IAEA BULLETIN

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرّية
منشور الوكالة الرئيسي | تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٩

للاطّلاع على النسخة الإلكترونية
www.iaea.org/bulletin

مفاعلات البحوث

كيف تساعد مفاعلات البحوث على جعل التصوير الطبي ممكناً، صفحة ١٢

تسخير الإمكانات الكاملة لمفاعلات البحوث تسخيراً استراتيجيًّا، صفحة ٢٠

إدارة مفاعلات البحوث المتقادمة بما يضمن تشغيلها على نحو مأمون وفعّال، صفحة ٣٠

طالعوا أيضاً:
أخبار الوكالة

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرّية

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

العنوان:
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
الهاتف: ٢٦٠٠٠ (١-٤٣)
البريد الإلكتروني: iaeabulletin@iaea.org

مديرة التحرير: نيكول جاويرث
المحرِّر: ميكلوس غاسبر
التصميم والإنتاج: ريتو كين

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

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

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

صورة الغلاف: الوكالة الدولية للطاقة الذرية

تابعونا على

IAEA

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

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

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

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

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

ولعمل الوكالة جوانب متعدِّدة، وتشارك فيه طائفةٌ واسعةٌ ومتنوِّعةٌ من الشركاء على الصعيد الوطني والإقليمي والدولي. وتُحدَّد برامجُ الوكالة وميزانياتها من خلال مقرَّرات جهازَيْ تقرير سياسات الوكالة، أيْ مجلس المحافظين المؤلَّف من ٣٥ عضواً والمؤتمر العام الذي يضمُّ جميعَ الدول الأعضاء.

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

الاستفادة من قوة مفاعلات البحوث

بقلم كورنيل فيروتا، المدير العام بالنيابة، الوكالة الدولية للطاقة الذرية

طوالَ عقود مضت، شكَّلت مفاعلات البحوث أداةً قويةً دافعةً للابتكار في العلوم والتكنولوجيا النووية في جميع أنحاء العالم.

واليوم ثمَّة ٢٢٤ مفاعلَ بحوث قيد التشغيل في ٥٣ بلداً. وتشمل تطبيقاتها العديدة إنتاج المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية اللازمة لرعاية مرضى السرطان والطب النووي، والمساعدة على استحداث مواد جديدة لأغراض البحوث والصناعة، وتدريب العلماء والمهندسين النوويين. وهي لا تُستخدم، على وجه العموم، لتوليد القوى.

طوالَ أكثر من ٦٠ عاماً، ساعدت الوكالة الدولية للطاقة الذرية البلدان على إنشاء مفاعلات البحوث وتشغيلها وصيانتها من أجل جني الفوائد الكبرى التي تقدِّمها للعلم وللمجتمع.

ويقوم هذا الإصدار من مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية باستقصاء مفاعلات البحوث والأساليب العديدة التي تساعد بها الوكالة البلدان على جني الفوائد المثلى منها. إذ يوفِّر هذا الإصدار لمحةً عامةً عن كيفية استخدام مفاعلات البحوث (صفحة ٤)، مثل إنتاج النظائر المشعَّة لأغراض عمليات المسح الطبي (صفحة ١٢) وتعليم وتدريب المهنيين في المجال النووي (صفحة ١٤). وتوفِّر جولةٌ مصوَّرةٌ نظرةً من الداخل على مرفق مفاعل بحوث في الأردن (صفحة ١٦).

وبالنسبة للبلدان المستهلَّة لبرنامج مفاعل بحوث، يوفِّر نَهجُ المعالم المرحلية البارزة الخاص بالوكالة طريقةً شاملةً وتدريجيةً لإرساء البنية الأساسية اللازمة لاستخدام هذه الأدوات المتعدِّدة الاستخدامات على نحو مأمون وموثوق (صفحة ٦). أمَّا بالنسبة للبلدان التي لديها بالفعل مفاعلات بحوث أو تسعى لبناء المزيد منها، توفِّر خدمات استعراض النظراء من الخبراء وسيلةً لتقييم وتحسين الأمان والأمن والتشغيل (صفحة ٢٢).

وتعمل عدَّة بلدان مع الوكالة بُغية تحقيق أكبر قدر ممكن من الاستفادة من مفاعلات البحوث لديها، خاصة تلك التي شُيِّدت منذ عقود مضت دون خطة استراتيجية طويلة الأجل (صفحة ٢٠). وعلى سبيل المثال، تعتمد بلجيكا خططاً لإدارة التقادم لتحقيق الاستفادة المثلى من مفاعل البحوث لديها لعقود قادمة (صفحة ٣٠). من ناحية أخرى، عملت أوزبكستان مع خبراء الوكالة لإخراج أحد مفاعلات البحوث لديها من الخدمة (صفحة ٣٢).

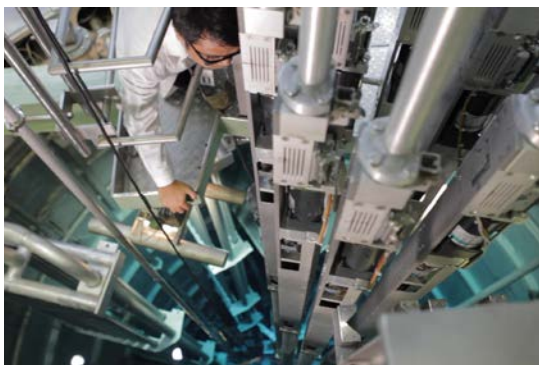
ويجب استخدام مفاعلات الأبحاث على الدوام بطريقة مأمونة وآمنة. وتعمل عدَّة بلدان مع الوكالة لإدماج نُظم وتدابير الأمن في مفاعلات البحوث القائمة والجديدة (صفحة ٢٤)، وتنفيذ لوائح الأمان (صفحة ٨)، وإرساء ثقافة أمان راسخة (صفحة ١٠).

وقد تولَّت الوكالة دوراً نشطاً في الجهود الدولية الرامية إلى تحويل وقود مفاعل البحوث من اليورانيوم الشديد الإثراء إلى اليورانيوم الضعيف الإثراء من أجل التقليل إلى أدنى حدٍّ ممكن من الاستخدام المدني لليورانيوم الشديد الإثراء وتقليل مخاطر الأمن والانتشار المرتبطة به (صفحة ٢٦). ويتحقَّق مفتِّشو الضمانات التابعون للوكالة من عدم تحريف المواد والتكنولوجيا النووية المستخدَمة في مفاعلات البحوث عن الاستخدامات السلمية (صفحة ٢٨).

وقد استعرض مؤتمر الوكالة الدولي المعني بمفاعلات البحوث: مواجهة التحدِّيات واغتنام الفرص من أجل ضمان الفعالية والاستدامة، المنعقد في الفترة من ٢٥ إلى ٢٩ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٩، جميع هذه المجالات وأتاح المحفل لمشغِّلي المفاعلات ومديريها ومستعمليها ورقابييها ومصمِّميها وموردِّيها تبادُل أفضل الممارسات والاستفادة من بعضهم البعض. وآمل أن يقدِّم هذا الإصدار من مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية رؤىً معمَّقةً بما يسهم في تشجيع المناقشات خلال المؤتمر وما بعده.

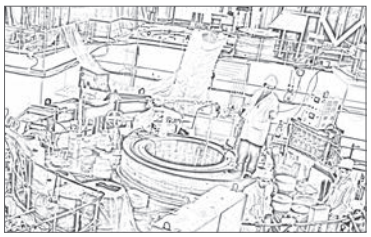
”طوالَ أكثر من ٦٠ عاماً، ساعدت الوكالة الدولية للطاقة الذرية البلدان على إنشاء مفاعلات البحوث وتشغيلها وصيانتها من أجل جني الفوائد الكبرى التي تقدِّمها للعلم وللمجتمع.“

— كورنيل فيروتا،
المدير العام بالنيابة، الوكالة الدولية للطاقة الذرِّية



(الصور من: الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

١ الاستفادة من قوة مفاعلات البحوث



٤ استكشاف مفاعلات البحوث واستخدامها

٦ إرساء البنية الأساسية النووية لجني فوائد مفاعلات البحوث

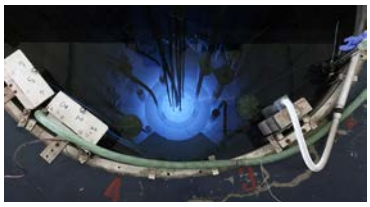
٨ تنظيم مفاعلات البحوث في المغرب وما وراءه

١٠ القيادة والإدارة لأغراض الأمان
أسئلة وأجوبة مع مدير العمليات التشغيلية في شركة مجموعة البحوث والاستشارات النووية (NRG) في هولندا

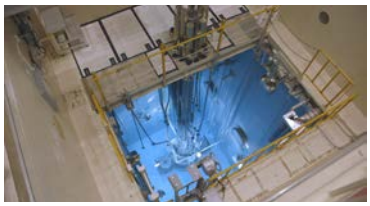
١٢ كيف تساعد مفاعلات البحوث على جعل التصوير الطبي ممكناً

١٤ بناء المهارات والمعارف بالاستعانة بمفاعلات البحوث

١٦ الأمان من البداية إلى النهاية
جولة داخل مرفق مفاعل البحوث الجديد في الأردن



٢٠ تسخير الإمكانات الكاملة لمفاعلات البحوث تسخيراً استراتيجيًّا

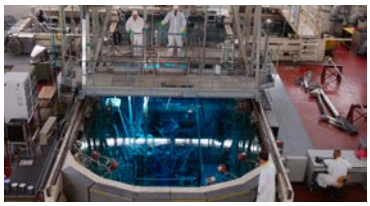


٢٢ تعزيز الأمان والأمن والموثوقية
بعثات استعراض النظراء التابعة للوكالة والخاصة بمفاعلات البحوث

٢٤ التوصل إلى التوليفة الأنسب
كيفية إدماج الأمن النووي في مفاعلات البحوث

٢٦ البلدان تتجه نحو اليورانيوم الضعيف الإثراء لتزويد مفاعلات البحوث لديها بالوقود

٢٨ التحقُّق من البحوث
تنفيذ الضمانات في مفاعلات البحوث



٣٠ إدارة مفاعلات البحوث المتقادمة بما يضمن تشغيلها على نحو مأمون وفعَّال

٣٢ إخراج أول مفاعل بحوث في أوزبكستان من الخدمة

رؤية عالمية

٣٤ الحفاظ على استدامة مفاعلات البحوث
— بقلم هيلموث بويك

تحديثات الوكالة

٣٦ أخبار الوكالة

٤٠ المنشورات

استكشاف مفاعلات البحوث واستخدامها

بقلم نيكول جاويرث وإليسا مطر

طوالَ أكثر من ٦٠ عاماً، زوَّدت مفاعلاتُ البحوث العالمَ بأداة متعدِّدة الاستخدامات لاختبار المواد وإحراز تقدُّم في البحوث العلمية، وكذلك لتطوير وإنتاج المواد المشعَّة التي هي أساسية لتشخيص الأمراض، بل وعلاجها في بعض الحالات. وثمة مجموعة واسعة النطاق من تصميمات مفاعلات البحوث ومجموعة أوسع نطاقاً من التطبيقات التي تحقِّق منافع اجتماعية-اقتصادية لمساعدة البلدان في جميع أنحاء العالم على تحقيق أهداف التنمية المستدامة.

وجرى تشييد أكثر من ٨٠٠ مفاعل بحوث حتى يومنا هذا. وعلى الرغم من إغلاق وإخراج العديد منها من الخدمة على مرِّ السنين، إلَّا أنَّ ثمة ٢٢٤ مفاعل بحوث ما زالت قيد التشغيل في ٥٣ بلداً. وفي الوقت الراهن، ثمَّة ٩ مفاعلات بحوث جديدة قيد التشييد، وتمَّ تشييد أكثر من ١٠ مفاعلات بحوث خلال الأعوام العشرة الماضية. وبما أنَّ معظم مفاعلات البحوث قد شُيِّدت في ستينيات وسبعينيات القرن المنصرم، فإنَّ نصف مفاعلات البحوث العاملة في العالم اليوم تزيد أعمارها على ٤٠ عاماً، وقرابة ٧٠٪ منها تزيد أعمارها على ٣٠ عاماً.

ما هي مفاعلات البحوث؟

مفاعلات البحوث هي مفاعلات نووية صغيرة الحجم تُستخدم في المقام الأول لإنتاج النيوترونات، على عكس مفاعلات القوى النووية، والتي هي أكبر حجماً وتُستخدم لتوليد الكهرباء. وعند المقارنة بمفاعلات القوى النووية، تتميَّز مفاعلات البحوث بتصميم أكثر بساطةً، وتعمل في درجات حرارة أقلّ، وتتطلَّب كمية أقلّ بكثير من الوقود، وعليهِ تنجم عنها نفايات أقلّ بكثير. ونظراً لدورها المهم في البحث والتطوير، يُقام العديد من مفاعلات البحوث في حرم الجامعات ومعاهد البحوث.

وتُحدَّد قدرة مفاعلات البحوث بالميغاواط (MW)، ويعادل ١ ميغاواط مليون واط، حيث الواط وحدة قياس القوى. وتتراوح مخرَجات مفاعلات البحوث من صفر ميغاواط، مثل ناتج المجمَّعة الحرجة، وحتى ما يصل إلى ٢٠٠ ميغاواط، وذلك مقارنةً بـ ٣٠٠٠ ميغاواط (التي يُرمز إليها أيضاً بـ ١٠٠٠ ميغاواط (كهربائي)) لوحدة مفاعل كبير للقوى النووية. ومع ذلك تقلُّ مخرَجات معظم مفاعلات البحوث عن ١ ميغاواط.

كيف تُستخدم مفاعلات البحوث؟

تُعَدُّ النيوترونات، وهي جسيمات دون ذرِّية موجودة في جميع الذرَّات تقريباً، التي تنتجها مفاعلات البحوث مفيدةً للدراسات العلمية على المستويين الذري والمجهري. وهي تُستخدم لإنتاج النظائر المشعَّة لأغراض الطب ولتشعيع المواد بُغية تطوير مفاعلات انشطارية واندماجية، وذلك من بين تطبيقات أخرى. وفي المقام الأول، تُستخدم هذه الجُسيمات في مجالات مثل الصناعة، والطب، والزراعة، والتحليل الجنائي، وعلم الأحياء، وعلم الكيمياء، والتقويم الجيولوجي.

وخلافاً لمفاعلات القوى، تُعَدُّ مفاعلات البحوث مناسبة أيضاً للتعليم والتدريب. ومردُّ ذلك إلى أنها تتَّسم بدرجة تعقيد أقلّ، ما يعني أن نُظمها ومجمل تصميماتها بسيطة وميسورة، وبالتالي يتيح ذلك إمكانية محاكاة ظروف المفاعل المختلفة على نحو مأمون. ويمكن استخدام مفاعلات البحوث لتدريب مشغِّلي المفاعلات، وموظفي الصيانة والتشغيل في المرافق النووية، وموظفي الوقاية من الإشعاعات، والموظفين الرقابيين، والطلاب والباحثين.

بعض الاستخدامات المحدَّدة لمفاعلات البحوث

بدأت البحوث على النيوترونات بعدَ أن اكتشف الفيزيائي جيمس تشادويك النيوترونات في عام ١٩٣٢. وبحلول منتصف الخمسينيات من القرن العشرين، بات استخدام النيوترونات في البحوث أكثر انتشاراً، لا سيما عندما بدأ الباحثون في تطبيق تقنيات تشتُّت النيوترونات. واليوم،

تُستخدم النيوترونات التي تنتجها مفاعلات البحوث لأغراض متعدِّدة. وإليكم بعضاً من تطبيقاتها.

يمثِّل **تشتُّت النيوترونات** تقنية تحليلية لفهم بنية وسلوك المواد الصلبة والمواد المكثَّفة. ومع تفاعل النيوترونات مع الذرَّات في المادة، قد تتغيَّر طاقتها وخصائصها الأخرى. ويمكن استخدام هذه التغييرات لدراسة بنية المادة وديناميتها. كما أنَّ خصائص النيوترونات تجعلها مفيدةً بشكل خاص لدراسة الهيدروجين، والأجسام الصغيرة والكبيرة، وعدد لا يحصى من المواد، بما في ذلك المواد المغناطيسية. وهذا مفيد لفهم كيفية ترميم العظام لنفسها، ودراسة البروتينات في الدماغ، وتحسين البطاريات وإنشاء مجالات مغناطيسية، من بين أمور أخرى.

وبالنسبة **لتحليل المواد**، غالباً ما يتمُّ الجمع بين النيوترونات والأشعة السينية، لأنهما يوفِّران معلومات تكميلية. فالنيوترونات حسَّاسة للعناصر الأخفِّ، خاصة الهيدروجين في الماء والمواد البيولوجية، في حين أن الأشعة السينية أكثر حساسية للعناصر الأثقل، مثل الحديد والصلب. ويتيح الجمع بين تقنيات النيوترون والأشعة السينية حساسية أكبر لجميع مكوِّنات عيِّنةٍ أو جسمٍ ما.

ويسهم استخدام النيوترونات لأبحاث المواد وتطوير المواد في الفهم العلمي وتطوير التقنيات على نطاق مجموعة متنوِّعة من المجالات، بدءاً من الإلكترونيات إلى الطب إلى مواد البناء المخصَّصة للظروف القاسية، مثل معدات العمل في الفضاء ومحطات القوى النووية.

وتوفِّر مفاعلات البحوث أيضاً نيوترونات يمكن استخدامها لمساعدة الباحثين على تحديد خصائص القطع التراثية الثقافية، مثل الرسومات والآثار القديمة. ويمكن للتقنيات القائمة على النيوترونات أن تميِّز بين أنواع مختلفة من المواد المستخدمة في الأعمال الفنية، مثل الطلاء، وتكوين وقوام عناصر القطع الفنية، مثل الصخور. ويشار إلى هذه الأساليب باسم **'الاختبارات غير المتلِفة'**، لأنها تتيح للباحثين دراسة الأجسام دون الإضرار بها.

و**التشعيع النيوتروني** يمكن استخدامه أيضاً لاستحداث مواد جديدة ذات خصائص مفيدة. وعلى سبيل المثال، يجري تشعيع السيليكون بالنيوترونات لتغيير موصليَّته لغرض استخدامه في تطبيقات أشباه الموصلات ذات الطاقة العالية.

وتُستخدم مفاعلات البحوث أيضاً في **إنتاج النظائر المشعَّة**. والنظائر المشعَّة هي عناصر غير مستقرة تستعيد استقرارها من خلال خضوعها لاضمحلال إشعاعي. وأثناء عملية الاضمحلال، يتمُّ إطلاق أنواع مختلفة من الإشعاع، والتي يمكن استخدامها في التطبيقات الطبية أو الصناعية.

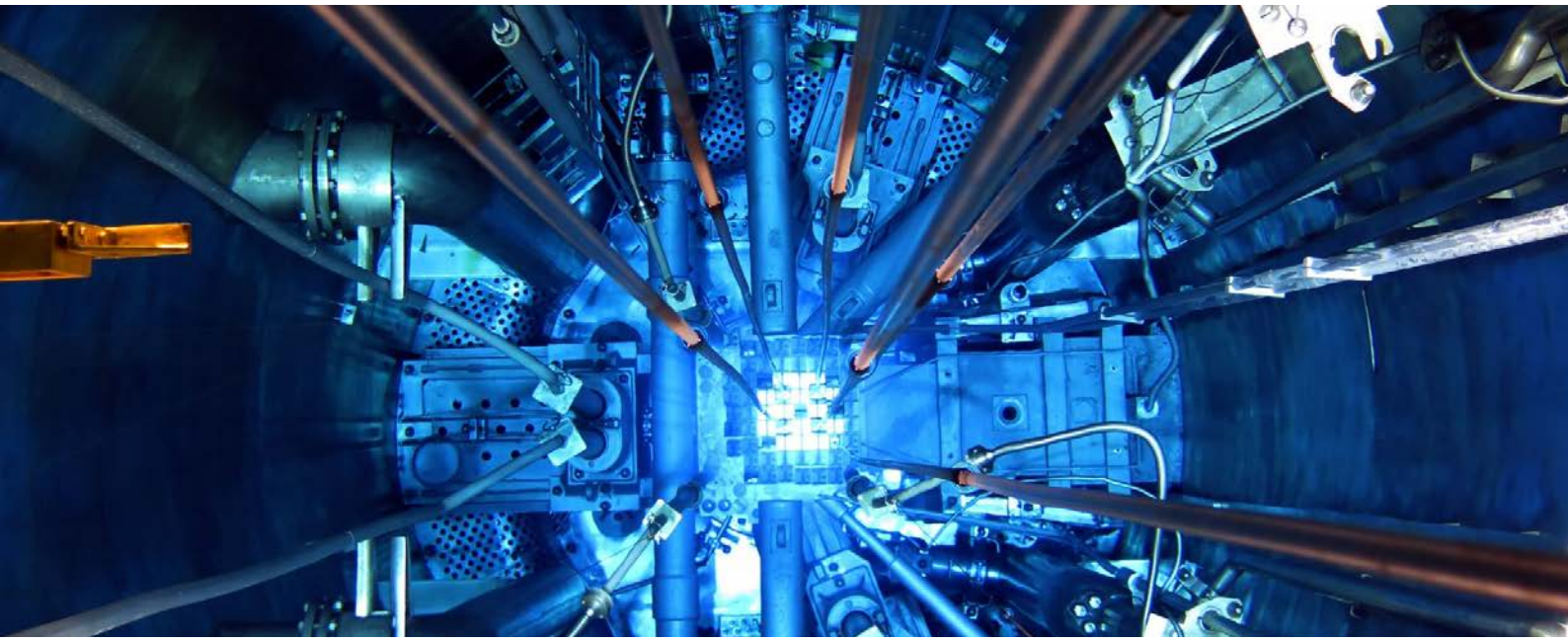
وأحد أكثر استخدامات النظائر المشعَّة شيوعاً هو تشخيص أمراض مثل السرطان وأمراض القلب والأوعية الدموية وعلاجها. وأما النظير المشعُّ الأكثر استخداماً في الطب فهو التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر، والذي يأتي من النظير المشعِّ الموليبدينوم-٩٩ ويُستخدم لأغراض التصوير الطبي التشخيصي (انظر صفحة ١٢).

دعم استخدام مفاعلات البحوث

لدى الوكالة خبرة تمتدُّ لعقود في الترويج لاستخدام مفاعلات البحوث في جميع أنحاء العالم. فهي تساعد البلدان في جميع مراحل مشروع مفاعل البحوث، ابتداءً من التخطيط والتشييد والإدخال في الخدمة والتشغيل، ووصولاً إلى إخراجها من الخدمة وتفكيكها عند نهاية الخدمة. كما تدعم الوكالة البلدان في تحقيق أفضل مستوى ممكن من حيث الاستخدام المتَّسم بالكفاءة والمستدام لمفاعلات البحوث لديها (انظر صفحة ٢٠) وتساعد البلدان التي ليس لديها مفاعلات بحوث على الحصول عليها حتى تتمكَّن من الاستفادة من هذه الأدوات القوية. ويتمثَّل هذا الدعم في شكل تنظيم تدريب، وحلقات عمل، وتبادُل للخبرات وأفضل الممارسات، وخدمات استعراض النظراء (انظر صفحة ٢٢)، وكذلك نشر وثائق إرشادية ومعايير، والاستفادة عن بُعد من التعليم ودورات التعلُّم الإلكتروني. وتدعم الوكالة أيضاً البلدان في معالجة ما يتعلق بالأمان والأمن في مفاعلات البحوث، بما في ذلك التحويل المأمون والآمن لمفاعلات البحوث من وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء (انظر صفحة ٢٦).

إرساء البنية الأساسية النووية لجني فوائد مفاعلات البحوث

بقلم مات فيشر



قلب مفاعل بحوث.
(الصورة من: الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

يمكن استخدام مفاعلات البحوث لأغراض متنوِّعة، ابتداءً من تدريب المهندسين النوويين وإجراء البحوث العلمية، ووصولاً إلى إنتاج النظائر المشعَّة وتطوير المواد المتقدمة. ولكن قبل أن يتمكَّن بلد ما من الشروع في مشروع مفاعل بحوث جديد، يجب أن يكون لديه أولاً البنية الأساسية الملائمة.

وقال أندريه سيتنيكوف، الرئيس التقني للبنية الأساسية النووية لمفاعلات البحوث وبناء القدرات في الوكالة: "توفِّر الوكالة إرشادات بشأن القضايا المتعلقة بتشييد وتنفيذ مشاريع مفاعلات البحوث. وهي تشمل الأطر القانونية والرقابية، وتنمية الموارد البشرية، والضمانات، والأمان والأمن، من بين قضايا أخرى. ويساعد نهج المعالم المرحلية البارزة للوكالة البلدان على أن تطوِّر، بطريقة فعَّالة وشمولية، برامج مفاعلات البحوث الخاصة بها حتى تتمكَّن من استخدام مفاعلات البحوث الخاصة بها على نحو مأمون وموثوق."

