإنَّ «القواعد ليست بديلاً عن التفكير بعقلانية».

من المختبر إلى الحقل: علماء إندونيسيون يطوِّرون محاصيل جديدة للمزارعين باستخدام العلوم النووية

باحثو الوكالة الوطنية للطاقة النووية في إندونيسيا يحتفلون بنجاح أصناف الأرز المطوَّرة باستخدام التشعيع.

(الصورة من: الوكالة الوطنية للطاقة النووية (BATAN))

خلال السنوات القليلة الماضية، قامَ المزارعون في إندونيسيا بزراعة ما يكفي من الأرز لأكثر من ٢٠ مليون شخص باستخدام النباتات المطورة من خلال برنامج الاستيلاد الطفري للنباتات في إندونيسيا. وتجذَّر البرنامج لأول مرة من خلال التعاون مع الوكالة منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) في عام ١٩٩٧، ومنذ ذلك الحين توسَّع البرنامج ليصبح شبكة شراكة شاملة تنقل نتائج البحوث العلمية باستخدام التقنيات النووية إلى حقول المزارعين.

وفي هذا السياق، قال سوريانتورو، نائب رئيس الوكالة الوطنية للطاقة النووية (باتان) في إندونيسيا: «لقد استُخدمت التكنولوجيا النووية في إندونيسيا في مختلف مجالات الحياة، بما في ذلك الزراعة». وتابع قائلاً: «ومن خلال بحوث هندسة الطفر الإشعاعي، قامت باتان بتحسين جودة أنواع المحاصيل المحلية بحيث يمكن للمجتمع أن يستخدم على نطاق واسع البذور الجديدة والمحسَّنة».

وعندما بدأ أول مشروع للتعاون في مجال استيلاد النباتات مع الشعبة المشتركة بين الفاو والوكالة لاستخدام التقنيات النووية في الأغذية والزراعة في عام ١٩٩٧، تلقى العلماء في معاهد البحوث التابعة لباتان أحدث المعدات، والتدريب المكثف على التكنولوجيات النووية، والدعم من الخبراء من خلال المشاريع البحثية المنسَّقة ومشاريع التعاون التقني التابعة للوكالة. وهو ما وضع حجر الأساس لبرنامج الاستيلاد الطفري للنباتات في إندونيسيا.

وتمَّ تطوير أكثر من ٣٥ صنفاً جديداً من المحاصيل، بما في ذلك فول الصويا والأرز، من خلال البرنامج. ويتمُّ استيلاد الأصناف الجديدة باستخدام التشعيع ويتمُّ اختيارها بناءً على خصائصها المحسَّنة مقارنةً بالأصناف المحلية الأخرى، مثل الغلة الأوفر، وقِصَر فترة الزراعة، ومقاومة ضغوطات تغيُّر المناخ والأمراض (انظر الاستيلاد الطفري للنباتات). وبمجرد أن تكون جاهزة، تتمُّ مضاعفة بذور هذه المحاصيل الجديدة وإتاحتها للمزارعين.

وقال أ. صديق تانويو، مسؤول وزارة الزراعة في جاوة الشرقية: «من المهم إنتاج المزيد من البذور لزيادة المساحة المزروعة. وسيسهم ذلك في زيادة الإنتاجية ودخل المزارعين».

وللمساعدة في ضمان الاستخدام الواسع النطاق لهذه الأصناف الجديدة من المحاصيل، نما البرنامج ليصبح شبكة شراكة شاملة تمهِّد الطريق للزراعة على نطاق واسع. ويعتمد هذا النموذج على التعاون بين معاهد البحوث، والوزارات، والوكالات الحكومية، وشركات استيلاد البذور، وتعاونيات المزارعين، والأطراف المعنية في الأسواق، ومجموعات التصدير. وتمتدُّ هذه الشراكات عبر سلسلة الإمداد بأكملها، بدءاً من تطوير البذور وتكاثُرها وحتى التوزيع والزراعة في الحقول.

