IAEA BULLETIN

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية

منشور الوكالة الرئيسي | نيسان/أبريل 2023 | www.iaea.org/bulletin

إخراج المرافق النووية من الخدمة

الروبوطات والذكاء الاصطناعي والنماذج الثلاثية الأبعاد:
مساهمة الإنجازات التكنولوجية المتقدمة في إخراج المرافق النووية من الخدمة، **ص.14**

مراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة في التصميم:
المفاعلات المتقدمة المصممة مع وضع اعتبارات التخلص في الحسبان، **ص.16**

الاقتصاد الدائري: مساهمته في تحويل أنشطة إخراج المرافق النووية من الخدمة، **ص. 18**

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية

يصدرها مكتب الإعلام العام والاتصالات
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

Vienna International Centre

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

المحرِّرة: إستل ماريه
مديرة التحرير: إيما ميدجلي
التصميم والإنتاج: ريتو كين
الرسوم المعلوماتية: أدريانا فارجاس تيرونس

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

يمكن استخدام مقتطفات من مواد الوكالة التي تتضمنها مجلة الوكالة في مواضع أخرى بِحُرِّية، شريطة الإشارة إلى مصدرها. وإذا كان مبيَّناً أنَّ الكاتب من غير موظفي الوكالة، فيجب الحصول منه أو من المنظمة المصدِرة على إذن بإعادة النشر، ما لم يكن ذلك لأغراض الاستعراض. ووجهات النظر المُعرَب عنها في أي مقالة موقَّعة واردة في مجلة الوكالة لا تُمثِّل بالضرورة وجهة نظر الوكالة الدولية للطاقة الذرية، ولا تتحمَّل الوكالة أي مسؤولية عنها.

الغلاف:
(الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

تابعونا على

IAEA

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

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

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

وتوفِّر معايير الأمان الصادرة عن الوكالة منظومة من مبادئ الأمان الأساسية، وتجسِّد توافقاً دوليًّا في الآراء حول ما يشكِّل مستوى عالياً من الأمان لحماية الناس والبيئة من التأثيرات الضارة للإشعاعات المؤينة. وقد وُضِعت معايير الأمان الخاصة بالوكالة لتطبيقها في جميع أنواع المرافق والأنشطة النووية التي تُستَخدَم للأغراض السلمية، وكذلك لتطبيقها في الإجراءات الوقائية الرامية إلى الحد من المخاطر الإشعاعية القائمة.

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

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

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

التصدي للتحديات في مجال الإخراج من الخدمة

بقلم: رافائيل ماريانو غروسي، المدير العام للوكالة

مع تزايد عدد البلدان التي تأخذ بالقوى النووية من أجل تحسين أمن الطاقة والتخفيف من آثار تغير المناخ، من المتوقع أن تتفاقم التحديات التي ينطوي عليها إخراج المرافق النووية من الخدمة بنجاح. ويتمثَّل أحد العوامل الحاسمة الأهمية في معالجة هذه التحديات في التصدي لها من البداية.

واليوم، هناك أكثر من 56 مفاعلاً قيد التشييد حول العالم، وتشرع بلدان عديدة في تنفيذ خطط للتوسُّع في أسطولها النووي أو إنشاء برنامج للقوى النووية للمرة الأولى.

وقد صار التفكير الاستباقي والابتكار يؤديان في الوقت الراهن دوراً محوريًّا فيما يتعلق بنهاية دورة حياة المفاعلات النووية. وتُصمَّم محطات القوى النووية الجديدة، بما في ذلك المحطات القائمة على مفاعلات نمطية صغيرة، مع وضع إخراجها من الخدمة في الحسبان. وبعبارة أخرى، فإنَّ مصممي مفاعلات القوى النووية يخططون للكيفية التي سيجري بها تفكيك تلك المفاعلات حتى قبل أن يبدأ تشييدها.

وتضطلع الوكالة بدور عالمي فريد في تيسير الأخذ بالتكنولوجيات النووية الناشئة، مع العمل في الوقت نفسه على تعزيز التنسيق بين اللوائح حتى يمكن إخراج المرافق من الخدمة بأمان وكفاءة متى آن الأوان.

ومن المتوقع أن نسبة تقارب النصف من مفاعلات القوى النووية التي يعتمد عليها العالم اليوم، والبالغ عددها 423 مفاعلاً، سوف تدخل عملية الإخراج من الخدمة بحلول عام 2050. ومن الممكن أن يحتاج كلُّ مفاعل من هذه المفاعلات إلى فترة تصل إلى 20 عاماً أو أكثر حتى يتم إخراجه من الخدمة بالكامل.

وتعمل الوكالة على مساعدة البلدان على ضمان تنفيذ أعمال الإخراج من الخدمة ضمن الأطر التقنية والرقابية الملائمة، من خلال الترويج لمعايير الأمان والممارسات الدولية الجيدة عن طريق عقد حلقات العمل والمنتديات وإيفاد البعثات وإصدار المنشورات.

وتأتي عملية الإخراج من الخدمة في إطار تحمُّل المسؤولية والالتزام بمفهوم الاقتصاد الدائري في دورة الحياة الصناعية والنووية. ويتزايد مقدار المواد التي تجري إعادة تدويرها، مع تحقيق وفورات في التكاليف وتكثيف الأطر الزمنية. وفي الوقت نفسه، تشهد أنشطة الإخراج من الخدمة تحسُّناً على صعيد الأمان والفعالية بفضل التكنولوجيات الجديدة مثل علوم البيانات والذكاء الاصطناعي والروبوطات والطائرات بلا طيار.

وتحرص الوكالة على تقاسم الدروس والابتكارات التي تتمخض عنها المشاريع الناجحة في مجال الإخراج من الخدمة، بما في ذلك من خلال شبكتها الدولية المعنية بالإخراج من الخدمة. وتؤدي الوكالة أيضاً دوراً حيويًّا في ضمان الأمان، حتى في الظروف المفعمة بالتحديات. ففي حالة حادث فوكوشيما داييتشي النووي في عام 2011، كان الأمر يتطلب ابتكارات مثل استخدام تقنية رسم الخرائط باستخدام ميونات الأشعة الكونية للمساعدة على تحديد أماكن الوقود التالف، وبناء جدار من التربة المتجمدة تحت الأرض لمنع اختلاط المياه الجوفية بالمياه الملوثة داخل مباني المفاعلات، واستخدام الروبوطات لتنفيذ الأعمال في المناطق التي يتعذر الوصول إليها. وقد ساعدت هذه الابتكارات على النهوض بالفعالية والكفاءة مع التقليل إلى أدنى حد من المخاطر على العاملين وعموم الجمهور والبيئة المحيطة.

وفي حين أن الأمان له أهمية بالغة، فإنَّه ليس الاعتبار الوحيد. فالضمانات عامل رئيسي في عملية الإخراج من الخدمة. فمفتشو الوكالة يكونون حاضرين عند نقل الوقود المستهلك أو التخلص منه للتحقق من عدم تحريف المواد المستخدمة في محطات القوى النووية عن الاستخدامات السلمية.

وتدعم الوكالة التعاون الدولي وتقاسم المعارف، ولكليهما أهمية حيوية في تلبية الطلب العالمي المتزايد على خدمات إخراج المرافق النووية من الخدمة. ومن المهم أن توضع المرحلة الختامية من دورة الوقود النووي على نحو سليم حتى يمكن للطاقة النووية أن تؤدي دوراً كاملاً ومستداماً في معالجة أكثر التحديات العالمية إلحاحاً، من التخفيف من آثار تغير المناخ وتلوث الهواء، إلى توفير أمن الطاقة وإتاحة الطب النووي لمكافحة السرطان وأمراض القلب.

”تحرص الوكالة على تقاسم الدروس والابتكارات التي تتمخض عنها المشاريع الناجحة في مجال الإخراج من الخدمة، بما في ذلك من خلال شبكتها الدولية المعنية بالإخراج من الخدمة. وتؤدي الوكالة أيضاً دوراً حيويًّا في ضمان الأمان، حتى في الظروف المفعمة بالتحديات.“

– رافائيل ماريانو غروسي، المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية

(الصور من: الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

1 التصدي للتحديات في مجال الإخراج من الخدمة

4 إخراج المرافق النووية من الخدمة
معالجة أحداث الماضي وضمان المستقبل

8 رسم معلوماتي: إخراج محطة للقوى النووية من الخدمة

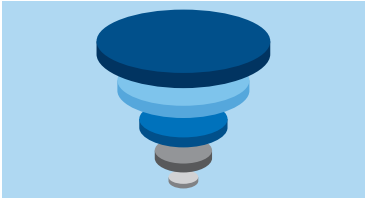
10 سلوفاكيا: مثال يُحتذى به عالمياً في مجال إخراج محطات القوى النووية من الخدمة

12 الجيل المقبل من الأدوات يتيح إخراج المفاعلات النووية من الخدمة على نحو أسرع وأكثر فعالية بعد الحوادث العنيفة

14 الروبوطات والذكاء الاصطناعي والنماذج الثلاثية الأبعاد
مساهمة الإنجازات التكنولوجية المتقدمة في إخراج المرافق النووية من الخدمة

16 مراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة في التصميم
المفاعلات المتقدمة المصممة مع وضع اعتبارات التخلص في الحسبان

18 الاقتصاد الدائري: مساهمته في تحويل أنشطة إخراج المرافق النووية من الخدمة



20 رسم معلوماتي: التصرف في النفايات المشعة الناتجة عن الإخراج من الخدمة

24 ازدهار متوقع في سوق إخراج المرافق النووية من الخدمة

26 تطبيق الضمانات النووية أثناء الإخراج من الخدمة

28 التحضير لستين عاماً مقدماً
أول محطة للطاقة النووية في الإمارات العربية المتحدة وخطط إخراجها من الخدمة

30 تشجيع الجيل المقبل على العمل في مجال الإخراج من الخدمة

أسئلة وأجوبة

32 أفكار خبير بشأن إخراج المرفق الفرنسي لإعادة معالجة الوقود المستهلك من الخدمة

رؤية عالمية

34 نموذج أعمال جديد لإخراج محطات القوى النووية من الخدمة

تحديثات الوكالة

36 أخبار الوكالة

40 المنشورات

إخراج المرافق النووية من الخدمة

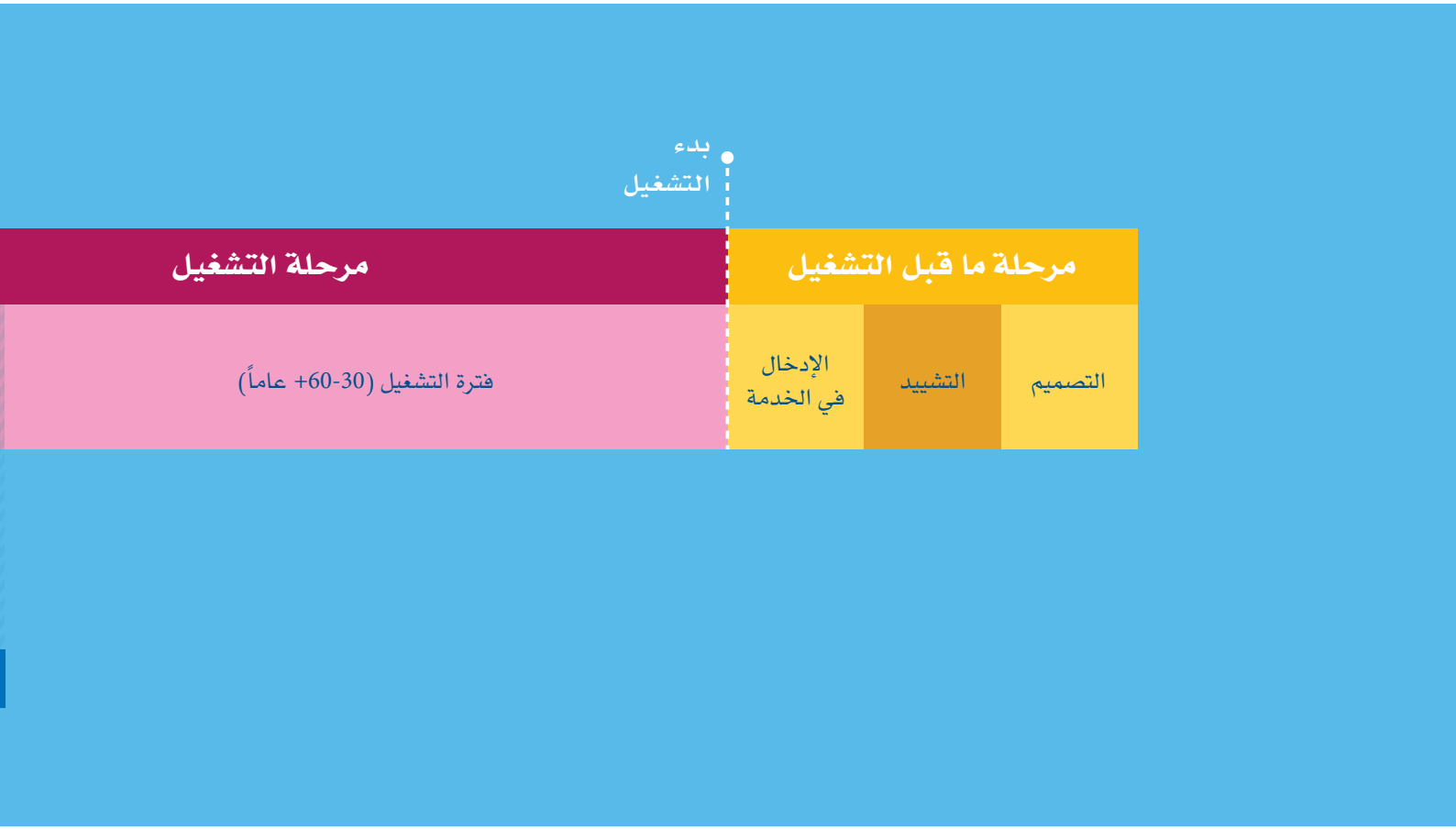
معالجة أحداث الماضي وضمان المستقبل

بقلم باتريك أوسوليفان

من المتوقع أنَّ عدد المرافق النووية التي يلزم إخراجها من الخدمة سوف يشهد زيادة كبيرة خلال الفترة الممتدة بين عشر سنوات وعشرين سنة مقبلة. ولا يمكن الوقوف على علاقة بسيطة بين عمر المرفق وموعد إغلاقه الدائم، لأنَّ هناك عوامل متعددة تؤثِّر في اتِّخاذ هذا القرار، بما في ذلك القوى السياسية والاقتصادية. وقد يتوقف موعد الإغلاق أيضاً على تكاليف الصيانة والتجديد وظروف سوق الكهرباء، من بين عوامل أخرى (انظر الصفحتين 8 و9). بيد أنَّ السياسات الحكومية صارت تروج بصورة متزايدة لاستراتيجيات قائمة على التفكيك الفوري بما يتوافق مع مبادئ الاستدامة، تلافياً لتوريث الأعباء المرتبطة بالإخراج من الخدمة، مثل التصرف في النفايات، للأجيال المقبلة. وأحد الاعتبارات المهمة أيضاً هو مدى قابلية المواقع لإعادة الاستخدام سواءً لتشييد مرافق نووية جديدة أو لأغراض أخرى.

الفترة الزمنية والميزانية

ينطوي إخراج مرفق نووي كبير الحجم من الخدمة على عملية معقدة عادة ما تتطلب فترة زمنية طويلة وميزانية كبيرة. وعلى سبيل المثال، عادة ما تتراوح تكلفة الإخراج من الخدمة في حالة مفاعلات القوى النووية، بما في ذلك تكاليف التصرف في النفايات، بين 500 مليون دولار و2 مليار دولار، مع مراعاة أنَّ التكلفة تزيد كثيراً في حالة المفاعلات المهدَّأة بالغرافيت المبردة بالغاز مقارنة بمفاعلات الماء المضغوط أو الماء المغلي، بالنظر إلى أنَّها أكبر حجماً وأكثر تعقيداً بكثير. وعادة ما تستغرق عملية الإخراج من الخدمة فترة بين 15 إلى 20 عاماً، لكن هذه الفترة يمكن أن تطول أو تقصر. أمَّا في حالة مرافق دورة الوقود النووي الكبيرة الحجم، مثل المرافق المستخدمة في إعادة معالجة الوقود المستهلك، فعادة ما تبلغ تكلفة إخراج المرفق



من الخدمة نحو 4 مليارات دولار، ويمكن أن تستغرق العملية 30 عاماً حتى تكتمل. وفي حالة مفاعل بحوث تبلغ قدرته الحرارية 10 ميغاواط، يمكن أن تزيد التكلفة على 20 مليون دولار وأن يستغرق تنفيذ العملية ما بين 5 و10 سنوات. بيد أنَّ التكلفة تتوقف على حجم المفاعل والغرض منه وتاريخه التشغيلي. ومع ذلك، فهناك بعض الأمثلة الناجحة التي تشير إلى إمكانية تنفيذ الإخراج من الخدمة بعمليات أكفأ من حيث الوقت والتكلفة.

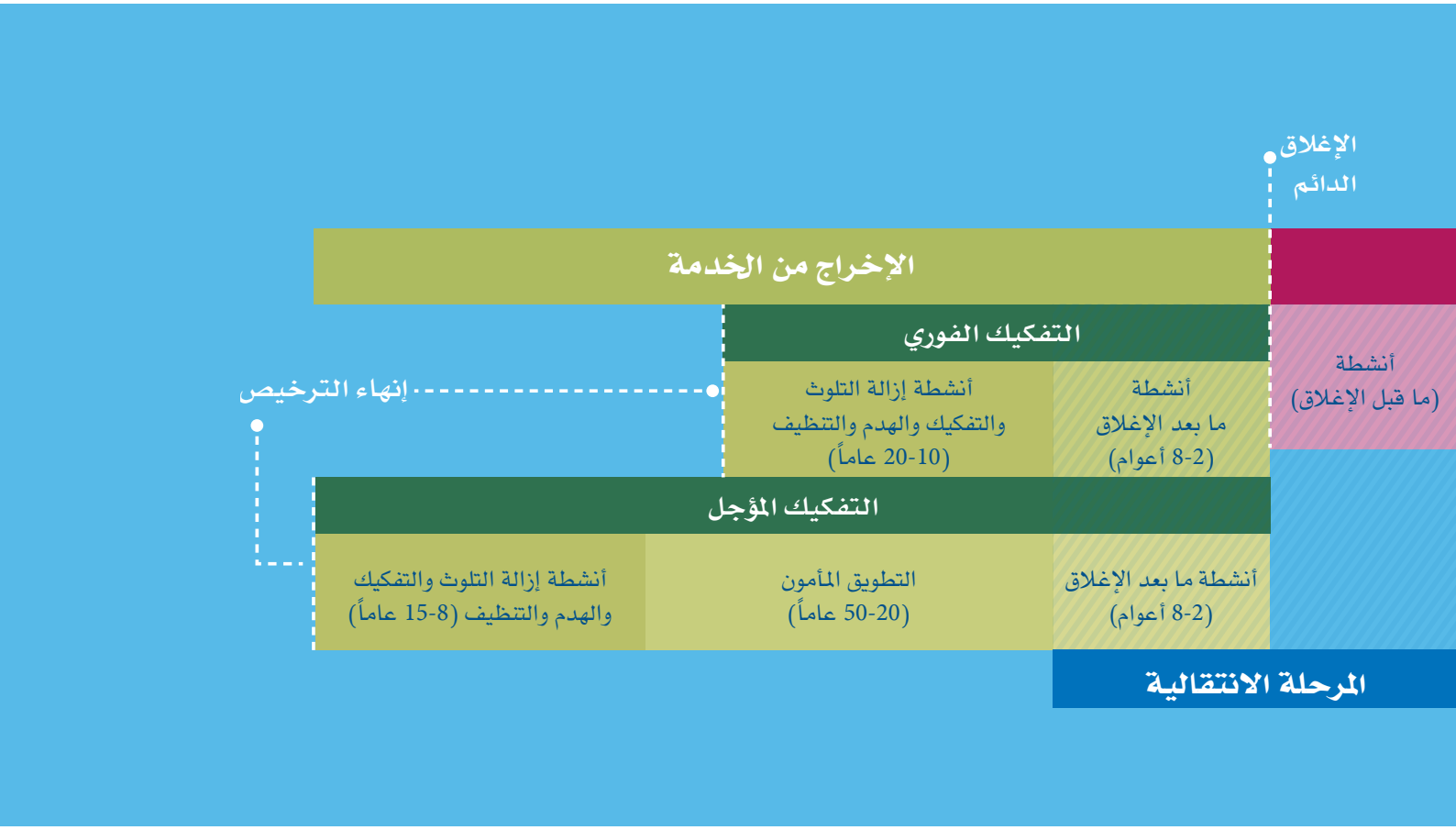
أبرز التحديات التي تواجه صناعة الإخراج من الخدمة

بالنظر إلى الزيادة المتوقعة في عدد المرافق النووية التي ستخضع للإغلاق الدائم من الآن وحتى عام 2050، فسوف يلزم توفير قدر كبير من الموارد – البشرية والمالية – لتنفيذ ما سيقتضيه ذلك من برامج الإخراج من الخدمة، والتي سيمتدُّ بعضها حتى نهاية هذا القرن. وفي حالة المرافق التجارية، جرت العادة على تخصيص أموال أثناء مرحلة التشغيل لتغطية تكاليف الإخراج من الخدمة. ومع ذلك، فهناك عدد كبير من المرافق التي يُموَّل إخراجها من الخدمة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة من الموارد الحكومية. وفي هذه الحالات، يمكن أن يؤدي عدم توافر التمويل الكافي إلى تأخير التنفيذ. وسوف يتطلب تنفيذ برامج الإخراج من الخدمة في المستقبل أيضاً توافر قوة عاملة عالية المهارات وكبيرة الحجم. ويُعدُّ تشجيع الشباب على العمل في مجال الإخراج من الخدمة والتصرف في النفايات المشعة واحداً من أهم التحديات التي تواجه قطاع الصناعة في الوقت الراهن (انظر الصفحة 30).

إعادة تدوير مواد النفايات وإعادة استخدامها

وتنتج عن أنشطة الإخراج من الخدمة كميات كبيرة من المواد والنفايات، معظمها غير ملوث إشعاعيًا. وهناك جهود تُبذل حاليًا لضمان إعادة تدوير أو إعادة استخدام نسبة كبيرة من هذه النفايات غير المشعة، بما يشمل المعادن والحطام الخرساني والأتربة، وفقاً لمبادئ الاقتصاد الدائري (انظر الصفحة 28). وفي بعض الحالات، يمكن استخدام الركام الناتج من أعمال الهدم لملء الفراغات الناجمة عن إزالة الهياكل القائمة تحت مستوى سطح الأرض. ويجري النظر أيضاً في التوسع في إعادة تدوير الخردة المعدنية، بما في ذلك لإعادة استخدامها في قطاع الصناعة النووية.