نهج المعالم المرحلية البارزة

نهج المعالم المرحلية البارزة هو مخطَّط شامل مقسَّم إلى ثلاث مراحل تحدِّد ما يجب على أي بلد إنجازه في ١٩ مجالاً تتعلق بتطوير البنية الأساسية، بما في ذلك الأمان النووي، والموارد البشرية، والتمويل، والإدارة. ويمكن استخدامه مع برامج القوى النووية مثلما يمكن استخدامه أيضاً مع برامج مفاعلات البحوث.

وفي حين أن الخطوط العامة لهذا النهج متشابهة إلى حدٍّ بعيد مع برامج مفاعلات البحوث وبرامج القوى النووية، فإنَّ الفرق الرئيسي يرتبط بمستوى الاستخدام: إذ تحتوي مفاعلات البحوث على مجموعة واسعة من التطبيقات، في حين تُستخدم مفاعلات القوى النووية في المقام الأول لتوليد الكهرباء. وهذا يعني أنه عندما يستخدم بلد ما نهج المعالم المرحلية البارزة مع مفاعلات البحوث، يجب عليه أولاً أن يحدِّد الغاية من استخدام مفاعل البحوث. فمعرفة الغرض من مفاعل البحوث مسألة ضرورية ليس فقط لتحديد العناصر المحدَّدة المطلوبة للبنية الأساسية، مثل أنواع المتخصِّصين المطلوب توظيفهم والمرافق المراد بناؤها، ولكن أيضاً لتطبيق نهج المعالم المرحلية البارزة بشكل فعَّال.

ثلاث مراحل رئيسية لتطوير مفاعلات البحوث

تنقسم عملية تطوير مفاعل البحوث إلى ثلاث مراحل رئيسية: إعداد تقرير جدوى لتبرير الحاجة إلى مشروع مفاعل بحوث؛ والإعداد لتشييد المفاعل، بما في ذلك إرساء الأُطر القانونية والرقابية؛ وتشييد المفاعل الجديد وإدخاله في الخدمة.

ولكلِّ مرحلة علامة إتمام، أو 'معلَم بارز'، لمساعدة أي بلد على تتبُّع التقدُّم المحرَز وتقييم مدى استعداده

قبل بدء العمل في المرحلة التالية. ويتحقَّق المعلَم المرحلي البارز ١ عندما يكون البلد مستعدًّا للالتزام ببرنامج مفاعل البحوث؛ ويُستكمل المعلَم المرحلي البارز ٢ عندما يكون البلد على استعداد للبدء في التفاوض على عقد لتشييد المفاعل وتشغيله؛ ويتحقَّق المعلَم المرحلي البارز ٣ عندما يكون المفاعل جاهزاً لإدخاله في الخدمة.

الاستعراض والتحسين

يُعَدُّ تقييم البنية الأساسية القائمة بالفعل وما هو بحاجة إلى مزيد من التطوير خطوة مهمة في إنشاء أو توسيع برنامج مفاعل البحوث. وتساعد الوكالة البلدان، بناءً على طلبها، على استعراض حالتها وتحديد المجالات التي ربما تكون بحاجة إلى تحسين من خلال بعثات الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية فيما يخصُّ مفاعلات البحوث (بعثة INIR-RR). وهذه بعثات استعراض نظراء تنسِّقها الوكالة، وهي شاملة بطبيعتها وتجريها أفرقة دولية مكوَّنة من خبراء من الوكالة وخبراء آخرين خارجيين يتمتَّعون بخبرة مباشرة في البنية الأساسية النووية المتخصِّصة لمفاعلات البحوث.

وقبل القيام بالبعثة، تقوم الدولة المهتمة أولاً باستكمال تقرير تقييم ذاتي بشأن ١٩ قضية من قضايا البنية الأساسية بما يتفق مع المنشور الصادر عن الوكالة المعنون "الاعتبارات والمعالم المحدَّدة لمشاريع مفاعلات البحوث" (*Specific Considerations and Milestones for a Research Reactor Project*). ومن ثمَّ يقوم الخبراء بتقييم الموقف بناءً على الأدلة، بما في ذلك الخطط الاستراتيجية واعتبارات الموقع، التي جُمعت خلال مهمة بعثة INIR-RR.

وبعد انتهاء بعثة INIR-RR، يُعِدُّ فريق البعثة تقريراً يتضمَّن توصيات بشأن بنود العمل المطلوب تنفيذها. وقد تتمُّ بعثة متابعة بعد مرور عامين تقريباً على البعثة الأولية من أجل تقييم حالة تنفيذ التوصيات. وفي العادة، يتمُّ وضع خطة عمل بين البلد والوكالة لتوفير بناء القدرات على نحو محدَّد الهدف في بعض قضايا البنية الأساسية التسع عشرة، مع مراعاة نتائج الاستعراض.

أول بعثة INIR-RR على الإطلاق

تمَّ إيفاد أول بعثة من بعثات INIR-RR على الإطلاق إلى نيجيريا في شباط/فبراير ٢٠١٨. إذ تملك نيجيريا مفاعلاً مصدريًّا نيوترونيًّا مصغَّراً بقدرة ٣٠ كيلوواط (حراري)، وهو قيد التشغيل منذ عام ٢٠٠٤، ويُستخدم لأغراض الأنشطة التدريبية والتحليل بالتنشيط النيوتروني، لكن لا يمكن استخدامه لتطبيقات أخرى.

وتتوخَّى سلطات هذا البلد إنشاء مفاعل بحوث متعدِّد الأغراض أكبر حجماً وأكثر تنوُّعاً للتطبيقات بما في ذلك إنتاج نظائر مشعَّة لأغراض كلٍّ من رعاية مرضى السرطان وحفظ الأغذية. وسيعمل مفاعل البحوث المتعدِّد الأغراض أيضاً على إثراء الخبرات في تشغيل مفاعلات أكبر حجماً ومساعدة هذا البلد في رحلته نحو برنامج محتمل للقوى النووية في المستقبل.

وبما أنَّ نيجيريا تملك بالفعل برنامجاً لمفاعلات البحوث، فقد تمَّت بالفعل معالجة معظم متطلبات البنية الأساسية لمفاعلات البحوث المتعدِّدة الأغراض إلى حدٍّ ما؛ ومع ذلك، فإن تشغيل مفاعل بحوث أكبر حجماً يتطلَّب المزيد من التعزيز والبناء على البنية الأساسية القائمة. وأكَّدت التوصيات التي قدَّمتها فرقة بعثة INIR-RR على زيادة التركيز على تنمية الموارد البشرية. وتعتزم نيجيريا إدخال المفاعل في الخدمة بحلول عام ٢٠٢٥.

التوسُّع من أجل تحقيق المزيد

يُعَدُّ مفاعل البحوث المتعدِّد الأغراض أيضاً جزءاً من خطط فييت نام الرامية لتوسيع برنامجها من أجل توسيع نطاق ما يمكن للبلد تحقيقه باستخدام مفاعلات البحوث. وتقوم حاليًّا فييت نام بتشغيل مفاعل بحوث صغير نسبيًّا — وهو مفاعل من النوع الحوضي بقدرة ٥٠٠ كيلوواط (حراري) — لمجموعة متنوِّعة من التطبيقات، بما في ذلك الإنتاج المحدود للنظائر المشعَّة، والبحث والتطوير في مجال الحُزم النيوترونية.

وأوفِدت بعثة INIR-RR إلى فييت نام في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٨. وخلصت فرقة البعثة إلى أن فييت نام قد أحرزت تقدُّماً ملموساً نحو إرساء البنية الأساسية الضرورية لمفاعل بحوث متعدِّد الأغراض. وشملت التوصيات المقدَّمة إجراء تقييم استخدام أكثر تفصيلاً لمفاعل البحوث المتعدِّد الأغراض وتعزيز استقلالية الهيئة الرقابية.

وقال هوانغ آن توان، المدير العام لوكالة الطاقة النووية في فييت نام: "سيعزِّز مفاعل البحوث المزمع بقدرة ١٠ إلى ١٥ ميغاواط (حراري) قدرتنا في مجال البحث العلمي، والتعليم والتدريب، وإنتاج النظائر المشعَّة." وتعتزم فييت نام إدخال مفاعل البحوث المتعدِّد الأغراض في الخدمة بحلول عام ٢٠٢٦. وأضاف قائلاً: "لقد ساعدتنا بعثة INIR-RR على تحديد المجالات التي تستلزم الاستمرار في تطوير البنية الأساسية، بما في ذلك إستراتيجيتنا للتصرُّف في النفايات المشعَّة وإطارنا الرقابي."

"لقد ساعدتنا بعثة INIR-RR على تحديد المجالات التي تستلزم الاستمرار في تطوير البنية الأساسية، بما في ذلك إستراتيجيتنا للتصرُّف في النفايات المشعَّة وإطارنا الرقابي."

— هوانغ آن توان، المدير العام لوكالة الطاقة النووية في فييت نام

تنظيم مفاعلات البحوث في المغرب وما وراءه

بقلم لورا غيل

قد تكون مفاعلات البحوث أصغر حجماً، وأكثر بساطةً، وتتطلَّب كمية أقلَّ من الوقود مقارنةً بمفاعلات القوى النووية، لكن ما زال يتعيَّن عليها الالتزام بلوائح صارمة في مجال الأمان والأمن.

وقال خمار مرابط، المدير العام للوكالة المغربية للأمن والسلامة في المجالين النووي والإشعاعي (أمسنور): "لا بدَّ من تنظيم ومراقبة أيِّ نشاط ينطوي، أو أيِّ ممارسة تنطوي، على مصادر إشعاعية مؤيّنة، ما لم يتمّ إعفاؤها أو استثناؤها من نظام الرقابة. وإذا لم تتمّ مراقبتها، فقد يتجاوز ضررها المنفعة المتأتِّية منها. ولضمان الأمان والأمن، لا بدَّ من الإشراف الرقابي".

ويُعَدُّ دعم السلطات الرقابية في جميع أنحاء العالم في ضمان الأمان والأمن النوويين لمفاعلات البحوث أحد المهامّ الرئيسية للوكالة الدولية للطاقة الذرية. وفي حالة المغرب، الذي يشغِّل مفاعل البحوث تريغا مارك ٢ (TRIGA Mark II)، ساعدت الوكالة الهيئة الرقابية هناك في أن تصبح مثالاً يُحتذى في مجال التفتيش المتين والاستقلالية والموثوقية.

وبدأ تشغيل مفاعل البحوث تريغا مارك ٢، وهو جزء من المركز الوطني للطاقة والعلوم والتقنيات النووية، في عام ٢٠٠٧. ولم يتوقَّع القانون النووي في المغرب، الذي سُنَّ في عام ١٩٧١، وقانون المسؤولية المدنية فيه، الذي سُنَّ في عام ٢٠٠٥، تهديدات محتملة مثل الإرهاب النووي. والهيئة الرقابية في ذلك الوقت، وفقاً لمرابط، لم تتمتَّع باستقلالية كافية لذلك لجأت إلى الوكالة للحصول على مساعدتها.

وقال مرابط: "من ناحية، لديك تشريعات ولوائح، ومن ناحية أخرى، لديك المشغِّلين، وهم المسؤولون الأساسيون عن الأمان. وما بينهما وبشكل متواصل، نحن بحاجة إلى هيئة رقابية مستقلة تُناط بها وظائف وأدوار ومسؤوليات واضحة، على سبيل المثال، للتفويض والتفتيش."

ودعمت الوكالة المغربَ في صَوْغ وسنِّ قانون نووي جديد في عام ٢٠١٤ وفي إنشاء هيئة رقابية جديدة ومستقلة برئاسة رئيس وزراء البلاد. وفي عام ٢٠١٦، وضع خبراء الوكالة المغربية للأمن والسلامة في المجالين النووي والإشعاعي خطة عمل استراتيجية لترقية النظام الرقابي لديهم. وشارك في هذه العملية أكثر من ٣٠ من المعنيين من الوزارات ذات الصلة، والمنظمات المهنية، ومعاهد الدعم التقني، إلى جانب الوكالة.

"لا بدَّ من تنظيم ومراقبة أيِّ نشاط ينطوي، أو أيِّ ممارسة تنطوي، على مصادر إشعاعية مؤيّنة، ما لم يتمّ إعفاؤها أو استثناؤها من نظام الرقابة. وإذا لم تتمّ مراقبتها، فقد يتجاوز ضررها المنفعة المتأتِّية منها."

— خمار مرابط، المدير العام للوكالة المغربية للأمن والسلامة في المجالين النووي والإشعاعي (أمسنور)

ويُعَدُّ مفاعل البحوث تريغا مارك ٢ أكبر منشأة نووية في المغرب، وبالتالي فهو يحظى بأولوية عالية عند السلطات والخبراء التقنيين في البلاد. ويسهم المفاعل في العديد من الأنشطة، بما في ذلك البحث والتدريب في مجال الطب النووي، والتطبيقات الصناعية، والتصرُّف في النفايات المشعَّة. ويشمل الدعم المقدَّم من الوكالة على صعيد الإشراف الرقابي بعثات الاستعراض (انظر صفحة ٢٢)، والمساعدة في وضع اللوائح والخبرة التقنية.

وبات المغرب أيضاً مركزَ تدريب في مجال الإشراف الرقابي على مفاعلات البحوث في شمال إفريقيا وخارجها.

وقالت فرحانة نصير، مسؤولة الأمن النووي في الوكالة: "تحتاج إلى رؤية وخطة واضحتين. وقد اتَّبع المغرب نهجاً متَّسقاً واستراتيجيًّا ومتدرِّجاً منذ اليوم الأول. وستكون تجربة هذا البلد بمثابة مصدر جيد لأفضل الممارسات ونموذج يُحتذى للبلدان الأخرى."

محفل فورو

تتبادل البلدان في المناطق الأخرى أيضاً أفضل الممارسات في الإشراف الرقابي على مفاعلات البحوث. وعلى سبيل المثال، تتقاسم الهيئات الرقابية المنضوية تحت مظلة المحفل الأيبيري-الأمريكي للوكالات الرقابية الإشعاعية والنووية (محفل فورو)، أفضل ممارساتها وتدعم بعضها البعض في مجال التفتيش الرقابي كجزء من مشروع مشترك.

وقال جيراردو لازارو، منسِّق المشروع والخبير المسؤول عن تفتيش مفاعلات البحوث في معهد بيرو للطاقة النووية: "تتمثَّل الفكرة في أننا نتبادل الخبرات ولدينا معايير رقابية مشتركة للمفاعلات كافةً." وقال: "لقد أدَّينا عملاً جيداً جدًّا لمدة ٣٠ عاماً، باستخدام معايير الوكالة مرجعاً لنا. وثمَّة خبرات كبيرة في مفاعلات البحوث كافةً في جميع أنحاء المنطقة. ومن المهم أن نتقاسَم تلك الخبرات والمعارف التي اكتسبناها لكي نواصل إدخال التحسينات."

والهدف من المشروع هو القيام، بدعم من الوكالة، بإعداد دليل تفتيش موحَّد باللغة الإسبانية لمشغِّلي مفاعلات البحوث النووية. ومن المتوقع الانتهاء من إعداد الدليل في عام ٢٠٢٠، وسيُستكمل بإرشادات رقابية مرجعية بشأن الإشراف على إدارة تقادُم مفاعلات البحوث. ويُعَدُّ التقادُم ذا أهمية متنامية، فجميع مفاعلات البحوث في بلدان المحفل الأيبيري-الأمريكي لوكالات التنظيم الإشعاعي والنووي قيد التشغيل منذ أعوام عدَّة تراكمية.

وفي الوقت الراهن ثمة ١٦ مفاعل بحوث قيد التشغيل في ٩ بلدان على نطاق منطقة أمريكا اللاتينية والبحر الكاريبي، ١٥ منها في بلدان محفل فورو. وتوفِّر هذه المفاعلات خدمات أساسية، تتراوح من البحث الأكاديمي والتعليم، إلى التطبيقات في الزراعة والبيئة، وإنتاج النظائر المشعَّة للاستخدام في الطب والصناعة.

إجراء تفتيش رقابي في مفاعل بحوث.

(الصورة من: الوكالة المغربية للأمن والسلامة في المجالين النووي والإشعاعي)

القيادة والإدارة لأغراض الأمان

أسئلة وأجوبة مع مدير العمليات التشغيلية في شركة مجموعة البحوث والاستشارات النووية (NRG) في هولندا

بقلم لورا غيل

الأمان هو الأهمُّ على الإطلاق في جميع المنشآت النووية، بما في ذلك مفاعلات البحوث. ومن المهم رعاية ثقافة التفاهم فيما بين الموظفين بشأن أهمية الأمان والتدابير اللازمة للحفاظ عليه، أي ثقافة الأمان. إذ يمكن أن تقود ثقافة الأمان الواهنة إلى تدابير أمان ضعيفة، الأمر الذي يمكن أن يؤثِّر في نهاية المطاف في رفاه الإنسان وفي البيئة. ولكن كيف يمكننا ضمان الأمان؟ وما بعض قضايا الأمان الرئيسية في مفاعلات البحوث، ولماذا تُعَدُّ القيادة والإدارة أساسيتين لمعالجتهما؟ لمعرفة الإجابة عن ذلك، قابلنا جيلمر أوفيرين، مدير العمليات التشغيلية وأحد القادة الخمسة في شركة مجموعة البحوث والاستشارات النووية *(NRG)*. وتمتدُّ خبرته لعقود في مجال القيادة والإدارة لأغراض الأمان.

و*NRG* هي شركة بحثية يعمل بها ٦٥٠ موظفاً وتشغِّل المفاعل العالي الفيض التابع للمفوضية الأوروبية، وهو مفاعل بحوث متعدِّد الأغراض يقع في هولندا. وتنتج شركة *NRG* النظائر، وتجري البحوث التكنولوجية النووية، وتقدِّم المشورة للصناعة بشأن أمان وموثوقية المنشآت النووية، مثلما تقدِّم الخدمات المتعلقة بالوقاية من الإشعاعات.

سؤال: هل يمكنك أن تخبرنا قليلاً عن استراتيجية شركة NRG وكيف تتعامل مع الأمان؟

جواب: استراتيجية شركة NRG بسيطة للغاية: نريد أن نكون أكبر منتج للنظائر الطبية في العالم. وقد بدأنا نقول في عام ٢٠٠٨ أننا سنكون منتِجاً للنظائر الطبية. وسرعان ما مرَّت ١١ سنةً وقد كان لنا ما أردنا. فنحن أحد أكبر الشركات المنتِجة للموليبدينوم-٩٩، ولكن لسنا بعدُ أكبر منتج للنظائر الطبية. الأمر يستغرق بعض الوقت.

فصناعة النظائر الطبية صناعة متنامية. وتزداد كميات الإنتاج كلّ عام، وبطبيعة الحال هذا أمر إيجابي، ولكن يتعيَّن عليك أن تكيِّف منظمتك مع ذلك. وأنت بحاجة إلى مزيد من المشغِّلين، ومزيد من المعدات، ومزيد من الحاويات، ومزيد من الأدوات، ومزيد من التدريب، ومزيد من الموظفين المؤهَّلين. وعليك القيام بذلك دون أي مساس بالأمان والموثوقية.

ولضمان الأمان أنت بحاجة إلى استراتيجية واضحة. وقد لاحظنا أننا، في السابق، كنا نقوم بالكثير من الأشياء على نحو متزامن. وإذا كان الأشخاص يميلون إلى القيام بخمسة أو ستة أشياء في الوقت نفسه، فإنّ ذلك ينتقص من الجودة، وإذا ما تقلَّصت الجودة، قد تتقلَّص معها أيضاً مستويات الأمان. ومن الحكمة القيام بعدد أقلّ من الأشياء ولكن القيام بها بشكل أفضل. أشياء أقلّ لكنها صائبة. ولتحقيق ذلك، أنت بحاجة إلى أن تملك تركيزاً واستراتيجيةً واضحين.

سؤال: كيف يؤثِّر القادة والمديرون في الأمان في مفاعلات البحوث؟

جواب: بالنسبة لي، تمثِّل توقُّعات الناس أحد أهم الأشياء التي علينا مراعاتها. وكان لدينا في السابق مديرون لم يتحدَّثوا عن الأمان على الإطلاق، وإذا كنتَ لا تتحدَّث عن الأمان على الإطلاق، فإن العمَّال لا يعرفون ما هو متوقَّع منهم. والقادة بحاجة إلى

> **"إذا كنتَ لا تتحدَّث عن الأمان على الإطلاق، فإن العمَّال لا يعرفون ما هو متوقَّع منهم. والقادة بحاجة إلى الإصغاء إلى موظفيهم ومعرفة ما يشغلهم. ويتعيَّن عليهم أيضاً حفز موظفيهم وإلهامهم."**
>
> — جيلمر أوفيرين، مدير العمليات التشغيلية، شركة مجموعة البحوث والاستشارات النووية *(NRG)*، هولندا

الإصغاء إلى موظفيهم ومعرفة ما يشغلهم. ويتعيَّن عليهم أيضاً حفز موظفيهم وإلهامهم.

ويجب أن يُظهر القائد أيضاً سلوكاً مثاليًّا، لا سيما عندما نتحدَّث عن الأمان. ولدي حكاية جيدة لتوضيح هذا الأمر. وتتعلق الحكاية بكيفية اصطفاف السيارات في موقع مرفق مفاعل البحوث لدينا — فلأسباب تتعلق بالأمان، يجب الرجوع بالسيارات إلى الخلف نحو أماكن وقوفها. وذات صباح، في بداية حياتي المهنية، وكنتُ للتو قد بدأت العمل مهندساً إداريًّا، ركنتُ سيارتي في مواقف السيارات في الاتجاه الخاطئ، وقال لي أحد زملائي في العمل: "جيلمر، الطريقة التي ركنتَ بها سيارتك خاطئة!" وكانت تلك اللحظة التي أدركتُ فيها أنني إذا ما ركنتُ سيارتي في مواقف السيارات بطريقة خاطئة فإنه سيحقُّ لكل شخص القيام بذلك أيضاً. وبفضل تلك الحادثة تنبَّهت لأمر غفلتُ عنه؛ فقد جعلتني أدرك أهمية أن يكون المرء مثالاً يُحتذى. وعندما يتعلَّق الأمر بالأمان، ليس لكَ أن تتحمَّل تبعات فعل على شاكلة 'ركن السيارة' بطريقة خاطئة. ومنذئذ، واظبتُ على ركن سيارتي في مواقف السيارات بطريقة صحيحة.

سؤال: عند الحديث عن ثقافة الأمان، ثمة فرق بين القيادة والإدارة. ما هو هذا الفرق وما أهميته بالنسبة للأمان؟

جواب: ثمَّة مثال رائع يوضِّح هذا الاختلاف هو حقيقة أن المديرين يقفون وراء مجموعة من الأشخاص يخبرونهم بما يجب عليهم فعله، بينما القادة هم جزء من مجموعة الأشخاص، وهم يرشدونهم. وبالنسبة لي، يقوم المديرون بوضع الخطط السنوية والتحكُّم بها والتحقُّق من تنفيذها. وأما القادة، إضافة إلى ما سبق، فيبلورون رؤيةً، ويخبرون العاملين معهم لماذا هذه الخطط ضرورية، ويصطفُّون مع العاملين معهم لتنفيذ هذه الخطط. وفي نهاية المطاف، فإنَّ المدير الجيد هو قائد أيضاً، والقائد الجيد هو مدير أيضاً.

سؤال: ما الدور الذي اضطلعت به الوكالة فيما يخصُّ الأمان في مفاعل البحوث لديكم؟

جواب: تعمل شركة NRG عن كثب مع الوكالة منذ وقت طويل. وقد ساعدتنا الوكالة عبر إنشاء منصَّة لتبادُل الخبرات والمعارف، وإعداد أدلة الأمان بالتشاور الوثيق مع الصناعة، وكذلك عن طريق زيارتنا مع البعثات، مثل بعثات التقييمات المتكاملة لأمان مفاعلات البحوث، التي ركَّزت بشكل كبير على الأمان من زاوية تقنية. ونظراً لأننا أردنا أيضاً معرفة حالة ثقافة الأمان لدينا والحصول على مُدخلات عن المجالات التي يجب تحسينها، فقد طلبنا إيفاد بعثة التقييم المستقل لثقافة الأمان التابعة للوكالة.