وقال توتي تجيبتوسوميرات، رئيس مركز تطبيق تكنولوجيا النظائر والإشعاعات التابع لباتان: «البرنامج، الذي يضمُّ العديد من الوزارات والمؤسسات الوطنية وثلاث منظمات دولية، صُمِّم للعمل من المراحل الأولية إلى المراحل النهائية. ففي المراحل الأولية، تطوِّر باتان بذور متفوقة؛ ثم تقوم وزارة الزراعة بتوزيع البذور على مُنتجي البذور، وفي المرحلة التالية تقوم وزارة الصناعة بنقل هذا الابتكار نحو الشركات صغيرة ومتوسطة الحجم أو الشركات الناشئة».

زراعة المزيد من الأرز في أنحاء البلاد

تتمُّ حاليًّا زراعة ثلاثة أصناف جديدة من الأرز، من أصل ٢٣ صنفاً طوَّرتها باتان، في مناطق مختلفة من البلاد. وتمَّ اختيار نباتات الأرز الثلاثة، المعروفة باسم Bestari وInpari Sidenuk وMustaban، لأنها يمكن أن تنتج، في المتوسط، كمية أرز إضافية تزيد على ١٥٠٪ وفي وقت أقصر من الأصناف المحلية الأخرى. كما أنها أكثر مقاوَمة للتغيرات في المناخ، وكذلك للأمراض والحشرات.

وقال حميد، الذي يقوم باستيلاد البذور في سيرانج، مقاطعة بانتن: «في منطقتي، تُشاهد حشرة قفَّاز النبات في كل مكان، وعندما رأيت نباتات Mustaban الجيدة النوعية، شكرت الله على أن حشرة قفَّاز النبات لا تؤثر فيها».

وفي مكان قريب، في قرية كاسيمان، يضيف تاتانغ، وهو يقوم أيضاً باستيلاد البذور: «لم يتعيَّن علينا استخدام المبيدات الحشرية. وبمجرد ظهور أزهار نباتات Mustaban، لم نشاهد لحشرة البقِّ ذات الرائحة الكريهة أيَّ أثر».

ويخطط الخبراء في باتان مواصلة البحث والتطوير لتوسيع عدد الأصناف النباتية الجديدة والأخذ بتعقيبات المزارعين في الحسبان لزيادة صقل وتحسين أداء النباتات. وسيتمُّ توجيه البحوث نحو تحسين كيفية نمو النباتات باستخدام الممارسات الزراعية المحلية، مثل أنظمة الأسمدة، وتحت الظروف البيئية المختلفة، مثل التربة المحلية، والرياح العاتية، والأمطار الغزيرة.

— بقلم إدريس هابودين

الأخصائيون المهنيون في المجال النووي يشاركون في كيفية الترويج لثقافات أمان أمتن: دورة الوكالة التعليمية حول القيادة فيما يتعلق بالأمان

مهنيون في بداية ومنتصف حياتهم المهنية يتعلمون مهارات القيادة فيما يتعلق بالأمان من خلال تمارين جماعية في إطار دورة الوكالة التعليمية حول القيادة فيما يتعلق بالأمان.

(الصورة من: جيه. جل مارتن/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

قال مشاركون في دورة الوكالة التعليمية حول القيادة فيما يتعلق بالأمان في المجالين النووي والإشعاعي، التي عُقدت في أنقرة، تركيا، في الفترة من ٢٢ نيسان/أبريل إلى ٣ أيار/مايو ٢٠١٩، إن القيادة فيما يتعلق بالأمان النووي وتطوير ثقافة أمان قوية ضمن المنظمات إنما يتطلَّب إتاحة مساحة لإجراء مناقشات مفتوحة وذات مغزى فيما بين المهنيين النوويين من مختلف الخلفيات.

