مجلة الوكالة

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية

منشور الوكالة الرئيسي | كانون الأول/ديسمبر 2023 | www.iaea.org/ar/bulletin

مفاعلات البحوث

إنقاذ الأرواح بالاستعانة بالنيوترونات: استخدام مفاعلات البحوث في إنتاج النظائر الطبية والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية، ص.6

شبكات مفاعلات البحوث تنهض بعملياتها إلى الحد الأمثل لتلبية الطلب المتزايد، ص.14

الإبقاء على تشغيل مفاعلات البحوث المتقادمة في العالم، ص.16

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية

يصدرها مكتب الإعلام العام والاتصالات
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

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

مديرة التحرير: جوان ليو
التصميم والإنتاج: ريتو كين

مجلة الوكالة متاحة عبر الإنترنت
على الموقع التالي:
www.iaea.org/ar/**bulletin**

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

ووجهات النظر المُعرَب عنها في أي مقالة موقَّعة واردة في مجلة الوكالة لا تُمثِّل بالضرورة وجهة نظر الوكالة الدولية للطاقة الذرية، ولا تتحمَّل الوكالة أي مسؤولية عنها.

الغلاف:
لويس غوانا بيريرا، الهيئة الوطنية للطاقة الذرية في الأرجنتين

تابعونا على

IAEA

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

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

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

وتوفِّر معايير الأمان الصادرة عن الوكالة المبادئ الأساسية والمتطلبات والتوصيات اللازمة لضمان الأمان النووي وتجسيد توافق الآراء الدولي حول ما يشكِّل مستوى عالياً من الأمان لحماية الناس والبيئة من التأثيرات الضارة للإشعاعات المؤينة. وقد وُضِعت معايير الأمان الخاصة بالوكالة لتطبيقها في جميع أنواع المرافق والأنشطة النووية التي تُستَخدَم للأغراض السلمية، وكذلك لتطبيقها في الإجراءات الوقائية الرامية إلى الحد من المخاطر الإشعاعية القائمة.

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

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

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

تعظيم تعدُّدية استخدامات مفاعلات البحوث وأعمارها التشغيلية وتأثيرها

بقلم رافائيل ماريانو غروسي،
المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية

مفاعلات البحوث هي عوامل تحفِّز التقدم العلمي والتكنولوجي. وهي جزء لا يتجزأ من الوفاء بمهمة الوكالة الدولية للطاقة الذرية والمتمثلة في تعزيز الاستخدامات السلمية للعلوم والتكنولوجيا النووية، وهي بمثابة أدوات تُستخدم في التعليم والبحث والتطوير. وتؤدي مفاعلات البحوث، بفضل إمكاناتها الفريدة، دوراً محورياً في إثراء فهمنا للفيزياء النووية وعلوم المواد والطب. ويعود ذلك بدوره على البشرية بمزيد من المنافع الأخرى، بما في ذلك، على سبيل المثال، إنتاج مستحضرات صيدلانية إشعاعية جديدة.

وهناك في الوقت الراهن أكثر من 220 مفاعل بحوث قيد التشغيل في 54 بلداً، ويضاف إليه 25 مفاعلاً يجري التخطيط له أو هو قيد التشييد. والأسطول العالمي من هذه المفاعلات في الوقت الحالي آخذ في التقادم، فمعظم المفاعلات تعمل بالفعل منذ أكثر من 50 عاماً. وإدارة ذلك أمرٌ ممكن، لذلك تساعد الوكالة البلدان على إعداد وتنفيذ خطط لتجديد المفاعلات وتحديثها لكي يستمر تشغيلها بأمان وفعالية.