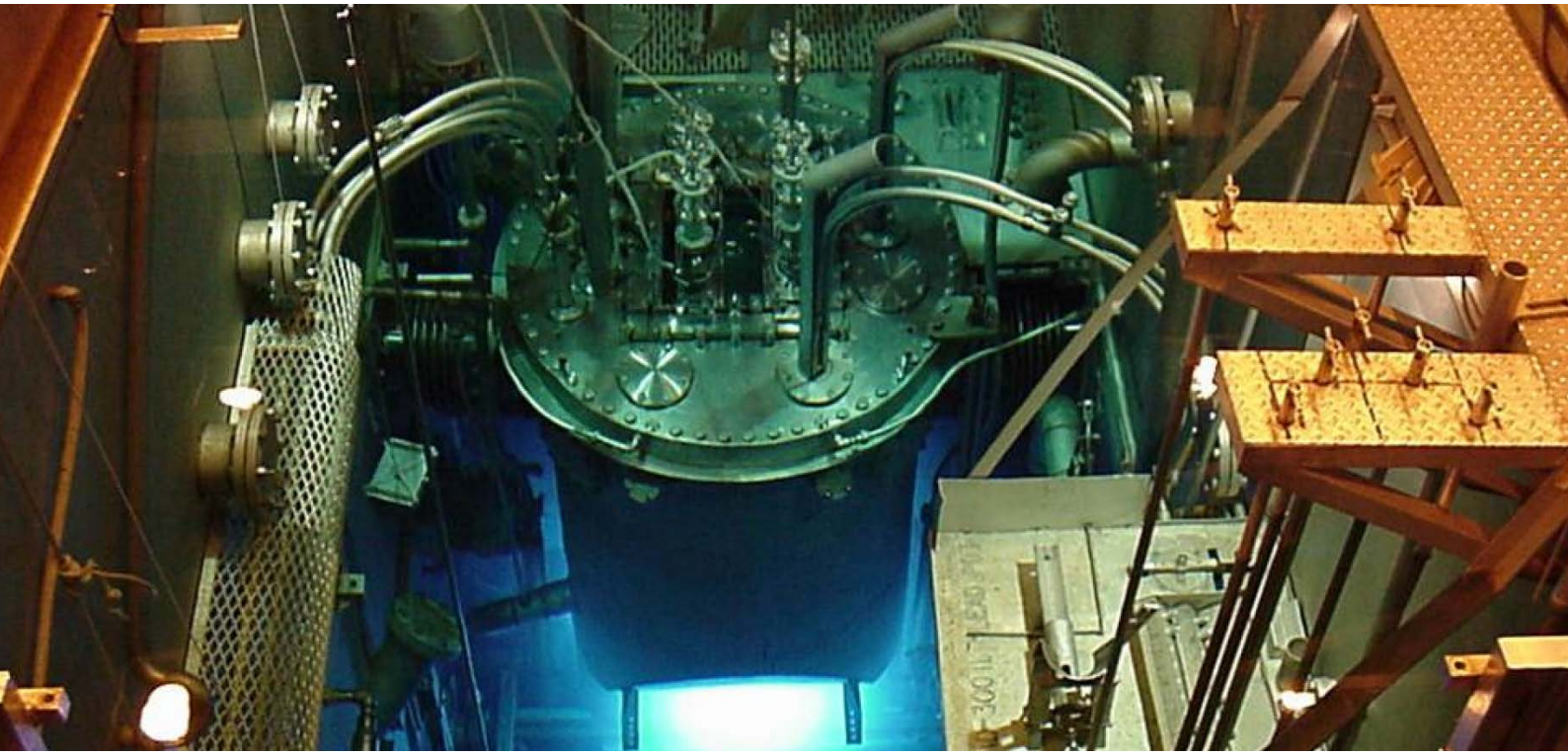
ففي عام ٢٠١٧، جاءتنا فرقة التقييم المستقل لثقافة الأمان بقيادة خبراء لتقييم ثقافة الأمان لدينا. واستعرضوا الوثائق، وأجروا مقابلات مع العاملين، ودرسوا نظام الإدارة المتكاملة لدينا، وكذلك برنامجنا للتدريب والتأهيل، ونظَّموا مجموعات تركيز لمعرفة الديناميات والتفاعلات فيما بين الموظفين. وأظهر تقرير التقييم المستقل لثقافة الأمان أننا حتماً نسير في الاتجاه الصحيح، لكن ثمَّة مجالات تتطلَّب إدخال تحسينات.

أحد تلك المجالات ثقافة الجزيرة لدينا؛ فلدينا منشآت مختلفة تحيط بها أسوار أمنية كبيرة، ما يجعل من الصعب على الموظفين الالتقاء. تلك حالة مثالية عندما يتعلق الأمر بدواع أمنية، لكنها ليست مثالية إذا ما أردت التفاعل مع زملائك بشأن جميع أنواع الموضوعات. وعملنا أيضاً على تحسين أوصاف أدوارنا ومسؤولياتنا وإدماج تلك الأدوار في نظام الإدارة لدينا.

فقد عملنا على هذه المجالات. ورجعت الفرقة إلينا بعد مرور ١٨ شهراً للاطلاع على تنفيذ التوصيات وخلصت إلى أننا أحرزنا تقدُّماً في تحسين ثقافة الأمان. وبطبيعة الحال لم ننتهِ تماماً ممَّا علينا القيام به؛ فالعالم من حولنا يتغيَّر بسرعة كبيرة، لذلك علينا دائماً أن نواصل التحسين والتكيُّف.

كيف تساعد مفاعلات البحوث على جعل التصوير الطبي ممكناً

بقلم ألكساندرا بيفا ونيكول جاويرث



مفاعل البحوث SAFARI-1 قيد التشغيل.

(الصورة من: شركة جنوب أفريقيا للطاقة النووية (Necsa))

أكثر من ٨٠٪ من التصوير الطبي المستخدَم كلّ عام لتشخيص أمراض مثل السرطان بات ممكناً بفضل الأدوية الصيدلانية المنتجَة، في الجزء الأكبر منها، في مفاعلات البحوث. وتتضمَّن هذه المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية النظيرَ المشعَّ التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر، المستمدَّ من النظير المشعِّ الموليبدينوم-٩٩ الذي يُنتج بشكل أساسي في مفاعلات البحوث.

وقال خواو أوسو، مدير شعبة منتجات النظائر المشعَّة والتكنولوجيا الإشعاعية، الوكالة الدولية للطاقة الذرية: "بينما يمكن إنتاج الموليبدينوم-٩٩ أو حتى التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر باستخدام طُرق أخرى، إلَّا أن مفاعلات البحوث فعَّالة بشكل خاص من حيث التكلفة ومناسبة تماماً لتلك الغاية، خاصة بالنسبة للإنتاج التجاري واسع النطاق. وذلك لأن بإمكانها أن تنتج كميات كبيرة من الموليبدينوم-٩٩ بالخصائص الصحيحة التي تجعل من السهل استخراج التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر باستخدام مولِّد في المستشفى، وبالتالي الحفاظ على التدفُّق الثابت والموثوق لإمدادات المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية لمزيد من المرضى."

من المفاعل إلى المرضى

مفاعلات البحوث هي مفاعلات تُستخدم في المقام الأول، وبدلاً من توليد الكهرباء، لإنتاج النيوترونات اللازمة لتطبيقات أخرى. يمكن استخدام هذه النيوترونات لأغراض متعدِّدة، مثل إنتاج الموليبدينوم-٩٩ من خلال تشعيع أهداف اليورانيوم-٢٣٥.

والموليبدينوم-٩٩، كونه من النظائر المشعَّة، هو ذرَّة غير مستقرة تخضع للاضمحلال. ويستغرق الأمر ٦٦ ساعةً لنصفِ أيِّ موليبدينوم-٩٩ يتمُّ إنتاجه لكي يخضع للاضمحلال، وهذا ما يُعرف باسم العمر النصفي. وناتج اضمحلال الموليبدينوم-٩٩، المعروف أيضاً باسم 'الناتج الوليد'، هو التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر.

وللحصول على التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر، تُنقل أهداف اليورانيوم-٢٣٥ المشعَّعة إلى منشأة معالَجة، عادة ما تكون بالقرب من مفاعل البحوث، لفصل الموليبدينوم-٩٩ عن النواتج الانشطارية الأخرى وتنقيته. ثمَّ يُنقل الموليبدينوم-٩٩ المنقَّى إلى مرفق إنتاج لمولِّدات الموليبدينوم-٩٩/التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر — وهي الأجهزة المستخدَمة لخزن ونقل واستخلاص التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر كيميائيًّا من الموليبدينوم-٩٩ مباشرة في موقع المستشفى أو أي مرفق طبي آخر.

وداخل مولِّد نموذجي منها، يتمُّ غسل أكسيد الألومنيوم الذي يحتوي على الموليبدينوم-٩٩ بمحلول ملحي. ويتعلَّق الموليبدينوم-٩٩ بالأكسيد، فيما يُزال التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر بفعل المحلول. وتنتج تلك العملية محلول التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر الذي يُستخدم بعدئذ لاستحداث مستحضرات صيدلانية إشعاعية مختلفة تكون جاهزة للحقن في جسم المريض. وبمجرَّد الدخول إلى جسم المريض، تكشف كاميرا خاصة خارج جسم المريض الكميات الصغيرة من الإشعاع التي يطلقها التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر وهو في حالة اضمحلال وذلك لإنشاء صور طبية لتشخيص الأمراض.

أعمار نصفية قصيرة، إنتاج مستمر

نظراً لأن نصف عمر التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر هو ست ساعات، يجب استخدامه بسرعة بعد استخلاصه وإلَّا فإنه يفقد فعاليته. ومع قِصَر عمر الموليبدينوم-٩٩ بل وقِصَر عمر التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر أكثر منه، لا بدَّ من إنتاجهما بشكل مستمر لتلبية الطلب العالمي.

ومن المنتجين العالميين الرئيسيين للموليبدينوم-٩٩، ونظائر مشعَّة أخرى، منشأة البحوث الذرية الأساسية في جنوب أفريقيا (SAFARI-1)، التي تُعَدُّ جزءاً من شركة جنوب أفريقيا للطاقة النووية (Necsa)، وهي مفاعل البحوث الرائد المنتِج للنظائر الطبية في القارة الإفريقية. وبالتعاون مع مورِّد النظائر المشعَّة، NTP Radioisotopes SOC Ltd، وهي شركة تابعة لشركة جنوب أفريقيا للطاقة النووية — أصبح مفاعل SAFARI-1 أحد أكبر خمسة مورِّدين في العالم للموليبدينوم-٩٩، وهو جزء من شبكة إمداد بالنظائر المشعَّة الطبية لأكثر من ٥٠ بلداً في جميع أنحاء العالم. وهو ينتج الآن قرابة ٢٠٪ من الطلب العالمي من الموليبدينوم-٩٩، والتكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر المستمدِّ من مولِّدات تستخدم الموليبدينوم-٩٩ الذي ينتجه مفاعل SAFARI-1 يُستخدم في أكثر من ٤٠ مستشفى ومرافق صحية أخرى على امتداد إفريقيا.

وقال كووس دو بروين، مدير أول في مفاعل SAFARI-1: "التحوُّل إلى أحد الأطراف العالمية الفاعلة في مجتمع الكيمياء الإشعاعية والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية استلزم منَّا تطبيق أنظمة الإدارة، وبرامج الصيانة، وتدريب الموظفين والخطط الإستراتيجية بطريقة حسنة التنظيم ومُحكمة". وقد دعم ذلك أيضاً الاستخدام الثانوي للمفاعل في مجالات البحث والتعليم والصناعة.

وبدعم من الوكالة، خضع المفاعل SAFARI-1 لتطوير وتحسينات مستمرة منذ بدء تشغيله في عام ١٩٦٥، بما في ذلك تحويله من وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى وقود اليورانيوم ضعيف الإثراء في عام ٢٠٠٩ (تعرَّف على المزيد عن هذا النوع من التحويل في صفحة ٢٦) والانتقال من أهداف عالية شديدة الإثراء إلى أهداف ضعيفة الإثراء، وهو ما استُكمل في عام ٢٠١٧. وقد ساعدت هذه الأنشطة على ضمان الاستخدام الأفضل للمفاعل وانتقاله الناجح إلى المزيد من الاستخدامات التجارية.

صفيحة الموليبدينوم-٩٩ المستهدَفة والحامل المستخدَم لتشعيع الصفائح في مفاعل بحوث.

(الصورة من: شركة جنوب أفريقيا للطاقة النووية (Necsa))

وقال دو بروين: "في تسعينيات القرن العشرين، غيَّرنا نهجنا التشغيلي وركَّزنا أكثر على الصيانة والإدارة، بما في ذلك بناء فريق من الموظفين المتخصِّصين ذوي المهارات العالية في مجموعة من المجالات. وقد سمح لنا ذلك بالانتقال من كوننا مفاعلاً منخفض الاستخدام إلى مرفق عال إلى الاستخدام إلى حدٍّ بعيد وأكثر استدامةً". وفي السنوات التسع بين عامَي ١٩٩٥ و٢٠٠٤، تمَّ استخدام المفاعل أكثر مما كان عليه في العقود الثلاثة السابقة مجتمعةً. ثمَّ بعد سبع سنوات فقط حقَّق النتيجة نفسها. وحتى عام ٢٠١٩، تضاعَف استخدام المفاعل SAFARI-1 أربع مرات تقريباً منذ عام ١٩٩٥.

"التحوُّل إلى أحد الأطراف العالمية الفاعلة في مجتمع الكيمياء الإشعاعية والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية استلزم منَّا تطبيق أنظمة الإدارة، وبرامج الصيانة، وتدريب الموظفين والخطط الإستراتيجية بطريقة حسنة التنظيم ومُحكمة."

— كووس دو بروين، مدير أول في مفاعل *SAFARI-1*، جنوب أفريقيا

وخلال الخمسة عشر عاماً الماضية، عمل المفاعل SAFARI-1 على مدار الساعة تقريباً دون توقف لمدة ٣٠٠ يوم تقريباً كلّ عام، ومن المتوقَّع أن يستمر في تزويد الموليبدينوم-٩٩ حتى عام ٢٠٣٠ على أقلِّ تقدير. ومع ذلك، ونظراً لتقادُم المفاعل، يتمُّ النظر حاليًّا في أن يحلَّ محلَّه مفاعل بحوث جديد متعدِّد الأغراض بقدرة ١٥ إلى ٣٠ ميغاواط (حراري). وستستغرق هذه العملية ما يصل إلى عشر سنوات من بداية دراسات الجدوى إلى الانتهاء.

وقال دو بروين: "إذا ما تمَّ إنشاء مفاعل بحوث متعدِّد الأغراض جديد، فسيتمُّ تجهيزه للعمل بمرونة على مدار ٦٠ عاماً القادمة أو أكثر، حتى نتمكَّن من التكيُّف مع التغييرات المحتملة، مثل التقلبات في أسواق النظائر الطبية ومتطلبات البحث، بالإضافة إلى تزويد جنوب إفريقيا والمنطقة بمرفق بالغ الأهمية للوقود النووي واختبار المواد."

بناء المهارات والمعارف بالاستعانة بمفاعلات البحوث

بقلم نيكول جاويرث

طلاب يؤدون تجارب مختبرية في الزمن الحقيقي عن بُعد عبر الربط مع صف دراسي في مفاعل البحوث RA-6 في الأرجنتين.

(الصورة من: بابلو سانتيرو/الهيئة الوطنية للطاقة الذرية في الأرجنتين)

تُعَدُّ مفاعلات البحوث أحد الموارد المهمة لتدريب المهنيين النوويين في جميع أنحاء العالم، لكن قرابة رُبع البلدان فقط تملك مفاعلات بحوث خاصة بها.

وقال كريستوف كزيري، مدير شعبة دورة الوقود النووي وتكنولوجيا النفايات في الوكالة: "عدم امتلاك مفاعل بحوث يجب ألَّا يحدَّ من خيارات أيِّ بلد عندما يتعلق الأمر بتعليم وتدريب المهنيين النوويين. فاليوم ثمَّة مجموعة متنوِّعة من الاحتمالات."

فللمساعدة على ضمان حصول الطلاب والمهنيين النوويين على ما يحتاجون إليه من تعليم وتدريب، سواء أكان بلدهم يمتلك مفاعل بحوث أم لا، تدعم الوكالة الدورات التدريبية الدولية، سواء على أرض الواقع أو عن بُعد، مثلما تيسَّر التعاون فيما بين البلدان لزيادة الوصول إلى مفاعلات البحوث.

ومفاعل الأبحاث هو مفاعل نووي يُستخدم في المقام الأول، بدلاً من توليد الطاقة، لإنتاج النيوترونات. وعلى الرغم من أنَّ مفاعلات البحوث تُستخدم بشكل أساسي لأغراض البحوث والتطبيقات، إلَّا أنها تضطلع أيضاً بدور بارز في تعليم وتدريب المهنيين، اليافعين والراسخين، ممَّن يعملون في مرافق نووية، ومجالَي الوقاية من الإشعاعات، والتنظيم النووي.

وقال ديفيد سيرز، مسؤول أمان أول في الوكالة الدولية للطاقة الذرية: "توفِّر مفاعلات البحوث طريقة عملية لاكتساب فهم أكثر عمقاً للمبادئ الأساسية وراء تشغيل المفاعل، وبالنظر إلى كيفية تصميمها، يمكن استخدامها لمحاكاة أنواع مختلفة من ظروف المفاعل بطريقة مأمونة، وهو أمر غير ممكن باستخدام مفاعل قوى نووية."

الربط عبر الإنترنت

بالنسبة لطلاب الفيزياء والهندسة النووية، تُعَدُّ التجارب التي تستخدم مفاعل بحوث أداةَ تعلُّم أساسيةً. ومع ذلك، لا يمكن دائماً الحضور شخصيًّا في مفاعل البحوث، خاصةً عندما لا يمتلك بلد الطالب مفاعل بحوث. وتُسَدُّ هذه الفجوة الآن عن طريق بدائل من قبيل مشروع مختبر الوكالة للمفاعلات على شبكة الإنترنت (IRL). وتمَّ إنشاء المختبر المذكور في عام ٢٠١٥، وهو يوفِّر مكوِّناً مجدياً من حيث التكلفة وعمليًّا لتدريب كلٍّ من الطلاب والمهنيين من خلال ربط الصفوف الدراسية في أي مكان في العالم بصفوف دراسية مرتبطة بمفاعلات بحوث عاملة وذلك عبر الإنترنت. وهو ما يتيح للمشاركين الانخراط في تجارب حيَّة في مجال فيزياء المفاعلات ومعرفة المزيد عن عمليات المفاعل.

وقال خوسيه دافيد كريميه أنجيل بيلو، وهو الآن أستاذ وباحث في قسم الفيزياء الذرية والجزيئية في المعهد العالي للتكنولوجيات والعلوم التطبيقية في كوبا: "عندما شاركت في مختبر المفاعلات على شبكة الإنترنت في عام ٢٠١٨، تعلَّمت بالفعل الكثير عن المفاعلات، رغم أنني لم أرَ مفاعلاً من قبل. وكان مشروع مختبر المفاعلات على شبكة الإنترنت تجربة مدهشة لتدريبي كمهندس نووي لأننا لا نملك مفاعلاً نوويًّا في كوبا، لذا سمح لي ذلك برؤية وممارسة ما درسناه من الناحية النظرية، وبالتفاعل مع مفاعل

نووي في الزمن الحقيقي وإجراء تجارب. لقد ساعدني ذلك في إعدادي لمهنتي."

كان كريميه طالبَ هندسة نووية عندما استفاد من مشروع مختبر المفاعلات على شبكة الإنترنت الذي أُنشئ من خلال اتفاق بين الوكالة والهيئة الوطنية للطاقة الذرية (CNEA) في الأرجنتين. ووُقِّع الاتفاق في عام ٢٠١٣ وشكَّل أساسَ مشروع مختبر المفاعلات على شبكة الإنترنت في أمريكا اللاتينية، والذي كان أحد أوائل مشاريع المختبر المذكور، بالإضافة إلى مشروع مختبر مماثل آخر مع فرنسا. وعلى الرغم من أن مشروع مختبر المفاعلات على شبكة الإنترنت مع فرنسا قد انتهى بالإغلاق الدائم للمفاعل المضيف، فإن مشاريع المختبر المذكور توسَّعت منذ ذلك الحين نحو أفريقيا وآسيا والمحيط الهادئ وأوروبا، مع وجود مفاعلات مضيفة في الجمهورية التشيكية وجمهورية كوريا والمغرب، ويتمُّ النظر حاليًّا في مفاعلات مضيفة جديدة في أجزاء أخرى من أوروبا وجنوب شرق آسيا.

التدريب في الميدان

بينما يوفِّر مختبر المفاعلات على شبكة الإنترنت الوصول عن بُعد إلى التعليم باستخدام مفاعلات البحوث، ما تزال الدورات التدريبية الميدانية المباشرة، وجهاً لوجه، التي تنظِّمها الوكالة توفِّر وسيلة مهمة لبناء المهارات والمعارف والشبكات. فطوال عقود مضت، دعمت الوكالة ونسَّقت التدريب لمئات الطلاب والمهنيين الشبَّان والمتخصِّصين المتمرِّسين. وتغطي هذه الدورات موضوعات مثل التشغيل والصيانة، والتفتيش الرقابي على الأمان، والأمن النووي والحماية المادية، والاستخدامات المحدَّدة للتطبيقات، مثل إنتاج النظائر المشعَّة لأغراض الطب واختبار المواد لأغراض الصناعة.

وقال لوكا سنوج، عالم فيزياء المفاعلات بمعهد جوزيف ستيفان في سلوفينيا، المنخرط أيضاً في دورة تدريبية في إطار منح دراسية جماعية مقدَّمة من الوكالة تُسمَّى مبادرة أوروبا الشرقية بشأن مفاعلات البحوث (EERRI) "إنها تجربة قيِّمة أن تزور مفاعل بحوث وأن تجري بعض التجارب وأن تعيش تجربة تشغيل مفاعل البحوث." وتتضمَّن هذه المبادرة دورة مدتها ستة أسابيع للمهنيين الشبَّان تركِّز على جميع جوانب مفاعلات البحوث.

وأضاف سنوج قائلاً: "يستفيد العديد من المشاركين في دورات مبادرة مفاعلات البحوث في أوروبا الشرقية خبراتهم واتصالاتهم المكتسبة خلال مثل هذه الدورات التدريبية في أن يصبحوا علماء ومهندسين ناجحين عندما يعودون إلى بلدانهم. وفي بعض الحالات، يصبحون خبراء نوويين بارزين في بلدانهم." وتابع قائلاً: "بالنسبة لنا كمضيف، مثَّلت هذه المبادرة وسيلة مهمة لتعزيز الإحاطة الدولية بمفاعلنا، وسمحت لنا بإجراء اتصالات في هذا المجال للتعاون طويل الأجل والزيارات العلمية والتدريب." وتمثِّل مبادرة أوروبا الشرقية بشأن مفاعلات البحوث إحدى الأنشطة المتعددة المدعومة من الوكالة، وتشمل الأنشطة الأخرى الدورات الإقليمية والدورات الدراسية في مجال مفاعلات البحوث في أفريقيا وآسيا والمحيط الهادئ وأمريكا اللاتينية.

وللحصول على تدريب أكثر تقدُّماً، وكذلك لتيسير الوصول بشكل أكبر إلى مفاعلات البحوث لإنجاز أعمال علمية، أطلقت الوكالة مخطَّط المراكز الدولية القائمة على مفاعلات البحوث المسمَّاة من الوكالة في عام ٢٠١٤. وفي إطار هذا المخطَّط، تطوَّعت مراكز بحوث بارزة في جميع أنحاء العالم وأخذت بزمام المبادرة في إتاحة فرص للتعاون الدولي. ولكي يصل أيُّ بلد إلى أحد المراكز الدولية القائمة على مفاعلات البحوث، يجب أن يصبح منتسباً بأن يوقِّع اتفاقاً ثنائيًّا مع أحدها. وتعمل الوكالة على تيسير هذه العملية من خلال، على سبيل المثال، مشاركة المعلومات عن القدرات التي توفِّرها المراكز الدولية القائمة على مفاعلات البحوث.

وقال كزيري: "يضطلع مخطَّط المراكز الدولية القائمة على مفاعلات البحوث بدور مهم، ليس فقط في تدريب المشغِّلين ولكن أيضاً في تيسير الوصول إلى مفاعلات البحوث الأكثر ملاءمةً لأنواع محدَّدة من التجارب." وثمَّة مراكز دولية قائمة على مفاعلات البحوث في بلجيكا وجمهورية كوريا وروسيا وفرنسا، إلى جانب مركزين في الولايات المتحدة.

"كان مشروع مختبر المفاعلات على شبكة الإنترنت تجربة مدهشة لتدريبي كمهندس نووي لأننا لا نملك مفاعلاً نوويًّا في كوبا، لذا سمح لي ذلك برؤية وممارسة ما درسناه من الناحية النظرية، وبالتفاعل مع مفاعل نووي في الزمن الحقيقي وإجراء تجارب. لقد ساعدني ذلك في إعدادي لمهنتي."