وتُعدُّ القيادة فيما يتعلق بالأمان مهمة بشكل خاص في بيئات العمل النووي والإشعاعي، في كل من الحالات الروتينية والطارئة، بسبب تعقيداتها الكامنة. وتساعد دورة الوكالة التعليمية حول القيادة فيما يتعلق بالأمان المهنيين النوويين والإشعاعيين في بداية ومنتصف حياتهم المهنية على تطوير المهارات التي ستلزمهم للقيادة فيما يتعلق بالأمان طوال حياتهم المهنية.

وشارك في الدورة ما مجموعه ٢٩ مهنيًّا من هيئات رقابية، ومشغِّلين نوويين، ومنظمات تقنية من ١٤ بلداً. وقام المشاركون بتحليل دراسات الحالة، وأجروا تمارين، وشاركوا في مناقشات، واستمعوا إلى عروض الخبراء المدعوين بشأن الأمان النووي والإشعاعي، بما في ذلك التأهُّب لحالات الطوارئ. وعُقدت الدورة في إطار مشروع تعاون تقني للوكالة بشأن تعزيز أنشطة بناء القدرات في منظمات الأمان الإشعاعي والنووي الأوروبية للتشغيل المأمون للمرافق.

وقال المشاركون إنَّ الدورة وفَّرت بيئة للمناقشات حول بناء القيادة فيما يتعلق بالأمان وقدَّمت لهم الإلهام والاستراتيجيات لتنفيذ مثل هذه القيادة في مؤسساتهم.

تقديم طرق جديدة للتواصل داخل الأفرقة

أبرزت ميلينيا ستيليتش، مديرة وحدة التعاون الدولي وإدارة المشاريع بمديرية الأمان والأمن الإشعاعي والنووي الصربية، أهمية السلوكيات الشخصية واستخدام أدوات معينة لبناء أفرقة قوية لتعزيز الأمان.

وقالت ستيليتش: «شجعتني هذه الدورة على التفكير بطريقة جديدة، لا سيما فيما يتعلق بدوري كقائد وكيفية الموازَنة بين مخرجاتي المهنية والقدرة على إلهام أعضاء فريقي من خلال أفعالي الشخصية». وتابعت قائلة: «جمعت الدورة بين العروض التقديمية والمحاضرات ودراسات الحالة، والعمل الجماعي، والألعاب والزيارات التقنية، وكشفت عن سلوكياتنا القيادية وقدَّمت لنا مجموعة من أدوات القادة لكي نستخدمها يوميًّا».

وأضافت قائلة: «وأريد إدخال تمارين بناء الفريق والمناقشات المنتظمة لدراسات الحالة ضمن فريقي واستخدام الأدوات القيادية الجديدة لتقييم أداء فريقي. ومن الناحية المثالية، أودُّ إدخال هذه الفكرة في المنظمة بأكملها، فأنا أودُّ أن يكون لدينا جميعاً اتصال أكثر انفتاحاً من أجل بناء ثقافة أمان قوية في مؤسستنا.»

تعزيز الالتزام بالقيادة بين جميع أعضاء الفريق

وأكدت مشارِكة أخرى هي أيسل حسنوفا، كبيرة المستشارين في إدارة التشريعات والمعايير التقنية في الوكالة الحكومية الأذربيجانية المعنية بتنظيم الأنشطة النووية والإشعاعية، على دور البرامج المناسبة في إلهام المهنيين في مجال الأمان النووي، وأشارت إلى أن جميع أعضاء الفريق، وليس المديرين فحسب، يمكن أن يكونوا قادة فيما يتعلق بالأمان.

وقالت حسنوفا: «سلوكيات القادة تؤثر تأثيراً قويًّا في الأمان. والقيادة فيما يتعلق بالأمان تعني رغبة مستمرة في التطوير وأن يكون المرء نموذجاً يُحتذى به أمام جميع أعضاء الفريق، بغضِّ النظر عما إذا كان هذا الشخص مديراً أم لا. وأنا أعمل على الترويج لثقافة أمان قوية ونقل المعارف من المهنيين ذوي الخبرة، وإشراك المهنيين الشبَّان والنساء المهنيات، وأنا ملتزمة بإدخال أدوات جديدة لتنمية الموارد البشرية في جميع أنحاء البلاد، ولذلك اخترت المشاركة في هذه الدورة».