وعادة ما تبلغ نسبة المواد الملوثة إشعاعيًا من جملة المواد الناتجة عن الإخراج من الخدمة نحو خمسة



في المائة، منها نسبة كبيرة ذات مستويات نشاط إشعاعي ضعيفة للغاية ومن ثم يناسبها التخلص منها في مستودعات قريبة من سطح الأرض. وهناك نسبة صغيرة من المواد الملوثة إشعاعيًا (أقل من خمسة في المائة من مجمل المواد الناتجة) لا يناسبها الإعفاء من التحكم الرقابي أو التخلص منها قرب سطح الأرض، بسبب ارتفاع مستويات النشاط الإشعاعي ووجود نويدات مشعة عالية النشاط أو طويلة العمر؛ ويجري التخلص من هذه النفايات في نهاية المطاف بطريقة مأمونة في مرافق تخلص تحت سطح الأرض (انظر الصفحات 20 و21 و22 و23).

تلبية احتياجات المستقبل

بالنظر إلى مدى الاحتياجات المتعلقة بالإخراج من الخدمة في المستقبل، وإمكانية استخدام التكنولوجيات الجديدة والناشئة لتحسين كفاءة الإخراج من الخدمة، فمن المرجح أنَّ عملية تنفيذ المشاريع سوف تطرأ عليها تغيُّرات كبيرة في المستقبل القريب، بعد اعتماد هذه التكنولوجيات على نطاق واسع وثبوت فعاليتها من حيث التكلفة. وتشمل التطورات تطبيق التقنيات الرقمية دعماً للتخطيط ولتحسين تنفيذ المشاريع وصولاً للمستوى الأمثل، والتوسُّع في استخدام الأدوات المشغَّلة عن بُعد، بما في ذلك الطائرات بلا طيار والروبوطيات لتقطيع مكونات المحطات ومناولة المواد وأخذ القياسات وإزالة التلوث، وزيادة الأتمتة في أنشطة التصرف في النفايات واستخدام الذكاء الاصطناعي (انظر الصفحة 12).

وتؤدي سلسلة الإمداد دوراً حاسم الأهمية في ضمان تنفيذ المشاريع في المستقبل بأكبر قدر ممكن من الفعالية والكفاءة. وهناك مؤشرات تدلُّ بالفعل على أنَّ المنظمات المعنية بسلاسل الإمداد تعمل على إرساء الخبرات اللازمة لتقديم طائفة أوسع من خدمات الإخراج من الخدمة في مجالات مثل البحث والتطوير فيما يتعلق بالتكنولوجيات الجديدة، والهندسة، والتفكيك، والتصرف في النفايات المشعة. وشهد مجال الإخراج من الخدمة في الآونة الأخيرة تطوُّراً فيما يخصُّ محطات القوى النووية، وهو ظهور اتحادات تجمع بين عدة شركات متخصصة لتنفيذ مشاريع الإخراج من الخدمة بالكامل في حدود ميزانية ثابتة، باتباع نُهُج موحَّدة مع تحمُّل جميع المخاطر المرتبطة بتلك المشاريع (انظر الصفحة 24).

ما المقصود بإخراج المرافق النووية من الخدمة؟

في قطاع صناعة الطاقة النووية، يُستخدم تعبير 'الإخراج من الخدمة' بوصفه مصطلحاً جامعاً تندرج تحته جميع الأنشطة التي تمكِّن من إغلاق المرافق النووية بصفة دائمة وإزالة التلوث منها وتفكيكها ثم إعفائها من التحكم الرقابي. ولا تكتمل عملية الإخراج من الخدمة إلى حين إزالة المواد المشعة وسائر المواد الخطرة من الموقع، وتجهيز المباني والأراضي التي كانت تُستخدم قبل ذلك بوصفها مرافق نووية للاستعمال في أغراض جديدة. وتنطوي الخطوة الأخيرة (من عملية الإخراج من الخدمة) على إجراء عمليات مسح مستفيضة للتأكد من عدم وجود أي مستوى ذي شأن من النشاط الإشعاعي في الموقع، ومن ثم التمكين من إعفاء الموقع من التحكم الرقابي.

الإخراج من الخدمة على الصعيد العالمي في أرقام

420+
عدد مفاعلات القوى النووية العاملة حول العالم

يوجد حاليًا نحو 420 مفاعلاً للقوى النووية قيد التشغيل حول العالم، وتقترب غالبية هذه المفاعلات من نهاية عمرها التشغيلي بحسب تصميمها الأصلي.

1/2
نسبة المفاعلات التي ستخضع للإغلاق بحلول عام 2050

ستخضع نسبة تصل إلى نصف المفاعلات العاملة للإغلاق الدائم بحلول عام 2050، ومن ثم ستتطلب إخراجها من الخدمة.

≈200
عدد المفاعلات التي سُحبت من الخدمة

ويزيد عدد مفاعلات القوى النووية التي سُحبت بالفعل من الخدمة على 200 مفاعل، منها 21 مفاعلاً تم إخراجها من الخدمة بالكامل.

222
من مفاعلات البحوث في 53 بلداً

353
من مرافق دورة الوقود النووي في 40 بلداً

من المرجح أن تخضع للإغلاق الدائم

من المرجَّح أيضاً أنَّ أعداداً كبيرة من مفاعلات البحوث العاملة حاليًا (222 مفاعلاً في 53 بلداً) ومرافق دورة الوقود (353 مرفقاً في 40 بلداً) سوف يخضع للإغلاق الدائم خلال هذه الفترة.

≈450
من مفاعلات البحوث

و

150+
من مرافق دورة الوقود

تم إخراجها من الخدمة بالكامل

هناك قرابة 450 من مفاعلات البحوث التي تم بالفعل إخراجها من الخدمة بالكامل، وكذلك ما يزيد على 150 من مرافق دورة الوقود.

اكتُسبت بالفعل منذ بداية القرن الحالي خبرات كبيرة في مجال الإخراج من الخدمة، لا سيما في البلدان التي أنشأت برامجها النووية في منتصف القرن العشرين، مثل الاتحاد الروسي وألمانيا وإيطاليا وفرنسا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية واليابان. وهناك بلدان أخرى لديها أيضاً خبرات في هذا المجال، مثل إسبانيا وأوكرانيا وبلغاريا وسلوفاكيا وكندا وليتوانيا، في حين يُتوقع إنشاء برامج كبيرة للإخراج من الخدمة على مدى السنوات الثلاثين المقبلة في باكستان وبلجيكا وجمهورية كوريا والسويد والصين والهند.

إخراج محطة للقوى النووية من الخدمة

بقلم جوان ليو

الإخراج من الخدمة هو المرحلة الأخيرة في دورة حياة أي محطة للقوى النووية. ويبدأ التخطيط للإخراج من الخدمة في مرحلة تصميم المحطة، لضمان إمكانية تفكيكها وتنفيذ أنشطة التصرف في النفايات ذات الصلة بأمان وفعالية دون التأثير سلباً في البيئة. وفور خضوع أي محطة للقوى النووية للإغلاق الدائم، فإنَّها تتحول من مرفق يضطلع بعمليات تشغيلية لإنتاج الكهرباء، إلى مرفق تتعلق أنشطته بالتحضير لعملية الإخراج من الخدمة وتنفيذها، ويشمل ذلك إدخال تغييرات على تنظيم المحطة وعلى نظم أمانها. وفي حال تأجيل التفكيك، توضع المنشأة في وضع مستقر حتى تنفيذ التفكيك، ريثما تضمحل مستويات

1 التحضير

إنَّ مفتاح النجاح في مجال الإخراج من الخدمة هو **التخطيط بتأنٍ والنظر في جميع جوانب المشروع** بدءاً من مرحلة التصميم، بما يشمل التمويل والتغييرات التنظيمية والموافقات الرقابية .

2 ما بعد الإغلاق

يُزال الوقود من قلب المفاعل ويوضع في مرفق لخزن الوقود النووي المستهلك. **وتُكيَّف نظم الأمان والتصرف في النفايات الخاصة بالمرفق.** وتُحدَّد خصائص المرفق المرتبطة بالإخراج من الخدمة، كما تُحدَّد مستويات الإشعاع المتوقع التعامل معها.

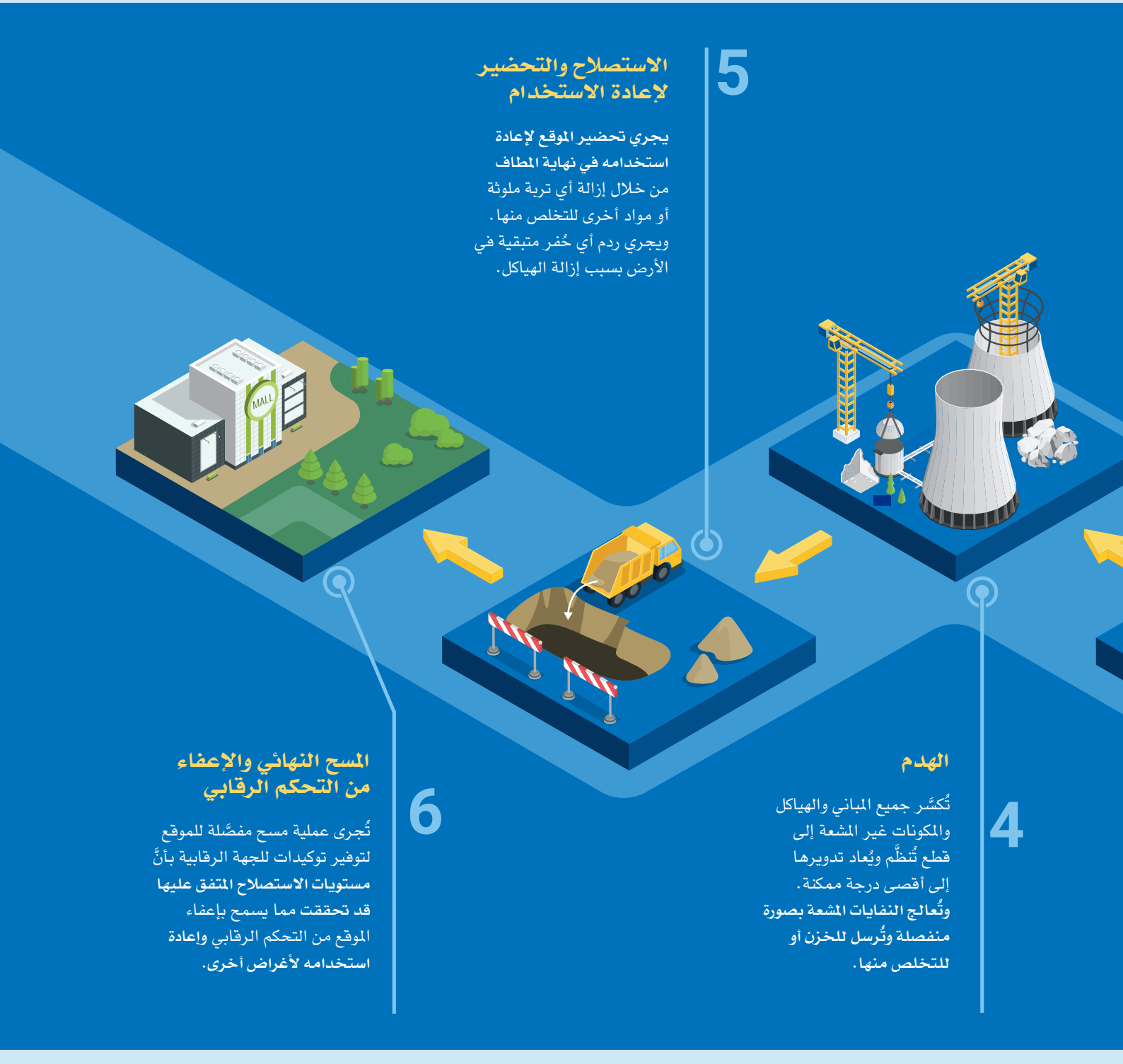
3 إزالة التلوث والتفكيك

يُزال التلوث من المكونات المشعة، ويُقلَّص حجمها عن طريق التقطيع وتوضع في عبوات للنفايات، أو تُنقل إلى خارج المرفق لتخضع لمزيد من المعالجة.

النشاط الإشعاعي على نحو طبيعي. وتختلف الفترة الزمنية الفاصلة بين خضوع المحطة للإغلاق الدائم والانتهاء من الإخراج من الخدمة من بلد إلى آخر، حيث يمكن أن تتفاوت بين عقد واحد من الزمن تقريباً وفترة تصل إلى 70 عاماً أو أكثر.

وبعد انتهاء الإخراج من الخدمة، يغدو الموقع متاحاً للاستخدام في أغراض اجتماعية أو اقتصادية أخرى.

وتشمل عملية الإخراج من الخدمة الأنشطة الرئيسية التالية:



سلوفاكيا: مثال يُحتذى به عالمياً في مجال إخراج محطات القوى النووية من الخدمة

بقلم مايكل أمدي مادسن

حين انضمت سلوفاكيا إلى الاتحاد الأوروبي في عام 2004، تعهدت بالوفاء بشرط مهم يتعلق بالأمان النووي هو إغلاق المفاعلين V1 وإخراجهما من الخدمة في محطة بوهونيتسه للقوى النووية. واعتُبر في ذلك الحين أن هذين المفاعلين العائدين إلى الحقبة السوفياتية لم يعودا يفيان بمعايير الأمان النووي المعمول بها. والتزمت الحكومة السلوفاكية بإخراج المفاعلين من الخدمة، وحين كانت بصدد تنفيذ التزامها هذا، أعطت مثالاً يمكن أن يحتذي به الآخرون فيما يخص إخراج محطات القوى النووية من الخدمة بأمان وكفاءة وفعالية. وبدعم من الوكالة والمفوضية الأوروبية، تضع سلوفاكيا اليوم ما اكتسبته من خبرات في متناول بلدان أخرى كي تستفيد من الخبرات هذه.

وتولِّد سلوفاكيا ما يزيد قليلاً على نصف احتياجاتها من الكهرباء من الطاقة النووية. وأدت المفاعلات الأربعة في موقع بوهونيتسه دوراً كبيراً في ذلك. وبدأ تشغيل الوحدة الأولى في محطة V1 ببوهونيتسه في عام 1978، وكانت أول مفاعل ماء مضغوط في الموقع يستخدم مفاعل قوى مبرداً ومهدأ بالماء من طراز 440 V230. وكانت أيضاً من أقدم أنواع 'المفاعلات المبردة والمهدأة بالماء' التي طوَّرها الاتحاد السوفياتي. ولكن كانت ثمة تحديات تتعلق بتصميم مبنى الاحتواء لأن الأنابيب فيه كانت أكثر عرضةً للإصابة بتشققات كبيرة مقارنةً بتلك الموجودة في المباني التي بُنيت لاحقاً باستخدام تصاميم محسَّنة.

وفي أثناء تقدُّم مشروع إخراج محطة V1 في بوهونيتسه من الخدمة، تعاونت السيدة أولينا ميكولايتشوك، مديرة شعبة دورة الوقود النووي وتكنولوجيا النفايات في الوكالة، تعاوناً وثيقاً مع خبراء من شركة JAVYS للقوى النووية والإخراج من الخدمة التي تملكها الدولة السلوفاكية. وقالت السيدة ميكولايتشوك ما يلي: "استعانت شركة JAVYS بأدوات رقمية مبتكرة لضمان الأمان والكفاءة طيلة عملية الإخراج من الخدمة. وتُعتمد هذه الأدوات اليوم في العديد من مشاريع الإخراج من الخدمة حول العالم".

واشتملت الأدوات التي استخدمتها شركة JAVYS على تقنيتَي النمذجة الافتراضية والمحاكاة. وباستخدام عمليات المحاكاة، وضَع المهندسون إجراءات لاستخراج وعاء المفاعل من الهوة الخرسانية الواقعة تحت الأرض، ثم نقله وإنزاله في أحواض مياه حيث يمكن تقطيعه عرضياً بأمان باستعمال المناشير وتعبئة القطع لوضعها قيد الخزن المأمون.

وأفادت السيدة إيفا هراسنوفا، وهي مديرة مشاريع في شركة JAVYS، بأن المشروع أظهر أن أدوات القطع الميكانيكية، مثل المناشير الشريطية والدائرية التي تُستعمل تحت المياه، تُمثِّل وسائل آمنة وفعالة لتجزئة

> **"لقد استعانت شركة JAVYS بأدوات رقمية مبتكرة لضمان الأمان والكفاءة طيلة عملية الإخراج من الخدمة. وتُعتمد هذه الأدوات اليوم في العديد من مشاريع الإخراج من الخدمة حول العالم".**
>
> – أولينا ميكولايتشوك، رئيسة شعبة دورة الوقود النووي وتكنولوجيا النفايات لدى الوكالة

مكونات الدائرة الأولية المشعة في المفاعلات من طراز WWER-440. وأضافت أنَّ التجربة أثبتت ضرورة استخدام توليفة من أساليب إزالة التلوث – الكيميائية والكهروكيميائية وفوق الصوتية، فضلاً عن الأساليب المكيانيكية مثل التفجير والطحن – حتى يمكن تنفيذ الأنشطة اللاحقة للتصرف في النفايات بفعالية.

وذكرت السيدة ميكولايتشوك أن "مشروع إخراج محطة V1 في بوهونيتسه من الخدمة كشف عن مجموعة كبيرة من الخطوات العملية التي يمكن للجهات المعنية بالإخراج من الخدمة اتخاذها، ومنها تحديد السبل لتوفير المساحات والمال من خلال إعادة استعمال المباني لأغراض التخزين، وإعادة تدوير كميات كبيرة من الفولاذ والمعادن والخرسانة لدعم مبادئ الاقتصاد الدائري".

ولا تزال الأعمال جارية لإخراج محطة V1 في بوهونيتسه من الخدمة، ومن المتوقع أن تستمر حتى عام 2027. ويحظى المشروع بدعم مالي من الاتحاد الأوروبي والمصرف الأوروبي للإنشاء والتعمير، ومن المتوقع أن تبلغ تكلفته الإجمالية 1,239 مليار يورو.

وإقراراً بالإنجازات التي حققتها شركة JAVYS في إخراج محطة V1 في بوهونيتسه من الخدمة، ومن أجل مواصلة تعزيز عملية تنفيذ مشاريع مماثلة حول العالم، عُيِّنت الشركة مركزاً متعاوناً مع الوكالة في آذار/مارس 2021. وأتاح ذلك لشركة JAVYS، بصفتها مركزاً متعاوناً في مجال إخراج المرافق النووية من الخدمة والتصرف في النفايات المشعة، أن تضع خبراتها في متناول جهات أخرى، بالتنسيق مع الوكالة.

وفي حفل التوقيع الذي أُقيمَ في فيينا، بالنمسا، بمناسبة تعيين شركة JAVYS مركزاً متعاوناً مع الوكالة، قال السيد بافول شتولر، المسؤول التنفيذي الأول للشركة، ما يلي: "في بوهونيتسه، يمكننا أن نبيِّن فعلاً ما هو التقدم التقني والأمان في تحديد الخصائص الفيزيائية والإشعاعية، وإزالة التلوث، والتفكيك، والهدم، والتصرف في النفايات الناجمة عن هذه الأنشطة. ويتمحور تعاوننا مع الوكالة حول الأعمال المنفذة والمخطط لها، وسيتم تعزيز هذا التعاون مع تقدُّم عمل المركز خلال السنوات القادمة".

وبدأت الشراكة بين الوكالة وشركة JAVYS تؤتي ثمارها، وقد عقدت الوكالة حلقة العمل الدولية بشأن الدروس المستفادة من تنفيذ مشاريع الإخراج من الخدمة لمحطات القوى النووية المزودة بمفاعلات مبردة ومهدأة بالماء في ترنافا، بسلوفاكيا في أيار/مايو 2022. وخلال حلقة العمل، قدَّم خبراء من شركة JAVYS معلومات عن خبرات الشركة في مجال الإخراج من الخدمة إلى خبراء من أرمينيا وأوزبكستان وإيطاليا وبلجيكا وبلغاريا وتركيا والجمهورية التشيكية والصين وفنلندا والنرويج وهنغاريا، وكذلك ممثلون للمصرف الأوروبي للإنشاء والتعمير وللمفوضية الأوروبية.

وقالت السيدة ميكولايتشوك: "تشغِّل البعض من هذه البلدان حالياً مفاعلات مبردة ومهدأة بالماء وتخطط لإخراجها من الخدمة، بينما تستهل بلدان أخرى برامج قوى نووية أو تبني مرافق نووية وتنظر منذ الآن في متطلبات إخراجها من الخدمة في الأجل الطويل. ونشهد اليوم ظهور أنشطة نووية تقوم على المزيد من المسؤولية والاستشراف وتراعي منذ البداية المقتضيات والتحديات المقترنة بالإخراج من الخدمة. وتتيح الدروس المستفادة من جهود شركة JAVYS في محطة V1 في بوهونيتسه تعزيز هذه الأنشطة".

زيارة علمية جماعية إلى ترنافا ومحطة بوهونيتسه للقوى النووية في سلوفاكيا، بمشاركة خبراء من أوكرانيا وجورجيا وروسيا وسلوفينيا وليتوانيا وهنغاريا واليونان. 11–14 تشرين الأول/أكتوبر 2011

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

الجيل المقبل من الأدوات يتيح إخراج المفاعلات النووية من الخدمة على نحو أسرع وأكثر فعالية بعد الحوادث العنيفة

بقلم نايانا جاياراجان

”إنَّ الروبوطات المشغلة عن بُعد التي تحمل أدوات لقياس الإشعاعات وعرضها عرضاً بصرياً هي من مجالات البحث والتطوير ذات الأولوية لأنها تساعد في تقليل تعرُّض العاملين في المواقع للإشعاعات إلى أدنى حد ممكن، وتتيح التقدم على نحو منهجي في إخراج محطة فوكوشيما دايتشي من الخدمة.“

– كنتارو فوناكي، المدير التنفيذي للوكالة اليابانية للطاقة الذرية

بعد مرور أيام على وقوع أقوى زلزال شهدته اليابان في تاريخها، كان من الواضح أنَّ الوحدات من 1 إلى 4 في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية ستخضع للإغلاق الدائم. وفي 11 آذار/مارس 2011، اخترقت أمواج التسونامي الهائلة الناجمة عن الزلزال الدفاعات الساحلية لليابان، بما يشمل محيط محطة القوى النووية، وتسببت بأضرار جسيمة. وبفعل الفيضان، تعطَّلت المولدات المخصصة لحالات الطوارئ، مما أدى إلى ارتفاع مفرط في درجة حرارة الوقود النووي في ثلاثة من وحدات المفاعلات وإلى ذوبان قلوب المفاعلات جزئياً. وشهدت محطة القوى النووية أيضاً عدة انفجارات هيدروجينية ألحقت أضراراً بالمباني وأدت إلى انبعاث مواد مشعة. وجرى إخلاء ما يزيد على 000 150 شخص من محافظة فوكوشيما وأقامت السلطات منطقة محظورة حول المحطة. ولكن حتى بعد حل جزء كبير من الأزمة التي تلت التسونامي مباشرةً، كانت تحديات إخراج المرفق المتضرر بشدة من الخدمة لا تزال في بداياتها.