— خوسيه دافيد كريميه أنجيل بيلو، مشارك سابق بمختبر الوكالة للمفاعلات على شبكة الإنترنت، كوبا

تعزيز المعرفة عبر الإنترنت

تُعَدُّ دورات التعلُّم الإلكتروني التي تطوِّرها الوكالة موارد مفيدة تتمِّم التعليم والتدريب المتعلقين بمفاعلات البحوث. وهذه الدورات متاحة في موضوعات مثل:

- مقدِّمة لموظفي مفاعلات البحوث (متاحة أيضاً باللغة الإسبانية)
- التحليل بالتنشيط النيوتروني
- التقنيات التحليلية النووية في مجال علوم التحليل الجنائي
- الوقاية من الإشعاعات والتصرُّف في النفايات
- برامج التفتيش الرقابي
- أمان مفاعلات البحوث
- التخطيط الاستراتيجي للمؤسسات النووية الوطنية

الأمان من البداية إلى النهاية

جولة داخل مرفق مفاعل البحوث الجديد في الأردن

بقلم آبها ديكسيت

نظرة داخل قاعة مفاعل البحوث والتدريب الأردني.

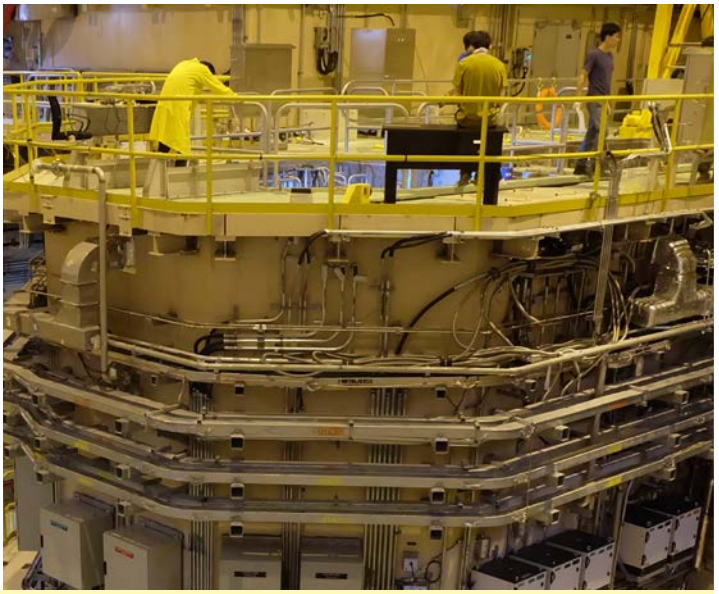
حصل مفاعل البحوث والتدريب الأردني، بعدَ بنائه في حرم جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية بمدينة إربد في الأردن، على رخصة التشغيل في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٧.

كما حصل مفاعل البحوث والتدريب الأردني على رخصة من المؤسسة العامة للغذاء والدواء في الأردن لتوزيع خط إنتاج اليود-١٣١، والذي يتألَّف من جرعات مختلفة من النظير في شكل سائل وشكل كبسولة. واليود-١٣١ هو نظيرٌ مشعٌّ لليود يُستخدم غالباً في المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية لتشخيص وعلاج الأمراض، مثل سرطان الغدَّة الدرقية. ويوفِّر مفاعل البحوث والتدريب الأردني المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية إلى ١٣ مركزاً طبيًّا في الأردن ويواصل توسيع نطاق عملائه.

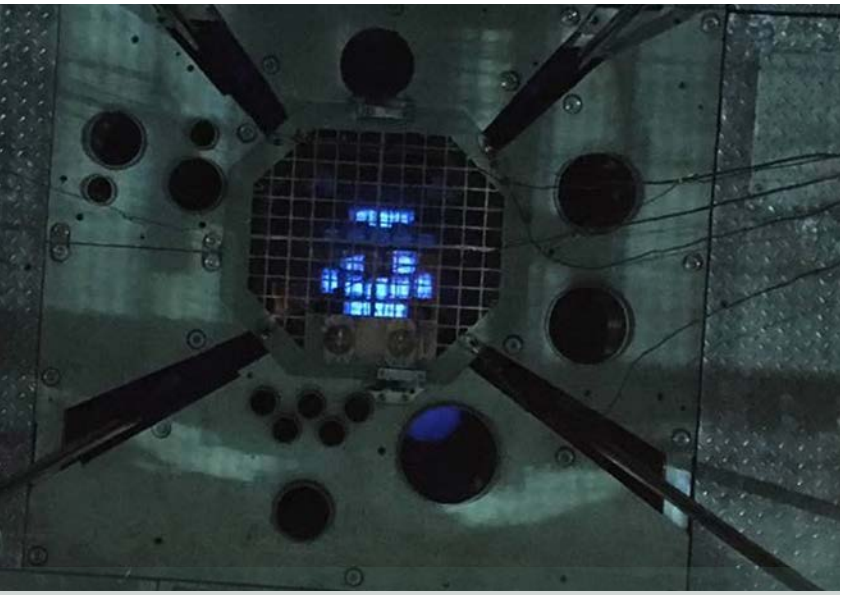
وثمَّة خطط جارية لتوسيع نطاق منتجات المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية التي ينتجها مفاعل البحوث والتدريب الأردني وليقوم بتقديم خدمات تشعيع أخرى، مثل إنتاج السيليكون، بمواصفات مناسبة لصناعة الإلكترونيات.

كثيراً ما تكون لمفاعلات البحوث وظائف تتجاوز الوظائف البحثية؛ فهي تُستخدم في التعليم والتدريب، واختبار المواد، وإنتاج النظائر المشعَّة لأغراض التطبيقات الطبية والصناعية. وكما هو حال مفاعلات القوى النووية، يجب أن تلتزم مفاعلات البحوث بأعلى معايير الأمان على امتداد جميع مراحل المشروع، ابتداءً من التصميم والإدخال في الخدمة ووصولاً إلى التشغيل والصيانة.

وسنقوم بجولة في مشروع مفاعل البحوث والتدريب الأردني (JRTR) لمعرفة المزيد عن استخدام مفاعل البحوث وكيفية تنفيذ الأمان في كل خطوة من المشروع. ومفاعل البحوث والتدريب الأردني هو مفاعل بقدرة ٥ ميغاواط وصُمِّم على نحو يجعله قابلاً للترقية إلى قدرة ١٠ ميغاواط. وهو ما يمنح الأردن خيار توسيع قدرات مفاعل البحوث في المستقبل.

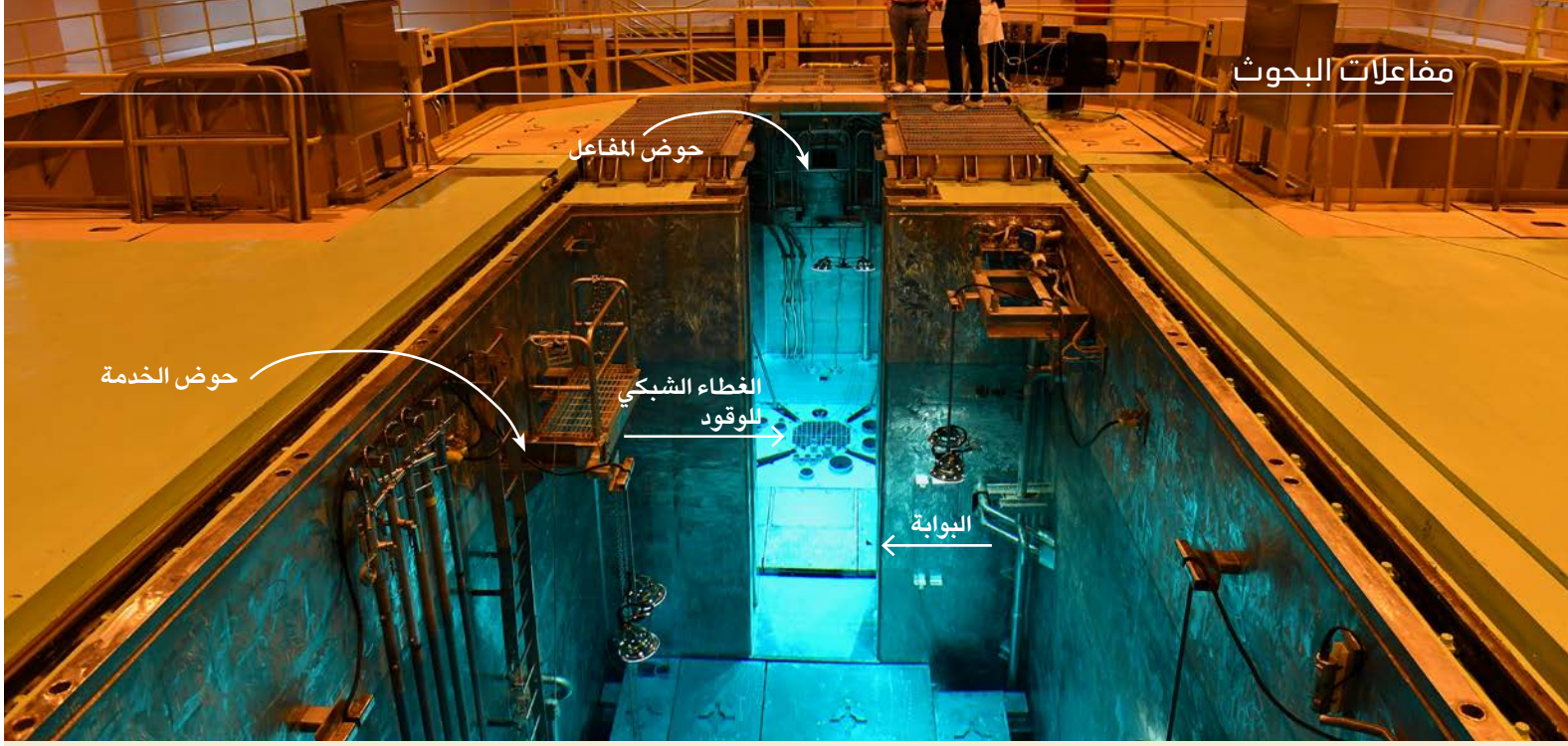


وستُستخدم منافذ الحزم النيوترونية في مفاعل البحوث والتدريب الأردني في إجراء التجارب، فيما ستُستخدم فتحات التشعيع داخل الخزان في إنتاج النظائر المشعَّة للأغراض الطبية والصناعية، بالإضافة إلى أنشطة بحثية أخرى.



ينجم الوهج الأزرق البرَّاق في حوض المفاعل عن جسيمات الإلكترونات المنبعثة من الوقود والمتفاعلة مع الماء. ويُعرف هذا الضوء الأزرق النفَّاذ باسم ظاهرة تشيرينكوف. وكلما زاد مستوى قدرة المفاعل، أصبح الوهج الأزرق أكثر كثافةً.

وأمَّا الفتحات المستديرة حول الشبكة فهي فتحات التشعيع — الموجودة داخل عاكس الماء الثقيل — والتي تُستخدم لإنتاج النظائر المشعَّة، والإشابة بالتحويل النيوتروني، وللأنواع الأخرى من التشعيع.

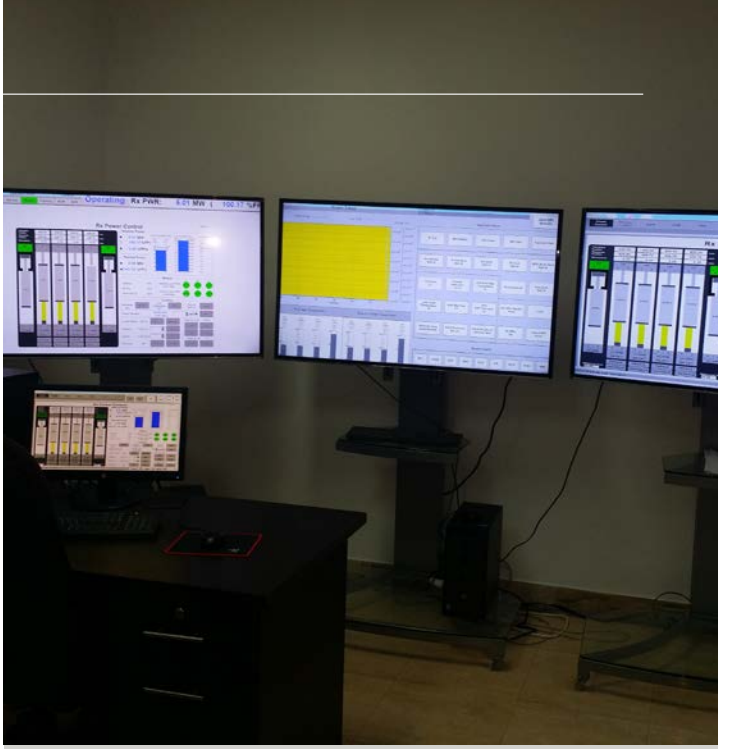


يحتوي حوض المفاعل وحوض الخدمة على قرابة ٥٤٥ ٣٢٥ لتراً من ماءٍ شديد النقاء (خالٍ من المواد المعدنية). ويبلغ عرضهما معاً ٣,٧ أمتار وعمقهما ١٠ أمتار. وتُظهر الصورة المنظر مروراً بحوض الخدمة نحو حوض المفاعل الأزرق، مثلما تُظهر الشبكة الموجودة أعلى مجمَّعات الوقود — وهي مجموعة محدَّدة البنية من صفائح الوقود توفِّر الوقود للمفاعلات — والمستخدَمة لتخزين مجمَّعات الوقود ضمن ترتيبات محدَّدة لأغراض الأمان النووي. ويمكننا أن نرى أيضاً البوابة التي تفصل حوض المفاعل عن حوض الخدمة.

ويُستخدم الماء لتوفير درع واقٍ من المخاطر الإشعاعية. ويتميَّز الماء المستخدَم في مثل هذه المفاعلات بمستوى عالٍ من النقاء بُغية الحفاظ على السلامة المادية لمجمَّعات الوقود ومنع إطلاق مواد مشعَّة. وأمَّا البوابة الواقعة بين الحوضين فتساعد على تسهيل التشغيل وأعمال الصيانة وتسهِّل التعامل مع المكوِّنات المشعَّة. مثلما تُستخدم البوابة لفصل الحوضين في حال تصريف المياه بطريقة عَرَضيَّة.

كذلك يضمُّ مرفق مفاعل البحوث والتدريب الأردني ذو الطراز الحديث ثلاثة مرافق تشعيع تُستخدم لدعم التحليل بالتنشيط النيوتروني، والتحاليل الجنائية، والبحوث الأثرية.

ومن بين السمات المهمة الأخرى لمفاعل البحوث والتدريب الأردني 'منافذ الخلايا الساخنة'. فهي تتيح مناولة المواد القوية الإشعاع، كما هو الحال مع المواد المستخدَمة في إنتاج النظائر المشعَّة لأغراض التطبيقات الطبية والصناعية. والخلايا الساخنة عبارة عن غرف مصمَّمة خصيصاً لحماية العمال أثناء استخدامهم لأذرع التحكُّم للتعامل مع المواد المشعَّة.



ودعماً لتدريب المشغِّلين ومهندسي التكنولوجيا النووية في مفاعل البحوث والتدريب الأردني، زُوِّد مركز التدريب بالمفاعل بنظام محاكاة يشمل جميع وظائف المفاعل. وتساعد نُظم المحاكاة هؤلاء على فهم وممارسة كل الجوانب الدقيقة المتعلقة بتشغيل مفاعل البحوث، بما في ذلك وقوع حادثات أمان محتملة، ليكونوا مستعدِّين تماماً لتشغيل المفاعل.

موظفون يرصدون نُظم مفاعل البحوث والتدريب الأردني من غرفة التحكُّم الرئيسية خلال مرحلة اختبار التشغيل الأولي.

وقال سامر دخل الله القاهوق، مدير مفاعل البحوث والتدريب الأردني ومفوَّض البحوث النووية في هيئة الطاقة الذرية الأردنية: "إنَّ التدريب الذي يسَّرته الوكالة لموظفينا من المهندسين والعلميين وغيرهم من موظفي المشروع قد صُمِّم خصِّيصاً لتلبية احتياجاتنا على نحو يساعدنا على تأهيل موظفينا وتزويدهم بالمعارف والمهارات التي مكَّنت الأردن من تشغيل هذا المرفق المتعدِّد القدرات والمجهَّز على أحدث طراز والمزوَّد بسماتِ أمانٍ متقدِّمة."

وبناءً على طلب من السلطات الأردنية، استقبل مفاعل البحوث والتدريب الأردني بعثات استعراض النظراء التي تضطلع بها الوكالة، بما في ذلك بعثة التقييمات المتكاملة لأمان مفاعلات البحوث (INSARR) في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٦ وبعثة متابعة في الإطار نفسه في آذار/مارس ٢٠١٨.

ومن خلال مثل هذه البعثات للخبراء، ساعدت الوكالة أيضاً على تقييم برنامج استخدام مفاعل البحوث والتدريب الأردني لمرفق إنتاج النظائر المشعَّة ومرفق التحليل بالتنشيط النيوتروني. كما ساعدت الوكالة مفاعل البحوث والتدريب الأردني على إجراء استعراض النظراء وبعثات الخبراء المتعلقة بإنشاء نُظم الإدارة المتكاملة.

وتقدِّم هذه البعثات تعقيبات مهمة تساعد على تحسين وتعزيز كيفية إدارة مفاعلات البحوث، مثل مفاعل البحوث والتدريب الأردني، وتشغيلها وصيانتها بطريقة فعَّالة وموثوقة ومأمونة.

ويملك مفاعل البحوث والتدريب الأردني أيضاً مرفقاً لمعالجة النفايات المشعَّة، والذي حصل على رخصة التشغيل في آذار/مارس ٢٠١٩. وسيقوم المرفق بمعالجة النفايات المشعَّة الناجمة عن مفاعل البحوث والتدريب الأردني، وكذلك عن الصناعة والمستشفيات. وسيتمُّ تخزين النفايات المشعَّة، بعد معالجتها، وإرسالها في نهاية المطاف إلى موقع للتخلص النهائي منها.

تسخير الإمكانات الكاملة لمفاعلات البحوث تسخيراً استراتيجيًّا

بقلم ألكساندرا بيفا

لمفاعلات البحوث القدرة على التأثير في العلوم والتعليم والصناعة والطب، لكن الاستفادة من إمكاناتها الممكنة بشكل كامل يتطلَّب تخطيطاً استراتيجيًّا. وعلى الرغم من أن بعضاً من ٢٢٤ مفاعل بحوث قيد التشغيل حاليًّا في ٥٣ بلداً يُستخدم بكامل طاقته، إلَّا أن العديد منها غير مستغل بشكل كاف.

وقال نونو بيسوا باراداس، أخصائي مفاعلات البحوث في الوكالة: "شُيِّد العديد من مفاعلات البحوث لتلبية حاجة فورية في ذلك الوقت. والآن، وبعد سنوات عديدة، علينا مراجعة بيان مهمتها."

فقد تمَّ تشييد العديد من مفاعلات البحوث العاملة اليوم خلال خمسينيات وستينيات القرن العشرين عندما كانت أداة جديدة، وأبدت بلدان عدَّة اهتماماً باستكشاف واكتشاف إمكاناتها. وبما أنَّ لدينا الآن فهماً أفضل لإمكاناتها وثمَّة تطبيقات جديدة قيد التطوير، بات من المعترف به على نطاق واسع أنه يمكن استخدام بعض مفاعلات البحوث بشكل أفضل لتسخير إمكاناتها الكاملة.

وتتعاون العديد من البلدان الآن تعاوناً نشطاً من أجل تعظيم استخدام مفاعلات البحوث القائمة، وبعضها قد شيَّد بالفعل، أو يخطِّط لتشييد، مفاعلات بحوث جديدة مقرونة بخطط لتحقيق الاستفادة القصوى منها. والهدف من ذلك هو تحقيق الاستفادة الكاملة من فوائد هذه الأدوات القوية في العديد من الاستخدامات، مثل تطوير برامج القوى النووية، ومتابعة البحث والتطوير، وتقديم خدمات التحليل والتشعيع، وإنتاج النظائر المشعَّة لاستخدامها في الطب والصناعة.

وعلى مدار السنوات الخمس الماضية، تلقَّى خبراء ومسؤولون من أكثر من ٤٠ بلداً الدعم من الوكالة الدولية للطاقة الذرية في تحديد الأولويات وتحسين خُطط العمل لأكثر من ٥٠ مفاعلَ بحوث. وتتضمَّن مثل هذه الخطط في العادة تقييم الاحتياجات الوطنية والإقليمية للخدمات والمنتجات المحتملة لمفاعل البحوث، مع إعطاء الأولوية لهذه الاحتياجات ومواءمتها مع قدرات المفاعل، وتحديد أهداف التشغيل الطويل الأجل والمستدام للمفاعل.

تحسين الاستخدام المستدام

في أوائل عام ٢٠١٩، أوفَدت الوكالة بعثة استعراض خبراء إلى إيطاليا، حيث قام فريق دولي من الخبراء

قلب مفاعل البحوث تريغا مارك ٢ في جامعة بافيا.

(الصورة من: نونو بيسوا باراداس/ الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

باستعراض مفاعل البحوث تريغا مارك ٢ (TRIGA Mark II) التابع لجامعة بافيا والذي تبلغ قدرته ٢٥٠ كيلوواط. وركَّزت البعثة على تحسين الاستخدام المستدام لمفاعل البحوث.

وقام الفريق بتقييم الخطة الإستراتيجية وخطة العمل المقابلة لمفاعل الجامعة وتقييم مستوى استخدامه. واستند ذلك إلى مؤشرات الأداء الرئيسية والفرص والقيود التي يمكن أن تحدَّ بشكل أكبر من تطوير خدمات ومنتجات المفاعل، وكذلك إلى مجالات تحسين استخدام المرفق على نحو يتَّسم بالفعالية والكفاءة والاستدامة.

وخلص الخبراء إلى أن مفاعل البحوث هو مرفق جيد الاستخدام يضطلع بدور مهم في التنمية الاجتماعية والاقتصادية الوطنية، وكذلك في الطب والآثار وعلوم المواد، من بين مجالات أخرى. كما قدَّموا توصياتٍ واقتراحاتٍ لزيادة تعزيز استخدام المرفق، بما في ذلك التعقيبات على الخطة الاستراتيجية للمرفق، فضلاً عن تطوير أنشطة التواصل الخارجي والاتصالات وتوسيع نطاق الأنشطة التعليمية.

وقال أندريا سالفيني، مدير مفاعل البحوث بجامعة بافيا: "يُعَدُّ الاستخدام والتخطيط الاستراتيجي من المجالات ذات الأهمية الخاصة لنا وللأطراف المعنية. وقد ساعدتنا بعثة الوكالة في التركيز على تعزيز مجتمع المستخدمين لدينا وتعزيز قدرتنا العلمية في مجالات جديدة."

ومن المتوقع أن تساعد الخبرة المكتسبة من البعثة الموفدة إلى بافيا الوكالة على الاستمرار في تعزيز استجابتها لطلبات البلدان الراغبة بمساعدتها على تحسين استخدام مفاعل البحوث لديها، بما في ذلك من خلال خدمة جديدة تُعرف باسم الاستعراض المتكامل لاستخدام مفاعلات البحوث (IRRUR).

وقال بيسوا باراداس: "وقدَّمت البعثة رؤى معمَّقة قيِّمة ويمكن استنساخها لمساعدة البلدان على صَوْغ استراتيجيات وطنية فعَّالة للاستخدام الفعَّال والتشغيل المستدام لمفاعلات البحوث. وهذا مهمٌّ بشكل خاص للمنظمات التي قد لا تملك القدرات على إجراء تقييم متكامل."

وتمثِّل بعثات الاستعراض أحد السُّبل العديدة التي تساعد الوكالة من خلالها البلدان على تحسين الاستخدام المستدام لمفاعلات البحوث لديها. وفي أوائل عام ٢٠١٩، أطلقت الوكالة أيضاً دورة للتعلُّم الإلكتروني لتوفير إرشادات بشأن وضع التخطيط الاستراتيجي من أجل الاستخدام الفعَّال والمستدام لمختلف المرافق التي تديرها المؤسسات النووية الوطنية، بما في ذلك مفاعلات البحوث. وتستند الدورة إلى منشور الوكالة المعنون "التخطيط الاستراتيجي لمفاعلات البحوث" (Strategic Planning for Research Reactors) الصادر في عام ٢٠١٧. وهذا يسير جنباً إلى جنب مع الدورات التدريبية التي تدعمها الوكالة، وزيارات الخبراء والمِنح، وحلقات العمل بشأن تطبيقات مفاعل البحوث، وكذلك الاجتماعات التقنية والمنشورات. ويمكن الوصول إلى العديد من هذه الموارد من خلال مركز معلومات مفاعلات البحوث، المتاح على منصة شبكة CONNECT التابعة للوكالة.