وتابعت قائلة: «في السابق، اعتقدتُ أن المرء يولَد قائداً، لكنني أعتقد الآن أنه يمكن للجميع إطلاق العنان لمهاراتهم القيادية وتطويرها». «الأشياء لا تُنجز في يوم واحد، لكننا بحاجة إلى أن نبدأ بأهداف واضحة وأن نقدِّم التزاماً كبيراً من أجل تحقيقها».

— بقلم نتالي ميخائيلوفا

فييت نام تعزِّز جودة الأغذية باستخدام التشعيع

خضوع المنتجات الغذائية لعمليات التشعيع في مركز VINAGAMMA باستخدام جهاز التشعيع بحُزم الإلكترونات، كما هو في الصورة، وجهاز تشعيع بأشعة غاما.

(الصورة من: إ. مارياس/الوكالة)

صباح كلّ يوم، تصطفُّ مئات الصناديق المملوءة بالمأكولات البحرية المجمَّدة، والفواكه المجفّفة والخضروات، وأدوية الطب الشرقي التقليدي والأطعمة الصحية في غرفة تخزين بمدينة هو شي مينه، فييت نام. وستخضع هذه الصناديق لعملية على غرار الفحص الأمني الذي يتمُّ في المطارات، ولكن بحُزَم ذات كثافة أعلى من الفوتونات أو الإلكترونات، في إطار برنامج لتشعيع الأغذية تمَّ تركيبه بدعم من الوكالة خلال العقدين الماضيين.

واعتماداً على الجرعة، يضمن تشعيع الأغذية أنَّ الخضروات الجذرية والفواكه لا تخرج براعمها أو تنضج قبل الأوان؛ وأن الطفيليات قد قُضي عليها وأن البهارات غير مُلوَّثة؛ وأن السالمونيلا قد تمَّ تدميرها وأن الفطريات التي قد تُفْسِد اللحوم والدواجن والمأكولات البحرية قد تمَّ القضاء عليها.

وأُدْخِلَت عملية تشعيع الأغذية لأول مرة في فييت نام في عام ١٩٩٩ بمساعدة الوكالة ومنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، وفُتِح سوق كبير للمنتجات المشعَّعة منذ ذلك الوقت، مما زاد بشكل كبير من قدرة الشركات على تصدير منتجاتها الغذائية. وقد تطور تشعيع الأغذية ليصبح ركناً أساسيًّا في صناعة الأغذية في البلد ومساهماً مهمًّا في قدرته التنافسية في مجال الزراعة.

وقال تساو فان شنغ، رئيس إدارة حُزم الإلكترونات في مركز بحوث وتطوير التكنولوجيا الإشعاعية (مركز VINAGAMMA) التابع للمعهد الفييتنامي للطاقة الذرية: «في عام ١٩٩٩، كنا نُشعِّع ٢٥٩ طنًّا من الأغذية سنويًّا، وقد ارتفع هذا إلى ١٤٠٠٠ طن بحلول عام ٢٠١٧». وتابع قائلاً: «ويُظهر ذلك طفرة حقيقية في الطلب على عملنا. ونحن اليوم أحد المرافق الرائدة في البلد في مجال التكنولوجيا الإشعاعية، ونحتل موقع الريادة في مجال تشعيع الأغذية».