ويُعَدُّ إخراج مرفق نووي من الخدمة بعد وقوع حادث عنيف مسعى معقداً يستلزم في الكثير من الأحيان اتِّباع نُهج وتقنيات وممارسات محددة خلافاً لما هو الوضع عليه في أنشطة الإخراج من الخدمة التي يُضطلع بها بعد مشروع إغلاق مخطط له. ويجعل هذا الأمر ضمان الأمان الإشعاعي وقت تنفيذ جميع العمليات تحدياً رئيسياً. فعلى سبيل المثال، تتمثَّل إحدى المهام التي تتطلَّب أعلى درجة من الدقة والانتباه عند إخراج مفاعل متضرر من الخدمة في إزالة الوقود المستهلك والتالف.

وفي حالة حادث فوكوشيما دايتشي النووي، ذاب بعض الوقود النووي وسقط على أقسام الاحتواء السفلية في وحدات المفاعلات 1 و2 و3. وحدَّت مستويات الإشعاع العالية داخل مباني الاحتواء من إمكانية وصول العاملين إلى المنطقة المجاورة للمفاعل. وواجه المشغِّلون تحدياً رئيسياً هو تحديد كيفية إزالة الوقود التالف بلا معرفة موقعه المحدد.

وهنا أتى دور تقنية رسم الخرائط باستخدام ميونات الأشعة الكونية، وهي تقنية طُبِّقت لأول مرة منذ أكثر من ستة عقود واستُخدمت منذ ذلك الوقت لأغراض عديدة منها رسم خرائط تبيِّن ما يوجَد داخل البراكين والأهرام المصرية القديمة، والكشف عن المواد النووية في حاويات الشحن. وتتيح أجهزة تعقُّب الميونات كشف وتعقُّب الجسيمات دون الذرية العالية الطاقة الموجودة في البيئة الطبيعية عند اختراقها المواد، وتُستخدَم التغيرات في المسار من أجل تحديد كثافة المواد. والمواد النووية مثل اليورانيوم والبلوتونيوم كثيفة جداً، وهو ما يجعل تحديدها باستخدام هذه التقنية مهمة سهلة نسبياً.

وطُبِّقت تقنية رسم الخرائط باستخدام ميونات الأشعة الكونية في محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية لتقدير موقع حطام الوقود وحالته في قلوب المفاعلات. وفي عام 2015، وضع خبراء في اليابان تقنية معدَّلة أتاحت تعقُّب قطع حطام صغيرة لم يتجاوز طولها 30 سنتيمتراً. واستُخدمَت هذه التقنية لتحديد وضع الوقود التالف في مفاعل الوحدة 1 في فوكوشيما دايتشي، وهو أمر كان لا بد من القيام به قبل بدء عملية الإخراج من الخدمة.

وهذا مثال واحد من أمثلة كثيرة استُخدمَت فيها الابتكارات التكنولوجية لمعالجة التحديات الفريدة وغير المتوقعة المرتبطة بأنشطة الإخراج من الخدمة والتعافي بعد الحوادث.

وأفاد فلاديمير ميشال، وهو خبير في الإخراج من الخدمة لدى الوكالة شارك في قيادة مشروع لتوثيق وتحليل أنشطة إخراج المرافق النووية المتضررة من الخدمة واستصلاحها (مشروع دارود)، بأنه ”لا يمكن التنبؤ أبداً بعواقب الحوادث، ويمكن أن تكون البنية الأساسية التنظيمية والتقنية القائمة، وكذلك التكنولوجيات المتوافرة، غير مناسبة أو غير كافية لتلبية الاحتياجات التي تطرأ بعد وقوع الحادث. وأضاف ميشال ما يلي: ”في حالات كثيرة، ومنها المثال المتعلق برسم الخرائط باستخدام ميونات الأشعة الكونية، طُبِّقت هذه التكنولوجيات على نطاق أوسع في أنشطة الإخراج من الخدمة وحتى في مجالات أخرى.“

وأحد الأمثلة الأخرى الجديرة بالذكر هو تشييد ’درع‘ احتواء مأمون جديد فوق مبنى مفاعل

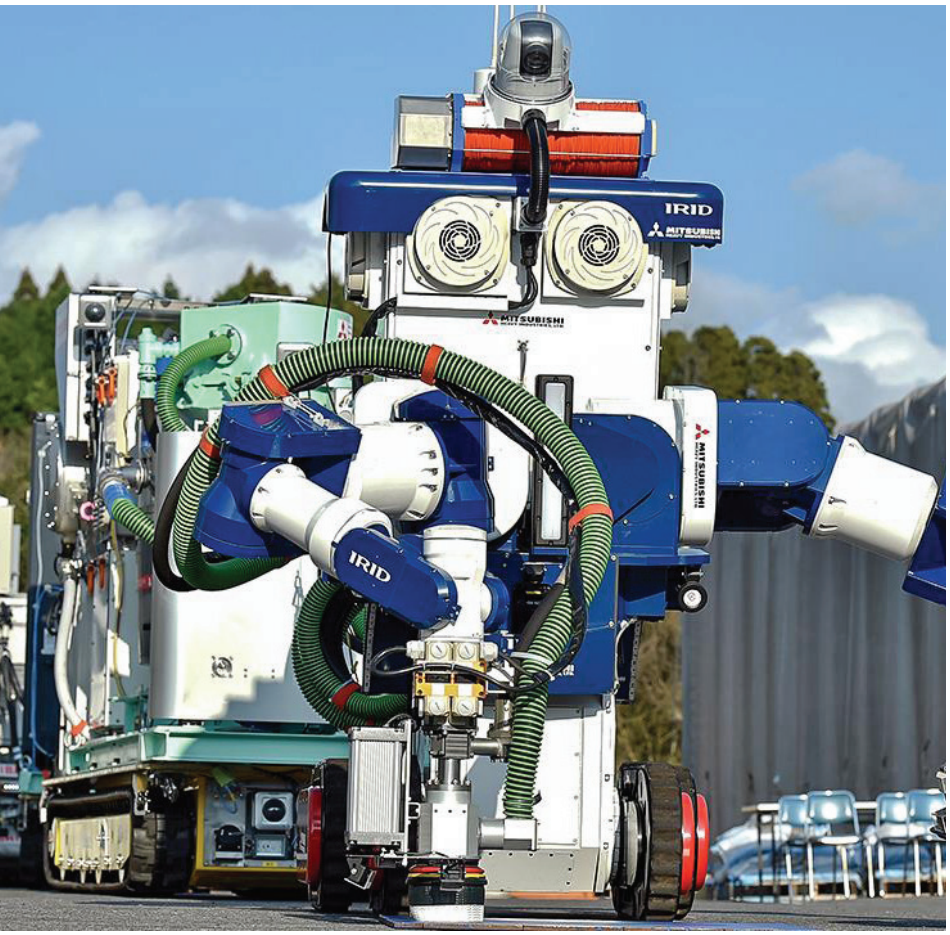
الوحدة 4 في محطة تشرنوبل للقوى النووية في أوكرانيا بين عامَي 2016 و2019. وتم بناء هذا الدرع ليحل محل الساتر المؤقت الذي شُيِّد بعد كارثة عام 1986، وهو أكبر هيكل أرضي منقول في العالم وقد صُمِّم لكي يدوم قرناً من الزمن ويتحمل الأعاصير القوية. وبُني هيكل الاحتواء الجديد على بُعد يقارب 180 متراً غرب الوحدة 4 المتضررة. واقتضى بناؤه وما لحقه من أعمال لتركيب المعدات استخدام أحدث تقنيات الهندسة المدنية.

وقال فاليري سيدا، القائم بأعمال المدير العام للمنشأة الحكومية المتخصصة المكلفة بإخراج وحدات محطة تشرنوبل للقوى النووية من الخدمة، إن "الاحتواء المأمون الجديد لا يمنع انبعاث المواد المشعة فقط، بل يساعد أيضاً في أنشطة الإخراج من الخدمة التي سيُضطلع بها في المستقبل". وصُمِّم هيكل الاحتواء المأمون لمنع انبعاث الملوثات المشعة ووقاية الهياكل الداخلية للمفاعل وتيسير أنشطة الإخراج من الخدمة. ولتحقيق هذا الغرض الأخير، يشمل هيكل الاحتواء رافعتَين من أحدث الرافعات تُشغَّلان عن بُعد. وتتدلى هاتان الرافعتان من مكان قريب جداً من السطح وتم تصميمهما بما يتيح إخراج الوحدة 4 من الخدمة في نهاية المطاف، مع ضمان حماية العاملين والبيئة.

وفي محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية، استُخدمت التقنية الهندسية المعروفة جيِّداً والقائمة على بناء جدار من التربة المتجمدة تحت الأرض لمنع تسرُّب المياه الجوفية إلى الموقع والاختلاط بالمياه الملوثة داخل مباني المفاعلات. وأُنشئ جدار بعمق 1500 متر عن طريق تجميد التربة كي لا تنفذ المياه عبرها، ومن ثم تقليل الكمية الإجمالية من المياه الملوثة التي تلزم معالجتها.

وباتت التكنولوجيات المتقدمة الروبوطية والمشغلة عن بُعد تكفل تسيير أعمال الإخراج من الخدمة في المناطق التي تكون مستويات الإشعاع عالية فيها. وعلى سبيل المثال، تُستخدَم الروبوطات في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية لأغراض الرصد والقياس، ولإجراء المسوح وإزالة التلوث والاستعداد لإزالة حطام الوقود.

وقال كنتارو فوناكي، المدير التنفيذي للوكالة اليابانية للطاقة الذرية، إن "الروبوطات المشغلة عن بُعد التي تحمل أدوات لقياس الإشعاعات وعرضها عرضاً بصرياً هي من مجالات البحث والتطوير ذات الأولوية لأنها تساعد في تقليل تعرُّض العاملين في المواقع للإشعاعات إلى أدنى حد ممكن، وتتيح التقدم على نحو منهجي في إخراج محطة فوكوشيما داييتشي من الخدمة". وشدد فوناكي على أهمية المشاريع الدولية المشتركة بصفتها أحد المجالات الرئيسية من بين مجموعة واسعة من مشاريع البحث والتطوير التي تحظى بتمويل حكومي. وأضاف قائلاً إن "جهوداً مكثفة تُبذل حالياً لعرض بؤر تركُّز الإشعاع عرضاً بصرياً ثلاثي الأبعاد قرب الوحدتين 1 و2 في محطة فوكوشيما داييتشي. وأتاح الأخذ بنتائج البحوث المشتركة الوطنية والدولية تحقيق نجاحات كبيرة، وسيتواصل بذل هذه الجهود في المستقبل".



روبوط مخصص لإزالة التلوث أثناء استخدامه في محطة فوكوشيما داييتشي دعماً لأنشطة الإخراج من الخدمة

(الصورة من: معهد البحوث الدولي لإخراج المحطات النووية من الخدمة، اليابان)

وينطوي استخدام التكنولوجيات غير النووية في البيئات النووية على تحديات عديدة منها تكاليف التطوير الباهظة، وذلك لأسباب مختلفة تشمل بالأخص واقع وجود الإشعاعات وأوجه عدم اليقين المتعلقة بالظروف الدقيقة التي ستُشغَّل فيها المعدات. ولكن التقدم المحرز فيما يخص التوصيلات السلكية وغيرها من المكونات الأساسية، وكذلك تطوير المعدات المقاومة للإشعاعات، يتيحان تطبيق التكنولوجيات الروبوطية على نحو آمن وفعال في هذه البيئات التي تواجَه فيها الكثير من الصعوبات. وفضلاً عن ذلك، تتيح تكنولوجيات الليزر مسح الأقسام الداخلية في الأماكن التي غالباً ما يتعذر على الاشخاص الدخول إليها، وتضمن في الوقت ذاته حماية صحة العاملين وسلامتهم. وأفاد ميشال بأن "أوجه التقدم هذه تعزز إلى حد كبير إمكانية تفكيك المرافق التي شهدت حادثاً نووياً عنيفاً تفكيكاً مأموناً وفعالاً، حتى في الحالات التي تنطوي على صعوبات كبيرة".

الروبوطات والذكاء الاصطناعي والنماذج الثلاثية الأبعاد

مساهمة الإنجازات التكنولوجية المتقدمة في إخراج المرافق النووية من الخدمة

بقلم جيفري دونوفان

"إنَّ الغرض من المشروع هو تسخير خبرات مجموعة متنوعة من المنظمات المعنية بالإخراج من الخدمة من أجل الاستفادة من كامل إمكانات التكنولوجيات الجديدة والناشئة."

– أولينا ميكولايتشوك، رئيسة شعبة دورة الوقود النووي وتكنولوجيا النفايات لدى الوكالة

في حين أنَّ تكنولوجيات الروبوطات والطائرات بلا طيار والذكاء الاصطناعي وغيرها من التكنولوجيات الرقمية الناشئة تسهم بالفعل في تقدُّم مشاريع إخراج المرافق النووية من الخدمة حول العالم، فمن المتوقع أنَّها سوف تؤدي دوراً متزايد الأهمية في هذا القطاع مع زيادة البلدان التي تختار تفكيك مرافقها النووية فور سحبها من الخدمة.

وبغية المساعدة على إنجاز هذه المهمة بكفاءة والحد من المخاطر المرتبطة بها، بما يشمل المخاطر المالية والإشعاعية، تتجه البلدان إلى الاستعانة بالأدوات القائمة على التكنولوجيات المتقدمة مثل الواقع الافتراضي والمحاكاة الثلاثية الأبعاد ـ وهو اتجاه يبدو أنَّه سيتصاعد في السنوات القادمة مع دخول العديد من محطات القوى النووية وغيرها من المرافق النووية المتقادمة مرحلة السحب من الخدمة.

وقال السيد ميخائيل شوداكوف، نائب المدير العام للوكالة ورئيس إدارة الطاقة النووية: "سواءً كان الأمر يتعلق بروبوطات تتحدى الإشعاعات في مواقع الحوادث مثل فوكوشيما دايتشي باليابان، أو بنماذج ثلاثية الأبعاد تُستخدم لتحسين خطط تفكيك محطات القوى بعد سحبها من الخدمة، فإنَّ قطاع إخراج المرافق النووية من الخدمة يجد نفسه في طليعة الابتكارات التكنولوجية يوماً بعد يوم". وأضاف قائلاً: "إنَّ هذه التكنولوجيات تتيح تكوين رؤى بالغة الأهمية فيما يتصل بمشاريع التخطيط والتنفيذ، لاسيما في الحالات التي تشكِّل خطورة على البشر، ومن ثمَّ تساعد على ضمان تنفيذ هذه المهام بأمان وفعالية".

ومن أوروبا إلى آسيا والأمريكيتين، تزخر الساحة بأمثلة لاستخدام أحدث التكنولوجيات من أجل التغلُّب على التحديات الفريدة والمضي قدماً في مشاريع الإخراج من الخدمة. ومن المنظمات التي تقف في طليعة هذه الاتجاه معهد تكنولوجيا الطاقة في النرويج، الذي صار في عام 2019 مركزاً متعاوناً مع الوكالة يركِّز على دعم أنشطة الوكالة والدول الأعضاء في مجال رقمنة إدارة المعارف لأغراض إخراج المرافق النووية من الخدمة. وأدَّى المعهد دور الريادة في استخدام نظم الواقع الافتراضي دعماً لصيانة المرافق النووية وإخراجها من الخدمة.

وقال السيد إستفان شزوكه، وهو مسؤول بحوث بالمعهد: "تُستخدم هذه التكنولوجيات لتدريب العاملين، بما في ذلك في وضع تصورات بصرية للإشعاعات، لمساعدتهم على فهم الظروف الإشعاعية. والخبرات الأساسية التي يوفِّرها معهد تكنولوجيا الطاقة تتعلق بدمج النماذج الرقمية الثلاثية الأبعاد للأصول النووية مع النماذج القائمة على علم الفيزياء وعلى الذكاء الاصطناعي، بما فيها النماذج الآنية القائمة على الفيزياء الإشعاعية. ومقتضى ذلك أنَّ التصورات البصرية للإشعاعات توضع بالاستناد إلى أساس فيزيائي حقيقي، وبذلك يمكن استخدام نماذج انتقال الإشعاعات لحساب مستويات الإشعاع الموجودة في البيئة المجاورة للمعدات المعتزم تفكيكها، على سبيل المثال، ثم توضع تصورات بصرية لهذه المستويات لأغراض التخطيط والتدريب". ويشيع الآن العمل بهذه الممارسة في برامج الإخراج من الخدمة بصورة متزايدة، بما في ذلك فيما يتعلق بمفاعلات القوى والبحوث وكذلك في سياق تفكيك مرفق دورة الوقود النووي.

وفي الآونة الأخيرة، دعم معهد تكنولوجيا الطاقة جهداً تعاونيًا دوليًا يهدف إلى إنشاء نُظم متكاملة لإدارة المعلومات قائمة على الوحدات النمطية لكي تُستخدم في جميع مراحل عملية الإخراج من الخدمة. وينطوي ذلك على وضع نظام متكامل قائم على المسح الثلاثي الأبعاد والتصميم بمعاونة الحاسوب أو على إعداد نماذج لإدارة المعلومات عن المباني تجمع بين البيانات الإشعاعية الثلاثية الأبعاد وبيانات أخرى. وتُستخدم هذه النماذج أو التصاميم لإدارة جميع المعلومات ذات الصلة، وتُدمج مع نماذج الفيزياء الإشعاعية وغيرها من النظم، ثم تُجمع جميعاً في إطار نظام واحد يدعم مبدأ الحد من الخطر الإشعاعي إلى "أدنى حد يكون من المعقول تحقيقه" (مبدأ ألارا).

وقد استُخدمت عمليات المحاكاة الرقمية والنمذجة الثلاثية الأبعاد بنجاح أيضاً في مشاريع الإخراج من الخدمة في كلٍّ من إيطاليا وسلوفاكيا. واستخدمت الشركة الحكومية الإيطالية المعنية بالإخراج من الخدمة والتصرف في النفايات المشعة (شركة سوغين) نماذج ثلاثية الأبعاد وعمليات محاكاة للمساعدة على التحضير لتفكيك المفاعلات والتصرف في تدفقات النفايات الناتجة. واستخدمت شركة جافيس السلوفاكية المعنية بإخراج المرافق النووية من الخدمة نماذج ثلاثية الأبعاد وعمليات محاكاة في تفكيك مكونات مفاعلات القوى في محطتي A1 وV1 في بوهونيتسه. وعلى غرار معهد

تكنولوجيا الطاقة في النرويج، تتقاسم شركتا سوغين وجافيس معارفهما وخبراتهما مع الأوساط النووية العالمية بصفتهما مركزَين متعاونين مع الوكالة في مجال الإخراج من الخدمة والتصرف في النفايات المشعة.

وهناك اتجاه حديث ذو صلة يشير إلى تزايد استخدام الروبوطات، إذ أن ذلك يمكن أن يؤدي إلى تقليل الخطر الذي يتعرض له الموظفون من خلال تمكينهم من العمل بعيداً عن الأدوات المستخدمة في مناولة المكونات، فضلاً عن تحسين الكفاءة لأنَّ الروبوطات المستقلة التي يجري تشغيلها عن بُعد أكثر قدرة على الوصول إلى المناطق التي يصعب دخولها والعمل فيها. ويتزايد استخدام الروبوطات النقالة المزودة بأجهزة استشعار ونظماً ثلاثية الأبعاد لمسح المرافق وجمع البيانات التي يمكن استخدامها في إعداد نماذج ثلاثية الأبعاد للموقع المعني. وقال السيد شزوكه: "يتمثَّل أحد الأهداف الأكثر إلحاحاً في القطاع حاليًا في اكتشاف كيفية استخدام الذكاء الاصطناعي لتحويل نتائج عمليات المسح الثلاثي الأبعاد، التي صار إنتاجها الآن سهلاً للغاية، إلى نماذج ذكية لإدارة المعلومات عن المباني. ويرتبط هذا ارتباطاً وثيقاً بوضع 'توائم رقمية' للمرافق يمكن استخدامها لدعم إخراج النظم المعقدة من الخدمة، وكذلك لتنظيم المعارف بشأن المرافق طوال دورة عمرها".

وأطلقت الوكالة في عام 2022 مبادرة عالمية تهدف إلى تعزيز دور التكنولوجيات الجديدة والناشئة في إخراج المرافق النووية من الخدمة. والمبادرة هي مشروع تعاوني بين المنظمات المعنية بتخطيط أو تنفيذ أنشطة الإخراج من الخدمة أو الأنشطة البحثية ذات الصلة، وتهدف إلى توفير معلومات عن الأدوات الرقمية والتكنولوجيا الجديدة والناشئة التي تُستخدم في إدارة البيانات والتخطيط للإخراج من الخدمة وترخيصه وتنفيذه.

وقالت السيدة أولينا ميكولايتشوك، رئيسة شعبة دورة الوقود النووي وتكنولوجيا النفايات لدى الوكالة: "إنَّ الغرض من المشروع هو تسخير خبرات مجموعة متنوعة من المنظمات المعنية بالإخراج من الخدمة من أجل الاستفادة من كامل إمكانات التكنولوجيات الجديدة والناشئة". وسوف تنشر الوكالة في عام 2025 نتائج المشروع في تقرير يتضمن معلومات عن الخبرات المكتسبة في بلدان عديدة، بهدف مواصلة دعم نجاح مشاريع الإخراج من الخدمة في جميع أنحاء العالم.

"الكلب الروبوطي": روبوط رباعي القوائم ذاتي التشغيل يعمل على رسم الخرائط الإشعاعية حول الوحدة 4 في موقع تشرنوبل

(الصورة: شركة بوسطن ديناميكس، الولايات المتحدة الأمريكية)

مراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة في التصميم

المفاعلات المتقدمة المصممة مع وضع اعتبارات التخلص في الحسبان

بقلم جوان ليو

”إنَّ مراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة في مرحلة تصميم المرفق النووي تضمن التنفيذ الأمثل للمرحلة النهائية التي لا مفر منها في الدورة التشغيلية للمرفق.“

– هيلينا مرازوفا، أخصائية تكنولوجيا الإخراج من الخدمة لدى الوكالة

التخطيط لنهاية مشروع ما منذ بدايته هو أمر قد لا يكون مثيراً جداً للاهتمام أو ذا أولوية. ولكن في حالة المرافق النووية، باتت أهمية مراعاة نهاية الدورة التشغيلية للمرافق مسألة تدفع المصممين والبائعين والهيئات الرقابية إلى معالجة موضوع الإخراج من الخدمة منذ البداية. ويستند هذا النهج الاستباقي، الذي يقضي بمراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة في التصميم، إلى أفضل الممارسات والدروس المستفادة من التجارب الماضية. وهو يرتكز على مفهوم التصميم ذاته الذي ينطبق أيضاً على الأمان والأمن والضمانات في المجال النووي. وحين يُنظر منذ البداية في كيفية إخراج المرافق من الخدمة، يمكن للجهات المعنية بتطوير المرافق اتخاذ خيارات على صعيد التصميم تجعل الإخراج من الخدمة عملية أكثر أماناً وأكثر كفاءة وأكثر فعالية من حيث التكلفة.