وفي غضون ذلك، تسعى بعض البلدان المستجدة في المجال النووي إلى تطوير مرافقها الأولى لمفاعلات البحوث، التي يمكن أن تكون بمثابة نقطة انطلاق نحو تنفيذ برامج قوى نووية في المستقبل. وفي المجال النووي، يعتبر الأمان والأمن مسألتان بالغتا الأهمية، وليست مفاعلات البحوث استثناء لهذه القاعدة. والوكالة على أهبة الاستعداد لدعم البلدان في الوفاء بمسؤولياتها الوطنية لضمان أمان مفاعلات البحوث التابعة لها وأمنها والاستفادة الكاملة منها، ابتداءً من مرحلة تصوُّر المفاهيم ووصولاً إلى مرحلة الإخراج من الخدمة. وتقوم الوكالة بذلك من خلال المشاريع البحثية المنسَّقة، وبعثات الخبراء، واستعراضات النظراء، والإرشادات المنشورة، وأدوات التخطيط، والتدريب. وتدعم الوكالة حالياً أكثر من 30 مشروعاً من مشاريع التعاون التقني المعنية بمفاعلات البحوث، بمشاركة بلدان من جميع أنحاء العالم. وهذه المشاريع متعددة الأوجه، تماماً مثل استخدامات مفاعلات البحوث نفسها، وذلك ابتداءً من تعزيز الأمان النووي للمفاعلات واستخدامها وأدائها التشغيلي، ووصولا إلى إرساء البنية الأساسية النووية لأول مفاعل بحوث في بلد ما.

ويعرض هذا العدد من مجلة الوكالة تعدُّدية استخدامات مفاعلات البحوث وتأثيرها العميق في حياتنا وسُبل عيشنا. فمن العلاجات الطبية إلى تطوير أشكال متقدمة من المواد وأنواع الوقود، توفِّر مفاعلات البحوث الأساس الكفيل بتحقيق التقدم العلمي والتنمية الاجتماعية والاقتصادية. وبينما تحاول البلدان جاهدةً التغلُّب على تحديات ملحَّة تتمثَّل في تغيُّر المناخ وأمن الطاقة، تمكِّن مفاعلات البحوث من إيجاد واختبار حلول ابتكارية للطاقة تشمل الانشطار النووي، فضلاً عن الطاقة الاندماجية. ومن المعتاد أيضاً استخدام تلك المفاعلات للمساعدة على تحديد مصادر تلوث الهواء، ودعم إدارة الأراضي، وإنتاج النظائر المشعَّة لتوفير علاجات منقذة للحياة، وتقييم السلامة الهيكلية للمباني.

ومع تعدُّد استخدامات مفاعلات البحوث النووية، فإنَّها تُعَدُّ أداةً مهمةً. وتدعم الوكالة بهمَّة ونشاط البلدان في تحقيق أقصى استفادة من تلك المفاعلات، مع التصميم على ضرورة تمكين الجميع من التمتُّع بفوائدها الواسعة النطاق.

> **"من العلاجات الطبية إلى تطوير أشكال متقدمة من المواد وأنواع الوقود، توفِّر مفاعلات البحوث الأساس الكفيل بتحقيق التقدم العلمي والتنمية الاجتماعية والاقتصادية."**
>
> – رافائيل ماريانو غروسي،
> المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية

الصور: الوكالة الدولية للطاقة الذرية

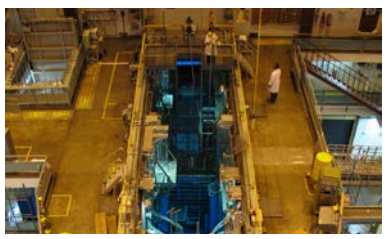
1 تعظيم تعدُّدية استخدامات مفاعلات البحوث وأعمارها التشغيلية وتأثيرها

4 ما هي مفاعلات البحوث؟ وكيف تساهم في التنمية المستدامة؟

6 إنقاذ الأرواح بالاستعانة بالنيوترونات:
استخدام مفاعلات البحوث في إنتاج النظائر الطبية والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية

8 التقدم في مجال التصوير النيوتروني يتيح فرصاً جديدة لاستخدام مفاعلات البحوث المنخفضة القدرة

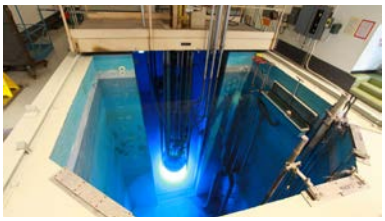
10 خدمة الوكالة الجديدة لاستعراض النظراء تساعد البلدان على زيادة قدرة مفاعلات البحوث وفائدتها إلى أقصى حد