إدخال التشعيع بأشعة غاما وبحُزم الإلكترونات

أصبح هذا النمو الكبير ممكناً بفضل إدخال طريقتين للتشعيع. وأُدخِل جهاز التشعيع بأشعة غاما في عام ١٩٩٩ ويستخدم طاقة مؤيِّنة من مصدر مشع مدرَّع في غرفة خرسانية، أما جهاز التشعيع بحُزم الإلكترونات فهو قيد الاستخدام منذ عام ٢٠١٣. ولا تعتمد أجهزة التشعيع بحُزم الإلكترونات على مصدر مشعٍّ، ولكنها تستخدم تدفقات من الإلكترونات المشحونة بدرجة عالية تصدرها معدات متخصصة مثل المعجِّل الإلكتروني الخطي. ولا تتلامس الأغذية مطلقاً مع المادة المشعَّة، ويحافظ التشعيع على جودة الأغذية ويزيد من سلامتها دون أن يترك أي بقايا للنشاط الإشعاعي.

وقال شنغ إنه في حين أن عملية التشعيع المتبعة في كلتا الطريقتين متماثلة، لكن لكلٍّ منهما مزايا خاصة وتكميلية. ويَسْتَخْدِم جهاز التشعيع بأشعة غاما صناديق طويلة من الألومنيوم، تتسع لطائفة واسعة من أحجام المنتجات، وتُنقل الصناديق عبر غرفة التشعيع حول المصدر المشعِّ المعلَّق من نظام عُلوي أحادي المسار. وتحتاج المنتجات الغذائية إلى جولتين من التشعيع لضمان معالجة جميع جوانب المنتج المُغَلَّف على نحو كافٍ.

ومن ناحية أخرى، يحتوي جهاز التشعيع بحُزم الإلكترونات على حُزم مزدوجة الجوانب، مما يجعل عملية التشعيع أسرع ثلاث مرات من استخدام جهاز التشعيع بأشعة غاما، والسبب هو أنه يمكن تشعيع المنتج بأكمله في جولة واحدة. غير أنَّ جهاز التشعيع بحُزم الإلكترونات له بُعْد محدود، حيث يبلغ الحد الأقصى لحجم الصندوق ٦٠x٣٠x٥٠ سم ولوزنه ١٥ كغم، لذلك يجب استخدام التشعيع بأشعة غاما مع المنتجات الأكبر حجماً والأثقل وزناً. ويعمل الجهازان جنباً إلى جنب، على مدار ٢٤ ساعة طوال أيام الأسبوع، ولا يتوقفان عن العمل إلا خلال فترة السنة الفييتنامية الجديدة.

وقبل إدخال جهاز التشعيع بأشعة غاما وجهاز التشعيع بحُزم الإلكترونات، كان يُمْنَع تلف المنتجات الغذائية مثل المأكولات البحرية والفواكه والخضروات باستخدام الطرق التقليدية التي منها التعليب والتبريد والتجميد والمواد الحافظة الكيميائية، والتي أعاقت، نظراً للفعالية المنخفضة، قدرة المصنِّعين على تصدير منتجاتهم.

وتمَّ الحصول على جهازَيْ التشعيع المذكورين بدعم من برنامج الوكالة للتعاون التقني، الذي قدَّم كذلك للموظفين التدريب ومشورة الخبراء. وفييت نام واحدة من ٤٠ بلداً تستفيد من دعم الوكالة في هذا المجال.

النمو في استخدام التكنولوجيا الإشعاعية

زاد عدد موظفي مركز VINAGAMMA من ٢٠ موظفاً عند إنشائه في عام ١٩٩٩ إلى ٧٩ موظفاً في الوقت الحاضر. ويقدِّم المركز،

إلى جانب خدمات تشعيع الأغذية، التعقيم الإشعاعي للمنتجات الطبية والمواد الغذائية المبسترة، ويسوِّق تجاريًّا منتجاته الناتجة عن البحث والتطوير، مثل مواد حماية النباتات المستخدمة في الزراعة وهُلامات الذهب والفضة النانوية المستخدمة في الطب.

كما يضطلع مركز VINAGAMMA بالبحث والتطوير ويقدّم التدريب في مجال التكنولوجيا الإشعاعية. ويعمل المركز مع شركاء دوليين للتوصل إلى طرق لمواصلة تحسين التكنولوجيا الإشعاعية.