وقالت هيلينا مرازوفا، وهي أخصائية في تكنولوجيا الإخراج من الخدمة لدى الوكالة، إن ”مراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة في مرحلة تصميم المرفق النووي تضمن التنفيذ الأمثل للمرحلة النهائية التي لا مفر منها في الدورة التشغيلية للمرفق، أي مرحلة إخراجه من الخدمة.“ وكانت تصاميم الأجيال القديمة من محطات القوى النووية تركز على الأداء التشغيلي في الأجل القصير. أما الإخراج من الخدمة، فكان مسألة تُبحث في فترة لاحقة. وعلى سبيل المثال، تم تصميم بعض مفاعلات الغرافيت المبرَّدة بالغاز التي شُيِّدت في فرنسا في سبعينات القرن العشرين بلا مراعاة كيفية تفكيكها، وبات من الواضح اليوم أن تنفيذ هذه العملية مهمة صعبة.

وأضافت مرازوفا ما يلي: ”لدينا مرافق يبلغ ارتفاعها أكثر من 60 متراً، وقطرها أكثر من 30 متراً، وسُمك جدرانها الخرسانية أكثر من 5 أمتار. وتوجَد أطنان من الغرافيت في قلب المفاعل. ويصعب جداً تفكيك هذه المفاعلات لسبب بسيط هو أنها لم تُصمَّم بما يتيح إخراجها من الخدمة بسهولة. وفي الآونة الأخيرة، أنشأت مؤسسة الكهرباء الفرنسية (Électricité de France) مرفقاً إيضاحياً لعملية إخراج مفاعلات الغرافيت من الخدمة (صار أيضاً مركزاً متعاوناً مع الوكالة) لاختبار الأدوات المبتكرة وتكنولوجيات المناولة عن بُعد وتحسينها وضبطها على النحو الأمثل، وذلك باستخدام مجسمات بالحجم الطبيعي ونماذج رقمية ثلاثية الأبعاد. والهدف هو التحقق من مدى قابلية تنفيذ سيناريوهات الإخراج من الخدمة وإخراج هذه المفاعلات من الخدمة بالطريقة المثلى.“

توقعات وفرص كبيرة

الأغراض المرجوة من مراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة في التصميم هي تحسين الطريقة المتَّبعة لتخطيط تسلسل أنشطة الإخراج من الخدمة، والحد من احتمال تعرُّض العاملين للإشعاعات، وتقليل حجم النفايات المشعة، وهو ما يتيح تخفيف الأعباء الواقعة على مرافق معالجة النفايات وعلى الأجيال المقبلة. وقال مارسيل ديفوس، مدير الشؤون الرقابية في شركة Prodigy Clean Energy المختصة بتشييد محطات القوى النووية المحمولة البحرية والأرضية، إن ”مراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة في التصميم لا ترتبط بالتصميم المادي فحسب، بل ترتبط أيضاً بكيفية تنظيم الأعمال لتخطيط أنشطة الإخراج من الخدمة وتنفيذها“. ويُذكر أن ديفوس تولَّى في السابق إدارة برنامج استعراض تصاميم البائعين لدى هيئة الأمان النووي الكندية. وأضاف ديفوس أن ”اختيار آليات التمويل وتحديد المسؤوليات في مشاريع الإخراج من الخدمة أمران أساسيان لضمان نجاح عملية إنهاء الدورة التشغيلية للمرافق.“

وبالرغم من أن مفهوم مراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة في التصميم لا يحظى بالإجماع، فإن كندا هي من البلدان التي اتخذت خطوات لاتِّباع هذه الممارسة القائمة على الاستشراف والتطلع إلى المستقبل. ويُشار إلى أن عمليات الاستعراض التي تجريها هيئة الأمان النووي الكندية لبائعي المفاعلات تشمل مفهوم مراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة الذي يرتكز على الدروس المستفادة من تجارب وثَّقتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية، ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي. ويتابع ديفوس، ”تتوقع الجهات المالكة والمشغِّلة في المستقبل في كندا على نحو متزايد أن يستكمل البائعون عملية استعراض تصاميم البائعين وأن يضعوا خطة واضحة لسدّ الثغرات التي تمّ تحديدها. فالقطاع النووي يقرّ بأنّ اعتبارات نهاية العمر تعدّ أولوية في عمليات الترخيص والتقييم البيئي.“

ويزداد اليوم الاهتمام بالمفاعلات النمطية الصغيرة، وهي نوع من المفاعلات المتقدمة لها قدرة محدودة

تُصمَّم المفاعلات النمطية الصغيرة في حالات عديدة بحيث تكون صغيرة بما يكفي لنقلها على متن شاحنة أو داخل إحدى حاويات الشحن البحري.
(الصورة من: المختبر الوطني في أوك ريدج، وزارة الطاقة في الولايات المتحدة)

على توليد القوى النووية تصل عادةً إلى 300 ميغاواط (كهربائي) لكل مفاعل. وأفاد ديفوس أيضاً بأن "الجهات المعنية بتطوير الجيل القادم من محطات القوى النووية، بما يشمل المفاعلات النمطية الصغيرة، هي اليوم أمام فرصة قيِّمة تتيح لها معالجة المسائل الاجتماعية المرتبطة بنهاية الدورة التشغيلية للمرافق النووية عن طريق التصميم وعملية النشر، وتتيح لها في الوقت ذاته التعجيل في الإخراج من الخدمة وتقليل عبء النفايات الذي ستتحمله الأجيال المقبلة."

إخراج المفاعلات النمطية الصغيرة من الخدمة

يوجَد اليوم على الصعيد العالمي أكثر من 80 تصميماً ومفهوماً للمفاعلات النمطية الصغيرة. والتصاميم والمفاهيم هذه هي في مراحل تطوير مختلفة. ونظراً إلى أن المفاعلات النمطية الصغيرة تختلف من حيث الحجم والمواد والتكنولوجيات المرتبطة بها، فإن النُهج المتبعة لإخراج هذه المفاعلات المتقدمة من الخدمة ستختلف أيضاً بعضها عن بعض. وذكرت مرازوفا أن "عملية الإخراج من الخدمة ستعتمد على تصميم المرفق وسهولة الوصول إليه وصغر حجمه، وكذلك على الخطط والممارسات التي يتَّبعها البلد المعني بشأن التصرف في الوقود المستهلك والنفايات المشعة".

ومن شأن الطابع النمطي للمفاعلات النمطية الصغيرة ونماذج نشرها المتنوعة أن تعيد تعريف الممارسات التقليدية المتَّبعة في مجال الإخراج من الخدمة. وتُصمَّم بعض المفاعلات الأصغر حجماً، التي يُشار إليها في العادة باسم المفاعلات الصغرى، بما يتيح تجميعها في المصنع ونقلها باعتبارها وحدة إلى الموقع المعني لتركيبها. وفي نهاية الدورة التشغيلية، تُعاد الوحدة إلى المصنع الأصلي بهدف إعادة تزويدها بالوقود أو تُنقل إلى مرفق مختص بالإخراج من الخدمة. وتقول مرازوفا، "يمكن أن يؤدي اتباع هذا النهج إلى الحد من تكاليف ونطاق الأنشطة التي تُقام في موقع محطة القوى، وإلى تعزيز الأمان النووي والإشعاعي وزيادة قبول نشر المفاعلات النمطية الصغيرة والمتوسطة الحجم. وهناك أيضاً إمكانية لتوحيد بعض أنشطة الإخراج من الخدمة، مثل إزالة التلوث أو تفكيك المعدات الأولية." ومع ذلك، فإن هذا النهج يؤدي إلى وضع بعض المهام جانباً، ومنها تطوير أدوات ومعدات متخصصة لأغراض التفكيك والمناولة عن بُعد.

ويُذكر أن معرفة المواد المستخدمة، مثل نوع الفولاذ، وكذلك المعايير المطلوب من منتجِي الفولاذ الالتزام بها، ولا سيما ضرورة أن تكون مستويات الشوائب متدنية للغاية من أجل تقليل التنشيط إلى أدنى حد ممكن، هي عامل يؤثر إيجابيًا في عملية التصرف في النفايات الناتجة من أنشطة الإخراج من الخدمة. وعن طريق مراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة في التصميم، يمكن الحد من مستويات الشوائب ومن تأثيرها في تكاليف أنشطة التفكيك في نهاية الدورة التشغيلية، إذا ما عولجت مسألة تركيبة المواد مسبقاً وبدقة.

وأضافت مرازوفا أن "القاعدة العامة لإخراج المرافق النووية من الخدمة، بما يشمل المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم، تقضي بوضع تصميم يراعي متطلبات الإخراج من الخدمة ويسلط الضوء على أهمية النهج الاستباقي. والسمات المميزة للمفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم، مثل تصميمها النمطي واختيار المواد الخاصة بها، هي سمات يجب أن تجعل أنشطة الإخراج من الخدمة أكثر فعالية وأقل كلفة وأن تقلل معدل الجرعات اليومية التي يتعرض لها العاملون المشاركون في هذه الأنشطة على الصعيد العالمي."

وتعمل الوكالة على إعداد منشور يركز على الجوانب المتعلقة بمراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة في تصميم المفاعلات النمطية الصغيرة، ومن المتوقع أن يصدر هذا المنشور في عام 2024.

الاقتصاد الدائري: مساهمته في تحويل أنشطة إخراج المرافق النووية من الخدمة

بقلم آرتم فلاسوف

النموذج الاقتصادي الخطي التقليدي هو نموذج يقوم على استخراج المواد وتحويلها إلى سلع مصنعة والتخلص منها بعد استهلاكها، وغالباً ما يكون محل انتقاد لأنه ينتِج كميات كبيرة من النفايات ويتسبب بمستويات عالية من التلوث ويسهم أيضاً في تغير المناخ وفقدان التنوع البيولوجي. وأفاد الفريق الدولي المعني بالموارد التابع لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة بأن ما يقارب نصف انبعاثات غازات الدفيئة في العالم ناجم عن استخراج الموارد الطبيعية ومعالجتها.

وخلافاً للنموذج الاقتصادي الخطي التقليدي، يوفِّر الاقتصاد الدائري وسيلة لتقليص حجم النفايات والحد من التلوث المرتبط بها. والاقتصاد الدائري نموذج للإنتاج والاستهلاك هدفه ضمان الاستمرار في استخدام الموارد لأطول فترة ممكنة عن طريق تقليل الهدر وإعادة استخدام الموارد وإعادة تدويرها.

وقد تنتج فوائد كثيرة من اعتماد مبادئ الاقتصاد الدائري في أنشطة إخراج المرافق النووية من الخدمة. والإخراج من الخدمة عملية متعددة التخصصات تستغرق عادةً عقداً أو أكثر من الزمن وتستلزم إزالة التلوث من المرافق النووية وتفكيكها وهدمها كي يتسنى إعفاء الموقع من التحكم الرقابي وإعادة استخدامه. وتتيح إعادة تدوير المواد خلال هذه العملية إنتاج كميات أقل من النفايات. ولهذا الأمر فوائد إضافية تتمثل في خفض تكاليف أنشطة الإخراج من الخدمة والحد من حالات التأخير المحتملة.

وفي هذا الصدد، ذكر أرنه لارسون، مدير تكنولوجيا النفايات المشعة والإخراج من الخدمة في شركة سايكلايف سويدن (Cyclife Sweden) أن "تطبيق مبادئ الاقتصاد الدائري في أنشطة الإخراج من الخدمة يمكِّننا من تقليل كمية النفايات المشعة وغير المشعة التي يجب التخلص منها، ويتيح لنا في الوقت ذاته تقليل كمية المواد الخام التي تُستخرج من الأرض". وأضاف: "بإمكاننا إعادة استخدام المواد والمعدات المستخرجة من المنشآت والمباني والهياكل القائمة، والمساعدة على إتاحة استعمال الموقع مجدداً لأغراض مفيدة أخرى."

ولقد أُغلِق على الصعيد العالمي أكثر من 200 مفاعل قوى نووية لإخراجها من الخدمة، ومن المتوقع أن تُغلَق المئات من المفاعلات التي هي قيد التشغيل حالياً وأن تُخرَج من الخدمة في العقود القادمة. وعند تصميم المرافق النووية اليوم، توضَع خطط الإخراج من الخدمة والتصرف في النفايات قبل البدء بتشييد المرافق. وعلى عكس ذلك، لم تُراعَ مبادئ الدائرية في تصاميم المفاعلات النووية التي شُيِّدت في ستينات وسبعينات القرن العشرين.

ولكن اتِّباع مبادئ الدائرية يضمن فعالية أنشطة الإخراج من الخدمة حتى في المرافق القديمة، بحيث يمكن إعادة استخدام أو إعادة تدوير ما يصل إلى 90 في المائة من المواد غير المشعة في أي محطة للقوى النووية، مثل المعادن والخرسانة وحتى ملابس العاملين. ويُذكر أن نسبة لا تتجاوز 3 في المائة تقريباً من المواد هي شديدة الإشعاع وتتألف بصورة رئيسية من الوقود المستهلك. وحتى في هذه الحالة، يمكن إعادة معالجة أكثر من 95 في المائة من هذا الوقود لصنع وقود جديد ومنتجات فرعية.

وقال فلاديمير ميشال، القائم بأعمال رئيس قسم الإخراج من الخدمة والاستصلاح البيئي في الوكالة، إن "اعتماد مبادئ الاقتصاد الدائري يمكن أن يقدِّم دوافع قوية لتقليل حجم النفايات إلى أدنى حد وزيادة الكفاءة وتعزيز الاستدامة". وأضاف أن "إخراج المرافق النووية من الخدمة يولِّد كميات هائلة من المواد التي يمكن إعادة تدويرها وإعادة استخدامها لأغراض أخرى."

كانت مدينة غرونوبل الفرنسية تستضيف ستة مرافق نووية، وبعد إنجاز أنشطة الإخراج من الخدمة بنجاح، بات الموقع مركزاً للبحث والتطوير في مجال الطاقة المتجددة.

(الصورة: موقع unsplash)

من ستة مرافق نووية إلى مركز للطاقة المتجددة

عملية إعادة التدوير شائعة فعلاً في أنشطة الإخراج من الخدمة. فبعد التفكيك، يمكن صهر المكونات المعدنية الكبيرة وتحويلها إلى معادن 'جديدة' لإعادتها إلى الاقتصاد. ويمكن إعادة استخدام أجزاء من المعدات في مرافق نووية أخرى قيد التشغيل، ويمكن استخدام المواد المستخرجة من المباني المهدمة، مثل الخرسانة، كمواد ردم لإعادة تأهيل المواقع أو في مشاريع تشييد أخرى، ولا سيما للمنازل والطرق. وعلى سبيل المثال، عندما أُخرِج من الخدمة مفاعل مواتا الأسترالي للبحوث في سيدني خلال عام 2009، أُعيد استخدام أو تدوير أكثر من 85 في المائة من المواد.

والمواد التي تبقى في المرافق بعد الانتهاء من أنشطة الإخراج من الخدمة والتي لا يمكن إزالة التلوث منها وتنظيفها لإعادة استخدامها أو تدويرها، هي مواد تُعَدُّ نفايات مشعة ويتم التخلص منها على هذا الأساس في مستودعات مختلفة الأنواع إلى أن تصبح غير خطيرة للإنسان والبيئة (انظر الصفحة 22).

وهناك أمثلة عديدة على المواقع النووية التي تم تغيير غرضها، ومنها محطات القوى النووية ومفاعلات البحوث وغيرها من المرافق المستخدمة في مجالَي الطب أو الصناعة. ويمكن تحويل مواقع محطات القوى النووية إلى مرافق لمعالجة النفايات وخزنها أو إلى مراكز بحوث لتدريب العاملين المختصين بالتشغيل. ويمكن أن تصبح المواقع مجمعات صناعية وأن تُعطى المباني حياة جديدة عن طريق تغيير غرضها لاستخدامها في صناعات تقليدية أخرى، واجتذاب الأعمال التجارية، واستحداث وظائف جديدة.

وفي مدينة غرونوبل الفرنسية، أُزيلَ التلوث بنجاح من ستة مرافق نووية، بما يشمل ثلاثة مفاعلات بحوث ومختبراً واحداً ومرفقَين لخزن النفايات المشعة، وتم تفكيكها كلها في عام 2012. ويُستخدم الموقع حالياً بوصفه مركزاً للبحث والتطوير في مجال تكنولوجيا الطاقة الخضراء ومصادر الطاقة المتجددة، ويركز عمله على المركبات الكهربائية والبطاريات والهيدروجين.

وتوفِّر الوكالة مساحة للبلدان والمنظمات والأفراد من أجل التعاون وتبادل المعارف والتكنولوجيات في مجال الإخراج من الخدمة. وتتضمن منصة التعلم الإلكتروني التابعة للوكالة محاضرات بشأن الإخراج من الخدمة، والاستصلاح البيئي، والتصرف في النفايات المشعة والوقود المستهلك.

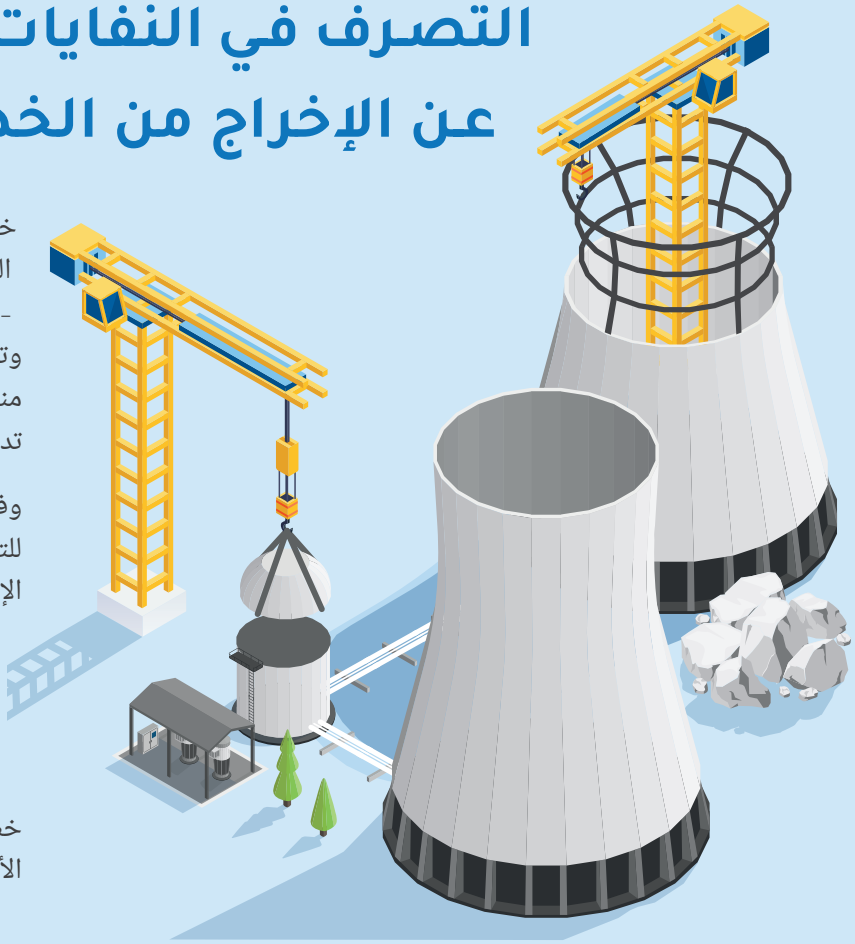
وأنشأت الوكالة في عام 2007 الشبكة الدولية المعنية بالإخراج من الخدمة بهدف توفير محفل يتيح للمهنيين المعنيين بمشاريع الإخراج من الخدمة فرصة للتعاون والتفاعل. وفضلاً عن ذلك، تدعم الوكالة أنشطة بناء القدرات في الدول الأعضاء وتيسِّر بعثات الخبراء والاستعراضات التي يجريها النظراء وتسهِّل تقديم الخدمات الاستشارية الخاصة ببرامج الإخراج من الخدمة وغيرها من الأنشطة في هذا الصدد، مثل التصرف في النفايات المشعة والوقود المستهلك.

وختم ميشال قائلاً إن "الاقتصاد الدائري يوفِّر نهجاً واعداً لتكييف القطاع النووي مع مبدأي الاستدامة والدائرية، وللحد من الآثار البيئية والمحافظة على الموارد للأجيال المقبلة".

"اعتماد مبادئ الاقتصاد الدائري يمكن أن يقدِّم دوافع قوية لتقليل حجم النفايات إلى أدنى حد وزيادة الكفاءة وتعزيز الاستدامة"

– فلاديمير ميشال، القائم بأعمال رئيس قسم الإخراج من الخدمة والاستصلاح البيئي في الوكالة

التصرف في النفايات المشعة الناتجة عن الإخراج من الخدمة

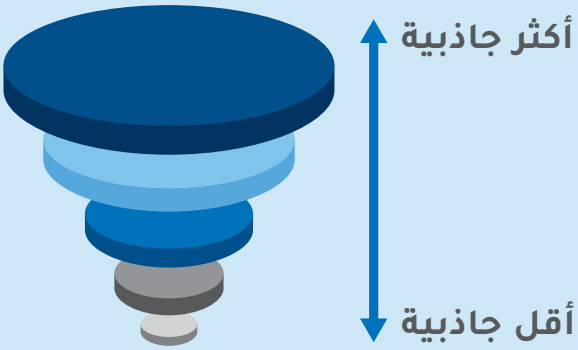


خلال عملية الإخراج من الخدمة، تُحدد خصائص المواد المشعة والأجسام الملوثة بنشاط إشعاعي - من الملابس الواقية إلى أجزاء المفاعلات - وتخضع للفرز لتعزيز منع إنتاج النفايات والتقليل منها إلى أدنى حد وإعادة استخدامها وإعادة تدويرها.

وفي حين تخضع **المواد والأجسام المشعة** للتحكم الرقابي، فإنَّ معظم المواد الناجمة عن الإخراج من الخدمة تُعفى من التحكم الرقابي نظراً إلى ضآلة مستوى نشاطها الإشعاعي.

فإذا كانت **المواد المشعة لا تصلح لإعادة التدوير**، فإنَّها تخضع للفرز ثم تُعبَّأ للتخزين المؤقت قبل التخلص منها في مرافق مشيدة خصيصاً لذلك الغرض - وهذه هي المرحلة الأخيرة من التصرف في النفايات المشعة.