"يُعَدُّ الاستخدام والتخطيط الاستراتيجي من المجالات ذات الأهمية الخاصة لنا وللأطراف المعنية. وقد ساعدتنا بعثة الوكالة في التركيز على تعزيز مجتمع المستخدمين لدينا وتعزيز قدرتنا العلمية في مجالات جديدة."

— أندريا سالفيني، مدير مفاعل البحوث بجامعة بافيا، إيطاليا

تعزيز الأمان والأمن والموثوقية

بعثات استعراض النظراء التابعة للوكالة والخاصة بمفاعلات البحوث

بقلم إليسا مطر

يُعَدُّ إنشاء مفاعل بحوث وصيانته عملية معقَّدة — من تحديد الموقع والتصميم، إلى الإدخال في الخدمة والتشغيل، وحماية المواد النووية. وفي كل خطوة من هذه العملية، يمكن للبلدان طلب خدمة استعراض النظراء من الوكالة لمساعدتها على تعزيز الأمان والأمن النوويين، وكذلك تعزيز أداء مفاعلات البحوث.

"الهدف من بعثات استعراض النظراء هو ضمان استمرار استخدام مفاعلات البحوث بشكل فعَّال ومستدام فيما فيه منفعة المجتمع."

— أمجد شكر، رئيس قسم أمان مفاعلات البحوث، الوكالة الدولية للطاقة الذرية

وقال أمجد شكر، رئيس قسم أمان مفاعلات البحوث في الوكالة الدولية للطاقة الذرية: "الهدف من بعثات استعراض النظراء هو ضمان استمرار استخدام مفاعلات البحوث بشكل فعَّال ومستدام فيما فيه منفعة المجتمع."

وتضمُّ بعثات استعراض النظراء التابعة للوكالة، والمتاحة عند الطلب، أفرقة من الخبراء الدوليين ومتعدِّدي التخصُّصات الذين يقارنون الممارسات الفعلية مع معايير الوكالة فيما يتعلق بالأمان النووي والممارسات الجيدة الدولية، وكذلك مع إرشادات الوكالة المتعلقة بالأمن والتشغيل.

وتحدِّد البعثات المجالات التي يمكن تحسينها وتقدِّم للمرافق المضيفة التوصيات المقابلة لذلك. وأما بعثات المتابعة، في حال طلبها، فتتمُّ في العادة بعد مرور ١٢ إلى ١٨ شهراً لاستعراض الإجراءات التي اتخذتها المرافق المضيفة لمعالجة نتائج البعثة الأصلية. ومن خلال زيارات المتابعة هذه، يمكن للوكالة أيضاً أن تساعد، عند الطلب وحسب الحاجة، على معالجة النتائج. كما تدعم الوكالة البلدان في معالجة توصيات البعثة وكذلك، عند الاقتضاء، من خلال مشاريعها للتعاون التقني.

وأما خدمات استعراض النظراء التابعة للوكالة التي تركِّز بشكل خاص على مفاعلات البحوث فهي بعثات التقييمات المتكاملة لأمان مفاعلات البحوث (INSARR)، وبعثات تقييم تشغيل وصيانة مفاعلات البحوث (OMARR)، كذلك تشمل مفاعلات البحوث الخدمة الاستشارية الدولية المعنية بالحماية المادية (IPPAS) الأوسع نطاقاً والمتعلقة بالأمن النووي.

بعثات التقييمات المتكاملة لأمان مفاعلات البحوث: أمان طوال العمر التشغيلي

تستعرض بعثات التقييمات المتكاملة لأمان مفاعلات البحوث الأمنَ النووي خلال جميع مراحل العمر التشغيلي لمفاعل البحوث. ويشمل ذلك تصميم مفاعلات البحوث وتحديد موقعها، وإدخالها في الخدمة وتشغيلها. وتشمل المجالات التي يتمُّ استعراضها التنظيم والإدارة، وبرامج التدريب، وتحليل الأمان، والحدود والشروط التشغيلية، وإجراءات العمل، والصيانة، والوقاية من الإشعاعات، والتعديلات، والتجارب، والتخطيط للطوارئ. ويمكن للجهة المشغِّلة للمنشأة المضيفة أن تطلب بعثةً كاملة النطاق أو استعراضاً يركِّز على مجالات اهتمام محدّدة.

وفي عام ٢٠١٧، تمَّ إيفاد بعثة التقييمات المتكاملة لأمان مفاعلات البحوث إلى جامايكا، وذلك في مفاعل البحوث الوحيد في البلاد، وهو مفاعل JM-1. وقال تشارلز غرانت، مدير عام المركز الدولي للعلوم البيئية والنووية (ICENS) في جامايكا: "ساعدتنا هذه البعثة في عام ٢٠١٧ في رسم الطريق إلى الأمام من أجل التشغيل المأمون للمرفق خلال العقد المقبل."

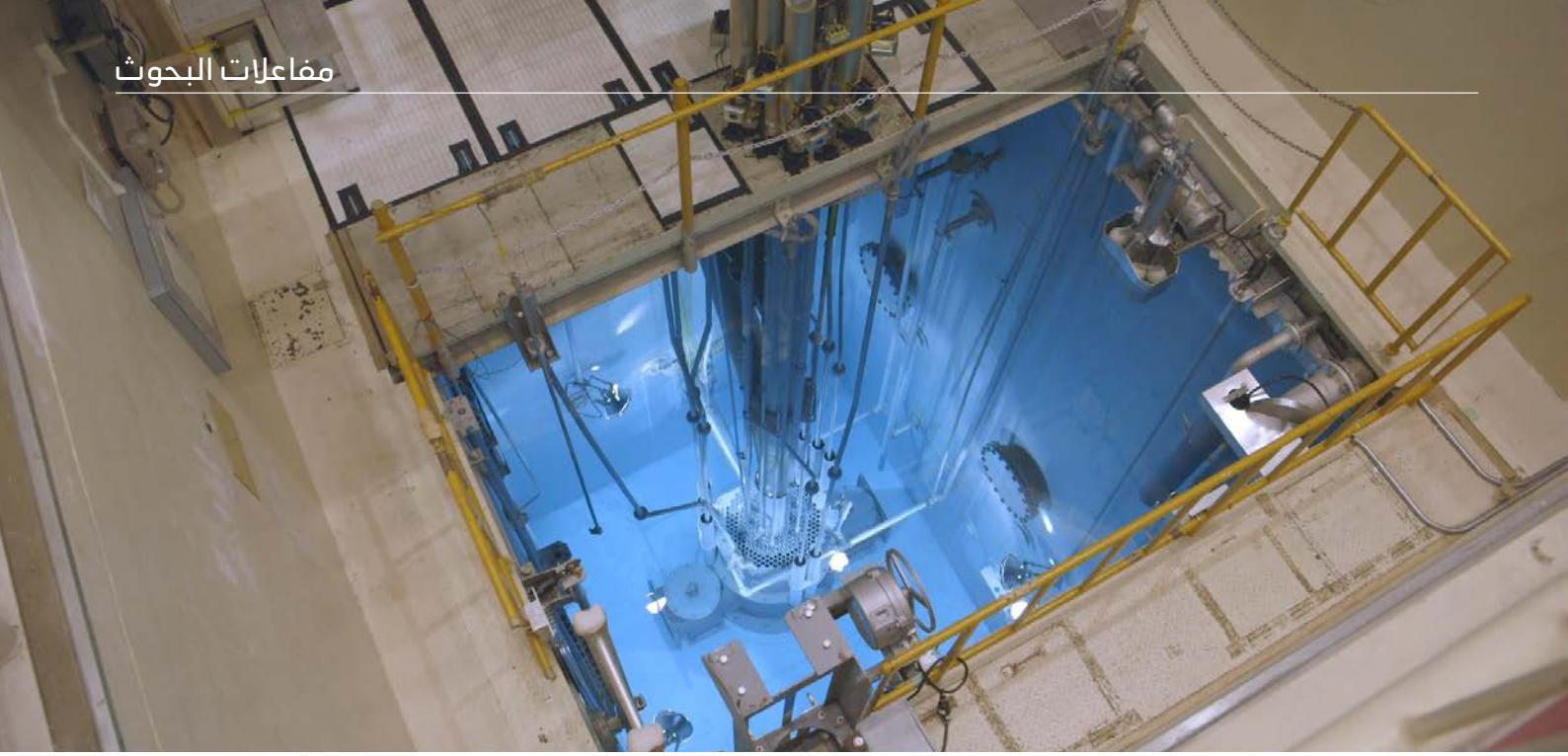
ومنذ أن أطلقت الوكالة خدمة بعثة التقييمات المتكاملة لأمان مفاعلات البحوث لأول مرة في عام ١٩٩٧، تمَّ إيفاد ما يربو على ٩٠ بعثةً إلى مفاعلات بحوث في ٤٥ بلداً حول العالم.

وقال شكر: "أظهرَ تحليل لاستعراضات هذه البعثة منذ عام ٢٠٠٥ أن أكثر من ٧٥٪ من النتائج تمَّت تسويتها أو أنها حقَّقت تقدُّماً مُرضياً بحلول وقت زيارات المتابعة. وتشير هذه النتائج إلى إدخال تحسينات كبيرة في الأمان في العديد من مفاعلات البحوث حول العالم، وأن خدمتنا مفيدة للمفاعلات المضيفة."

بعثات استعراض تقييم تشغيل وصيانة مفاعلات البحوث: موثوقية وكفاءة العمليات التشغيلية

تركِّز بعثات استعراض تقييم تشغيل وصيانة مفاعلات البحوث على جوانب التشغيل والصيانة التي تجب معالجتها طوال العمر التشغيلي لمفاعل البحوث، بما في ذلك عند البدء بمشروع مفاعل بحوث جديد أو الوصول إلى معلَم بارز معيَّن (تعرَّف على نهج المعالم المرحلية البارزة في صفحة ٦). وتحدِّد هذه البعثات مجالات التحسين، وتعالج تحدِّيات تشغيلية محدَّدة، وتضع منصة لتبادل الخبرات والممارسات الجيدة فيما بين الخبراء الدوليين والموظفين المحليين.

وقال رام شارما، المهندس النووي في قسم مفاعلات البحوث في الوكالة: "قرابة ٥٠٪ من مفاعلات البحوث



العاملة في العالم تجاوزت سنَّ الأربعين. وهي تواجه مجموعة من القضايا، بما في ذلك تلك المتعلقة بالتقادم. وتساعد هذه البعثات مرافق مفاعلات البحوث على تحقيق الاستفادة المثلى من جميع الموارد المالية والبشرية طوال فترة العمر التشغيلي للمرافق."

وبالاستناد إلى معايير الوكالة والمعايير الدولية والتقارير التقنية ذات الصلة، تقدِّم هذه البعثات توصياتٍ واقتراحاتٍ تتعلق بالعمليات التشغيلية والصيانة، وإدارة التقادم، والموارد البشرية، وضمان الجودة، وأنظمة الإدارة، وإدارة أصول المحطة والتهيئة، وتعديلات المحطة. وتشمل النتائج المتوقعة التشغيل الطويل الأجل الأكثر كفاءةً، وتحسين الأداء، وتحسين ثقافة الأمان والأمن، والاستفادة المثلى من الموارد البشرية والمالية.

وعند تنفيذ توصيات هذه البعثة أو التخطيط للتشغيل الطويل الأجل، يمكن للبلدان أيضاً أن تطلب بعثة متابعة في الإطار نفسه لمعالجة القضايا الجارية لمفاعل البحوث.

وفي عام ٢٠١٩، تمَّ إيفاد بعثة استعراض تقييم تشغيل وصيانة مفاعلات البحوث إلى إندونيسيا وساعدت هذا البلد على تحديد مستقبل تشغيل مفاعل البحوث لديه. وقال أنهار رضا أنتاريكساوان، رئيس مجلس الوكالة الوطنية للطاقة النووية (باتان) في إندونيسيا: "كانت بعثة استعراض تقييم تشغيل وصيانة مفاعلات البحوث مفيدةً للغاية لخطتنا للتشغيل الطويل الأجل لمفاعلنا، وجاءت في الوقت المناسب لدعم الأنشطة الجارية. وكانت مهمة بشكل خاص في مساعدتنا في استئناف تشغيل مفاعلنا بكامل قدرته باستخدام وقود تريغا الطازج، بمجرَّد توافره، وتحديد التعديلات التي ستكون ضرورية إذا ما أردنا التحوُّل إلى الوقود المحلي في شكل صفائح كبديل له".

الخدمة الاستشارية الدولية المعنية بالحماية المادية: أمن وحماية

بينما تركِّز بعثات التقييمات المتكاملة لأمان مفاعلات البحوث، وبعثات تقييم تشغيل وصيانة مفاعلات البحوث، في المقام الأول على مستوى المرفق، تعمل بعثات استعراض الخدمة الاستشارية الدولية المعنية بالحماية المادية على المستوى الوطني وتركِّز على الحماية المادية للمواد النووية والمواد المشعَّة الأخرى. ويقارن فريق الاستعراض ما يتمُّ تنفيذه من تدابير وطنية للأمن النووي بمنشورات سلسلة الأمن النووي الصادرة عن الوكالة، واتفاقية الحماية المادية للمواد النووية، وغيرها من الصكوك القانونية الدولية.

وقال كريستوف هورفاث، مسؤول أمن نووي أول في الوكالة: "تمثِّل هذه البعثة خطوة مهمَّة لأي بلد لمعالجة أي مجالات تتطلب إدخال تحسينات قد تكون لديها في مجال الأمن النووي على مستوى المرفق والمستوى الوطني. وهي تتيح فرصة إيجابية للتعلُّم، دون الحاجة إلى عملية تفتيش أو تدابير اقتحامية أخرى."

وتغطي هذه البعثة أيضاً، من خلال العمل مع السلطات الوطنية — الشرطة والجمارك والرقابيين — نقل المواد النووية وحالات الطوارئ. وتغطي هذه البعثات أيضاً التشريعات واللوائح الوطنية، والترخيص والاستجابة للسرقة أو التخريب، وكذلك أمن الحواسيب.

وقد تمَّ إيفاد بعثة الخدمة الاستشارية الدولية المعنية بالحماية المادية إلى هنغاريا في عام ٢٠١٣ بعد أن وضع هذا البلد نظاماً جديداً للأمن النووي، ثمَّ تبعتها بعثة متابعة في عام ٢٠١٧. وقال زولت ستيفانكا، القائم بأعمال رئيس إدارة المصادر الإشعاعية والضمانات والأمن في هيئة الطاقة الذرية الهنغارية: "أدَّت المهمة في عام ٢٠١٣ إلى إدخال تحسينات كبيرة، خاصة في إطارنا القانوني، وأمن الحواسيب، والأمن أثناء النقل."

حوض مفاعل بحوث من الأعلى.

(الصورة من: الوكالة اليابانية للطاقة الذرية)

التوصل إلى التوليفة الأنسب

كيفية إدماج الأمن النووي في مفاعلات البحوث

بقلم إينا بليتوخينا

تعود مفاعلات البحوث بالنفع على المجتمع بطرق عديدة. ومع ذلك، لا يمكنها القيام بمهمتها إلَّا إذا كانت موادها النووية محميَّة بشكل جيد ومنعنا وقوعها في يد الإرهابيين. واليومَ من بين الطرق التي تحمي بها البلدان موادَّها النووية أن تعمل مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية في بناء نُظم وتدابير للأمن النووي وإدماجها في تصميمات مفاعلات البحوث لديها.

لكن التكامل لم يكن هو واقع الحال دائماً.

وقال خوان كارلوس لينتيخو، نائب المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية ورئيس إدارة الأمان والأمن النوويين: "قبلَ أكثر من ٣٠ عاماً، عندما شُيِّد معظم مفاعلات البحوث، صُمِّمت المفاعلات للتعليم والصناعة والبحث بما يتفق مع معايير الأمان لكن دون وجود مواصفات أمنية شاملة مضمَّنة بها. وظهر أمن المواد والمنشآت النووية منذ وقت طويل كمصدر قلق رئيسي، والآن أُدخلت تعديلات تحديثية على معظم مفاعلات البحوث التي شُيِّدت في ذلك الوقت."

وتحقيق أهداف الأمن النووي — المتمثِّلة في منع الأفعال الإجرامية أو المتعمَّدة غير المأذون بها المنطوية على مواد نووية ومواد مشعَّة أخرى والكشف عن تلك الأفعال والتصدِّي لها — مسألة معقَّدة بفعل الخصائص المحدَّدة والتنوُّع الواسع في أنواع مفاعلات البحوث والمرافق المرتبطة بها. وبالنسبة للمفاعلات الأقدم عهداً، ثمَّة مضاعفات إضافية تنجم عن مواطِن الضعف الكامنة في المرفق والناتجة عن بيئات التهديد المتغيِّرة، وعدم كفاية التدابير والمعدات الأمنية، وجاذبية المواد النووية وغيرها من المواد المشعَّة لأعمال السحب دون إذن والتخريب.

تساعد تدابير الحماية المادية على ضمان الأمن النووي في مفاعلات البحوث.

(الصورة من: د. كالما/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

فقد يكون مرفق مفاعل البحوث قد صُمِّم في الأصل مع مبانٍ تتيح إمكانية الوصول القصوى إليها والحد الأدنى من تدابير الحماية المادية. على سبيل المثال، تتيح مفاعلات البحوث المشيَّدة باستخدام تصميم مفتوح من النوع الحوضي إمكانية الوصول بسهولة إلى المواد النووية الموجودة في قلب المفاعل. وهذا تصميم فعَّال للأغراض التعليمية ولكن يمكن أن يشكِّل خطراً أمنيًّا.

وفي حين أنَّ لكلِّ مفاعل بحوث متطلبات أمن نووي خاصة به، ثمَّة بعض التحدِّيات المشتركة، مثل دخول مجموعات كبيرة من الأفراد إلى مفاعل بحوث لأغراض تعليمية تنطوي على تدريب عملي عن قُرب. وعلى عكس محطات القوى النووية، التي يديرها طاقمٌ ثابت نسبيًّا لسنوات في المرة الواحدة، غالباً ما تُستخدم مفاعلات البحوث من قبل طلاب وباحثين يجرون مشاريع قصيرة الأجل ثمَّ يرحلون عن تلك المفاعلات فور الانتهاء من عملهم. وهذا يتطلَّب تدابير أمن نووي تتيح استمرار التعليم والبحث دون تأخير الوصول، مع الحفاظ على مستوى عالٍ من الحماية.

وقال دوغ شول، مسؤول أول الأمن النووي في الوكالة، إنه بالنظر إلى تنوُّع المواد المستخدَمة، ومستويات القدرة، والنواتج الانشطارية، والتهيئات، وترتيبات التمويل، والموظفين العاملين في مفاعلات البحوث، فإنَّ توحيد نُظم وتدابير الأمن النووي أمر غير ممكن.

وقال شول: "عندما يتعلق الأمر بمفاعلات البحوث، ليس ثمَّة نهج واحد يناسبها جميعاً من حيث حمايتها. إذ يجب تقييمها وتنفيذها على أساس كل حالة على حدة. فلكلِّ مفاعل تصميم فريد وسمات تتطلَّب تصميم نُظم الحماية المادية على نحو يتيح إنجاز مهمة المرفق مع ضمان أن تكون تدابير الحماية فعَّالة في حال وقوع حادث أمني."

وفي حين أنَّ كل بلد مسؤول عن الأمن النووي ضمن حدوده، تعتمد عدَّة بلدان على مشورة الوكالة بشأن مستوى نُظم الأمن النووي وتدابير الحماية المتاحة وعلى مساعدتها في عمليات الارتقاء بالحماية المادية، والتهديدات الداخلية وبرامج ثقافة الأمن النووي.

الخطط المتكاملة لدعم الأمن النووي

بالنسبة للعديد من البلدان، يندرج جزء أساسي من عملية إدماج الأمن النووي في مفاعلات الأبحاث في نطاق الخطة المتكاملة لدعم الأمن النووي التابعة للوكالة. وهذه الخطط المصمَّمة خصِّيصاً تساعد البلدان على إنشاء نُظم الأمن النووي الخاصة بها. ويتمُّ التنسيق لها، بناءً على طلب كل بلد، مع الوكالة لمساعدة هذا البلد على استعراض نُظم الأمن النووي لديه وتحديد المجالات التي تحتاج إلى تحسين. وهي تسلِّط الضوء أيضاً على فرص المساعدة لدعم تطوير نظام أمن نووي فعَّال ومستدام.

وقد تُصمَّم الخطة المتكاملة لدعم الأمن النووي، بفضل مرونتها، لتعيين الاحتياجات المحدَّدة لبرنامج مفاعل بحوث في دولة ما. وقد تشمل تلك الاحتياجات أنشطةً تدريبيةً محدَّدةً في مجال الأمن النووي ودعماً في صوغ الإجراءات الإدارية، أو التمرينات، أو ترقيات الحماية المادية.

وقال نسيرو بيلو، مدير الأمن النووي والأمن المادي والضمانات بالهيئة الرقابية النووية النيجيرية: "لقد ساعدنا وضعُ خطة متكاملة لدعم الأمن النووي، بمساعدة الوكالة، على تقييم نظام الأمن النووي الوطني ككلّ، وأتاح لنا تحديد كيفية تصميم أمن نووي خصِّيصاً لنا يتناسب مع مفاعل البحوث لدينا واستخدام مساعدة الوكالة في تلك العملية على أكمل وجه."

وتملك نيجيريا مفاعل بحوث واحداً، يعمل منذ عام ٢٠٠٤، ووضعت خطة متكاملة لدعم الأمن النووي الخاصة بها في عام ٢٠١٠. وساعدت الخطة المتكاملة لدعم الأمن النووي نيجيريا على اتخاذ خطوات، بدعم من الوكالة، لتعزيز الأمن النووي في مفاعل البحوث في هذا البلد تمشياً مع منشورات سلسلة الأمن النووي الصادرة عن الوكالة. وركَّز هذا النهج المنتظَم على تدريب موظفي مفاعل البحوث وعلى بناء القدرات الرقابية.

وبينما تواصل الوكالة البحث عن طرق لتوسيع نطاق دعمها، يمثِّل وصف المرفق الخاص بمعهد البحوث الذرية الافتراضية (HARI) أحد أحدث الأدوات التي تعكف على تطويرها. وهو بمثابة وثيقة مرجعية تصِف العديد من الجوانب، بما في ذلك الأمن، التي تتعلق بمفاعلات البحوث والمرافق المرتبطة بها والتي يمكن استخدامها لتزويد بلد ما برؤية متعمِّقة أكبر عن توصيات الأمن النووي، وكذلك بناء المعارف واكتساب الخبرات العملية في معالجة توصيات الأمن النووي. وسيكون أداةً إضافيةً يمكن للبلدان استخدامها لمعالجة أولوياتها، سواء تمَّ تحديدها من خلال الخطة المتكاملة لدعم الأمن النووي أو بعثات استعراض النظراء أو أي طرق أخرى.

"لقد ساعدنا وضعُ خطة متكاملة لدعم الأمن النووي، بمساعدة الوكالة، على تقييم نظام الأمن النووي الوطني ككلّ، وأتاح لنا تحديد كيفية تصميم أمن نووي خصِّيصاً لنا يتناسب مع مفاعل البحوث لدينا واستخدام مساعدة الوكالة في تلك العملية على أكمل وجه."

— نسيرو بيلو، مدير الأمن النووي والأمن المادي والضمانات، الهيئة الرقابية النووية النيجيرية

البلدان تتجه نحو اليورانيوم الضعيف الإثراء لتزويد مفاعلات البحوث لديها بالوقود

بقلم لورا غيل

يورانيوم شديد الإثراء مؤمَّن قيد التحميل للنقل.

(الصورة من: هيئة الطاقة الذرية في غانا)

خلال العقود القليلة الماضية، أُزيلت كمية تقارب ٣ ٥٠٠ كغ من اليورانيوم الشديد الإثراء من مواقع مفاعلات البحوث في جميع أنحاء العالم كجزء من الجهود العالمية المدعومة من الوكالة الدولية للطاقة الذرية. وبناءً على طلب الدول الأعضاء، ساعدت الوكالة في تحويل وقود مفاعل البحوث إلى اليورانيوم الضعيف الإثراء من أجل الحدِّ من مخاطر الانتشار المرتبطة باليورانيوم الشديد الإثراء، الذي يحتوي على أكثر من ٢٠٪ من اليورانيوم الانشطاري-٢٣٥.

وبينما شُيِّد معظم مفاعلات البحوث في ستينيات وسبعينيات القرن العشرين باستخدام تكنولوجيا تتطلَّب اليورانيوم الشديد الإثراء لإجراء تجارب مخصَّصة للبحث العلمي، يمكن إجراء الكثير من هذه البحوث اليوم باستخدام اليورانيوم الضعيف الإثراء، حيث يقلُّ تركيز اليورانيوم المشعِّ-٢٣٥ عن ٢٠٪.