— بقلم إستل مارياس

الوكالة تطوِّر أسلوباً جديداً لتتبُّع مصادر تلوُّث المياه

النترات المفرطة في البحيرات والبحار والأنهار يمكن أن تزيد من نمو الطحالب التي يمكن أن تؤدي تكاثر الطحالب الزرقاء-الخضراء السامة. طوَّرت الوكالة، بالتعاون مع جامعة ماساتشوستس في دارتموث، أسلوباً مبتكراً لتتبُّع أصل التلوُّث بالنترات في المياه.

(الصورة من: ليونارد فاسينار/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

طوَّرت الوكالة، بالتعاون مع جامعة ماساتشوستس، أسلوباً مبتكراً لتتبُّع أصل التلوُّث بالنيتروجين في البحيرات والبحار والأنهار.

وتوفر الأداة التحليلية المشتقة من المجال النووي طريقة أرخص ثمناً وأكثر أماناً وأسرع لتحديد ما إذا كانت مركبات النيتروجين المفرطة في الماء نابعة من الزراعة أو شبكات الصرف الصحي أو الصناعة، ما يساعد في جهود الوقاية والعلاج. ويُعدُّ النيتروجين، وهو أحد العناصر الأساسية والوفيرة على وجه الأرض، أحد الأسمدة المهمَّة المستخدَمة على نطاق واسع في الزراعة منذ منتصف القرن العشرين. وقال ليونارد فاسينار، رئيس قسم الهيدرولوجيا النظيرية في الوكالة: «أحد أبرز المشكلات العالمية من حيث جودة المياه أننا نفرط في تسميد مناظرنا الطبيعية منذ عقود، إما بالأسمدة العضوية أو الأسمدة الاصطناعية. وكل هذه المغذِّيات، وخاصة أشكال النيتروجين مثل النترات، تتسرَّب إلى المياه الجوفية وتجد طريقها في نهاية الأمر إلى الأنهار والبحيرات والجداول».

وتزيد مستويات النترات المفرطة مِن نمو الطحالب التي يمكن أن تؤدي إلى تكاثر الطحالب السامَّة على سطح البحيرات. ويمكن أن تتسرَّب هذه المياه أيضاً إلى قعر البحيرات، وهو ما يغذِّي البكتيريا ويوجِد ما يُعرف باسم «المناطق الميتة». وفي هذا السياق قال فاسينار: «نشاهد اليوم المزيد من حوادث نُفوق الأسماك، حيث تطفو آلاف الأسماك إلى السطح لأن الأكسجين في قعر البحيرة، موطنها المعتاد، قد نضب بسبب هذا المطر المنهمر من المواد العضوية».

وإنَّ إزالة النترات من الماء أمر صعب ومكلف للغاية، لذلك ثمة حاجة إلى أدوات لفهم مصادر النيتروجين ومساراته من أجل توجيه جهود حماية المياه واستصلاحها بشكل أفضل.

ويقيس الأسلوب الجديد، الذي نُشر عنه في الدورية Rapid Communications in Mass Spectrometry، كمية ونسبة نظائر النترات المستقرة في الماء. ويحتوي النيتروجين على نظيرَيْن مستقرَّيْن، أو أشكال من ذراته، بأوزان مختلفة. ولأن هذا الاختلاف في الوزن ليس هو نفسه في الفضلات البشرية أو الأسمدة، على سبيل المثال، يمكن استخدام النظائر لتحديد المصدر.

وقال فاسينار: «الأدوات النظيرية قوية للغاية في قياس المغذيات في الماء، لكن تاريخيًّا كان استخدامها بالغ الصعوبة، حيث أعاقت ذلك التكلفة وإمكانية الوصول إليها. والتقنية الجديدة تسمح للعلماء اختبار المزيد من العينات، وبتكلفة أقلّ بكثير، لإجراء دراسات واسعة النطاق. وأعتقد أن هذه التقنية تحقِّق تغيُّراً فارقاً تماماً».