التسلسل الهرمي لعملية التصرف في النفايات



1 منع إنتاج النفايات

2 تقليل النفايات إلى أدنى حد

3 إعادة الاستخدام

4 إعادة التدوير

5 التخلص

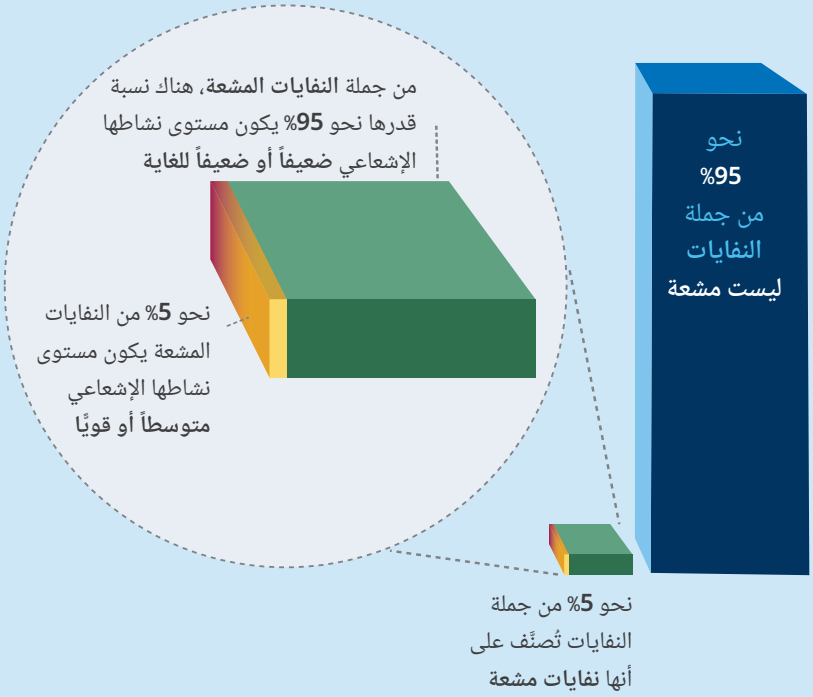
تشكِّل عملية التصرف في النفايات عنصراً رئيسيًا في تنفيذ الإخراج من الخدمة والتصرف في النفايات المشعة بطريقة مستدامة، ويُستخدم التسلسل الهرمي المبيَّن في الشكل النفايات في تحديد أولويات التصرف في النفايات. ومن خلال مراعاة مقتضيات الإخراج من الخدمة في مرحلة تصميم المرفق النووي، يمكن العمل على منع إنتاج النفايات والتقليل منها إلى أدنى حد.

تتمثل إحدى الأولويات في التقليل إلى أدنى حد من النفايات المشعة.

كميات النفايات الناتجة عن الإخراج من الخدمة

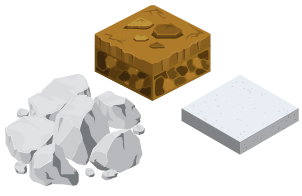
تتفاوت النفايات الناتجة عن الإخراج من الخدمة على نطاق واسع من حيث الكمية ومستوى النشاط الإشعاعي.

وعند إخراج إحدى محطات القوى النووية من الخدمة، تبلغ نسبة المواد التي يصل مستوى نشاطها الإشعاعي حدًّ اعتبارها من النفايات التي يجب التصرف فيها نحو 5% من جملة المواد الناتجة عن عملية الإخراج من الخدمة (انظر التوضيح أدناه).



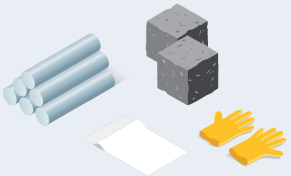
فئات تصنيف النفايات المشعة وأنواعها

VLLW
نفايات ضعيفة الإشعاع جداً
الخرسانة، التربة، الركام...



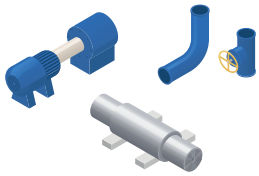
تصلح للتخلص منها في مواقع طمر قريبة من سطح الأرض.

LLW
نفايات ضعيفة الإشعاع جداً
مكونات الدائرة الأولية في المفاعلات، المعادن الشديدة التلوث...



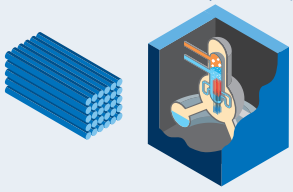
تصلح للتخلص منها في مرافق قريبة من سطح الأرض؛ وتتطلب العزل والاحتواء لفترات تصل إلى عدة مئات من السنين.

ILW
نفايات متوسطة الإشعاع
المعدات الوقائية الشخصية، المسحات الورقية، النظم المساعدة المستخدمة في إزالة التلوث وتفكيك الهياكل...



تصلح للتخلص منها في مستودعات جيولوجية على أعماق أكبر؛ وتتطلب العزل والاحتواء لفترات تصل إلى عدة آلاف السنين.

HLW
نفايات قوية الإشعاع
الوقود المستهلك، أغلفة كسوة الوقود المستهلك، النفايات المزججة الناتجة من إعادة المعالجة...

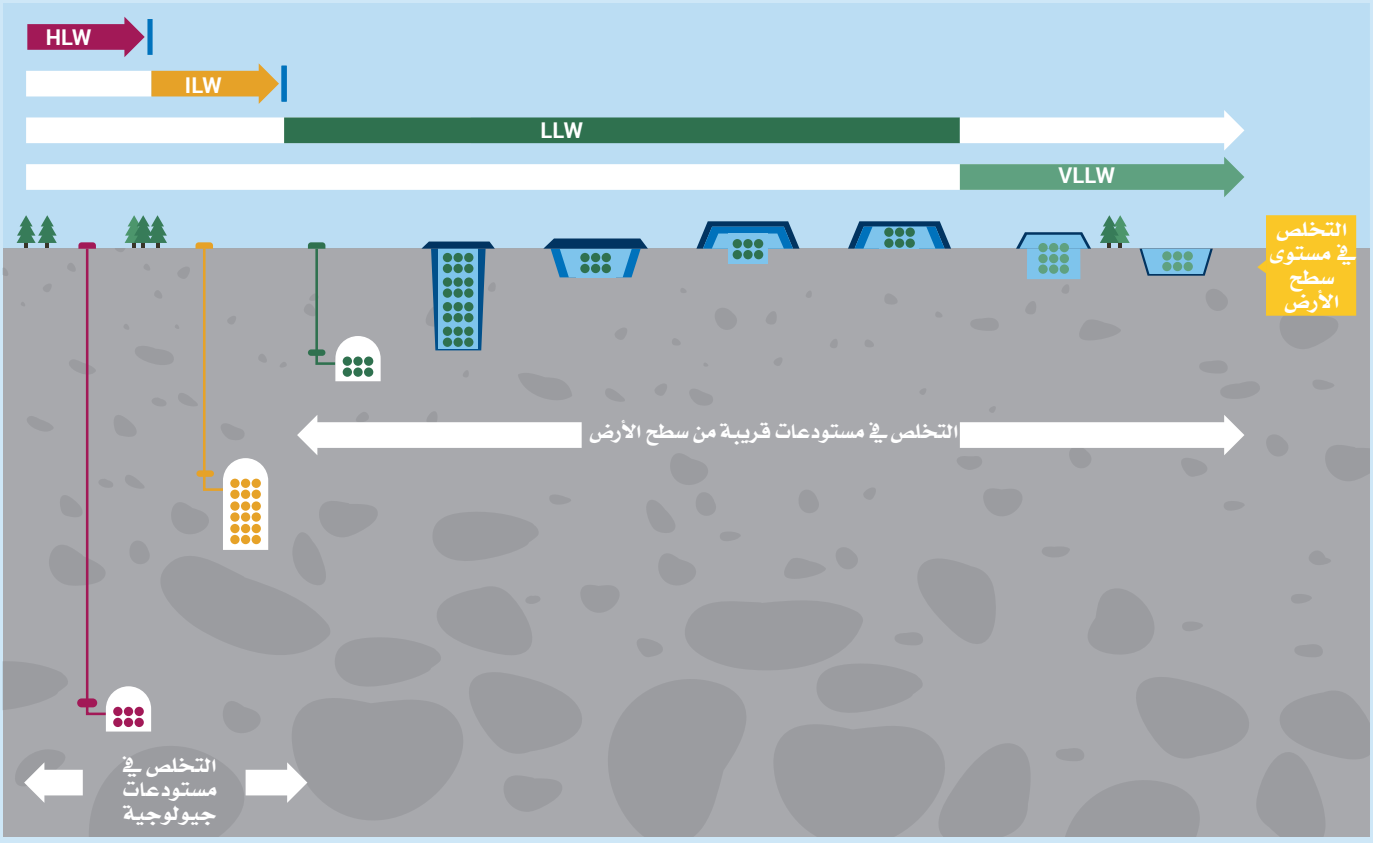


تصلح للتخلص منها في تكوينات جيولوجية البالغ عمقها عدة مئات من الأمتار تحت سطح الأرض؛ وتتطلب العزل والاحتواء لفترات تصل إلى عدة آلاف السنين.

توفر مرافق التخلص من النفايات المشعة تدابير العزل والاحتواء بناءً على حواجز متعددة ووظائف للأمان.

إعادة استخدام وإعادة تدوير المواد المعفاة من التحكم الرقابي

التسلسل الهرمي لعملية التصرف في النفايات



كيف يجري التصرف في النفايات المشعة بأمان؟

توضع طبقات متعددة من تدابير الحماية لتكفل الأمان للناس والبيئة في مواجهة الأخطار والمخاطر الناجمة عن استخدام الإشعاع المؤين، بما في ذلك النفايات المشعة.

يخضع الدخول إلى مواقع التصرف في النفايات المشعة لتدابير تحكم صارمة.

ويتولى التصرف في النفايات المشعة موظفون مؤهلون وذوو خبرة.

يمتد تاريخ البحث والتطوير والتطبيق في مجال أمان التخلص من النفايات المشعة على مدى عدة عقود.

وفقاً لإجراءات صارمة، تتحمل الجهة المشغلة المسؤولية الرئيسية عن أمان التصرف في النفايات المشعة تحت إشراف جهات رقابية مستقلة.

يستند الإذن الرقابي للمرافق والأنشطة المعنية بالتصرف في النفايات إلى بيان حالة الأمان وتقييمات الأمان المفصَّلة.

كيف يسهم التصرف في النفايات المشعة بطريقة مأمونة في أهداف التنمية المستدامة التي وضعتها الأمم المتحدة؟

التصرف المأمون في النفايات المشعة والانبعاثات البيئية، والإخراج من الخدمة والاستصلاح يحمي الحياة على الأرض والحياة تحت الماء.

التصرف المأمون في النفايات المشعة والانبعاثات البيئية والإخراج من الخدمة والاستصلاح يساهم في إعادة تدوير وإعادة استخدام المواد والأشياء والمواقع.

تتسم التكنولوجيات النووية بالاستدامة عندما تكون مأمونة طوال كامل عمرها بما في ذلك التصرف المأمون في النفايات المشعة والانبعاثات البيئية والإخراج من الخدمة.

الاستخدام المستدام للتكنولوجيات النووية يساهم بشكل مباشر في تحقيق تسعة أهداف من أهداف التنمية المستدامة.

ازدهار متوقع في سوق إخراج المرافق النووية من الخدمة

بقلم جوان بيرج وإيما ميدجلي

مع اقتراب العديد من محطات القوى النووية حول العالم من نهاية دورة حياتها، تتشكَّل صناعة جديدة ناشئة تتمحوَّر حول إخراج المرافق النووية من الخدمة. وبالإضافة إلى محطات القوى النووية، هناك العديد من المرافق المشاركة في دورة الوقود النووي والتي يلزم إخراجها من الخدمة لدى بلوغها نهاية دورة حياتها، مثل مراكز البحوث والمرافق المعنية بإعادة معالجة الوقود المستهلك أو بمعالجة النفايات. وإجمالاً، يُرجَّح أنَّ مبلغاً يصل إلى عدة مئات من مليارات الدولارات سوف يُنفق على أنشطة الإخراج من الخدمة حول العالم من الآن وحتى عام 2050، وقد بدأت الشركات والمستثمرون بالفعل في ترسيخ أقدامهم في هذا المجال.

وحاليًا، يبلغ عدد مفاعلات القوى النووية العاملة قرابة 420 مفاعلاً حول العالم. وهناك نحو 200 من المفاعلات النووية التي يُتوقع أن تبدأ عملية إخراجها من الخدمة بحلول عام 2050. وبالإضافة إلى أعمال إخراج المفاعلات من الخدمة (وهي مشاريع يمكن أن يستغرق تنفيذها 20 عاماً من البداية إلى النهاية)، فالخبرات في مجال الإخراج من الخدمة مطلوبة أيضاً في تصميم المرافق النووية الجديدة. وهناك حاليًا ما يزيد على 50 مفاعلاً قيد التشييد على الصعيد العالمي. وقبل الشروع في تشييد هذه المفاعلات، كان من اللازم أن توضع لكلٍّ منها خطة للإخراج من الخدمة. ولذلك فإنَّ صناعة الإخراج من الخدمة تتطلع إلى آفاق مستقبلية مزدهرة في الأجل الطويل.

ومن المتوقع أنَّ الشركات العاملة في مجالات الهندسة النووية والتشييد والهدم والتصرف في النفايات ستكون أبرز الجهات التي تقدِّم الخدمات لصناعة الإخراج من الخدمة. وسوف يتمثَّل دورها في إزالة التلوُّث من المرافق النووية وتفكيكها، واستصلاح المواقع لاستخدامها في أغراض مأمونة ونافعة في المستقبل، بمراعاة الاستدامة والعوامل الاقتصادية والاجتماعية. فلا بدَّ أيضاً من أن يكون تفكيك المرافق النووية بطريقة مأمونة وأن تُراعى فيه الآثار البيئية، بما يتوافق مع مبادئ الاقتصاد الدائري، بما في ذلك من خلال إعادة تدوير المعادن والأسلاك والكابلات المستعادة، وفصل الخرسانة النظيفة عن الخرسانة المسلحة المدعمة بالفولاذ. وفي الوقت نفسه، تتطلب هذه المهمة المعقدة توافر قوة عاملة ذات مهارات عالية ينبغي تنميتها توسيعها من أجل تلافي وقوع حالات نقص في المهارات النووية في المستقبل.

وبغية الاحتفاظ بالمعارف والنهوض بالصناعة، تتعهَّد الشبكة الدولية المعنية بالإخراج من الخدمة التابعة للوكالة، التي تتيح محفلاً لتقاسم الخبرات والدروس المستفادة فيما بين المنظمات والأفراد العاملين في مجال إخراج المرافق النووية من الخدمة وتفكيكها. وتساعد الوكالة البلدان على التخطيط لعملية الإخراج من الخدمة وتنفيذها، من خلال توفير المشورة القانونية والتقنية والمتعلقة بالأمان، ودعم تقاسم المعارف عن طريق الدورات التدريبية وحلقات العمل. وتؤدي الوكالة دوراً مهمًّا في تيسير التعاون الدولي على نطاق واسع وإجراء الاستعراضات التقنية للوقوف على الممارسات الجيدة وضمان الاستفادة من الدروس المستخلصة من التجارب.

وقالت السيدة تتيانا كيلوتشيتسكا، الأخصائية في مجال الإخراج من الخدمة لدى الوكالة: "تجمع الشبكة بين المنظمات والأفراد العاملين في مجال إخراج المرافق النووية من الخدمة وتفكيكها. وهي تساعد على نشر المعلومات المتعلقة بعملية الإخراج من الخدمة، مثل تقاسم أفضل الممارسات والابتكارات، والنهوض بالتعاون والتنسيق في قطاع صناعة الإخراج من الخدمة حول العالم".

ومن بين المنظمات التي تتقاسم خبراتها في إطار الشبكة لفائدة الأعضاء الآخرين المنظمةُ المسؤولة عن موقع سيلافيلد بالمملكة المتحدة. وكان الموقع يستضيف طائفة من المرافق النووية تشمل مفاعلات للقوى النووية ومرافق لإعادة معالجة الوقود ومحطات لمعالجة النفايات. وفي وقت افتتاح محطة كالدر هول للقوى النووية في موقع سيلافيلد في خمسينات القرن العشرين، كانت أول محطة تجارية للقوى النووية في العالم. وبسبب التنوع الواسع في المرافق النووية المتقادمة الموجودة في الموقع ضمن مساحة محدودة، اضطُر المهنيون المسؤولون عن عمليات الإخراج من الخدمة في الموقع إلى استحداث حلول مبتكرة وفريدة من نوعها خلال تلك العمليات، بما في ذلك الاستعانة بالرقمنة والروبوطيات.

وقال السيد مايك غاي، المسؤول في مؤسسة سيلافيلد المحدودة: "إنَّ الأمر يشكِّل تحديًا بالغ التعقيد في مجال الإخراج من الخدمة.

ويرجع ذلك إلى وجود عدد كبير من المرافق ذات الطبيعة المتنوعة بعضها على مقربة من بعض في موقع مزدحم. وعلينا أن نتعامل مع طائفة واسعة من

"تجمع الشبكة [الدولية المعنية بالإخراج من الخدمة التابعة للوكالة] بين المنظمات والأفراد العاملين في مجال إخراج المرافق النووية من الخدمة وتفكيكها. وهي تساعد على نشر المعلومات المتعلقة بعملية الإخراج من الخدمة، مثل تقاسم أفضل الممارسات والابتكارات، والنهوض بالتعاون والتنسيق في قطاع صناعة الإخراج من الخدمة حول العالم."

– تتيانا كيلوتشيتسكا، الأخصائية في مجال الإخراج من الخدمة لدى الوكالة

التحديات المتصلة بالنفايات، بما في ذلك النفايات المخزنة في أحواض تحت سطح الماء وإزالة النفايات من خلايا ضخمة الحجم وبالغة التعقيد".

وقد بدأت أعمال الإخراج من الخدمة في موقع سيلافيلد في ثمانينات القرن العشرين ومن المتوقع أن تستمر طوال القرن الحالي، وقد تتجاوز ذلك. وبفضل هذه الثروة الكبيرة من الخبرات المكتسبة، فإنَّ مؤسسة سيلافيلد في موقع مثالي لتقاسم خبراتها وتجاربها الفريدة مع الأوساط الدولية المعنية بالإخراج من الخدمة. وقد طبَّقت المؤسسة بالفعل عمليات جديدة لتبسيط معالجة النفايات المشعة في المواقع القديمة وتسريع وتيرتها، وتقاسمت ما لديها من معارف بشأن تفكيك الهياكل لمساعدة المهندسين على تصميم المرافق بطريقة تسهِّل تفكيكها.

وبالإضافة إلى ذلك، تشير الاستثمارات في سلاسل الإمداد التي تعمل مع مؤسسة سيلافيلد المحدودة إلى المكاسب المالية التي يمكن أن تحققها الشركات التي تدخل قطاع الصناعة النووية. ففي عام 2021، أنفقت الهيئة النووية المعنية بالإخراج من الخدمة في المملكة المتحدة، وهي الهيئة العامة المسؤولة عن الإشراف على عمليات الإخراج من الخدمة في موقع سيلافيلد، نحو 55 في المائة من ميزانيتها السنوية البالغة 4 مليارات دولار أمريكي على خدمات قدمتها الشركات الشريكة.

تسريع وتيرة الإخراج من الخدمة

يتزايد استخدام الخبرات المكتسبة في تنفيذ برامج الإخراج من الخدمة على مدى عدة سنوات من أجل تقصير مدة مشاريع الإخراج من الخدمة. وفي حال تقليل عدد السنوات اللازمة لتنفيذ هذه المشاريع، فإنَّ ذلك سيؤدي إلى خفض كبير في ميزانياتها، لأنَّ تكاليف اليد العاملة تشكِّل نسبة كبيرة من مجمل تكاليف المشروع. وهناك عدد من المشاريع التي استُهلَّت مؤخراً لإخراج مفاعلات قوى تجارية من الخدمة في الولايات المتحدة الأمريكية والتي تهدف إلى تقصير مدة مرحلة التفكيك الرئيسية (التي لا تشمل الأنشطة المتعلقة بإنهاء الرخصة) إلى ما بين خمس وسبع سنوات، بما يمثِّل تقريباً نصف المتوسط العالمي الحالي للمدة التي تستغرقها هذه المرحلة.

ومن خلال تحقيق المستوى الأمثل في التفاعل بين أنشطة المشروع الرئيسية والتفكيك والتصرف في النفايات، يمكن تقصير المدة الزمنية اللازمة لإتمام المشروع. ومن العوامل البالغة الأهمية في هذا الصدد حسن إدارة المشروع ووجود علاقات جيدة بين الجهة المالكة للمرفق والجهات المشاركة في سلسلة الإمداد. وعادة ما تهدف البرامج الكبرى، على غرار سيلافيلد، إلى وضع نهج لإقامة شراكات طويلة الأجل مع الجهات المشاركة في سلسلة الإمداد، على أساس عقود تصل مدتها إلى عشر سنوات.

كما أنَّ الحصول على إذن الإخراج من الخدمة مبكِّراً يساعد على تقليل المدة اللازمة لإعفاء المرفق من التحكم الرقابي. وهناك برامج استُهلَّت مؤخراً في ألمانيا تهدف للحصول على أذون الإخراج من الخدمة في نفس وقت خضوع المرفق للإغلاق الدائم تقريباً. ويتطلب هذا النهج الاضطلاع بأنشطة التخطيط المفصلة وتقييمات الأمان المتصلة بها قبل خضوع المرفق للإغلاق الدائم.

وتنتج عن مشاريع الإخراج من الخدمة كميات بالغة الضخامة من المواد التي يلزم التصرف فيها بفعالية. وتوفير الفرصة لإعادة تدوير أو إعادة استخدام قدر كبير من هذه المواد والقدرة على التخلص سريعاً من المواد التي يجب التصرف فيها بوصفها من النفايات هو أيضاً أمر بالغ الأهمية لتقليل التكاليف الإجمالية، وعامل يسهم كثيراً في تسريع وتيرة عمليات الإخراج من الخدمة في المستقبل.

من المتوقع أنَّ عملية إخراج موقع سيلافيلد في المملكة المتحدة من الخدمة سوف تستغرق فترة تصل إلى عدَّة عقود.
(الصورة: مؤسسة سيلافيلد المحدودة)

تطبيق الضمانات النووية أثناء الإخراج من الخدمة

بقلم جينيفر واغمان

تساعد الوكالة على ردع انتشار الأسلحة النووية من خلال مجموعة من التدابير التقنية المعروفة باسم الضمانات، والتي تقوم على التحقُّق من وفاء البلدان بالتزاماتها القانونية الدولية بعدم إساءة استخدام المواد والتكنولوجيا النووية. ويشمل نطاق هذه الالتزامات مشاريع الإخراج من الخدمة. وحتى آذار/مارس 2023، كان هناك ما يربو على 200 من المرافق النووية التي توقف تشغيلها نهائيًا، إما بسبب بلوغها نهاية دورة عمرها الطبيعية أو بناءً على قرارات سياسية وطنية. وتظلُّ البلدان ملزمة

أنشطة التفتيش الخاصة بالضمانات في محطة يورينكو، في ألميلو بهولندا.
(الصورة من: دين كالما، الوكالة)

قانوناً بالوفاء باتفاقات الضمانات طيلة عملية الإخراج من الخدمة، ويستمر ذلك في بعض الحالات حتى بعد انتهاء العملية.

وبما أنَّ عملية الإخراج من الخدمة تتفاوت من مرحلة إلى أخرى وتستغرق وقتاً طويلاً، فقد وضعت الوكالة مبادئ توجيهية تضمن استمرار تطبيق الضمانات إلى أن يتم إخراج المرفق من الخدمة لأغراض الضمانات.