وقال توماس هانلون، المهندس النووي الخبير في الوكالة: "لقد قدَّم المجتمع الدولي بنجاح حلولاً تكنولوجيةً لتحويل وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى وقود يورانيوم ضعيف الإثراء في مفاعلات البحوث. والحيلة هنا هي القيام بذلك دون المساس بالبحث العلمي."

واليوم يعمل قرابة ٢٢٠ مفاعل بحوث في ٥٣ بلداً، تمَّ تشييد ١٧١ من هذه المفاعلات باستخدام قلب مفاعل يعمل باليورانيوم الشديد الإثراء. ومنذ عام ١٩٧٨ تمَّ تحويل ٧١ مفاعلاً تعمل بوقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى اليورانيوم الضعيف الإثراء. أما مفاعلات القوى النووية، المستخدَمة لتوليد الكهرباء، فتعمل على اليورانيوم الضعيف الإثراء.

وقد دعمت الوكالة عمليات التحويل من وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى اليورانيوم الضعيف الإثراء أو عمليات إعادة اليورانيوم الشديد الإثراء إلى بلد المنشأ في كل من أوزبكستان، وأوكرانيا، والبرتغال، وبلغاريا، وبولندا، وجامايكا، والجمهورية التشيكية، وجورجيا، ورومانيا، وشيلي، وصربيا، والصين، وغانا، وفييت نام، وكازاخستان، ولاتفيا، وليبيا، والمكسيك، والنمسا، ونيجيريا، وهنغاريا. ودعمت الوكالة عمليات التقليل إلى أدنى حدٍّ ممكن من اليورانيوم الشديد الإثراء من خلال مشاريع التعاون التقني، وبعثات تقصِّي الحقائق، والمشاريع البحثية المنسَّقة، والاجتماعات التقنية والاستشارية، والمساعدة في مجال المشتريات.

التعلُّم من الآخرين

من الأمثلة الحديثة على ذلك حالة غانا، فبعد أن نجحت — بدعم من الوكالة — في تحويل مفاعل البحوث الغاني-١ (GHARR-1)، وهو من المفاعلات المصدرية النيوترونية المصغَّرة (MNSR)، في عام ٢٠١٧، أصبحت بمثابة دراسة حالة للجهات الأخرى المشغِّلة للمفاعلات المصدرية النيوترونية المصغَّرة. وقد شيَّدت هيئة الطاقة الذرية في غانا (GAEC) مرفقاً دوليًّا للتدريب في مجال المفاعلات المصدرية النيوترونية المصغَّرة يتيح للمتدرِّبين من بلدان أخرى ممارسة محاكاة استخراج يورانيوم شديد الاثراء من وعاء المفاعل.

وقال بنيامين نياركو، المدير العام لهيئة الطاقة الذرية في غانا: "مع تقليل الإثراء، نحن نقلِّص جاذبية المواد ونجعل العالم أفضل"، مضيفاً أن التحويل من يورانيوم مثري بنسبة ٩٠,٢٪ إلى يورانيوم مثري بنسبة ١٣٪ اقترن بتغيرات تكنولوجية أدَّت إلى زيادة قدرة المفاعل بأكثر من ١٠٪.

وفي عام ٢٠١٨، خضع مفاعل البحوث الوحيد العامل في نيجيريا، مفاعل بحوث نيجيريا-١ (NIRR-1) ، لعملية إزالة اليورانيوم الشديد الإثراء والتحويل إلى اليورانيوم الضعيف الإثراء. وقدَّمت الوكالة الدعم في مجال التحويل وكذلك في مجال تدريب الموظفين المعنيين وتقاسُم خبرات البلدان الأخرى. وللتمرُّن على تحويل المفاعل، أجرى خبراء نيجيريون تجربة أولية لإزالة اليورانيوم الشديد الإثراء في مركز التدريب في غانا. وبعد تحويل مفاعل نيجيريا، لم يَعُد ثمَّة مفاعلات بحوث تعمل باليورانيوم الشديد الإثراء في أفريقيا.

ويتطلَّب التحويل موظفين مدرَّبين تدريباً عالياً والمعدات اللازمة. وفي كثير من الأحيان، تتمثَّل الخطوة الأكثر تعقيداً في العملية في نقل اليورانيوم الشديد الإثراء المستهلَك، باستخدام شاحنات، أو سفن أو طائرات. وبمجرَّد وصول وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى وجهته، يتمُّ تخزينه بشكل آمن أو تخفيفه لخفض مستويات الإثراء.

وقال روساميل مونيوز كوينتانا، رئيس الاتصالات المؤسسية في هيئة الطاقة النووية الشيلية: "في شيلي في عام ٢٠١٠، نقلنا قرابة ١٤ كغ من اليورانيوم الشديد الإثراء إلى الولايات المتحدة الأمريكية، وكانت تلك آخر عملية من أصل ثلاث عمليات أدَّت إلى خلو البلد من هذا الوقود. وقد أثار ذلك اهتمام الجمهور كثيراً. فقد تمَّ استخدام شاحنات وطائرات مهيَّأة لتلك الغاية، وتمَّت مراعاة جميع جوانب الأمن والوقاية من الإشعاعات الضرورية التي تتطلبها مثل هذه العمليات."

تحويل المزيد من مفاعلات البحوث إلى الوقود الضعيف الإثراء

ما زال يتعيَّن بذل المزيد. فعلى الرغم من تحويل ٧١ مفاعل بحوث إلى اليورانيوم الضعيف الإثراء، وإغلاق ٢٨ مفاعل بحوث تعمل بوقود اليورانيوم الشديد الإثراء، إلَّا أن ثمَّة ٧٢ مفاعلاً آخر لم تزل تعمل باليورانيوم الشديد الإثراء. ومردُّ ذلك في كثير من الحالات إلى أسباب علمية.

وقال هانلون: "يحتاج الأمر إلى الكثير من الهندسة الإبداعية لمعرفة كيفية تحقيق قدرة مماثلة للمفاعل، باستخدام اليورانيوم الضعيف الإثراء في نفس المساحة المصمَّمة في بادئ الأمر لليورانيوم الشديد الإثراء. ويشبه ذلك إلى حدٍّ ما أن يحاول أحدنا تحضير كوب من قهوة الإسبريسو بنفس القوة التي اعتاد عليها، باستخدام نفس الكمية من السائل وفي الوعاء نفسه، لكن بكمية أقلّ من حبوب القهوة."

”مع تقليل الإثراء، نحن نقلِّص جاذبية المواد ونجعل العالم أفضل.“

— بنيامين نياركو، المدير العام، هيئة الطاقة الذرية في غانا

خبراء يؤدون تجربة أولية في مرفق التدريب على المفاعلات المصدرية النيوترونية المصغَّرة في غانا.

(الصورة من: هيئة الطاقة الذرية في غانا)

التحقق من البحوث

تنفيذ الضمانات في مفاعلات البحوث

بقلم آدم موتلور

مفتِّشو ضمانات الوكالة يتدرَّبون على فحص جميع المواد النووية في مرفق مفاعل بحوث.

(الصورة من: د. كالما/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

يشكِّل التحقق من الاستخدام السلمي للمواد والتكنولوجيا النووية في مفاعلات البحوث جزءاً مهمًّا من عمل الوكالة في مجال التحقق النووي. وبينما هناك ٣٠ بلداً فقط لديها محطات قوى نووية ومنشآت دورة الوقود، فإن أكثر من ٥٠ منها تشغِّل مفاعلات بحوث. وفي عام ٢٠١٨، نُفِّذت ضمانات الوكالة في نحو ١٥٠ من المرافق التي بها مفاعلات بحوث. وتشكِّل هذه المرافق تحدِّياً أمام الضمانات. فعلى عكس مفاعلات القوى النووية، تختلف تصاميم مفاعلات البحوث بشكل كبير، ويجب أن تكون تدابير الضمانات المطبَّقة مصمَّمة بحسب كل نوع من المفاعلات.

وقال جمال تادجير، المفتِّش الأول للتنسيق على صعيد الدول في الوكالة: "إنَّ استخدام قوى منخفضة لا يعني وجود قلق منخفض. وبينما توفِّر مفاعلات البحوث فوائد كبيرة في مجالي الصحة والتنمية، فإنَّ احتمال تحويل المواد النووية من الاستخدام السلمي أو سوء استخدام المفاعل هو احتمال لا يزال قائماً. وبذلك، فإنَّ تطبيق الضمانات في مفاعلات البحوث هو جزء هام من عمل التحقق الذي تقوم به الوكالة."

والبلوتونيوم هو أحد النواتج الجانبية لاستخدام مفاعلات البحوث، وهو مادة يمكن استخدامها في القوى النووية والبحوث، ولكنه أيضاً عنصر يُستخدم لإنتاج الأسلحة النووية. ورغم أن كمية صغيرة فقط من البلوتونيوم ينتجها مفاعل بحوث واحد، فإنه لا يزال مصدر قلق بالنسبة للضمانات.

وخلال أنشطة التحقق، تنظر الوكالة في الوقت الذي يستغرقه مفاعل بحوث لإنتاج كمية واحدة كبيرة من المواد النووية، أي الكمية التقريبية للمواد النووية التي لا يمكن بالنسبة لها استبعاد إمكانية تصنيع جهاز متفجِّر نووي. وتتلقَّى الوكالة الدولية للطاقة الذرية أيضاً معلومات من الدولة المضيفة عن تصميم المرفق وتخطيطه، وكذلك عن شكل المواد المستخدمة وكميتها وموضعها وتدفقها. وباستخدام هذه المعلومات، تضع الوكالة نهجاً للضمانات مصمَّماً وفقاً لمواصفات المرفق. ويمكن للوكالة بعد ذلك التحقق من صحة واكتمال معلومات التصميم المقدَّمة من الدولة والتأكيد على أن المرفق والمواد النووية في المرفق تُستخدم على النحو المبلَّغ عنه.

استخدامات وتصاميم مختلفة

تحتوي العديد من مرافق مفاعلات البحوث على خلايا ساخنة. وغرف الاحتواء هذه تحمي العمال من الإشعاع النووي؛ فالعامل يقف خارج الخلية

ويستخدم أذرع تحكم للتعامل بأمان مع المعدات والمواد النووية الموجودة داخل الغرفة. وغالباً ما تُستخدم الخلايا الساخنة لفصل النظائر للأغراض الطبية، ولكن يمكن استخدامها أيضاً لاستخراج البلوتونيوم على نطاق صغير من الوقود المشع الذي ينتجه مفاعل بحوث. ويجري تدريب مفتِّشي ضمانات الوكالة على اكتشاف استخراج البلوتونيوم.

ويستخدم عدد أقل من مفاعلات البحوث اليورانيوم الشديد الإثراء، وهو اليورانيوم المثرى لدرجة تتجاوز ٢٠٪ من اليورانيوم-٢٣٥، وهي مادة أخرى يمكن استخدامها لإنتاج أسلحة نووية. ورغم أنَّ العديد من مفاعلات البحوث قد حوِّلت بالفعل لاستخدام يورانيوم منخفض الإثراء، وهو مادة لا يمكن استخدامها مباشرة لتصنيع أسلحة نووية، فإن مفتِّشي ضمانات الوكالة ما زالوا يقومون بفحص جميع المواد النووية في مرافق مفاعلات البحوث من أجل التحقق من صحة واكتمال إعلان الدولة.

وقال تادجير: "بسبب الاختلافات في تصميم واستخدام مفاعلات البحوث، لا توجد هناك قائمة مراجعة عامة لتلبية متطلبات الضمانات في مثل هذه المرافق. وبدلاً من ذلك، نقوم بتدريب المفتِّشين لدينا على البحث عن أي علامات تدلُّ على سوء الاستخدام في مفاعلات البحوث وتحويل المواد النووية. وبالنسبة للمفتِّشين، يتعلق الأمر باكتشاف التناقضات ثمَّ معرفة الأسئلة الصحيحة التي يجب طرحها."

الوفاء بالتزامات الضمانات

غير أنه ليس تطبيق الضمانات من عمل مفتِّشي الوكالة فقط، لأن الدول لديها أيضاً متطلبات معيَّنة يتعيَّن عليها الوفاء بها. وتقدِّم الوكالة المساعدة للدول على تلبية هذه المتطلبات من حيث إدراج الضمانات في تصميم المرفق وتنفيذ حصر المواد النووية والوفاء بالمتطلبات القانونية لتنفيذ الضمانات. وتتضمَّن هذه المساعدة إرشادات حول إدراج اعتبارات الضمانات في تصميم مفاعلات البحوث. كما تقدِّم الوكالة بعثات استشارية داخل البلد لدعم النظم الحكومية لحصر ومراقبة المواد النووية للوفاء بالتزاماتها.

ومن خلال النظر في متطلبات الضمانات في وقت مبكر من عملية تصميم مفاعل البحوث، يمكن تقليل الطلبات المستقبلية على مشغِّل المرفق للتحقق من المواد النووية. فعلى سبيل المثال، تكون إمكانية تطبيق الرصد عن بُعد فعَّالة من حيث التكلفة وتحافظ على فعالية الضمانات مع تقليل الحاجة إلى نشاط المفتِّش في الموقع. ومن الأمثلة على الرصد عن بُعد استخدام جهاز رصد قدرة هيدرولوجي حراري متقدِّم يقيِّم تدفق سائل التبريد واستخلاص الحرارة لقياس إنتاج البلوتونيوم في المفاعل. ومن خلال معرفة كمية البلوتونيوم التي ينتجها المفاعل خلال فترة زمنية محدَّدة، يستطيع المفتِّشون تعديل وتيرة التفتيش وفقاً لذلك، وبالتالي توفير الوقت لكل من المفتش والمشغِّل.

وقال تادجير: "لتطبيق الضمانات في مفاعلات البحوث، كما هو الحال بالنسبة لتطبيق الضمانات في أي مرفق نووي، يكون التعاون بين الدولة والوكالة مهمًّا للغاية. وبالعمل سويًّا وتطبيق التكنولوجيا الحديثة، مثل جهاز رصد القدرة الهيدرولوجي الحراري المتقدِّم، يمكن للوكالة أن تتحقق بفعالية وكفاءة أكبر من أنَّ المواد النووية لا تزال ضمن الاستخدام السلمي."

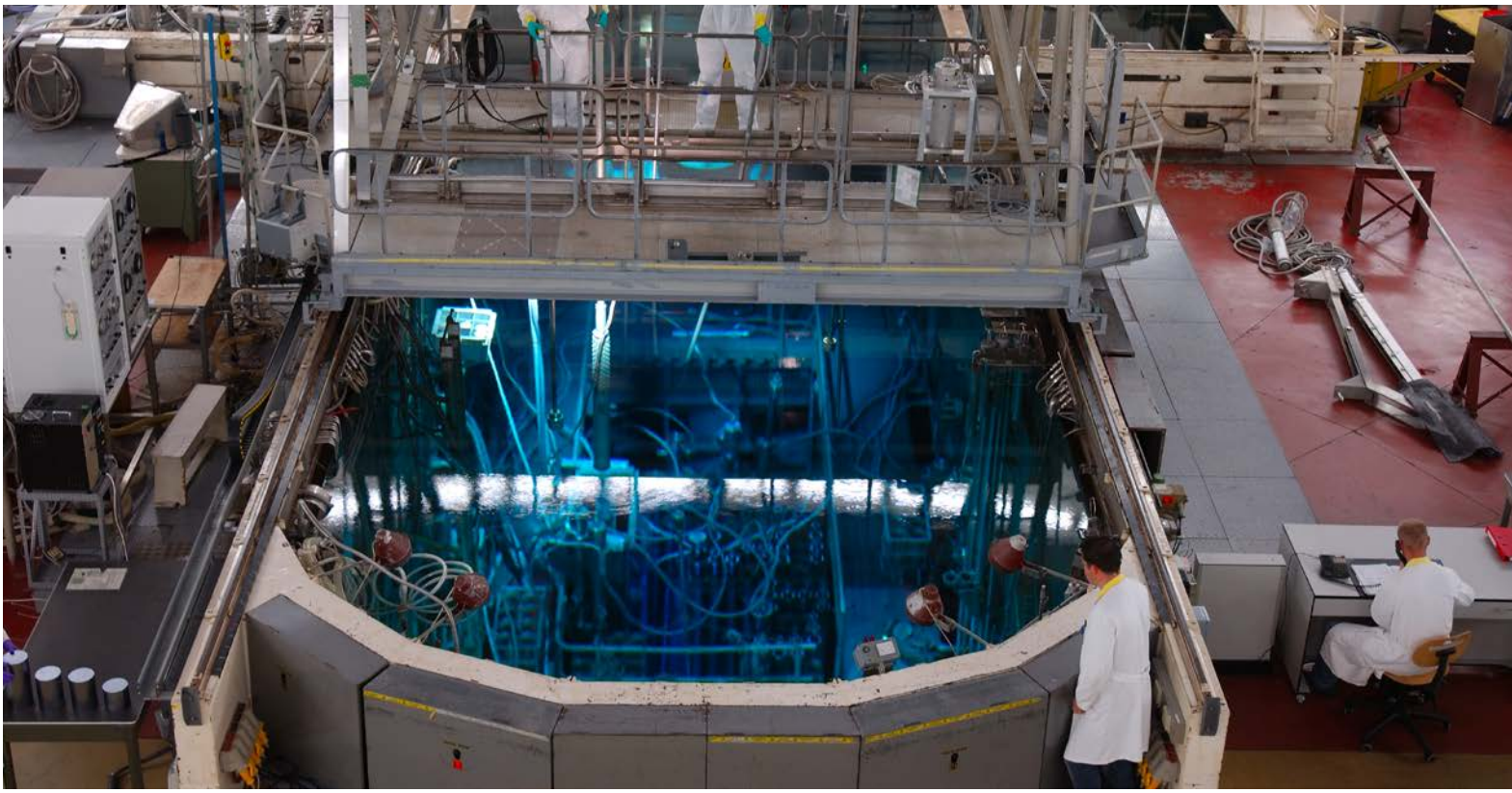
"نقوم بتدريب المفتِّشين لدينا على البحث عن أي علامات تدلُّ على سوء الاستخدام في مفاعلات البحوث وتحويل المواد النووية. وبالنسبة للمفتِّشين، يتعلق الأمر باكتشاف التناقضات ثمَّ معرفة الأسئلة الصحيحة التي يجب طرحها."

— جمال تادجير، المفتِّش الأول للتنسيق على صعيد الدول، الوكالة

الخلية الساخنة هي غرفة احتواء تحمي العمال من الإشعاع النووي.
(الصورة من: الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

إدارة مفاعلات البحوث المتقادمة بما يضمن تشغيلها على نحو مأمون وفعَّال

بقلم جوان ليو



منطقة الاحتواء داخل المفاعل ٢ البلجيكي.
(الصورة من: مركز البحوث النووية البلجيكي)

نظراً لأنَّ أكثر من ثلثي مفاعلات البحوث العاملة في العالم قد تجاوز عمرها اليوم ٣٠ عاماً، فإنَّ المشغِّلين والرقابيين يركِّزون على تجديد وتحديث المفاعلات لضمان استمرارها في الأداء بطريقة آمنة وفعَّالة.

وقال أمجد شكر، رئيس قسم أمان مفاعلات البحوث في الوكالة "إنَّ عمر مفاعلات البحوث يتحدَّد عادةً حسب الحاجة لاستخدامها ومطابقتها لمتطلبات الأمان الحديثة، حيث يمكن استبدال معظم نظمها ومكوناتها أو تجديدها أو تحديثها دون صعوبة كبيرة. ولا ينبغي أن يقتصر التجديد والتحديث على النظم والمكوِّنات فقط؛ فعلى المشغِّلين القيام أيضاً باستعراض إجراءات الأمان وفقاً لمعايير أمان الوكالة لمنع انقطاع خدمات مفاعل البحوث."

ومنذ أكثر من ٦٠ عاماً، كانت مفاعلات البحوث مراكز للابتكار والتطوير لبرامج العلوم والتكنولوجيا النووية في جميع أنحاء العالم. وتولِّد هذه المفاعلات النووية الصغيرة في المقام الأول النيوترونات، وليس القوى، لأغراض البحث والتعليم والتدريب، وكذلك للتطبيقات في مجالات مثل الصناعة والطب والزراعة (توجد معلومات أكثر في الصفحة ٤).

وهناك نوعان من التقادم فيما يتعلق بمفاعلات البحوث. **التقادم المادي**، وهو تدهور الحالة المادية لنظم المفاعل ومكوِّناته، و**بطلان الاستعمال**، وهو عندما تصبح التكنولوجيا المستخدمة للأجهزة الحاسوبية أو أجهزة القياس أو نظم التحكم أو لوائح الأمان بالية.

ولقد كان تقادم المرافق أحد الشواغل التي أدَّت إلى استهلال الوكالة خطتها لتعزيز أمان مفاعلات البحوث في عام ٢٠٠١. وتهدف هذه الخطة إلى مساعدة البلدان على ضمان مستوى عالٍ من أمان مفاعلات البحوث. ويشمل ذلك مدونة قواعد السلوك بشأن أمان مفاعلات البحوث، التي توفِّر إرشادات للبلدان حول وضع ومواءمة السياسات والقوانين واللوائح المتعلقة بأمان مفاعلات البحوث.

وكجزء من هذه الخطة، تعمل البلدان مع الوكالة على تنفيذ برامج منتظمة لإدارة التقادم تستخدم، من بين أمور أخرى، الممارسات الجيدة لتقليل

تدهور أداء النظم والمكوِّنات، ولرصد وتقييم أداء المفاعلات بشكل مستمر ولتنفيذ عمليات الارتقاء بالأمان. ويمكن أن تستفيد برامج التقادم هذه أيضاً من برامج التشغيل في مجالات أخرى، مثل الصيانة والاختبار الدوري وعمليات التفتيش واستعراضات الأمان الدورية.

وقال رام شارما، وهو مهندس نووي مختص في تشغيل وصيانة مفاعلات البحوث في الوكالة: "بينما يتناقص عدد مفاعلات البحوث العاملة، فإن متوسط عمرها يتزايد. لذلك من الأهمية بمكان وضع وتنفيذ وتحسين خطط الإدارة والتجديد والتحديث باستمرار لضمان التشغيل والاستخدام الفعَّال من حيث التكلفة للحصول على أقصى استفادة من مفاعلات البحوث الحالية. ويمكن أن يكون للدعم الذي تقدِّمه الوكالة، مثل بعثات استعراض النظراء، دور رئيسي في تحقيق هذا الهدف." تعرَّف على المزيد حول خدمات الوكالة لاستعراض النظراء فيما يتعلق بمفاعلات البحوث في الصفحة ٢٢.

الدعم الشامل

يمكن للبلدان أن تستفيد من طائفة من أنشطة الدعم التي تقدِّمها الوكالة لمعالجة التقادم في مفاعلاتها للبحوث. ويشمل ذلك المساعدة في وضع معايير الأمان وتحسين توافر المفاعلات، وكذلك اعتماد الممارسات الموصى بها بناءً على مجموعات الوكالة المنشورة بشأن الأمان واستخدام المعلومات التي تنشرها الوكالة بشأن وضع وتنفيذ مشاريع التحديث والتجديد. وتمتد هذه المساعدة لتشمل برامج مفاعلات البحوث الجديدة وتقييم الخطط لمعالجة التقادم بشكل استباقي في جميع مراحل عمر مفاعلات البحوث، من تصميم واختيار المواد إلى تشييد وتشغيل المنشآت.

وتبدأ البعثات الاستعراضية بناءً على طلب أي بلد وتدعمها الوكالة ومجموعات من الخبراء الدوليين الذين يجرون التقييمات ويقدِّمون توصيات بإدخال مزيد من التحسينات. وفي تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٧، انتهت أول بعثة استعراض النظراء لإدارة التقادم في مفاعل بحوث في المفاعل ٢ البلجيكي (BR2)، وهو واحد من ثلاثة مفاعلات بحوث عاملة في مركز البحوث النووية البلجيكي (SCK•CEN). واستندت البعثة إلى منهجية جوانب أمان التشغيل الطويل الأجل لمحطات القوى النووية وجرى تكييفها لتكون مناسبة لمفاعلات البحوث.

وقال فرانك جوبن، مهندس الأمان النووي في مركز البحوث النووية البلجيكي: "لقد حدَّدت البعثة عدداً من العناصر التي جرى إغفالها، مثل إدارة تقادم مرافق إنتاج النظائر المشعة والأجهزة التجريبية. ونتيجة لذلك، يجري تحديث نظم تصنيف المكوِّنات، ويجري استخدام التعقيبات المستمدَّة من الصيانة والتفتيش والمراقبة لزيادة تحسين برامج إدارة التقادم."