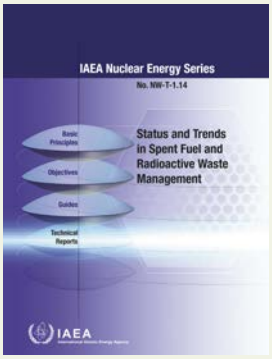
ويستخدم الأسلوب الجديد شكلاً من أشكال كلوريد التيتانيوم، وهو ملح، لتحويل النترات في عينة ماء إلى غاز أكسيد النيتروز. ومن هذا الغاز، يمكن تحليل النظائر باستخدام معدات مثل المِطياف الكتلي أو الليزر. وتستخدم الأساليب الراهنة البكتيريا المعدَّلة وراثيًّا أو معدن الكادميوم عالي السُّمية لتحويل أكسيد النيتروز، ما يجعلهما خيارَيْن شاقَّين ومُكلفين، وليقتصر استخدامهما على عدد قليل من المختبرات المتخصِّصة للغاية.

وقال مارك ألتابت، أستاذ علوم مصبَّات الأنهار والمحيطات في كلية علوم وتكنولوجيا البحار بجامعة ماساتشوستس في دارتموث: «هذا الأسلوب بسيط نسبيًّا بعد أن كانت عملية معقدة ومكلفة للغاية». وتكلفة تحليل العينة خمس إلى عشر مرات أقلّ مما كان عليه في السابق، ويستغرق الأمر دقائق فقط لإعداد العينات.

ويخطط ألتابت لاستخدام هذا الأسلوب لدراسة تأثير تدابير التحكم في التلوث في لونغ آيلاند ساوند، وهو مصبٌّ على الساحل الشرقي للولايات المتحدة، والذي تأثَّر بشدَّة بالنترات المفرطة في الماضي.

وتشجِّع الوكالة على تطبيق التقنيات النووية والنظيرية لتحديد مصدر المياه وعمرها وجودتها واستدامتها، من أجل مساعدة البلدان على إدارة هذا المورد الحيوي بشكل أفضل.

— بقلم لوتشيانا فيغاس

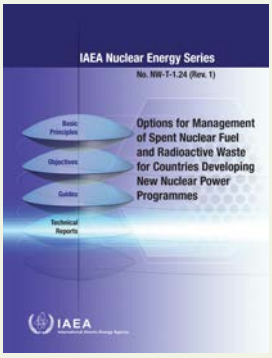


الحالة والاتجاهات بشأن التصرُّف في الوقود المستهلَك والنفايات المشعَّة

يوفِّر نظرة عامَّة عالمية عن حالة التصرُّف في النفايات المشعَّة والوقود المستهلَك فيما يتعلق بالمخزونات، والبرامج، والممارسات الراهنة، والتكنولوجيات، والاتجاهات. ويتضمَّن تحليلاً للترتيبات والبرامج الوطنية للتصرُّف في النفايات المشعَّة والوقود المستهلَك، ولمحة عامة عن المخزونات الراهنة من النفايات المشعَّة والوقود المستهلَك وتقديرات الكميات المستقبلية. ويتناول أيضاً الاتجاهات الدولية والوطنية في هذين المجالين.