وتنص هذه المبادئ التوجيهية التي وضعتها الوكالة على تحقيق هدفين رئيسيين للضمانات، وهما: أولاً، التحقق من إزالة جميع المواد النووية من المرفق ونقلها إلى مكان معروف؛ وثانياً، التأكد من أنَّ جميع المعدات الأساسية قد أُزيلت من المرفق أو صارت غير قابلة للتشغيل.

وأثناء الإخراج من الخدمة، تُشجِّع البلدان على العمل مع الوكالة من أجل تقديم خطط دورية للأنشطة ذات الصلة وتحديث المعلومات التصميمية لكي تُظهر التغيُّرات التي تطرأ على المرفق. وريثما تُزال المواد النووية والمعدات الأساسية، تعمل الوكالة على إجراء إعادة تقييم متكرِّرة لتدابير وأنشطة الضمانات المنفَّذة في المرفق، وتنقِّحها حسب الاقتضاء بالتشاور مع البلد المعني. ويُعرف النهج القائم على إشراك البلدان مبكراً في تفاصيل هذه العملية بنهج مراعاة الضمانات في التصميم.

وقال السيد جيريمي ويتلوك، أحد كبار المستشارين التقنيين في إدارة الضمانات بالوكالة: "إنَّ نهج مراعاة الضمانات في التصميم هو عملية قائمة على التعاون تتَّسم بحسن التوقيت والفعالية من حيث التكلفة، والغرض منها هو التأكد من أنَّ جميع الجهات المعنية لديها فهم كامل للالتزامات المتعلقة بالضمانات في وقت مبكر للغاية". ويعمل السيد ويتلوك مع قطاع الصناعة والهيئات الرقابية وسائر الجهات المعنية من أجل مراعاة الضمانات في مرحلة التصميم عند إنشاء مرافق نووية جديدة أو تعديل مرافق قائمة، بما في ذلك المرافق قيد الإخراج من الخدمة. وتابع السيد ويتلوك قائلاً: "بغية مساعدة البلدان في عملية إخراج المرافق النووية من الخدمة، وضعنا مبادئ توجيهية تحدِّد المتطلبات والأنشطة المتعلقة بالضمانات. وتساعد هذه المبادئ البلدان والجهات المشغلة للمرافق على فهم الخطوات اللازمة وكيفية العمل مع الوكالة من أجل ضمان تقدُّم عملية الإخراج من الخدمة مع التقيد بالجدول الزمني المطلوب".

وفي إطار عملية إخراج أي مرفق نووي من الخدمة، ينبغي الالتزام بضمانات الوكالة خلال 'حملة' نقل الوقود المستهلك إلى مرفق آخر لخزنه أو التخلص منه في المدى البعيد. ولأغراض هذه الحملة، عادةً ما تُركَّب معدات إضافية خاصة بالضمانات للمراقبة و/أو الرصد، وتُستعرض البيانات المسجلة بانتظام.

وقالت السيدة لاي سان تشو، وهي مفتشة ضمانات نووية لدى الوكالة: "من خلال التحقق من انتقال المواد النووية إلى مكان للخزن، تحافظ الوكالة على استمرارية المعرفة فيما يخصُّ المواد في جميع الأوقات، ويساعد ذلك تقديم توكيدات موثوقة بعد تحريف المواد النووية عن الاستخدام السلمي". والسيدة تشو مسؤولة عن التحقق من مفردات الوقود المستهلك ورصد عمليات النقل واستعراض الصيغ المحدثة من المعلومات التصميمية أثناء نقل الوقود المستهلك تحضيراً للإخراج من الخدمة نهائيًا.

وفور الانتهاء من إزالة جميع المواد النووية، تشرع الجهة المشغلة للمرفق في تفكيك المعدات الأساسية. وأخيراً، تزيل الجهة المشغلة أهم قطع المعدات الأساسية، أي قلب المفاعل، للتخلص منه في مرفق لمعالجة النفايات. وبعد ذلك يرسل البلد المعني للوكالة الصيغة النهائية المحدثة من المعلومات التصميمية للمرفق لإبلاغها رسميًا بأنَّ المرفق قد تم إخراجه من الخدمة.

وبعد إخضاع المواد النووية للضمانات الملائمة في مرفق للخزن أو التخلص الطويل الأجل، تتحقَّق الوكالة من خلو المرفق الأصلي من المواد النووية بعد إخراجه من الخدمة، وتتأكد أيضاً من أنَّ جميع المعدات الأساسية قد أُزيلت من المرفق أو صارت غير قابلة للتشغيل. وما إن تتأكد الوكالة من أنَّ المرفق قد أُخرج من الخدمة لأغراض الضمانات، حتى توقف عمليات التفتيش الروتينية وأنشطة التحقق من التصميم في المرفق.

وقال السيد كيرين سوان، وهو محلل ضمانات لدى الوكالة: "من خلال العمل مع البلد المعني والجهة المشغلة للمرفق الخاضع للضمانات من أجل تكوين فهم كامل للاحتياجات الخاصة المتعلقة بإخراج المرفق من الخدمة، نساعد على تحقيق الانتقال المأمون والآمن إلى وضعية إغلاق العمليات التشغيلية بطريقة تفي بجميع الالتزامات الدولية الواقعة على البلد المعني".

التحضير لستين عاماً مقدماً

أول محطة للطاقة النووية في الإمارات العربية المتحدة وخطط إخراجها من الخدمة في المستقبل

بقلم آرتم فلاسوف

"إنَّ الإمارات العربية المتحدة، التي دشَّنت بنجاح أولى محطات الطاقة النووية لديها، لديها بالفعل خطة أولية لإخراج المحطة من الخدمة عندما تبلغ نهاية دورة عمرها".

– نتيانا كيلوتشيتسكا، أخصائية في مجال الإخراج من الخدمة لدى الوكالة

منذ اكتشاف احتياطيات النفط والغاز منذ ما يربو على نصف قرن، شهدت الإمارات العربية المتحدة تحولاً اقتصاديًا مذهلاً. ففي غضون بضعة عقود، انتقل البلد من اقتصاد صغير يرتكز على الصيد وتجارة اللؤلؤ إلى مركز عالمي للسياحة والتجارة والأعمال والأموال. وبغية المحافظة على هذا التقدم الاقتصادي والحد في الوقت نفسه من انبعاثات الكربون المرتبطة به، تعمل الإمارات العربية المتحدة على تنويع مزيج الطاقة لديها، بما في ذلك إدخال الطاقة النووية ضمن ذلك المزيج.

وفي عام 2020، بدأ تشغيل محطة براكة للطاقة النووية، وهي أول محطة للطاقة النووية في الإمارات العربية المتحدة والعالم العربي. وتضمُّ المحطة حاليًا ثلاثة مفاعلات قيد التشغيل ومفاعلاً واحداً أوشك تشييده على الانتهاء. ومن المتوقع أن توفر محطة الطاقة النووية ما يصل إلى 25 في المائة من احتياجات البلد من الكهرباء - بقدرتها على تزويد أكثر من نصف مليون أسرة إماراتية بالكهرباء - مع دخولها مرحلة التشغيل الكامل في السنوات المقبلة. بيد أنَّ هذه المحطة، شأنها شأن أي محطة أخرى للطاقة النووية، سيجري تفكيكها بحلول نهاية عمرها النافع، أي بعد فترة تتراوح بين 60 و80 عاماً تقريباً. واليوم صار على كلِّ بلد يستهلُّ برنامجاً نوويًا عند تصميم أي مرفق نووي أن يضع خططاً أولية لإخراج ذلك المرفق من الخدمة لكي يتسنى تغيير الغرض من الموقع فيما بعد.

وتقول نتيانا كيلوتشيتسكا، متخصصة في الإخراج من الخدمة لدى الوكالة، "إنّ الإخراج من الخدمة عملية متعددة التخصصات. وينبغي أن يبدأ التخطيط للإخراج من الخدمة، بما بشمل تأمين الأموال اللازمة، في المراحل المبكرة من إنشاء مرفق نووي وينبغي أن يتواصل طيلة المرحلة التشغيلية. وعادةً ما يبدأ التخطيط المفصّل للإخراج من الخدمة قبل بضع سنوات من إغلاق المرفق بصورة دائمة؛ وهو يشمل الاضطلاع بأنشطة لضمان التأهب التنظيمي والتقني مما يتيح انتقالاً سلساً من التشغيل إلى الإخراج من الخدمة." وأضافت قائلة أنَّ: "الإمارات العربية المتحدة، التي دشَّنت بنجاح أولى محطات الطاقة النووية لديها، لديها بالفعل خطة أولية لإخراج المحطة من الخدمة عندما تبلغ نهاية دورة عمرها."

أهمية التخطيط الدقيق

قدَّمت شركة نواة للطاقة، وهي الجهة المشغلة لمحطة براكة للطاقة النووية، خطة أولية للإخراج من الخدمة في إطار طلبها للحصول على رخصة تشغيل من الهيئة الرقابية في الإمارات العربية المتحدة، وهي الهيئة الاتحادية للرقابة النووية. وتتوخى الخطة أن تتولى شركة نواة تنفيذ عملية الإخراج من الخدمة، على أن تبدأ العملية بعد مرور خمس سنوات على الإغلاق الدائم لآخر مفاعل. وحسب مؤسسة الإمارات للطاقة النووية، وهي الجهة المسؤولة عن برنامج الطاقة النووية في

الإمارات العربية المتحدة، فمن المتوقع أن تستغرق عملية الإخراج من الخدمة نحو 13 سنة لكل وحدة من الوحدات الأربع.

وأحد التحديات المتكررة في مجال الإخراج من الخدمة هو عدم التيقُّن من التكلفة الإجمالية للأنشطة ذات الصلة، بما في ذلك تكاليف التصرف الطويل الأجل في النفايات المشعة الناجمة عن الإخراج من الخدمة وفي الوقود النووي المستهلك. وعلى سبيل المثال، فمن الممكن أن تصل تكلفة تشييد مستودع جيولوجي للتخلص من النفايات المشعة الطويلة العمر والوقود المستهلك إلى عدة مليارات من الدولارات.

وقد تأهَّبت الإمارات العربية المتحدة لهذا التحدي واتخذت خطوات من أجل إنشاء "صندوق استئماني للإخراج من الخدمة" يُموَّل بمساهمات سنوية، ويكون مسؤولاً عن تغطية تكاليف إخراج محطة الطاقة النووية من الخدمة والأنشطة ذات الصلة. ولضمان قدرة هذا الصندوق على الوفاء بالالتزامات المتوقعة في المستقبل، تُعتزم مراجعة قيمة المساهمات السنوية دوريًّا وتحديث خطة إخراج محطة الطاقة النووية من الخدمة مرة كلَّ ثلاث سنوات على الأقل على مدى عمر المحطة.

وقالت السيدة كيلوتشيتسكا: "إنَّ أحد العناصر الأساسية في نجاح عملية الإخراج من الخدمة هو توافر إمكانية الحصول على مستوى مناسب من الخبرات والتكنولوجيا عند الشروع في الإخراج من الخدمة". وتعمل الإمارات العربية المتحدة على اتخاذ خطوات تضمن توافر موظفين مؤهلين وأكفاء في الوقت المناسب لتولي الإخراج من الخدمة والتخلص من النفايات المشعة ولوقاية الناس والبيئة من الإشعاعات خلال هذه العملية. ولأنَّ التكنولوجيات من قبيل الربوطيات والذكاء الاصطناعي تتطوَّر باستمرار، فمن المتوقع أن تتيح التطورات الجديدة المزيد من الفرص لإنجاز الإخراج من الخدمة بكفاءة أكبر، من خلال توفير تقنيات تكفل تسريع وتيرة التفكيك وزيادة الفعالية في إزالة التلوث وتحسين وقاية العاملين.

التحضير اليوم لمستقبل مستدام

تساعد الوكالة البلدان على التخطيط لعملية الإخراج من الخدمة وتنفيذها، من خلال توفير المشورة القانونية والتقنية والمتعلقة بالأمان، ودعم تقاسم المعارف عن طريق الدورات التدريبية وحلقات العمل. وتؤدي الوكالة دوراً مهمًّا في تيسير التعاون الدولي على نطاق واسع وإجراء الاستعراضات التقنية للوقوف على أفضل الممارسات وضمان الاستفادة من الدروس المستخلصة من الأمثلة السابقة.

وأضافت السيدة كيلوتشيتسكا: "لقد استفادت الإمارات العربية المتحدة عند وضع سياستها في مجال الطاقة النووية من التفاعل المتواصل مع الوكالة". وتتعاون الإمارات العربية المتحدة مع خبراء الوكالة من أجل ضمان مستوى عالٍ من الأمان والأمن النوويين والشفافية في جميع مراحل تشغيل محطة براكة للطاقة النووية، بما في ذلك فيما يتعلق بخطط إخراجها من الخدمة.

وستضطلع محطة براكة للطاقة النووية بدور رئيسي في استراتيجية الإمارات العربية المتحدة للوصول بصافي الانبعاثات إلى الصفر بحلول عام 2050، والتي تهدف إلى تحقيق زيادة هائلة في إنتاج البلد من الطاقة النظيفة. وستؤدي هذه الاستراتيجية إلى منع إطلاق أكثر من 22 مليون طن من غازات الدفيئة سنويًّا - بما يعادل الانبعاثات الناتجة عن قرابة خمسة ملايين سيارة - ويمثِّل ذلك رُبع الالتزامات التي قطعتها الإمارات العربية المتحدة بالحد من الانبعاثات بموجب المعاهدة الدولية المتعلقة بتغيُّر المناخ والمعروفة باسم اتفاق باريس. ومحطة براكة للطاقة النووية هي بالفعل أكبر محطة لتوليد الكهرباء وأكبر مصدر للكهرباء النظيفة في المنطقة.

لم تدخل بعد أول محطة للطاقة النووية في الإمارات العربية المتحدة مرحلة التشغيل الكامل، ومع ذلك، فقد شرعت البلد بالفعل في التخطيط بدقة لعملية الإخراج من الخدمة في المستقبل.

(الصورة من: مؤسسة الإمارات للطاقة النووية)

تشجيع الجيل المقبل على العمل في مجال الإخراج من الخدمة

بقلم آني إنغستروم

"إنَّ المهنيين الشباب، مثلي، يتطلعون إلى استعمال مهاراتهم للإسهام في تنفيذ برامج الإخراج من الخدمة وتعزيز ثقة الجمهور في المجال النووي".

– سيمونا ساندالوفا، متخصصة في الكيمياء النووية وإحدى الحاصلات على منحة من برنامج المنح الدراسية ماري سكلودوفسكا-كوري التابع للوكالة

يتمثَّل أحد التحديات الرئيسية التي يواجهها قطاع الإخراج من الخدمة في اجتذاب المهنيين الشباب للعمل في هذا المجال. وترجع الحاجة إلى انخراط جيل جديد في مصاف القوى العاملة في المجال إلى عاملين اثنين. فمن جهة، يؤدي العدد المتزايد من المفاعلات المتقادمة التي تبلغ الآن نهاية عمرها التشغيلي إلى حاجة فورية لزيادة القوة العاملة القائمة لإخراج هذه المفاعلات من الخدمة. ومن جهة أخرى، يتعين على قطاع الصناعة الاستعداد للمستقبل حيث يُتوقع أن يشهد مجال الإخراج من الخدمة رواجاً كبيراً ومن ثم زيادة الطلب المرتفع بالفعل على المهنيين في مجالي الهندسة والعلوم.

ومن المقدَّر أنَّ نسبة بين 12 و15% من مفاعلات القوى النووية العاملة حاليًا ستنتهي خدمتها بحلول عام 2030، وسيتطلب إخراجها من الخدمة طائفة واسعة من المهنيين في تخصصات شتى لضمان تفكيكها بطريقة مأمونة وفعالة من حيث التكلفة، مع مراعاة الكيفية التي ستُستخدم بها في المستقبل. وفي الوقت نفسه، فهناك مرافق نووية جديدة يجري تشييدها في جميع أنحاء العالم وسيلزم أيضاً إخراجها من الخدمة في نهاية المطاف.

وقالت السيدة سيمونا ساندالوفا، وهي متخصصة في الكيمياء النووية تبلغ من العمر 25 عاماً وإحدى الحاصلات على منحة من برنامج المنح الدراسية ماري سكلودوفسكا-كوري التابع للوكالة: "إنَّ المهنيين الشباب، مثلي، يتطلعون إلى استعمال مهاراتهم للإسهام في تنفيذ برامج الإخراج من الخدمة وتعزيز ثقة الجمهور في المجال النووي.

وينطوي إخراج المواقع النووية من الخدمة على تحديات معقدة يترتب عليها إتاحة طائفة واسعة من الفرص المهنية للشباب في هذا المجال. وتشمل هذه الفرص أدواراً تنطوي على استخدام التكنولوجيات الناشئة مثل الذكاء الاصطناعي وعلوم البيانات والربوطيات، كما تشمل فرصاً للراغبين في التخصص في حياتهم المهنية في مجالات الفيزياء أو الكيمياء أو الهندسة أو إدارة المشاريع أو التصرف في النفايات أو الاستصلاح البيئي. والخلاصة هي أنَّ مجال الإخراج من الخدمة سيكفل الأمان الوظيفي وإمكانية التقدم في الحياة المهنية لمن يدخلون القطاع في الوقت الراهن وفي المستقبل المنظور.

وقال السيد باتريك أوسوليفان، وهو أخصائي في مجال الإخراج من الخدمة لدى الوكالة: "قبل أربعين عاماً، لم يكن الإخراج من الخدمة من الشواغل ذات الأولوية لدى مطوري محطات القوى النووية أو مرافق دورة الوقود النووي، ولم يكن يحظى باهتمام يُذكر لضمان توافر القوة العاملة التي تتمتع بالمهارات المناسبة عند بلوغ هذه المرافق نهاية دورة عمرها. واليوم، صار اجتذاب المهنيين الشباب العاملين في الميدان النووي إلى مجال الإخراج من الخدمة وأنشطة التصرف في النفايات المرتبطة به أولوية رئيسية في معظم البرامج".

وبغية إزالة الكربون من الأنشطة الاقتصادية، تستثمر البلدان أيضاً في المفاعلات النووية المتطورة، مثل المفاعلات النمطية الصغيرة، والتي يُتوقع أن يكون إخراجها من الخدمة أيسر وأقل تكلفة من المنظور التقني، نظراً لإمكانية نقلها إلى المصنع لتفكيكها وإعادة تدويرها.

وقال السيد ماريوريسانغ ماكوتوتسا، نائب رئيس منظمة جيل الشبان الأفريقيين في المجال النووي: "إذا كانت البلدان ستبذل جهوداً للأخذ بالقوى النووية ضمن مزيج الطاقة لديها، فإنَّ عليها حقًّا أن تؤهِّل نفسها جيداً من حيث تنمية المهارات الأساسية اللازمة لمراعاة تفكيك محطات القوى النووية من البداية". ومنظمة جيل الشبان الأفريقيين في المجال النووي هي منظمة غير ربحية تهدف إلى حشد طاقات المهنيين العاملين في المجال النووي في أفريقيا وتمكينهم من خلال تنظيم التدريبات وعقد الفعاليات الوطنية لإقامة الشبكات. وحالياً، تشغِّل جنوب أفريقيا مفاعلين اثنين للقوى النووية، في حين أنَّ تعمل مصر على تشييد أولى مفاعلاتها وتنظر غانا، إلى جانب قرابة عشرة بلدان أخرى في القارة، في الأخذ بالقوى النووية ضمن مزيج الطاقة لديها.

فرص للشباب

الإخراج من الخدمة هو الخطوة الأخيرة في دورة الحياة النووية؛ بيد أنَّ تفكيك محطة للقوى النووية هو عملية متعددة التخصصات تتطلب إلماماً عميقاً بدورة الحياة النووية بأكملها. ومن ثمَّ فالمهندسون والعلماء وغيرهم من المهنيين المتخصصين في الإخراج من الخدمة لديهم كفاءات يمكن الاستفادة منها في أجزاء أخرى من دورة الحياة النووية، بما يشمل تصميم المنشآت النووية وتشييدها وتشغيلها.

وقالت السيدة ليزا لاند، وهي متخصصة في مجال تنمية الموارد البشرية النووية في الوكالة: "إنَّ الشباب الذين يتمتعون بمهارات وخبرات في مجال الإخراج من الخدمة لديهم فرص في مجالات أخرى أيضاً. فالقدرة

على إدارة المشاريع والمهارات التقنية اللازمة للتصرف في النفايات وفهم تأثير الملوثات على البيئة هي عناصر لها أهمية كبيرة في القطاع البيئي وفي مجالات مختلفة في صناعة التكنولوجيا".

وفي فرنسا، يشجع المعهد الوطني للعلوم والتكنولوجيا النووية الطلاب بنشاط على استكشاف حلول جديدة ومبتكرة للإخراج من الخدمة. ويشغل السيد فلوران لومونت منصب مدير بحوث في المفوضية الفرنسية للطاقة الذرية والطاقات البديلة ورئيس المعهد الوطني للعلوم والتكنولوجيا النووية في ماركول. وفي عام 2022، تولى السيد لومونت مسابقة بعنوان "هاكاديم"، تنافس في إطارها 600 شاب ضمن أفرقة مؤلفة من طلاب المدارس الثانوية والجامعات، من خلال طرح حلول ابتكارية لإخراج محطة قوى نووية من الخدمة في المستقبل. وأضاف السيد فلوران لومونت: "لم يكن العديد من المشاركين على علم بأنَّ الإخراج من الخدمة ميدان متعدد الأبعاد يشمل مجالات التكنولوجيات الفائقة والرقمنة والكيمياء وغيرها من المجالات. وقد مكنتهم المسابقة من تكوين أفكار عن الفرص التي ستُتاح في المستقبل في مجال الإخراج عن الخدمة وقيمة اكتساب الخبرة في هذا المجال".

مبادرات الوكالة لإشراك المهنيين الشباب والطلاب

تنظِّم الوكالة طائفة من المبادرات لتسليط الضوء على الفرص المهنية المتاحة في مجال الإخراج من الخدمة ولدعم بناء القدرات في المجال النووي في دولها الأعضاء.

وتتعاون الوكالة بنشاط مع جامعات حول العالم - في جمهورية كوريا والجمهورية التشيكية وفرنسا وسلوفاكيا والمملكة المتحدة من بين بلدان أخرى - من أجل إجراء البحوث وتبادل المعلومات التقنية والخبرات وأفضل الممارسات في مجال الإخراج من الخدمة والاستصلاح البيئي. وفي جامعة فلوريدا الدولية في الولايات المتحدة، مكَّن هذا التعاون الوكالة من توفير التدريب وبرامج التدريب الداخلي لطلاب من دارسي العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات، وإدماج المواد التي أعدتها الوكالة بشأن الإخراج من الخدمة في المناهج الدراسية المعمول بها في الجامعة.