ويعتبر المفاعل البلجيكي BR2 الذي يعمل منذ عام ١٩٦٣ أحد أقدم مفاعلات البحوث في أوروبا الغربية. وهو ينتج حوالي ربع الإمداد العالمي من النظائر المشعَّة للأغراض الطبية والصناعية، بما في ذلك لعلاج السرطان والتصوير الطبي. كما أنه ينتج نوعاً من السيليكون الذي يُستخدم كمواد أشباه الموصلات في المكونات الإلكترونية. ويُمكن الآن تشغيل المفاعل البلجيكي BR2 حتى الاستعراض الدوري المقبل للأمان في عام ٢٠٢٦، عندما يتسنَّى اتخاذ قرار بشأن تمديد تشغيله لمدة عشر سنوات أخرى.

وقال جوبن "سيتواصل تطوير برنامج إدارة تقادم المفاعل البلجيكي BR2، ويعني ذلك مراعاة الملاحظات التي أُبديت خلال بعثة الوكالة. وسيجري استعراض كفاءة البرنامج وسيكون ذلك موضوع استعراض الأمان المقبل."

وكانت هولندا وأوزبكستان مَن طلب استضافة بعثتي الوكالة لإدارة تقادم مفاعلات البحوث، ومن المزمع إجراء البعثتين في عام ٢٠٢٠. وقال السيد شكر "إنَّ بعثة المفاعل البلجيكي BR2 أظهرت أنَّ من الممكن تطبيق منهجية جوانب أمان التشغيل الطويل الأجل بشكل فعَّال على مفاعلات البحوث. وسنواصل تحسين كفاءة وفعالية هذه البعثة، وكذلك الخدمات الأخرى، لتحقيق أقصى قدر من الفوائد من مفاعلات البحوث."

"سيتواصل تطوير برنامج إدارة تقادم المفاعل البلجيكي BR2، ويعني ذلك مراعاة الملاحظات التي أُبديت خلال بعثة الوكالة."

— فرانك جوبن، مهندس الأمان النووي في مركز البحوث النووية البلجيكي، بلجيكا

المفاعل ٢ البلجيكي في مركز البحوث النووية البلجيكي.
(الصورة من: مركز البحوث النووية البلجيكي)

إخراج أول مفاعل بحوث في أوزبكستان من الخدمة

بقلم كيندال سيفيرت

قد تبدو الأرض الرملية الفارغة التي تصطفها الخضرة في طشقند بأوزبكستان كأنها على أهبة الاستعداد للترحيب بمشروع بناء جديد، ولكن هذه المساحة الفارغة هي نتيجة إخراج المفاعل IIN-3M من الخدمة، وهو مفاعل بحوث توقَّف عن العمل.

وقال فخر الله كونغوروف، مدير المختبر في معهد الفيزياء النووية التابع لأكاديمية أوزبكستان للعلوم: "لقد اتُّخِذ قرار بإخراج المفاعل IIN-3M من الخدمة، لأنه نادراً ما كان يُستَخدم في السنوات الأخيرة؛ فقد كانت المعدَّات متقادمة وكانت موجودة بالقرب من المطار الذي كان المسؤولون يفكِّرون في توسيعه. ولم يجرِ إخراج أي منشأة نووية من الخدمة في أوزبكستان من قبل. وقدَّمت الوكالة لنا الدعم خلال كل خطوة من خطوات العملية، حيث ساعدتنا في الحالات التي كنَّا نفتقر فيها إلى ما يلزم من الخبرة والمعرفة."

وبدأ إخراج المفاعل IIN-3M من الخدمة في مجمع الإشعاعات والتكنولوجيا لأوزباكستان في عام ٢٠١٥ وانتهى ذلك في عام ٢٠١٩. وانطوت هذه العملية على إزالة التلوُّث وتفكيك المعدَّات وهدم المرفق لرفع الضوابط الرقابية عنه وعن الموقع الذي يضمُّه. وتوقَّف المفاعل عن التشغيل في عام ٢٠١٣ بعد أن كان يُستخدم في المقام الأول لاختبار أشباه الموصلات والأجهزة الأخرى منذ عام ١٩٧٥. وهو واحد من مفاعلين اثنين للبحوث في البلد، مع استمرار تشغيل المفاعل الثاني.

وتوفِّر مفاعلات البحوث مصدراً نيوترونيًّا مخصَّصاً للتطبيقات، على سبيل المثال، في الصناعة والطب والبحوث والتعليم والتدريب، على عكس المفاعلات النووية الأكبر الأخرى المصمَّمة لتوليد الطاقة. وعندما تكون هذه المفاعلات قد حقَّقت الغرض منها وتوقَّفت عن العمل، يكون من الضروري إخراجها من الخدمة، تماماً مثل أي منشأة نووية أخرى. والهدف من الإخراج من الخدمة هو إزالة جميع مصادر النشاط الإشعاعي والمواد الملوثة وغيرها من الهياكل بحيث يمكن استخدام الموقع لأغراض أخرى.

وأكثر من ٦٠٪ من مفاعلات البحوث العاملة الآن تتجاوز أعمارها ٤٠ عاماً. وأدَّى تزايد عدد المفاعلات المتقادمة إلى زيادة نشاط الإخراج من الخدمة في جميع أنحاء العالم؛ إذ يوجد حاليًّا أكثر من ٢٢٠ مفاعلَ بحوث قيد التشغيل، في حين جرى إخراج ٤٤٣ مفاعلاً من الخدمة.

وقد تختار البلدان إخراج مفاعلات البحوث من الخدمة لعدَّة أسباب، مثل التكاليف الباهظة لتمديد العمر الافتراضي لاستمرار تشغيلها، أو نقص التمويل أو التكنولوجيا التي عفا عليها الزمن، بينما قد تُقرِّر بلدان أخرى تجديدها وإبقاءها قيد التشغيل لمواصلة الاستفادة من استخدامها. ومع ذلك، من الضروري وضع خطة عمل بصرف النظر عمَّا إذا كانت الهيئة التشغيلية والسلطات تُقرِّر إخراج مفاعل موجود من الخدمة الآن أو في وقت لاحق في المستقبل.

وبناءً على الطلب، تقدِّم الوكالة الدعم والخبرة إلى الدول لضمان استعدادها بشكل جيد للتعامل مع الإخراج من الخدمة بصورة آمنة ومأمونة، كما قال فلاديمير ميشال، قائد الفريق المعني بالإخراج من الخدمة في الوكالة. وأضاف قائلاً إن الوكالة تصدر معايير أمان ومنشورات مرجعية تقدم الإرشادات وتتقاسم الممارسات الجيدة في هذا المجال.

وقال ميشال: "إنَّ البلدان تُقرِّر بنفسها ما إذا كانت ستستمر في تشغيل مفاعل أو إغلاقه، لكن المهم هو

"لم يجر إخراج أي منشأة نووية من الخدمة في أوزبكستان من قبل. ولقد قدَّمت الوكالة لنا الدعم خلال كل خطوة من خطوات العملية، حيث ساعدتنا في الحالات التي كنا نفتقر فيها إلى ما يلزم من الخبرة والمعرفة."

— فخر الله كونغوروف، مدير المختبر في معهد الفيزياء النووية التابع لأكاديمية أوزبكستان للعلوم

إخراج المفاعلات التي لم تعد تعمل من الخدمة. فعدم إخراج مفاعلات البحوث الخاملة من الخدمة، أو القيام بذلك بشكل غير صحيح، يمكن أن يؤدِّي إلى تدهورها الهيكلي وزيادة خطرها على الناس والبيئة".

وضع خطة جاهزة

هناك اليوم ممارسة موحَّدة لدمج خطة الإخراج من الخدمة في عملية الإعداد الأولي لمفاعل بحوث، ولكن لم يكن الحال هكذا في سبعينيات القرن الماضي عندما جرى تشييد المفاعل IIN-3M والكثير من المفاعلات الأخرى.

"فقد كان هناك تصوُّر عام خلال السنوات الأولى لتشييد مفاعلات البحوث بأنَّ الإخراج من الخدمة يمكن أن يتحقَّق بسهولة باستخدام الحدِّ الأدنى من الموارد والتخطيط. ولكن من الواضح أن الأمر ليس كذلك"، كما جاء على لسان كونغوروف. ونتيجة لذلك، لم تكن لدينا خطة لعملية الإخراج من الخدمة ولا معلومات حول كيفية إزالة أو تفكيك المعدَّات، وهنا كان دعم الوكالة هامًّا للغاية."

فقد سافر موظفو الوكالة وغيرهم من الخبراء الدوليين إلى أوزبكستان في آب/أغسطس ٢٠١٢ لتقييم موقع المفاعل. وكان الهدف من الزيارة هو تقييم الخبراء لحالة المرفق وجمع المعلومات اللازمة لمساعدة المسؤولين في أوزبكستان في التحضير للإخراج من الخدمة.

وبناءً على نتائج زيارة عام ٢٠١٢ وغيرها من الاجتماعات، عمل خبراء الوكالة مع الفريق الوطني لوضع خطة إخراج من الخدمة، وشمل ذلك وضع جدول زمني للمشروع وتقديرات للتكلفة، وفقاً لتوصيات الوكالة وإرشاداتها بشأن تخطيط الإخراج من الخدمة.

وقال كونغوروف: "كان تقدير تكاليف الإخراج من الخدمة أحد أصعب أجزاء عملية التخطيط لأنَّ مشغِّلي المفاعلات لدينا لم يسبق لهم القيام بذلك من قبل، وهو ما تطلَّب الكثير من الوثائق". وقُدِّمت جميع المعلومات المتعلقة بإخراج المفاعل IIN-3M من الخدمة، مثل تفاصيل الإجراءات والمعدات والأدوات المطلوب استخدامها، إلى الهيئة الرقابية الوطنية لأوزبكستان للموافقة عليها قبل بدء العمل على أرض الواقع.

الاستعداد للإخراج من الخدمة

من الخطوات المهمة قبل بدء عملية الإخراج من الخدمة إزالة جميع مصادر الوقود والمصادر المشعَّة من المباني، كما هو محدَّد في معايير أمان الوكالة. وعادة ما يتطلَّب هذا الأمر معدَّات متخصِّصة وخبراء مدرَّبين تدريباً عالياً.

وبالنسبة للمفاعل IIN-3M، عمل الخبراء مع الوكالة بالتعاون مع روسيا والولايات المتحدة الأمريكية لاستخراج وشحن وقود المفاعل إلى بلده الأصلي: أي روسيا. والتحدِّي الخاص في هذه الحالة هو شكل الوقود المستهلك، وهو اليورانيوم السائل الشديد الإثراء، حيث كانت هذه هي المرة الأولى التي يجري فيها إعادة هذا الوقود إلى بلده الأصلي جوًّا. وانطوى هذا التعاون أيضاً على إعداد ونقل مختلف المصادر المشعَّة السائلة المهملة من الموقع إلى مرفق التخلُّص منها.

وبذلك كان من الممكن أن تبدأ عملية إزالة التلوُّث والتفكيك والهدم. وتضمَّنت عملية الإخراج من الخدمة تفكيك المعدَّات قطعة قطعة، مثل وعاء المفاعل؛ والقضاء على التلوُّث السطحي وضمان مستويات آمنة من الإشعاع؛ وإزالة طبقات من الخرسانة التي استخدمت في إطار المفاعل. وقدَّمت الوكالة الدعم في كل خطوة من خطوات العملية.

وبمجرَّد استكمال عملية الإخراج من الخدمة، دعمت الوكالة إجراء مسح للموقع، بناءً على طلب من حكومة أوزبكستان، للتحقُّق من وجود مستويات آمنة من النشاط الإشعاعي. وأظهرت النتائج أن الإخراج من الخدمة كان ناجحاً حيث لم يتمَّ العثور على نشاط إشعاعي متبقٍّ كبير. وكان هذا القياس المستقل يتماشى مع تقييم حكومة أوزبكستان للموقع، وأكَّدت هذه النتائج مجتمعة أنه من الآمن استخدام الموقع لغرض آخر.

مرفق مفاعلات البحوث IIN-3M خلال مرحلة التدمير من عملية الإخراج من الخدمة.

(الصورة من: أكاديمية أوزبكستان للعلوم)

الحفاظ على استدامة مفاعلات البحوث

هيلموث بويك
أستاذ مساعد في مجال أمان المفاعلات في معهد الفيزياء الذرية ودون الذرية التابع لجامعة فيينا للتكنولوجيا. ولبويك أكثر من ٤٥ عاماً من الخبرة في استخدام وتشغيل مفاعلات البحوث. كما أنه عمل كخبير في أكثر من ٨٠ بعثة مدعومة من الوكالة.

ما زالت مفاعلات البحوث وسيلة لا يمكن الاستغناء عنها لتوفير النظائر المشعَّة لقطاعَي الطب والصناعة، ولتوفير الحُزم النيوترونية للبحوث المتعلقة بالمواد والاختبارات غير المتلفة، وتقديم الخدمات التحليلية وخدمات التشعيع للقطاعين الخاص والعام. ولاستخدامها أيضاً دور استراتيجي في تثقيف وتدريب جيل جديد من العلماء والمهندسين لدعم برامج العلوم والتكنولوجيا النووية.

ومن بين مفاعلات البحوث البالغ عددها ٨٤١ التي شُيِّدت حتى اليوم، جرى بالفعل إخراج العديد منها من الخدمة، أو هي في انتظار إخراجها من الخدمة، ومن بين مفاعلات البحوث البالغ عددها ٢٢٤ التي ما زالت قيد التشغيل، يتجاوز عمر أكثر من ٥٠٪ منها ٤٠ عاماً. وبينما يوجد حاليًّا ٩ مفاعلات بحوث قيد التشييد في جميع أنحاء العالم ونحو ٣٠ من مفاعلات البحوث الجديدة في مراحل مختلفة من التخطيط، أُغلق العديد من مفاعلات البحوث بسبب نقص التمويل أو نقص الاستخدام أو عدم وجود تخطيط استراتيجي، وهي قضايا لم تكن تعتبر في السابق مهمة. ومن خلال الإدارة والاستخدام المناسبين، يمكن أن يعمل مفاعل البحوث لمدة ٦٠ عاماً أو أكثر. ومع ذلك، من الأهمية بمكان أن توضع برامج ملائمة لإدارة عمر التشغيل، بما في ذلك تلك المتعلقة بالأمان والأمن والاستعمال، قبل وقت طويل.

التعاون لخفض التكاليف وزيادة الاستخدام

التحدِّيات الرئيسية التي تواجه مشغِّلي مفاعلات البحوث اليوم هي القضايا المتعلقة بالتمويل والاستخدام. ولا تتلقَّى مفاعلات البحوث عادةً الدعم المالي من طرف الدولة أو الصناعة أو القطاع الخاص إذا لم تكن هناك هناك فائدة واضحة. وقد تنطوي الفوائد على البحث الأكاديمي في إطار برنامج جامعي وطني، أو إنتاج نظائر مشعَّة طبية أو بحوث المواد في إطار برنامج تعاون وطني أو دولي. وبحسب مستوى القوى في مفاعل البحوث، الذي يؤثِّر في كيفية استخدامه، سيكون برنامج البحوث المتعدِّد الأغراض هو الحل الأمثل.

وتكمن إحدى إمكانيات خفض التكاليف التشغيلية مع زيادة الاستخدام في تكوين شراكات إقليمية في مجال مفاعلات البحوث بين مرفقين أو أكثر من مرافق مفاعلات البحوث، التي يمكنها بعد ذلك تقاسم وقت التشغيل و/أو المعدَّات الباهظة الثمن. وطيلة العقد الماضي، أقيم العديد من هذه الشراكات وتلقَّت الدعم المالي من خلال دورات الوكالة لتدريب مجموعة الحاصلين على منح دراسية.

ومن الأمثلة على ذلك مبادرة أوروبا الشرقية بشأن مفاعلات البحوث، التي أرستها أربعة بلدان، هي الجمهورية التشيكية وسلوفينيا وهنغاريا والنمسا، والتي تشغِّل ما مجموعه ستة مفاعلات بحوث ذات تصاميم مختلفة. ومن خلال هذه الشبكة، نُظِّمت ١٥ دورةً لتدريب مجموعة الحاصلين على منح دراسية لمدة ٦ أسابيع وبلغ مجموع المشاركين فيها أكثر من ١٢٠ مشاركاً منذ عام ٢٠٠٩. وتدرَّب المشاركون على ما لا يقل عن ٥ مفاعلات بحوث تعمل بمستويات قوى تتراوح بين ١٠٠ كيلوواط و١٠ ميغاواط وحصلوا على التعليم حول مواضيع مثل فيزياء المفاعلات ونظم الأجهزة والتحكم والوقاية من الإشعاعات وتحليل التنشيط.

وهناك مبادرات مماثلة، على سبيل المثال، الشبكة العالمية لمفاعلات بحوث تريغا، التي أنشئت لمناقشة ومعالجة القضايا الشائعة المتعلقة بمفاعلات

البحوث من نوع تريغا والتي يوجد أكثر من ٣٠ منها قيد التشغيل في جميع أنحاء العالم، بما في ذلك توريد الوقود وتوفير الدعم التقني وتعزيز الاستخدام.

التقادم والإغلاق والإخراج من الخدمة

وفقاً لقاعدة بيانات مفاعلات البحوث التابعة للوكالة، فإن العديد من مفاعلات البحوث في جميع أنحاء العالم في حالة إغلاق ممتد لأسباب مثل عدم وجود خطة استخدام أو لأن الحالة التقنية لا تفي بمعايير الأمان المقبولة دوليًّا وقد يتطلَّب الأمر بدون ذلك تجديداً أو تحديثاً مكثَّفين. وفي بعض الحالات، قد يكون التجديد أو التحديث مكلفاً للغاية بحيث يكون من الأفضل إبقاء المفاعل في وضع إغلاق؛ ومع ذلك، فحتى في هذه الحالة، تكون تكاليف الصيانة قائمة. وبناءً على ذلك، هناك العديد من مفاعلات البحوث تُقبل على مستقبل لم يقرَّر بعد، وهي مفاعلات يمكن أن تثير على المدى الطويل مشاكل حقيقية تتعلق بالأمان والأمن.

ويتفاقم هذا الوضع بسبب السؤال المطروح حول كيفية التعامل مع الوقود المستهلك من المفاعلات، والذي يجب التصرُّف فيه بفعالية، بما في ذلك تخزينه في مرفق تخزين وطني أو إعادة معالجته أو التخلُّص منه نهائيًّا أو إعادة شحنه إلى بلد المنشأ. وعادةً ما تكون هذه الخيارات باهظة الثمن ويجب معالجتها في الوقت المناسب مع مراعاة معايير الأمان الدولية وضمان الاستثمار المالي اللازم في مرحلة مبكرة.

نظم الإدارة للتخطيط الاستراتيجي

لتشغيل مفاعل بحوث على المدى الطويل، ينبغي وضع برنامج فعَّال لإدارة التقادم، وينبغي أن يشمل ذلك جملة أمور من بينها إجراء تقييم مفصَّل لأمان التشغيل على المدى الطويل ووضع خطط مناسبة للتجديد والتحديث من أجل جعل المرافق تتماشى مع أحدث معايير الأمان.

وبالنسبة للعديد من مفاعلات البحوث، هناك نقص في خطط الإخراج من الخدمة التي كان يجب وضعها في بداية العمر التشغيلي للمفاعل ومن ثمَّ تحديثها لاحقاً. وقد وُضع العديد من معايير الأمان الصادرة عن الوكالة لتوفير إرشادات بشأن إنشاء برامج إدارة التقادم والإخراج من الخدمة وإدارة مفاعلات البحوث في حالة إغلاق ممتد.

ويمكن معالجة هذه المشاكل المتعلقة بالإغلاق والتقادم والإخراج من الخدمة عند إنشاء نظام إدارة شامل. وتحتاج هذه النظم أيضاً إلى تطويرها بطريقة تعالج الأهداف المهمة، بما في ذلك الأمان والصحة والأمن والقضايا ذات الصلة، من أجل تحسين التشغيل المتواصل لمفاعلات البحوث وخدماتها، كما هو محدَّد في معايير أمان الوكالة. وينبغي أن يوفِّر النظام إرشادات عامة تساعد على إنشاء وتنفيذ وتقييم مفاعل بحوث وتوفِّر إرشادات محددة بشأن التشغيل الذي يتوافق مع المعايير الدولية.

ولإنشاء نظام إدارة، ينبغي وضع خطة إستراتيجية مفصَّلة مصمَّمة خصِّيصاً لمرفق معيَّن، وينبغي أن تشمل جميع الشركاء، مثل السلطات الوطنية والصناعة والمستخدمين ومديري المرافق، من أجل تبسيط التمويلات والنفقات التشغيلية المتاحة. ويجب مراجعة هذه الخطة الإستراتيجية بشكل دوري لمراعاة التغييرات التي تطرأ على مهمة مفاعلات البحوث مع مرور الوقت. وقد صاغت الوكالة العديد من الوثائق لمساعدة البلدان في وضع وتنفيذ خطط استراتيجية.

وفي الختام، تشير هذه المواضيع إلى كيفية صيانة مفاعلات البحوث و/أو تحسينها لضمان الاستدامة. واعتماداً على الحالة الخاصة لمفاعل بحوث معيَّن، قد تُقرِّر المنظمة المشغِّلة إجراءات للتحسين باستخدام ما تقدِّمه الوكالة بوجه خاص من خبرة ودعم للحفاظ على استدامة مفاعلها للبحوث.

الوكالة والفاو تساعدان على تطوير موز مقاوِم لأحد الأمراض الفطرية الرئيسية

تجارب ميدانية تُظهر صنف الموز الجديد — ZJ4 — المقاوِم للذبول بفعل الفُطر فوزاريوم من السلالة المدارية ٤، مقارنةً بالصنف BaXi العُرضة للإصابة والمزروع في غوانغدونغ، الصين.

(الصورة من: يي غانجون/غوانغدونغ، الصين)

قد يكون الموز الفاكهة المفضَّلة في العالم، ولكن المَزارِع في جميع أنحاء العالم تتعرَّض بشكل متزايد للتهديد من فُطر جديد يدمِّر أشجار الموز ويهدِّد سُبل عيش المزارعين والصناعة.

واقتصر الذبول بفعل الفُطر فوزاريوم من السلالة المدارية ٤ (المعروف اختصاراً باسم TR4) على منطقة جنوب شرق آسيا طوال العقود الماضية، وشوهد للمرة الأولى في أفريقيا وأمريكا اللاتينية في عام ٢٠١٩. وقد أدَّى تفشِّي هذا الفُطر في كولومبيا في آب/أغسطس ٢٠١٩ إلى الإعلان عن حالة طوارئ وطنية.

وقد عملت الوكالة الدولية للطاقة الذرية — بالتعاون مع منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) — مع باحثين في جميع أنحاء العالم لدعم تطوير سلالات جديدة من أنواع الموز يمكن أن تكون مقاوِمة للأمراض.

وقال إيفان إنجلبريخت، رئيس مختبر تحسين السلالات النباتية وصفاتها الوراثية المشترك بين الفاو والوكالة: "الموز الحديث لا يُنبت البذور، وبالتالي يصعب تحسينه باستخدام التهجين." لذلك، فإنَّ استخدام تقنيات مثل التشعيع أو الطفرات الكيميائية لإنتاج سلالات جديدة ذات سمات مؤاتية غالباً ما يكون الخيار المفضَّل لمكافحة المرض.

وبعد بحوث استغرقت أعواماً، أطلق خبراء صينيون صنفاً جديداً من موز كافنديش — وهو الموز الأكثر شيوعاً في التصدير — المقاوِم للذبول بفعل الفُطر فوزاريوم من السلالة المدارية ٤. وقال إنجلبريخت إنَّ السلالة الجديدة تمَّ تطويرها باستخدام تقنيات الطفرات الكيميائية، وثمَّة دول أخرى، بما فيها الفلبين، في مراحل متقدِّمة من تطوير سلالاتها الخاصة باستخدام التشعيع بأشعَّة غاما.

وشكَّل الذبول بفعل الفُطر فوزاريوم عقبة أساسية أمام إنتاج الموز لأكثر من قرن. وهذا المرض ناجم عن الفطريات تحملها التربة تُعرف باسم Fusarium oxysporum f. sp. cubense. ويظلُّ العامل المُمْرِض قابلاً للحياة في التربة لعدَّة عقود، وبالتالي يصعب القضاء عليه. ويمثِّل الفُطر فوزاريوم من السلالة المدارية ٤ سلالة جديدة من هذا الفُطر وقد ظهرت حديثاً. وأوضح إنجلبريخت قائلاً: "تدخل هذه الفُطريات إلى النباتات العُرضة للإصابة من خلال الجذور وتعرقل امتصاص الماء، ما يتسبَّب في ذبول الأوراق، ليموت شجر الموز في نهاية المطاف."

وتقدِّر الفاو الأضرار المباشرة السنوية الناجمة عن الذبول بفعل الفُطر فوزاريوم من السلالة المدارية ٤ في جنوب شرق آسيا بنحو ٤٠٠ مليون دولار أمريكي، باستثناء الآثار الاجتماعية والاقتصادية غير المباشرة.