العدد NW-T-1.14 من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة؛ ISBN: 978-92-0-108417-0؛ الطبعة الإنكليزية؛ ٣٩,٠٠ يورو؛ ٢٠١٨

www.iaea.org/publications/11173/status-and-trends

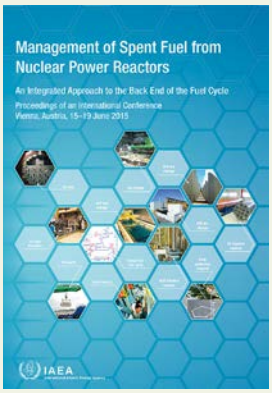


خيارات التصرُّف في الوقود المستهلَك والنفايات المشعَّة في البلدان التي تطوِّر برامج جديدة للقوى النووية

يقدّم موجزاً مقتضباً لأبرز المسائل المتعلقة بوضع نظام محكَم للتصرُّف في النفايات المشعَّة والوقود النووي المستهلَك. والغرض منه هو إطلاع البلدان التي لديها برامج صغيرة أو حديثة العهد للقوى النووية على تحدِّيات التصرُّف فيما ينجم عن تشغيل محطات القوى النووية وإخراجها من الخدمة من نفايات مفاعلات ووقود مستهلَك، ووصف البدائل الحالية والممكنة لذلك.

العدد NW-T-1.24 (Rev.1) من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة؛ ISBN: 978-92-0-103118-1؛ الطبعة الإنكليزية؛ ٣٢,٠٠ يورو؛ ٢٠١٨

www.iaea.org/publications/12255/options-for-management

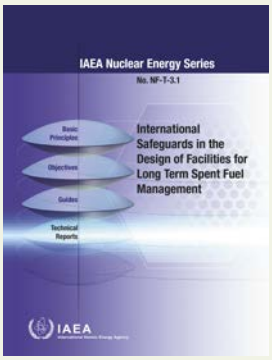


التصرُّف في الوقود المستهلَك الناتج عن مفاعلات القوى النووية: نهج متكامل بشأن المرحلة الختامية لدورة الوقود

يعرض نتائج مؤتمر الوكالة الدولي المعني بالتصرُّف في الوقود المستهلَك الناتج عن مفاعلات القوى النووية لعام ٢٠١٥، حيث شهد المؤتمر تقاسُم واستعراض الإنجازات والدروس المستفادة فيما يتعلق بالمرحلة الختامية من دورة الوقود النووي والتحديات ذات الصلة. وتمثَّلت الأهداف الرئيسية للمؤتمر في زيادة الوعي بشأن كيف يمكن للتطورات في توليد القوى وتوافرية التخلُّص أن تؤثر في التصرُّف في الوقود المستهلَك، وتقييم التقدُّم المحرَز في مجال التصرُّف في الوقود المستهلَك الناتج عن مفاعلات القوى منذ بدء مؤتمرات الوكالة بشأن هذا الموضوع، وتحديد المسائل المعلقة والتحديات المستقبلية المتوقعة.

وقائع المؤتمر الدولي؛ ISBN: 978-92-0-101819-9؛ الطبعة الإنكليزية؛ ٢٨,٠٠ يورو؛ ٢٠١٩

www.iaea.org/publications/13488/management-of-spent-fuel



الضمانات الدولية في تصميم مرافق التصرف الطويل الأجل في الوقود المستهلَك

يستهدف مُصمِّمي ومُشغِّلي المرافق للتصرُّف طويل الأجل في الوقود المستهلَك. ويمكن أن يستفيد البائعون والسلطات الوطنية والداعمون الماليون من المعلومات المقدَّمة. ويتمِّم هذا المنشور الاعتبارات العامة التي تناولها «الضمانات الدولية في مجال تصميم وتشييد المرافق النووية»، العدد NP–T–2.8 من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة.

العدد NF-T-3.1 من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة؛ ISBN: 978-92-0-100717-9؛ الطبعة الإنكليزية؛ ٣٦,٠٠ يورو؛ ٢٠١٨

www.iaea.org/publications/10806/international-safeguards

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

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

ISSN 1819-1800 19-01908

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

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

أو تابعونا على

المؤتمر الدولي بشأن

تغيُّر المناخ ودور القوى النووية

٧-١١ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٩، فيينا، النمسا

مؤتمر تنظِّمه

IAEA

الوكالة الدولية للطاقة الذرية

تسخير الذرة من أجل السلام والتنمية

#Atoms4Climate

CN-275