وأطلقت الوكالة في أيلول/سبتمبر 2022 مسابقة بعنوان "تحدي الوكالة الدولية للطاقة الذرية لعام 2022: الابتكارات في إخراج المرافق النووية من الخدمة"، ودعت الطلاب والمهنيين الشباب إلى التقدُّم بمقالات من تأليفهم حول موضوع تفكيك المرافق النووية. وشملت مواضيع المسابقة كيفية زيادة الفعالية في الإخراج من الخدمة، وكيفية التخطيط لعملية الإخراج من الخدمة وتنفيذها باستخدام نموذج قائم على الاقتصاد الدائري، وكيفية دمج استراتيجية الإخراج من الخدمة في تصميم محطات القوى النووية.

وقال السيد أوسوليفان: "إنَّ الإخراج من الخدمة هو أحد تحديات المستقبل التي تتطلب إيجاد القوة العاملة التي تتمتع بالمهارات اللازمة. ولذلك تنظِّم الوكالة وتنفِّذ طائفةً من المبادرات - سواء مباشرةً أو من خلال المراكز المتعاونة معها - لتعزيز مشاركة الشباب في الإخراج من الخدمة، بما في ذلك من خلال إبرام الشراكات مع الجامعات وعقد التدريبات وتوفير برامج المنح الدراسية، وكذلك من خلال تشجيع الشباب على المشاركة في حلقات العمل والمؤتمرات المتخصصة التي تنظمها الوكالة".

"مجموعة من الموظفين المشاركين في أنشطة الإخراج من الخدمة في محطة لإعادة معالجة الوقود النووي في لاهاغ في فرنسا"

(الصورة من: مارتن كلينغنبوك، الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

أفكار خبير بشأن إخراج المرفق الفرنسي لإعادة معالجة الوقود المستهلك من الخدمة

بقلم مايكل أمدي مادسن

يولِّد اليوم نحو 70 في المائة من الكهرباء في فرنسا من 56 محطة للقوى النووية. وتُعاد معالجة كل الوقود المستهلك الناتج من تلك المفاعلات، وبعض الوقود المستهلك في بلدان أخرى، ويُعاد تدويرهما جزئياً في موقع لاهاغ في شبه جزيرة كوتانتان شمال فرنسا.

وفي عام 2003، بعد 35 سنة من التشغيل، أُغلِق المرفق UP2-400 الذي كان أول مرفق لإعادة معالجة الوقود يُنشأ في لاهاغ. والعمل جارٍ لإخراج هذا المرفق من الخدمة، ومن المتوقع أن يستغرق هذا المشروع عدة عقود. ولنفهم بطريقة أفضل كيفية تقدُّم هذا المشروع والتحديات المقترنة بإخراج مرفق مثل UP2-400 من الخدمة، تحدثنا إلى إريك دولونيه، نائب الرئيس الأول المسؤول عن العمليات الخاصة بنهاية الدورة التشغيلية للمرافق في مجموعة أورانو. وقد كُلِّفت هذه المجموعة، التي تملك الدولة الفرنسية أغلبية أسهمها، بمهمة ضمان أمن الموقع وملاءمته لاستخدامه في المستقبل.

س: هل يمكن أن تحدد لنا بعض التحديات المرتبطة بتنفيذ مشروع إخراج المرفق UP2-400 من الخدمة وأن تعطينا مقارنة بين هذه التحديات وتلك المقترنة بإخراج مرافق نووية رئيسية أخرى من الخدمة، مثل محطات القوى النووية؟

ج: التحدي الرئيسي المرتبط بمشروع إخراج المرفق UP2-400 من الخدمة هو وجود ترسبات مشعة وتلوث جزء كبير من المرافق المغلقة. وفي أي محطة للقوى النووية، يُزال أكثر من 99 في المائة من النشاط الإشعاعي الذي كان موجوداً في المحطة عن طريق تفريغ الوقود المستهلك ومن خلال إجراء عملية شاملة لإزالة التلوث. ووعاء ضغط المفاعل ومعداته الداخلية هي العناصر الوحيدة التي تبقى مشعة للغاية. ولكن في محطات إعادة معالجة الوقود مثل UP2-400، تختلف الأمور بعض الشيء. فكل قطعة من المعدات وكل غرفة تكون ملوثة بسبب تعرُّضها لمستوى ما من النشاط الإشعاعي. ويجب استرجاع هذه المكونات وتكييفها قبل البدء بعملية التفكيك. ويعني ذلك أنه يجب الحفاظ على وظائف الأمان في محطة إعادة معالجة الوقود خلال الجزء الأكبر من مشروع الإخراج من الخدمة. ولكن في محطات القوى النووية، يمكن خفض فئات ونظم الأمان فور الانتهاء من تفريغ الوقود وإفراغ حوض الوقود المستهلك.

س: ما هي المخاطر التشغيلية والاستراتيجية الرئيسية المقترنة بمشروع الإخراج من الخدمة؟ وما هي التدابير المتخذة من أجل التصدي لها؟

ج: المخاطر الاستراتيجية الرئيسية هي حالات تجاوز التكاليف والتأخر في إنجاز المشروع لأن التأخيرات تولِّد تكاليف إضافية. ويمكن أن تنجم التأخيرات عن مخاطر تشغيلية متنوعة تتصل بجميع جوانب

"ستفضي الروبوطيات في المستقبل إلى زيادة الإنتاجية، وتعزيز سلامة العاملين، وتحسين ظروف العمل، وتحفيز موظفينا على نحو أفضل".

– إريك دولونيه، نائب الرئيس الأول المسؤول عن العمليات الخاصة بنهاية الدورة التشغيلية للمرافق في مجموعة أورانو بفرنسا

المشروع. وأهم هذه المخاطر هما أولاً النقص في المعارف المتعلقة بالوضع الإشعاعي الأولي للخلايا والمعدات ذات النشاط الإشعاعي القوي، وثانياً التحديات المتعلقة بالتطوير الوظيفي والاحتفاظ بالموظفين. ولغرض التخفيف من الخطر الأول، اعتمدنا برنامجاً شاملاً لتحديد الخصائص يتيح التقليل بصورة كبيرة من أوجه عدم اليقين المتعلقة بوضع محطة إعادة المعالجة وخلاياها على مدى سنوات عديدة. وحاولنا في الوقت ذاته مواجهة التحدي المرتبط بالموارد البشرية عن طريق مجموعة من التدابير، منها المشاركة في برامج تدريبية على الصعيدين الإقليمي والوطني، وتطبيق سياسة توظيف استباقية، وتوفير التدريب المستمر لموظفينا من أجل تيسير تعدُّد المهارات والتنقل داخل المؤسسة، والابتكار في ممارسات الإخراج من الخدمة بغية تحسين بيئة العمل.

س: بدأ مشروع إخراج المرفق UP2-400 من الخدمة قبل 20 سنة تقريباً ويمكن توقُّع استمراره لعدة سنوات إضافية. كيف أثَّر الابتكار في مجال التكنولوجيا في هذا المشروع مع مرور الوقت؟ وما هي في رأيكم التطورات التكنولوجية المستقبلية التي سيكون لها التأثير الأكبر؟

ج: طيلة السنوات العشرين الماضية، ارتبطت أهم التغيرات التكنولوجية بالرقمنة على جميع مستويات المشروع. وقد تطورت التكنولوجيات الرقمية بثلاث طرائق، فيما يتعلق بالقوى والكفاءة، والتكلفة، والتنوع. فقبل عشرين سنة، كان إعداد النماذج الافتراضية معقداً ومكلفاً، وكانت تكنولوجيا الواقع الافتراضي محدودة النطاق، ولم تكن الهواتف الذكية والحواسيب اللوحية قد استُحدثت بعد. ولكن في السنوات القليلة الماضية، تطورت هذه التكنولوجيات إلى حد أنها باتت توفِّر لأنشطتنا فوائد حقيقية وقابلة للقياس. وقد أتاحت تحويل العمليات في مؤسستنا وتحسينها بطريقة جذرية. وستفضي الروبوطيات في المستقبل إلى زيادة الإنتاجية، وتعزيز سلامة العاملين، وتحسين ظروف العمل، وتحفيز موظفينا على نحو أفضل.

س: تزداد اليوم أهمية مبادئ الاستدامة والاقتصاد الدائري في مجال الصناعة النووية. ما هو تأثير هذه المبادئ في أنشطة الإخراج من الخدمة المضطلع بها في لاهاغ؟

ج: أحد التحديات التي نواجهها، عند وضع مبادئ الاقتصاد الدائري في الحسبان، هو أن المرافق التي نعمل على إخراجها من الخدمة قد شُيِّدت منذ فترة تقع بين أربعين وخمسين سنة ولم تُراعَ أي اعتبارات مرتبطة بالاقتصاد الدائري عند تصميمها. ولكن منذ 15 سنة، وتحديداً منذ أن أُنشئت ضمن مؤسستنا، في عام 2008، شعبة مخصصة بأكملها لإخراج مرافقنا النووية من الخدمة، تعمل مجموعة أورانو بهمة على إقفال الدورة الصناعية النووية وعلى إخلاء المباني غير المستعملة كي يُعاد استخدامها في المستقبل.

ونركز أيضاً على التقليل إلى أدنى حد من حجم النفايات التي يتم توليدها في جميع مراحل عملية الإخراج من الخدمة، ونقوم على نحو متزايد بإعادة استخدام المعدات وإعادة تدوير المواد. أما التغييرات الرقابية التي طرأت حديثاً في فرنسا، فأفسحت المجال أيضاً لإعادة تدوير المعادن المستخرجة من المرافق النووية التي أُخرجت من الخدمة من أجل إعادة استخدامها في إطار الصناعة النووية.

س: ما هي الآثار الاجتماعية والاقتصادية الرئيسية لأعمال الإخراج من الخدمة المضطلع بها في لاهاغ؟ وما هي في رأيكم المسؤولية التي تتحملونها تجاه المجتمع المحلي؟

ج: تمثِّل أنشطة الإخراج من الخدمة نحو 20 في المائة من جميع الأنشطة والآثار الاجتماعية والاقتصادية الخاصة بموقع لاهاغ الذي يستضيف أيضاً محطتين قيد التشغيل لإعادة تدوير الوقود المستهلك. وتُعَدُّ مواقع مجموعة أورانو في نورماندي من قطاعات التوظيف ومصادر الدخل الرئيسية للمجتمع المحلي. ويتعدى الإنفاق السنوي لمجموعة أورانو 850 مليون يورو في السنة ويبقى أكثر من 70 في المائة من هذا المبلغ في منطقة نورماندي. وقد أنشأت مجموعة أورانو-لاهاغ أيضاً شراكة مع غرفة التجارة والصناعة في شيربور-كوتانتان بغية تدريب العاملين المحليين وتوظيفهم. وفي عام 2023، سوف يوظَّف في مواقع مجموعة أورانو في منطقة كوتانتان 500 شخص ستعمل نسبة 20 في المائة منهم في مجال الإخراج من الخدمة. وفضلاً عن ذلك، سيتم توظيف 200 متدرب يزاولون العمل والدراسة معاً، وسيدوم توظيفهم فترة تقع بين سنة وثلاث سنوات.

س: كيف يدعم عمل الوكالة أنشطة الإخراج من الخدمة المضطلع بها في لاهاغ؟ وكيف يمكن أن توفِّر أنشطة التعاون الدولي دعماً أفضل لمشاريع الإخراج من الخدمة؟

ج: مشروع الإخراج من الخدمة الذي نضطلع به هو مشروع ينطوي على عمل مكثف للغاية ويتطلب منا التركيز على إنجاز المشروع. ولكنه أيضاً مسعى طويل الأجل يستفيد من ابتكارات الآخرين وتجاربهم. ويوفِّر الدعم الذي تقدِّمه الوكالة في مجال الإخراج من الخدمة والاستصلاح البيئي منتدى فريداً لتبادل الخبرات والتعلم من الآخرين، ولا سيما فيما يخص الاتجاهات والابتكارات التي يمكن أن تدعم أنشطتنا، مثل التكنولوجيات الرقمية، والروبوطيات، والتدريب، وتطوير الكفاءات. وعلى سبيل المثال، نولي اهتماماً خاصاً للتطورات الجارية في إطار الاجتماع التقني بشأن التكنولوجيات الجديدة والناشئة للنهوض بمشاريع الإخراج من الخدمة، ونتوقع أن يتيح هذا النوع من المبادرات تجنب ازدواج جهود التطوير.

نموذج أعمال جديد لإخراج محطة قوى نووية من الخدمة

بقلم بروس واتسون

يشغل السيد بروس واتسون منصب مساعد خاص في شعبة الإخراج من الخدمة واسترداد اليورانيوم وبرامج النفايات في مكتب أمان المواد النووية والضمانات بالهيئة الرقابية النووية في الولايات المتحدة. وقبل ذلك، كان السيد واتسون يعمل موظفاً نوويًا تشغيليًا، واكتسب خبرة واسعة في مجال إخراج المفاعلات والمواد من الخدمة في المواقع، بصفته رئيساً للفريق التقني المعني بإنهاء تراخيص مفاعلات القوى النووية في الولايات المتحدة. ويتمتع السيد واتسون أيضاً بخبرة دولية واسعة مع الوكالة في مجال الإخراج من الخدمة، حيث ساهم في وضع أدلة الأمان المتعلقة بالإخراج من الخدمة وفي إعداد البرامج التدريبية، وعمل خبيراً في مجموعة متعددة من بعثات استعراض النظراء والبعثات الاستشارية التي أوفدتها الوكالة.

الولايات المتحدة دولة رائدة في مجال التكنولوجيا النووية منذ فترة طويلة، ولديها حاليًا واحد من أقدم وأكبر برامج الطاقة النووية العاملة في العالم. ومع تقادم أساطيل المفاعلات وانتهاء عمرها التشغيلي، تُستهل مشاريع الإخراج من الخدمة بأعداد كبيرة ومتزايدة. وتشرف الهيئة الرقابية النووية حاليًا على 17 محطة للقوى النووية قيد الإخراج من الخدمة، وثماني محطات للقوى النووية قيد الخزن المأمون، إلى جانب اثنين من مفاعلات البحوث وعدة مواقع نووية أخرى يجري إخراجها من الخدمة. وبالإضافة إلى ذلك، يُضطلع بأنشطة الإخراج من الخدمة أيضاً فيما يخصُّ عدة مواقع متصلة بشؤون الدفاع وتخضع للصلاحيات الرقابية لوزارة الطاقة. ويؤدي هذا الطلب إلى تحفيز الابتكار، مع سعي الشركات إلى التوصل لأساليب مبتكرة لمعالجة هذا التحدي.

وفي عام 2010، ظهر في الولايات المتحدة الأمريكية نموذج أعمال جديد تماماً للإخراج من الخدمة. وقبل ذلك، كانت جميع مشاريع الإخراج من الخدمة المنطوية على مفاعلات مرخص لها من الهيئة الرقابية النووية تستخدم نموذجاً متشابهاً للأعمال. وكانت الجهة المشغلة لمحطة القوى النووية تتحمل المسؤولية الكاملة بصورة متواصلة طوال عملية الإخراج من الخدمة. وكان على الجهات المشغلة أن تختار إما تنفيذ جميع أعمال الإخراج من الخدمة بنفسها أو التعاقد مع شركة لتقوم بالعمل نيابة عنها. وفي أوائل التسعينات، أُغلقت عشرة مفاعلات مرخص لها من الهيئة الرقابية النووية وانتهت عملية إخراجها من الخدمة بحلول عام 2009، وجرى كل ذلك باستخدام هذا النموذج التقليدي.

بيد أنَّه بحلول نهاية عام 2010، تكللت مناقشات مستفيضة بين شركات الإخراج عن الخدمة والجهات المشغِّلة بالنجاح ومهَّدت الطريق أمام الأخذ بطريقة جديدة لتنفيذ مشاريع الإخراج من الخدمة. وفي أول تجربة، وافقت جهة مشغِّلة في الولايات المتحدة على نقل رخصتها مؤقتًا إلى شركة عاملة في مجال الإخراج من الخدمة، على أن تعود إلى الجهة المشغلة الأصلية رخصة الأرض ومرفق الخزن الجاف للوقود المستهلك بعد انتهاء عملية الإخراج من الخدمة. ووافقت الهيئة الرقابية النووية على ذلك، ووافقت على عملية مشابهة بين جهة مشغلة أخرى وشركة للإخراج من الخدمة بعد ذلك بوقت قصير.

الفرص والتحديات

لم تخرج هذه الاتفاقات للنور إلا بعد سنوات من المفاوضات. وكان على الشركات المحتمل أن تغدو جهات مرخصاً لها أن توازن بين بدقة الفرص والتحديات. فمن شأن نقل الرخصة على هذا النحو، من ناحية، أن يتيح للشركة المعنية بالإخراج من الخدمة صلاحية الاستفادة الكاملة من الصندوق الاستئماني المخصص لإخراج محطة القوى النووية من الخدمة. بيد أنَّ الشركة، من ناحية أخرى، ستتحمل المسؤولية الكاملة بما في ذلك جميع المخاطر المالية والرقابية الناتجة عن العملية. وفي نهاية المطاف، تم تنفيذ الاتفاقات على النحو المتوخى رغم المخاطر. وبعد ثلاث سنوات، وافقت الشركات الأولى في عام 2013 على نقل الرخصة بصفة دائمة، لا مؤقتة، في إطار عملية بيع للمرفق.

ولقد كان عام 2013 عاماً مفصليًا في نواح عديدة. فقد شهد أول حالة تواصلت فيها شركة تعمل في مجال الإخراج من الخدمة مع الجهة المشغلة لمحطة للقوى

النووية على وشك الإغلاق وعرضت عليها شراءها بغية إخراجها من الخدمة. وبعد ذلك، جرى التفاوض على اتفاق لبيع محطة للقوى النووية أُغلقت في العام نفسه، وتقدمت الجهة المشغلة والشركة المعنية بالإخراج من الخدمة بطلب نقل الرخصة بصفة دائمة إلى الشركة المعنية بالإخراج من الخدمة.

وفي كثير من الأحيان، كان بإمكان الشركات التي حصلت على رخص لممارسة أنشطة الإخراج من الخدمة أن تدمج هذه الأنشطة في أعمالها القائمة، سواءً كانت تشغِّل بالفعل مواقع للتخلص من النفايات النووية أو كانت معتمدة في مجال توفير خدمات خزن الوقود المستهلك.

التسريع كثيراً من وتيرة الجداول الزمنية المخطط لها

كانت إحدى النتائج الباهرة لعملية نقل الرخص في عام 2013 هي التسريع كثيراً من وتيرة الجداول الزمنية المتعلقة بالتخطيط لأنشطة الإخراج من الخدمة. وفي بادئ الأمر، كان مخططاً لانتهاء رخصة المحطة في عام 2073. ومقتضى ذلك أنَّ الجهة المشغلة كانت ستستفيد، في الوضع الأصلي، من لوائح الهيئة الرقابية النووية التي تشترط انتهاء الرخصة في غضون فترة قدرها 60 سنة. وحتى تنتهي الرخصة، ينبغي أن يكون إخراج المحطة من الخدمة قد اكتمل تماماً، بما في ذلك الاستصلاح البيئي للأرض للتمكين من إعادة استخدامها في أغراض أخرى. والآن هناك جهة جديدة مرخص لها تعتزم إتمام العملية ذاتها بحلول عام 2023، على أن يظل مرفق الخزن الجاف للوقود المستهلك مرفقاً مرخصاً وخاضعاً للتفتيش.

وهناك محطات قديمة قيد الخزن المأمون يقترب الموعد النهائي لإخراجها من الخدمة في عام 2030، وقد تودُّ بعض الجهات المشغلة لهذه المحطات أن تنظر في نقل رخصتها على النحو المذكور للانتقال إلى عملية أسرع وتيرة. ويتمثل أحد الاعتبارات المهمة في أنَّ أي محطة للقوى النووية في الولايات المتحدة الأمريكية يجب إخراجها من الخدمة وإنهاء رخصتها في غضون 60 عاماً من وقف تشغيلها.

ولقد صارت عمليات نقل الرخص شائعة إلى حد كبير في الولايات المتحدة الأمريكية، وهي تُطبَّق على عدد كبير من محطات القوى النووية قيد الإخراج من الخدمة. بيد أنَّ نموذج الأعمال التقليدي القائم على مواصلة اضطلاع الجهات المشغلة بإخراج المحطات من الخدمة لا يزال موجوداً، ولا يزال هو الأساس الذي تقوم عليه مشاريع عديدة جارية في مجال الإخراج عن الخدمة.

كذلك فمن غير المرجح إلى حد بعيد أن بلداناً أخرى سوف تسير على نهج الولايات المتحدة في اتباع نموذج الأعمال الجديد للإخراج من الخدمة. والسبب الرئيسي في ذلك هو أنَّ محطات القوى النووية في الولايات المتحدة، على العكس من معظم البلدان الأخرى، هي كيانات مستقلة تجاريًّا. ولذلك فنموذج الأعمال المطبق في الولايات المتحدة يختلف عما يجري في معظم البلدان الأخرى.

التعجيل بالمشاريع المشابهة حول العالم

ومع ذلك، فتعجيل عمليات الإخراج من الخدمة على النحو الجاري تنفيذه في الولايات المتحدة الأمريكية يمكن أن يساعد على تسريع وتيرة المشاريع المشابهة حول العالم. ونحن نتقاسم ما نستخلصه من الدروس المستفادة مع البلدان الأخرى، من خلال المنظمات الدولية وجهود الوكالة الدولية للطاقة الذرية بما فيها معايير الأمان وحلقات العمل والمحافل والبعثات والمنشورات. وتقوم الوكالة بعمل أساسي في الترويج للاتساق في طريقة الاضطلاع بالإخراج من الخدمة، وتضمن تنفيذه بأمان وضمن أطر رقابية مُحكمة.

وتؤدي الوكالة دوراً مهماً في توفير المعلومات بشأن اتباع نُهج متسقة في الإخراج من الخدمة، مثل حدود الجرعات، لضمان وجود اتفاق واسع على الحالات التي يُعتبر فيها أن تنظيف المواقع قد تكلَّل بالنجاح ولتعزيز أمان المجتمعات المحلية. ولوثائق الوكالة فائدة كبيرة في هذا المجال. وهناك تعطش بالغ للمعرفة في أوساط المجتمع الدولي في قطاع الإخراج من الخدمة حول كيفية تنفيذ الإخراج من الخدمة بأمان وفعالية.

الزراعة الذكية مناخيًّا تبشِّر بتحسين إنتاجية القطن في أذربيجان

تساعد التقنيات النظيرية الباحثين والمزارعين في أذربيجان على الحصول على معلومات أساسية بشأن كيفية استخدام الأسمدة على الوجه الأمثل وزيادة كفاءة إنتاج القطن مع المحافظة على صحة التربة.

(الصورة من: محمد زمان، الوكالة)

بفضل تنفيذ ممارسات زراعية ذكية مناخيًّا مستندة إلى تقنيات نووية وتقنيات ذات صلة بالمجال النووي، تمكن باحثون ومزارعون في أذربيجان من زيادة إنتاج محصولهم من القطن بأكثر من الضعف في إطار مشروع تدعمه الوكالة بالشراكة مع منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو). ومن خلال استخدام صنف جديد يدعى "Cotton Super" بالاقتران مع التنفيذ الدقيق لممارسات زراعية ذكية مناخيًّا توفر معلومات عن كيفية زيادة الإنتاجية الزراعية على نحو مستدام، حقق المشروع التجريبي زيادة في الإنتاج من المتوسط القُطري البالغ ثلاثة أطنان للهكتار إلى ثمانية أطنان للهكتار.