وقال يي غانجون، نائب رئيس أكاديمية غوانغدونغ للعلوم الزراعية في غوانغشو: "إطلاق صنف جديدة من موز كافنديش سيفيد العديد من المزارعين؛ وهذا النجاح مردُّه إلى التعاون الوثيق مع الوكالة والفاو في مجال تقنيات الطفرات الكيميائية. وأحدثت هذه التكنولوجيا المتطوِّرة اختراقاً ملحوظاً في مكافحة الذبول بفعل الفُطر فوزاريوم."

وقال يي: "النتائج المثيرة لصنف 'محلي' جديد من الموز، مقاوِم للذبول بفعل الفُطر فوزاريوم من السلالة المدارية ٤، تمنح الكثير من الأمل لمزارعي الموز الذين نجحوا في اختبار النباتات الجديدة في تجارب ميدانية. ويمكن أن تسهم

تقنيات الطفرات في تطوير نباتات موز جديدة تتناسب مع الظروف البيئية المحلية."

والصنف الجديد الآن تتمُّ مضاعفته وتوزيعه على مقاطعات أخرى. وأضاف يي قائلاً إنَّ الخبراء الصينيين على استعداد لمساعدة زملائهم في البلدان الأخرى لتطوير أصناف من الموز مقاوِمة للذبول بفعل الفُطر فوزاريوم من السلالة المدارية ٤ ومناسِبة لظروف المناخ والتربة في بلدانهم.

ويستخدم العلماء تقنياتٍ مختبرية لزراعة الآلاف من نباتات الموز الصغيرة في أنابيب اختبار مناسبة للطفرات باستخدام المواد الكيميائية، أو أشعة غاما، أو الأشعة السينية. وتسرِّع هذه التقنيات العملية الطبيعية لحدوث الطفرة في النباتات وتستحدث تنوُّعاً وراثيًّا يمكن بعدئذٍ استخدامه لإنتاج أصناف جديدة، بما في ذلك الأصناف ذات السمات المؤاتية. ومنذ عام ٢٠١٥، قادَ مشروع بحثي منسَّق بمشاركة علماء من ستة بلدان، منها الصين والفلبين، العمل على تطوير أنواع الموز المقاوِمة للذبول بفعل الفُطر فوزاريوم من السلالة المدارية ٤.

وقال إنجلبريخت: "إنَّ النجاح الذي تحقَّق باستخدام الطفرات الكيميائية والتقدُّم الواعد باستخدام التشعيع في العديد من البلدان الآسيوية يوحي بأنَّ تطوير أصناف جديدة مقاوِمة للذبول بفعل الفُطر فوزاريوم من السلالة المدارية ٤ سيكون ممكناً في المستقبل غير البعيد في أجزاء أخرى من العالم أيضاً." وأضاف قائلاً: "الوكالة والفاو ملتزمتان بمساعدة البلدان على تحقيق ما تسعى إليه."

— بقلم ميكلوس غاسبر

مستولدو النباتات في مزرعة موز مع أصناف كافنديش الجديدة المزروعة في مقاطعة غوانغدونغ الصينية.

(الصورة من: يي غانجون/غوانغدونغ، الصين)

محاربة تلوُّث الهواء بأداة قيمتها دولار واحد

يمكن أن يساعد جهازٌ جديد بسيط تقلُّ تكلفة تصنيعه عن دولار واحد الجهود العالمية المبذولة للحدِّ من تلوُّث الهواء الضار الناجم عن انبعاثات الأمونيا، مع تحسين إمكانية الحصول على الغذاء. وقام بتصميم الأداة البلاستيكية الصغيرة علماء برازيليون بالتعاون مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو). وبعدَ استخدام تقنيات نظيرية لاختبار الأداة والتحقُّق من دقتها، يتمُّ حاليًّا طرحها لمساعدة البلدان على رصد انبعاثات الأمونيا الناتجة عن الزراعة وإدارتها بشكل أفضل، بما في ذلك صناعة الثروة الحيوانية.

وتُعَدُّ الأمونيا — وهي مركّب من النيتروجين والهيدروجين — أحد أبرز النواتج الثانوية للزراعة وهي غاز ينطلق، على سبيل المثال، عند تحلُّل الأسمدة الكيميائية والأسمدة العضوية (روث الحيوانات). ووجود هذا الغاز (NH_3) في الغلاف الجوي يمكن أن يكون بمثابة مصدر ثانوي لأكسيد النيتروز (N_2O) — وهو أحد غازات الدفيئة القوية — ويمكن أن يُلحق الضَّرر بالنظم الإيكولوجية عن طريق تفاقُم تلوُّث المياه، فضلاً عن التسبُّب في مشكلات صحية للإنسان.

وعندما لا تُستخدم الأسمدة الكيميائية كما يجب، يمكن أن يتبدَّد ما يصل إلى نصف ما بها من نيتروجين نحو الغلاف الجوي، وهي خسارة ذات عواقب مالية كبيرة أيضاً. وفَهْمُ هذه الخسارة مسألة ضرورية لإصدار توصيات للمزارعين عن أفضل طريقة لإدارة استخدامهم للأسمدة الكيميائية، والتي يمكن أن تساعد على تحقيق أقصى إنتاجية ممكنة وأقصى قدر ممكن من الفوائد.

وقال سيغوندو أوركياغا، الباحث في المركز الوطني لبحوث البيولوجيا الزراعية التابع للهيئة البرازيلية للبحوث الزراعية: "في المتوسط، تتبدَّد نسبة ٣٥٪ من الأسمدة النيتروجينية المستخدَمة في البرازيل نحو الغلاف الجوي في شكل أمونيا، الأمر الذي له تأثيرٌ كبيرٌ في البيئة والاقتصاد."

ومع استمرار ازدياد تعداد سكان العالم، يزداد الطلب على الغذاء. وهذا بدوره يؤدِّي إلى توسُّع صناعات الثروة الحيوانية وازدياد الاعتماد على الأسمدة النيتروجينية، الاصطناعية والعضوية، لإنتاج الغذاء. وهذا يعني أيضاً المزيد من انبعاثات الأمونيا. ومن المتوقع أن يستمر هذا الاتجاه على مدى العقد المقبل وهو يشكِّل تهديداً لصحة الإنسان والبيئة.

ويبحث الخبراء في بلدان مثل البرازيل عن طُرق لقياس انبعاثات الأمونيا في الغلاف الجوي والتخفيف منها. وبالفعل اليوم ثمَّة العديد من الأساليب المتطوِّرة، مثل أنفاق الهواء وقياس طيف اضمحلال الرنين في التجاويف وتقنيات الأرصاد الجوية الدقيقة، لكنها غالية الثمن وتتطلَّب تقنيين ذوي مهارات عالية لتشغيلها.

وقال أوركياغا: "في السابق، كان قياس هذه العملية والتخفيف من حدَّتها مسألة شاقة وتستغرق الكثير من الوقت ومكلفة نسبيًّا. وأمَّا هذه التقنية الجديدة ففعَّالة من حيث التكلفة وسريعة ويمكن اعتمادها في أي مكان. وسيكون لاستخدامها تأثيرٌ مباشر على

أداة جديدة بسيطة مصنوعة من قنينة بلاستيكية يمكن أن تساعد الجهود المبذولة لتتبُّع وخفض انبعاثات الأمونيا الناجمة عن الزراعة وتحسين الأمن الغذائي.

(الصورة من: الهيئة البرازيلية للبحوث الزراعية)

المزارعين، الذين لن يوفِّروا الموارد فحسب بل سيقلِّلون أيضاً تلوُّث الهواء."

أداة جديدة فريدة

الأداة الجديدة في غاية البساطة لدرجة أنه يمكن بسهولة الخلط بينها وبين مشروع علوم في مدرسة ابتدائية. حيث تتشكَّل حجيرة عن طريق إزالة الجزء السفلي من قنينة صودا بلاستيكية كبيرة وتثبيته في الجزء العلوي من الزجاجة المفتوحة. وهذه تحمي شريطاً رقيقاً من الرغوة، نُقِع مسبقاً في محلول حمضي حابس للأمونيا، ووُضِع داخل القنينة البلاستيكية، وهو يمتدُّ من الفتحة العلوية إلى كوب بلاستيكي صغير مثبَّت عند أسفل القنينة في التربة بثلاث شوكات معدنية. وتوضَع الحجيرة بجانب النباتات أو منطقة الماشية التي يُراد رصدها، وتتمُّ إزالة الرغوة كلّ ٢٤ ساعةً ونقلها إلى المختبر لتحليلها.

وأنشأ هذا الجهاز الفريد والبسيط وأعدَّ التعليمات المتعلقة بكيفية استخدامه علماء من الشعبة المشتركة بين الفاو والوكالة لاستخدام التقنيات النووية في الأغذية والزراعة، والهيئة البرازيلية للبحوث الزراعية، ومعهد بارانا للزراعة في البرازيل.

وقال محمد زمان، عالم التربة في الشعبة المشتركة بين الفاو والوكالة لاستخدام التقنيات النووية في مجال الأغذية والزراعة: "هذا الجهاز يمكن أن يساعدنا على فهم حجم الفاقد من الأمونيا والانتقال إلى حلول ذكية مناخيًّا تترك كمية كافية من النيتروجين لتعزيز إنتاجية النبات، خاصة في التربة الأقلِّ خصوبةً والمفتقرة إلى النيتروجين، ويمكن أن يكون لذلك تأثير كبير على إنتاج الغذاء."

ويمكن استخدام الجهاز بحدِّ ذاته لقياس حجم الفاقد من الأمونيا بدقة، مثلما يمكن استخدامه بالاقتران بممارسات زراعية مصمَّمة للحدِّ من انبعاثات غازات الدفيئة وتأثيرها في البيئة. وتشمل هذه الممارسات أنظمة الريِّ بالتنقيط، والتطبيق المشترك لكلٍّ من استخدام الأسمدة الكيميائية مع مثبِّطات عملية النترتة وعملية تناوُب المحاصيل المنطوية على بقوليات مثبِّتة للنيتروجين.

أداة بسيطة، لكنها موثوقة

بسبب بساطة الأداة، شكَّلت موثوقية نتائجها مبعث قلق رئيسيًّا. ولاختبار موثوقيتها، استخدم العلماء تقنية نظيرية انطوت على إضافة النيتروجين-١٥ إلى الأسمدة الكيميائية (انظر مربع العلوم) كوسيلة لتتبُّع وقياس ومقارنة كمية الأمونيا التي تلتقطها الحجيرة البلاستيكية مقارنةً بالكمية المنبثعة، والتي كانت تُقاس باستخدام طريقة توازن الكتلة النيتروجينية للتثبُّت من كمية النيتروجين في التربة مع مرور الوقت. وبما أنَّ الأمونيا مركَّب يحتوي على النيتروجين، أتاحت طريقة النيتروجين-١٥ للعلماء تتبُّع كمية الفاقد من الأمونيا.

وأظهرت نتائج الاختبارات أن الحجيرة كانت وسيلة موثوقة ومناسبة لتتبُّع انبعاثات الأمونيا من الأسمدة العضوية والاصطناعية المستخدَمة في المحاصيل السنوية والمعمِّرة، وكذلك من فضلات الماشية. وقال أوركياغا: "هذه الطريقة فعَّالة ودقيقة للغاية في قياس ورصد الأمونيا مقارنةً بالطريقة التقليدية للحجيرة المغلقة."

وبالفعل بدأ خبراء في ستة بلدان، هي إثيوبيا وإيران وباكستان والبرازيل وشيلي وكوستاريكا، باستخدام هذه الأداة. وقال زمان إنه من المتوقع أن يصبح استخدام الأداة على نطاق واسع، خاصة بعد نشر نتائج المشروع في طبعة خاصة من مجلة علمية دولية خاضعة لاستعراض النظراء. وعلاوة على ذلك، ثمَّة خطة بتقديم توصية إلى الفريق الحكومي الدولي المعني بتغيُّر المناخ بإدراج الأداة كوسيلة للاستخدام في النظم الزراعية في جميع أنحاء العالم، وخاصة في البلدان النامية.

الأساس العلمي

ويؤدِّي النتروجين دوراً مهمًّا فيما يتعلق بنمو النباتات وعملية التمثيل الضوئي، وهي العملية التي تستخدم فيها النباتات ضوء الشمس لتكوين مغذِّيات من ثاني أكسيد الكربون والماء. وغالباً ما يُضاف النيتروجين إلى التربة في شكل أسمدة. وباستخدام الأسمدة الموسومة بنظائر النيتروجين-١٥ المستقرَّة — ذرَّات تحتوي على نيوترونات إضافية بالمقارنة مع النيتروجين 'العادي' — يمكن للعلماء تتبُّع المسار وتحديد مدى كفاءة المحاصيل في امتصاص الأسمدة، وكذلك تتبُّع مختلف أشكال الفاقد من النيتروجين المنطوية على الأمونيا. وتساعد هذه التقنية أيضاً على تحديد الكمية الأمثل من الأسمدة التي يجب استخدامها.

— بقلم نيكول جاويرث وإليسا مطر

الدول الأعضاء في الوكالة تحصل على حاوية لنقل المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة بفضل مساهمة قدَّمتها الولايات المتحدة

بإمكان الوكالة الآن أن تستفيد من حاوية جديدة لنقل المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة بفضل مساهمة قدَّمتها الإدارة الوطنية للأمن النووي التابعة لوزارة الطاقة في الولايات المتحدة. وأُعلن عن هذه المساهمة في مراسم خلال المؤتمر العام الثالث والستين للوكالة.

وصُمِّمت الحاوية، وهي من طراز B-435 Type B(U)، لنقل مختلف أنواع المصادر والأجهزة المشعَّة، محليًّا ودوليًّا. وهي معتمَدة لنقل كلٍّ من المصادر القوية الإشعاع، مثل المصادر المستخدَمة في العلاج الإشعاعي الخارجي وأجهزة التشعيع، والمصادر ذات النشاط الإشعاعي الأقلّ نوعاً ما، مثل تلك المستخدَمة في التصوير الإشعاعي بأشعة غاما للأغراض الصناعية ومصادر التشعيع الداخلي بجرعات عالية/متوسطة.

واحتُفِل بتسليم الحاوية بمراسم قصّ الشريط في المقر الرئيسي للوكالة في فيينا.

وقال ميخائيل تشوداكوف، نائب المدير العام للوكالة ورئيس إدارة الطاقة النووية: "أحد التكاليف الرئيسية المترتِّبة على إزالة المصدر من دولة عضو هي تكلفة النقل، بالإضافة إلى استئجار حاوية نقل مرخَّصة. وبما أن الوكالة ستستفيد مباشرةً من حاوية مرخَّصة، سنكون قادرين على توفير طريقة أكثر فعالية للنقل المأمون والآمن للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة من مقارّ مستخدميها إلى مستلم مرخَّص له للتصرُّف بها بشكل أكبر."

إذ يجب التصرُّف في المصادر المشعَّة، المستخدَمة في مجموعة متنوِّعة من التطبيقات في مجالات مثل الطب والصناعة والبحوث والزراعة، بشكل صحيح، ولا يكون ذلك أثناء استخدامها فحسب، بل أيضاً بمجرَّد بلوغها نهاية عمرها النافع. وينطوي ذلك في العادة على نقلها إلى مكان بعيد عن مكان استخدامها.

وتشمل خيارات التصرُّف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة خزنها المؤقت والطويل الأجل، وإعادة تدويرها، وإعادتها إلى وطنها، والتخلُّص منها نهائيًّا. ويُعَدُّ النقل خطوة مهمة على صعيد التصرُّف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. فمن أجل نقل هذه المصادر من بلد إلى منشأة مرخَّصة، يجب نقلها بشكل صحيح.

ميخائيل تشوداكوف، نائب المدير العام في الوكالة، وليزا جوردون-هاغرتي، وكيلة وزارة الطاقة الأمريكية للأمن النووي، يقصّان الشريط أمام النموذج ١:١٠ من حاوية نقل المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، الذي تبرَّعت به الولايات المتحدة للوكالة لاستخدامه في بلدان أخرى.

(الصورة من: شانت كريكوريان/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

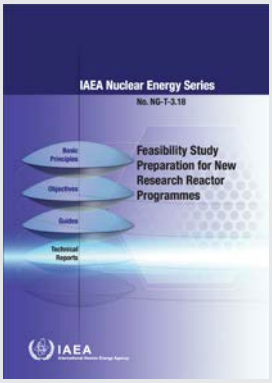
وقال مارينكو زيليكو، مدير الوكالة الرقابية الحكومية للإشعاع والأمان النووي في البوسنة والهرسك: "حصول الوكالة على حاوية الشحن المرخَّصة سييسِّر تقديم دعم الوكالة بما يضمن التصرُّف المأمون والآمن في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة."

ومثَّل نقل هذه المصادر للتصرُّف بها عند انتهاء عمرها تحدِّياً في العديد من البلدان نظراً للافتقار إلى حاويات مناسبة مرخَّصة خصِّيصاً لنقل المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. ومع توافر الحاوية من طراز B-435، يمكن للوكالة أن تساعد المنظمة المناطة بها مسؤولية نقل المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة بكفاءة أكبر.

وقالت ليزا جوردون-هاغرتي، وكيلة وزارة الطاقة الأمريكية للأمن النووي والمديرة في الإدارة الوطنية للأمن النووي في الولايات المتحدة: "من شأن توفير الحاوية B-435 الآن أن يعزِّز أكثر فأكثر من التعاون بين الولايات المتحدة والوكالة، وآملُ أن يُنظر إليها كرمز لالتزامنا طويل الأجل بجهود الوكالة للنهوض بالتصرُّف الملائم بالمصادر المشعَّة عند انتهاء عمرها. ولن تعزِّز هذه الجهود الأمن العالمي فحسب، بل ستعزِّز الصحة العامة والأمان."

ومنذ عام ٢٠١٤، دعمت الوكالة إزالة أكثر من ٦٠ من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة القوية الإشعاع من أكثر من ١٥ دولةً عضواً. وقد أثمرت عدَّة بعثات لإدماج المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة وتكييفها عن خزن الآلاف من تلك المصادر بطريقة آمنة ومأمونة. وفي عام ٢٠١٨، ساعدت الوكالة خمسة بلدان في أمريكا الجنوبية على إزالة ٢٧ من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في أكبر مشروع من هذا النوع تولَّت الوكالة تيسيره.

— بقلم مات فيشر

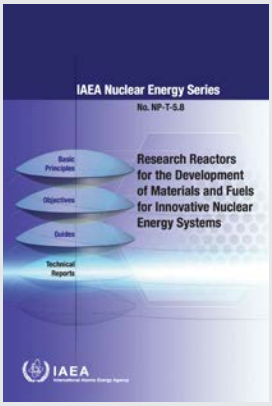


إعداد دراسات الجدوى للبرامج الجديدة لمفاعلات البحوث
Feasibility Study Preparation for New Research Reactor Programmes

يصِفُ العناصر المختلفة التي سيتمُّ تضمينها في تقرير دراسة جدوى شامل ومُحكم وذي بنية منطقية لمشروع مفاعل بحوث جديد. ويوفِّر إرشادات للمنظمة الداعمة الرئيسية أو فريق مفاعل بحوث جديد بما يمكِّنهم من إجراء دراسة جدوى موثوقة وشاملة يمكن تقديمها إلى متَّخذي القرار لاستعراضها من أجل دعم المقترحات وتأييد خطة عمل لتشييد مثل هذا المرفق. ويشمل اعتبارات مبرّرات إنشاء مفاعل بحوث جديد، ومسائل البنية الأساسية النووية الرئيسية المرتبطة بذلك، وتحليل التكلفة والفوائد وإدارة المخاطر التي يتعيَّن معالجتها قبل الحصول على أذون إنشاء مفاعل بحوث جديد. وستساعد معالجة هذه المسائل الدول الأعضاء على اكتساب فهم شامل لجميع الأدوار والواجبات والالتزامات المنطوية على تشييد وتشغيل مفاعل بحوث وضمان الوفاء بها خلال جميع مراحل دورة حياة المشروع. ويتضمَّن المنشور أيضاً نموذجاً معيارياً لإعداد تقرير دراسة الجدوى، ويقدِّم بعض الأمثلة والدروس المستفادة من فرادى الدول الأعضاء في إعداد مثل هذه الدراسات.

العدد NG-T-3.18 من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة؛ الرقم الدولي الموحَّد للكتاب: ٨-١٠٤٥١٨-٠-٩٢-٩٧٨؛ الطبعة الإنكليزية؛ ٣٠,٠٠ يورو؛ ٢٠١٨

www.iaea.org/publications/12306/feasibility-study

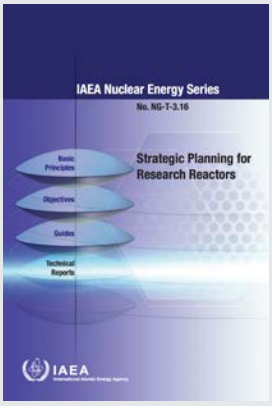


استخدام مفاعلات البحوث لتطوير المواد وأنواع الوقود الخاصة بنظم الطاقة النووية الابتكارية
Research Reactors for the Development of Materials and Fuels for Innovative Nuclear Energy Systems

يعرض لمحة عامة عن قدرات وإمكانات مفاعلات البحوث فيما يتعلق بتطوير أنواع وقود ومواد لاستخدامها في المفاعلات النووية الابتكارية، مثل مفاعلات الجيل الرابع. وتقدِّم هذه الخلاصة الوافية معلومات شاملة عن الإمكانات التي تنطوي عليها بحوث اختبار المواد واختبار الوقود في ٣٠ مفاعل بحوث، منها ما هو عامل وما هو قيد الإنشاء. وتشمل هذه المعلومات مستويات قدرة هذه المفاعلات وطريقة تشغيلها وحالتها الراهنة وتوافرها ولمحة عامة عن تاريخ استخدامها. ويهدف المنشور إلى دعم توسيع نطاق الوصول إلى المعلومات بشأن مفاعلات البحوث القائمة التي تتمتَّع بقدرات بحثية متقدِّمة في مجال اختبار المواد، ومن ثمَّ ضمان زيادة استخدامها في هذا الميدان على وجه الخصوص. ومن المتوقع أن يكون أيضاً بمثابة أداة دعم لإنشاء شبكات إقليمية ودولية من خلال تحالفات مفاعلات البحوث والمراكز الدولية المُسمَّاة من الوكالة والقائمة على مفاعلات البحوث.

العدد NP-T-5.8 من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة؛ الرقم الدولي الموحَّد للكتاب: ٩-١٠٠٨١٦-٠-٩٢-٩٧٨؛ الطبعة الإنكليزية؛ ٣٢,٠٠ يورو؛ ٢٠١٧

www.iaea.org/publications/10984/research-reactors-for-the-development-of-materials-and-fuels



التخطيط الاستراتيجي لمفاعلات البحوث
Strategic Planning for Research Reactors

هو تنقيح لوثيقة الوكالة التقنية IAEA-TECDOC-1212 التي ركَّزت في المقام الأول على تعزيز الاستفادة من مفاعلات البحوث القائمة. وتوفِّر هذه النسخة المحدَّثة أيضاً إرشادات عن كيفية إعداد وتنفيذ خطة استراتيجية لمشروع مفاعل بحوث جديد، وستكون ذات أهمية خاصة للمنظمات التي تُعِدُّ دراسة جدوى لإنشاء مثل هذا المرفق الجديد. وسيمكِّن هذا المنشور المديرين من تحديد القدرات الفعلية والمحتملة لمفاعل بحوث قائم، أو الغرض المتوخَّى ونوع المرفق الجديد، بدقة أكبر. وفي الوقت نفسه، ستكون الإدارة قادرة على مضاهاة هذه القدرات مع احتياجات الأطراف المعنية/ المستخدمين ووضع الاستراتيجية اللازمة لتلبية هذه الاحتياجات. وبالإضافة إلى ذلك، يقدِّم المنشور العديد من المرفقات، بما في ذلك بعض الأمثلة التوضيحية على ما يَرِد في النص الرئيسي والقوالب النموذجية الجاهزة للاستخدام كمساعدة للفريق في صَوْغ خطة استراتيجية.

العدد NG-T-3.16 من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة؛ الرقم الدولي الموحَّد للكتاب: ٠-١٠١٣١٧-٠-٩٢-٩٧٨؛ الطبعة الإنكليزية؛ ٣٨,٠٠ يورو؛ ٢٠١٧

www.iaea.org/publications/10988/strategic-planning-for-research-reactors

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

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

ISSN 1819-1800 19-04387

المؤتمر الدولي المعني
بالأمن النووي
استدامة الجهود وتعزيزها

١٠-١٤ شباط/فبراير ٢٠٢٠،
فيينا، النمسا

الجزء الوزاري
١٠ شباط/فبراير ٢٠٢٠

مؤتمر تنظِّمه

IAEA
الوكالة الدولية للطاقة الذرية
تسخير الذرة من أجل السلام والتنمية

#ICONS2020

CN-278

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

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

أو تابعونا على