وقد نُفِّذ المشروع التجريبي في عام 2021 في إطار أحد مشاريع الوكالة للتعاون التقني، وركَّز على وضع مبادئ توجيهية للزراعة الذكية مناخيًّا في مجال إنتاج القطن، وتدريب الباحثين والمزارعين التقدميين في أذربيجان على الممارسات الزراعية الذكية مناخيًّا، وتصميم التجارب الإيضاحية لتنفيذها في المزارع. وقد استُهل مشروع آخر في عام 2022 يركِّز على تعزيز الأخذ بأفضل الممارسات الزراعية في إدارة التربة والمغذيات والمياه لإنتاج القطن، ويهدف إلى الإسهام في تحسين إنتاجية القطن، بالنظر إلى أنَّ الأرض في أذربيجان معرضة بوجه خاص للتأثر بتغير المناخ و تدهور التربة. وقد ارتفع المتوسط السنوي لدرجات الحرارة في أذربيجان بما مقداره 0.4 درجة مئوية منذ عام 1991، في حين يشهد البلد أيضاً انخفاضاً في كميات الأمطار وتزايد وتيرة وقوع الظواهر الجوية الشديدة، مثل الفيضانات ونوبات الجفاف والموجات الحارة.

وقال محمد زمان، وهو متخصص في مجال علوم التربة في المركز المشترك بين الفاو والوكالة لاستخدام التقنيات النووية في الأغذية والزراعة، والمسؤول التقني للمشروع: "عموماً، تعود نسبة 60 في المائة من التحسن في إنتاجية المحاصيل إلى الاستفادة من التطبيق الاستراتيجي لمغذيات التربة وإدارة المياه. ويتوقف الأمر على استخدام الكمية المناسبة بالطريقة المناسبة في المرحلة المناسبة من النمو."

وتشمل الممارسات الزراعية الذكية مناخيًّا استخدام التقنيات النظيرية للحصول على معلومات أساسية عن كيفية استخدام الأسمدة على الوجه الأمثل وزيادة كفاءة الإنتاج الزراعي مع المحافظة على صحة التربة.

وقال محمد زمان: "عندما بدأنا، كانت تربة أذربيجان متدهورة للغاية وخصوبتها ضعيفة جداً، فلم تكن التربة قادرة على توفير جميع العناصر الغذائية الأساسية اللازمة لنمو القطن". ولمعالجة ذلك، وضع خبراء من الوكالة حزمة كاملة من التقنيات النووية والتقنيات الزراعية ذات الصلة، بدءاً بتجهيز التربة واختيار أفضل أصناف القطن إلى وضع المغذيات وتوفير الري لحقول القطن، وضمان مكافحة الحشائش والآفات والأمراض.

وقال السيد ساخافات مامادوف، وهو مزارع مشارك في المشروع التجريبي في أذربيجان يستخدم الممارسات الزراعية الذكية مناخيًّا في مزرعته خلال السنتين الأخيرتين: "بفضل العمل بممارسات محسَّنة في التربة والمياه والمغذيات، إلى جانب استعمال صنف القطن

المسمى 'Cotton Super'، تمكنًا من زيادة إنتاجية القطن وجودته وربحيته."

ولا يقتصر إسهام التقنيات النووية والتقنيات ذات الصلة بالمجال النووي على زيادة الإنتاجية الزراعية فقط، بل هي تساعد أيضاً على بناء قدرة النظم الزراعية على الصمود في مواجهة تغير المناخ. وقد استعمل الباحثون في أذربيجان تقنية تنطوي على استخدام النظير المستقر النيتروجين -15. ويؤدي النيتروجين دوراً هاماً في نمو النباتات والتمثيل الضوئي - أي العملية التي تحول من خلالها النباتات ضوء الشمس وثاني أكسيد الكربون إلى غذاءٍ لها. وأوضح السيد زمان أنَّ افتقار التربة للمغذيات، مثل النيتروجين يؤدي إلى ضعف إنتاجية المحاصيل وتراجع قيمتها الغذائية. ومن جهة أخرى، يسهم الإفراط في استخدام الأسمدة النيتروجينية أو استخدامها بطريقة غير صحيحة في انبعاثات غازات الدفيئة وفي تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية.

وقال السيد زمان: "من المتوقع أن يكون القطن في أذربيجان أحد المحاصيل التي تشهد انخفاضاً هائلاً في الإنتاجية بسبب تغير المناخ والتدهور السريع للتربة. ويمكن الاستعانة بالتقنيات النظيرية، مثل استخدام النيتروجين -15، للمساعدة على التكيف مع هذا الوضع، مما يزيد من تنافسية قطاع القطن، مع ضمان توفير الوظائف لسكان الريف وتحسين رفاههم في الوقت نفسه."

وكانت أذربيجان في السابق أحد منتجي القطن ومصدريه الرئيسيين، حيث كان حصادها من القطن يتجاوز 830 000 طن، وهو ما كان يوفِّر ما يصل إلى ربع دخل البلد في ثمانينات القرن الماضي. بيد أنَّ الانتقال إلى نظام السوق الحر والنمو السريع في صناعات أخرى في التسعينات ساهما في خسارة القطن لدوره الأساسي في اقتصاد أذربيجان، حيث هبط الإنتاج إلى مستوى متدن قياسي يبلغ 31 000 طن في عام 2009.

وأظهرت نتائج المشروع الإمكانات الكبيرة التي تنطوي عليها الممارسات الزراعية الذكية مناخيًا فيما يتعلق بزيادة الإنتاج الزراعي. وقال السيد زمان: "بالنظر إلى أنَّ المساحة الإجمالية للمناطق التي تنتج القطن في أذربيجان تبلغ 105 000 هكتار، فإنَّ اعتماد الممارسات الزراعية الذكية مناخيًا التي وضعتها الوكالة في 10 في المائة من هذه المساحة من شأنه أن يؤدي إلى إنتاج 84 000 طن من القطن مقارنةً بما قدره 31 500 طن، وهو ما يمثل زيادة بنسبة 166 في المائة مقارنة بالممارسات الزراعية التقليدية". وتابع قائلاً: "إنَّ النجاح الاستثنائي الذي تحقَّق في تطبيق ممارسات الزراعة الذكية مناخيًا في هذا المشروع يعطي مؤشراً مثيراً للحماس ويبشِّر بآمال عريضة فيما يتعلق بمساعدة أذربيجان على تحقيق زيادة ملحوظة في إنتاجها من القطن ومن ثم إحداث تأثير كبير في اقتصاد أذربيجان."

وتساعد الوكالة، من خلال برنامجها للتعاون التقني والمركز المشترك بينها وبين الفاو، البلدان على تطبيق أساليب زراعية ذكية مناخيًا لزيادة الإنتاجية، ودعم تكيُّف النظم الزراعية مع تغير المناخ والتقليل من تأثيرها في البيئة. ويدعم المركز المشترك بين الفاو والوكالة إجراء البحوث في هذا المجال أيضاً. ومن خلال مشروع بحثي منسق يركز على استخدام الحلول النووية الذكية مناخيًّا للتقليل إلى أدنى حد من آثار الزراعة في المناخ، أفاد علماء من باكستان والبرازيل وشيلي وجمهورية إيران الإسلامية وكوستاريكا بانخفاض بنسبة 50 في المائة في غازات الدفيئة. وهناك مجموعة أخرى من الممارسات الزراعية الذكية مناخيًا تساعد على تطوير حلول قائمة على توازن النظام الغذائي لحيوانات المزارع في ظل موجات الجفاف المتكررة في أنغولا، وتحسين استخدام المياه وإدارة مغذيات التربة في كينيا، ومكافحة تآكل التربة في تونس.

– بقلم آرتم فلاسوف

يستخدم العلماء النظير المستقر النيتروجين -15 لجمع بيانات كمية عن مقدار الأسمدة النيتروجينية التي يحتاجها القطن ومدى فعالية امتصاص النبات لهذه الأسمدة.
(الصورة من: محمد زمان، الوكالة)

استخدام التقنيات النووية من أجل التصدي للكوارث الطبيعية في أمريكا اللاتينية والكاريبي

توفر تقنيات الاختبار غير المتلف بيانات موثوقة بشأن قوة المواد وسلامتها دون المساس بالهياكل التي يحتمل أن تكون ضعيفة أو خطرة.
(الصورة من: الاتفاق التعاوني الإقليمي لترويج العلم والتكنولوجيا النوويين في أمريكا اللاتينية والكاريبي (اتفاق أركال))

إنَّ منطقة أمريكا اللاتينية والكاريبي هي ثاني أكثر المناطق تعرُّضاً للكوارث في العالم. فبسبب هيكلها التكتوني الفريد وأنماط الطقس فيها، تعاني المنطقة من كونها عرضةً للأحداث الطبيعية مثل الزلازل والفيضانات والأعاصير. وبالنظر إلى تفاقم هذا التعرُّض بسبب تغير المناخ، فقد كانت المنطقة بحاجة ماسة إلى تطوير القدرة على تقييم أمان وسلامة الهياكل المبنية بعد وقوع الكوارث الطبيعية، لا سيما في المناطق الحضرية. وبمساعدة الوكالة، حققت المنطقة الاكتفاء الذاتي في هذا المجال.

وأُنشئت بمساعدة من الوكالة في الأرجنتين وبيرو وشيلي والمكسيك أربعة مراكز للتصدي قادرة على استعمال تقنيات الاختبار غير المتلف لتقييم سلامة الهياكل المدنية مثل الطرق والجسور في هذه البلدان والبلدان المجاورة. وستدعم هذه المراكز التصدي المنسق على الصعيد الإقليمي في حالات الطوارئ.

وتوفر تقنيات الاختبار غير المتلف بيانات موثوقة بشأن قوة وسلامة المواد دون المساس بالهياكل التي يحتمل أن تكون ضعيفة أو خطرة من خلال استعمال أنواع مختلفة من الإشعاعات للكشف عن العيوب في الخرسانة والأنابيب ومواضع اللحام. وهذه التقنيات آمنة وسريعة وتساهم في حماية المدنيين.

وقد أُنشئت المراكز الأربعة في إطار مشروع تعاون تقني تابع للوكالة استُهل في عام 2018 لتعزيز تقييم الهياكل في المدن وتحسين جودة السلع والخدمات الصناعية في أمريكا اللاتينية والكاريبي باستخدام التقنيات النووية.

وقال السيد جيراردو ماغيلا، وهو خبير مساعد في مجال التكنولوجيا الصناعية لدى الوكالة: "إنَّ الزلازل الأخيرة التي ضربت المنطقة تبرز أيما إبراز أهمية الشبكات التي تحسِّن تنسيق التصدي لحالات الطوارئ في هذه المنطقة المهددة بالكوارث. ومن خلال إنشاء مراكز التصدي، أصبحت المنطقة مكتفية ذاتيًا في مجال التخفيف من آثار الكوارث."

وفي إطار إنشاء هذه المراكز، نظَّمت الوكالة تدريب الخبراء على تقنيات الاختبار غير المتلف واعتماد تأهيلهم في هذا المجال في بوينس آيرس من 7 إلى 18 تشرين الثاني/نوفمبر 2018 من خلال مشروع التعاون التقني الجاري. وحصل تسعة مشاركين من الأرجنتين والبرازيل وكوستاريكا والمكسيك على شهادات اعتماد أو إعادة اعتماد في أساليب التصوير الإشعاعي المتقدمة باستخدام الأشعة السينية وأشعة غاما. وهم الآن مؤهلون لمعاينة الهياكل الهندسية المدنية باستخدام أحدث تقنيات الاختبار غير المتلف.

وحصل 24 مشاركاً آخر من عشرة بلدان – الأرجنتين وإكوادور وأوروغواي وبيرو والجمهورية الدومينيكية وجمهورية فنزويلا البوليفارية وشيلي وكوبا وكوستاريكا والمكسيك – على التأهيل في أساليب

الاختبار غير المتلف المدنية، بما في ذلك المعاينة بالنظر والاختبار بالموجات فوق الصوتية، الذي تُستخدم فيه الموجات الصوتية لكشف العيوب في المواد وقياس سمكها.

وقال السيد إدواردو روبلس، وهو رئيس مشروع في المعهد الوطني للبحوث النووية في المكسيك وأحد الخبراء المعتمدين مؤخراً وممثل المكسيك في مجال استخدام القياس غير المتلف في سياق التصدي للكوارث، إنَّ: "الاعتماد يمثل دفعة بالغة الأهمية للترويج لمنهجيات الاختبار غير المتلف في مجال الهندسة المدنية في بلداننا."

وتولى تقديم التدريب والاعتماد جمعية غير ربحية هي الجمعية الإيطالية للاختبار غير المتلف، وذلك في إطار ترتيبات عملية مبرمة مع الوكالة وفقاً للمعيارين الدوليين ISO 9712، بشأن الاختبار غير المتلف، وISO 17024، بشأن المتطلبات العامة لهيئات الاعتماد، ومن ثمَّ تمكين الخبراء من تدريب آخرين.

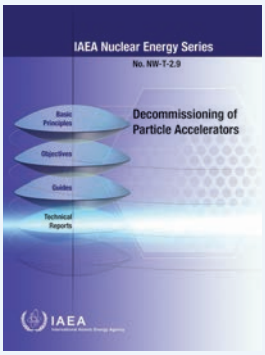
وقال السيد هيرنان زارغاي، وهو رئيس شعبة في الهيئة الوطنية للطاقة الذرية ومنسق في مركز التصدي الجديد في الأرجنتين، إنَّ: "تنظيم الوكالة للتدريب والاعتماد على مستوى المعايير الصادرة عن المنظمة الدولية للتوحيد القياسي يرسي الثقة في استيفاء المتطلبات الدولية ويدعم توحيد المنهجيات في مختلف أنحاء المنطقة".

واتفق معه السيد ماريو باريرا ميندیز، منسق مراقبة الجودة في لجنة الطاقة النووية في شيلي والذي يقود مركز التصدي الجديد في ذلك البلد، قائلاً: "إنَّ الشبكة التي أنشأتها الوكالة هي حجر الزاوية في إرساء القدرات الجديدة المتعلقة بالتصدي للطوارئ في المنطقة. وبصفتنا أحد مراكز التصدي الأربعة، نعتزم أن نتقاسم كمية المعارف الهائلة التي اكتسبناها في مجال تقنيات الاختبار غير المتلف حيثما تنشأ الحاجة إليها في أمريكا اللاتينية والكاريبي."

والاختبار غير المتلف هو تقنية لمراقبة الجودة تُستخدم فيها التقنيات النووية لفحص المواد دون إتلافها. وتدعم الوكالة استخدام تكنولوجيا الاختبار غير المتلف للمحافظة على صرامة مراقبة الجودة على النحو اللازم لتشغيل المنشآت النووية وغيرها من المنشآت الصناعية بأمان. ويتخذ هذا الدعم شكل تقديم المعدات والمساعدة للدول الأعضاء بما في ذلك تدريب الموظفين المحليين على تطبيق هذه التكنولوجيا. طالعوا المزيد عن عمل الوكالة في مجال الاختبار غير المتلف.

– بقلم بولين صوفي هنينغز

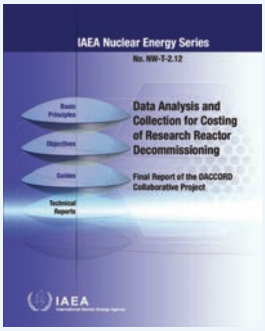
الاختبار غير المتلف هو تقنية لمراقبة الجودة تُستخدم فيها التقنيات النووية لفحص المواد دون إتلافها.
(الصورة من: اتفاق أركال)



DECOMMISSIONING OF PARTICLE ACCELERATORS
("إخراج معجِّلات الجسيمات من الخدمة")

يقدِّم هذا المنشور معلومات عن الخبرات والدروس المستفادة في تنفيذ مشاريع إخراج معجِّلات الجسيمات من الخدمة. وبناءً على هذه المعلومات، ومع تسليط الضوء على المسائل والشواغل الشائعة، يقدِّم المنشور معلومات عملية لكلٍّ من يؤدي دوراً في هذه العملية. ويستهدف هذا المنشور الجهات المشغلة لمرافق المعجِّلات، لاسيما المرافق التي اقتربت من مرحلة الإخراج من الخدمة، أو الجهات التي تتعهَّد مرفقاً قيد التفكيك المؤجَّل، كما يستهدف الهيئات الرقابية، والجهات القائمة على التصرُّف في النفايات، وواضعي السياسات على مستوى الحكومات، والسلطات المحلية، والجهات المتعاقدة لتنفيذ الإخراج من الخدمة، ومصمِّمي المعجِّلات. ومن المتوقع أن تسهم الدروس المستفادة المبيَّنة في هذا المنشور في مسار تخطيط عملية الإخراج من الخدمة خلال مرحلة تصميم المرافق الجديدة، ومن ثمَّ التقليل إلى أدنى حد من النفايات المشعة دون المساس بالخصائص الهيكلية لهذه المرافق وبفعاليتها.

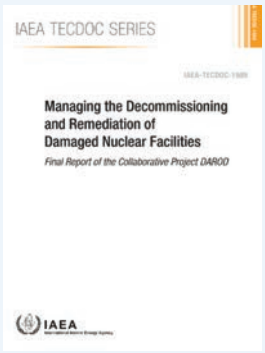
الرقم الدولي المعياري للكتاب (ISBN): 978-92-0-102419-0



DATA ANALYSIS AND COLLECTION FOR COSTING OF RESEARCH REACTOR DECOMMISSIONING: FINAL REPORT OF THE DACCORD COLLABORATIVE PROJECT
(مشروع تحليل البيانات وجمعها لتحديد تكاليف إخراج مفاعلات البحوث من الخدمة: التقرير النهائي لمشروع داكورد التعاوني)

يقدِّم هذا المنشور تقريراً عن مشروع داكورد الذي يدعم الدول الأعضاء في وضع تقديرات أولية لتكاليف إخراج مفاعلات البحوث من الخدمة. ويُعدُّ هذا التقرير مفيداً بوجه خاص للبرامج التي لا تتمتع إلا بقدر محدود من الخبرة في مجال الإخراج من الخدمة. ويمكن لمشاريع تقدير التكاليف المتعلقة بإخراج مفاعلات البحوث من الخدمة أن تكون واسعة النطاق وأن تتأثر بمساهمات وعوامل عديدة محتملة تلزم دراستها بعناية كافية عند وضع التقديرات. ويقدِّم المنشور معلومات عن حساب التكلفة للوحدة الواحدة في عملية إخراج مفاعلات البحوث من الخدمة، كما يوفِّر أساساً لتقدير النفقات غير المؤكَّدة والطارئة وتقييم أثر أنشطة التخطيط لعملية الإخراج من الخدمة وتحديد خصائصها. ويتناول المنشور أيضاً استخدام الشفرة الحاسوبية CERREX-D2 (تقدير تكاليف إخراج مفاعلات البحوث من الخدمة باستعمال برامجية إكسل)، والتي أعدتها الوكالة لتمكين المستخدمين غير المتخصصين من وضع تقديرات أولية لتكاليف الإخراج من الخدمة.

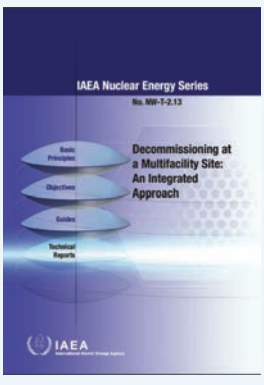
الرقم الدولي المعياري للكتاب (ISBN): 978-92-0-108621-1



MANAGING THE DECOMMISSIONING AND REMEDIATION OF DAMAGED NUCLEAR FACILITIES
(إدارة عملية إخراج المرافق النووية المتضررة من الخدمة واستصلاحها)

في إطار خطة العمل بشأن الأمان النووي، اضطلعت الوكالة بدور القيادة في تنفيذ المشروع الدولي عن إدارة إخراج المرافق النووية المتضررة من الخدمة واستصلاحها (مشروع دارود). ويركِّز مشروع دارود على توفير إرشادات عملية فيما يتعلق بإخراج المرافق النووية المتضررة من الحوادث واستصلاحها بناءً على دراسات حالات واقعية لمرافق متضررة وعلى الدروس المستفادة في هذا الصدد. ويلخِّص هذا المنشور نواتج مشروع دارود. وهو موجَّه للهيئات الرقابية والمنظمات المشغِّلة ومنظمات الدعم التقني والمسؤولين الحكوميين المشاركين في عمليات الإخراج من الخدمة والاستصلاح المتعلقة بالمرافق المتضررة بعد الحوادث أو بسبب تدهور المرافق القديمة.

الرقم الدولي المعياري للكتاب (ISBN): 978-92-0-142621-5



DECOMMISSIONING AT A MULTIFACILITY SITE
(الإخراج من الخدمة في موقع متعدد المرافق)

في السنوات الأخيرة، أكملت عدَّة دول أعضاء عملية الإخراج من الخدمة في مواقع نووية متعددة المرافق. ويقدِّم هذا المنشور تجميعاً للخبرات التقنية والتنظيمية المكتسبة في هذا الصدد، ويوفِّر معلومات وإرشادات عملية تعزز تنفيذ الإخراج من الخدمة بأمان وفي الوقت المناسب وبطريقة فعالة من حيث التكلفة. ويناقش المنشور جميع مراحل عملية الإخراج من الخدمة، من التخطيط والتفكيك إلى التصرف في النفايات وإعفاء الموقع من التحكم الرقابي، كما يتناول المخططات التنظيمية والتمويل. وهو موجَّه لمتخذي القرارات والجهات المشغِّلة للمحطات والجهات المتعاقدة والهيئات الرقابية المعنية بالتخطيط لأنشطة الإخراج من الخدمة وإدارتها والإذن بها وتنفيذها. وسيكون المنشور مفيداً بوجه خاص للجهات المشغِّلة للمواقع المتعددة المرافق المحتوية على مرافق نووية تقترب من نهاية عمرها الافتراضي. وسوف يحظى المنشور أيضاً باهتمام الجهات المعنية بتصميم وتشييد المنشآت النووية الجديدة بغية تيسير إخراج هذه المنشآت من الخدمة في نهاية المطاف.

الرقم الدولي المعياري للكتاب (ISBN): 978-92-0-119522-7

للحصول على مزيد من المعلومات أو طلب كتاب، يُرجى الاتصال بنا على العنوان التالي:

وحدة التسويق والمبيعات

الوكالة الدولية للطاقة الذرية

Vienna International Centre, PO Box 100, A-1400 Vienna, Austria

البريد الإلكتروني: sales.publications@iaea.org

طالعوا هذا العدد وسائر أعداد مجلة الوكالة عبر الرابط:
www.iaea.org/bulletin

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

أو تابعونا على

ISSN 1819-1800 23-01076