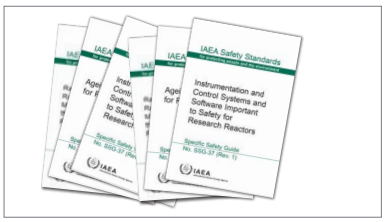
12 دعم علماء أفريقيا في تسخير إمكانات مفاعلات البحوث من أجل التنمية الاجتماعية والاقتصادية

14 شبكات مفاعلات البحوث تنهض بعملياتها إلى الحد الأمثل لتلبية الطلب المتزايد

16 الإبقاء على تشغيل مفاعلات البحوث المتقادمة في العالم



20 التخطيط للموارد البشرية في برامج مفاعلات البحوث



22 السرعة والفعالية
نَهْج جديد لتحديث أدلة الأمان الصادرة عن الوكالة

24 تأمين مفاعلات البحوث في مصر في مواجهة تهديدات الأمن النووي

26 أداتان جديدتان من الوكالة تساعدان البلدان على اتخاذ القرارات بشأن التصرف في الوقود المستهلَك من مفاعلات البحوث

رؤية عالمية

28 **تجربة البرازيل:** مفاعلات بحوث لمنفعة المجتمع

تحديثات الوكالة

30 أخبار الوكالة

32 المنشورات

ماهي مفاعلات البحوث؟ وكيف تساهم في التنمية المستدامة؟

بقلم جوان ليو وشينوين تانغ

أكثر من ثُلث المفاعلات النووية العاملة في جميع أنحاء العالم إنما تُستخدم لأغراض بحثية وتعليمية ولإنتاج النظائر المشعّة، أكثر منه لتوليد الطاقة. وخلافاً لمفاعلات القوى النووية المصمَّمة لتوليد الكهرباء، تُستخدم مفاعلات البحوث النووية في المقام الأول لإنتاج النيوترونات. والنيوترونات هي جسيمات دونَ ذرية غير مشحونة تُستخدم في تطبيقات مختلفة، مثل دراسة المواد على المستوى الذري، وإنتاج النظائر المشعة للطب والصناعة والبحوث، وتصوير البنية الداخلية للأجسام.

وهناك 220 مفاعل بحوث قيد التشغيل في 54 بلداً. بالإضافة إلى نحو 25 مفاعل بحوث قيد التشييد أو في طور التخطيط لها. وهي تؤدي دوراً رئيسياً ليس على صعيد النهوض بالتكنولوجيات النووية فحسب، بل أيضاً على صعيد تحسين العديد من جوانب الحياة اليومية من خلال مساعدة البلدان على تحقيق أهداف التنمية المستدامة. وتتسم مفاعلات البحوث بأحجام وتصاميم متنوعة. ومفاعلات البحوث، التي غالباً ما تحتضنها مؤسسات أكاديمية وبحثية، أصغر حجماً وتعمل في درجات حرارة أقلّ مقارنةً بمفاعلات القوى التقليدية. وتتراوح الطاقة الحرارية لمعظم مفاعلات البحوث من 0 إلى 100 ميغاواط (حراري)، وفي المقابل تبلغ 3000 ميغاواط (حراري) لمفاعل القوى النووية الكبير. وعليهِ، فإنّ كمية الوقود النووي المستخدَم، وحجم النفايات المشعة الناجمة، أقلّ بكثير بالنسبة لمفاعلات البحوث.

هناك 220 مفاعل بحوث قيد التشغيل في 54 بلداً، بالإضافة إلى نحو 25 مفاعل بحوث قيد التشييد أو في طور التخطيط لها.

كيف تُستخدم مفاعلات البحوث؟

تُصمَّم مفاعلات البحوث وتُستخدم لأغراض التجارب والتعليم والتدريب، فضلاً عن إنتاج النظائر المشعة للتطبيقات الطبية والصناعية. وهي توفر بيئة خاضعة للرقابة لدراسة وفهم سلوك المواد، والتفاعلات النيوترونية، والآثار الإشعاعية. وإلى جانب دعم البحوث في العديد من التخصصات، لمفاعلات البحوث أهميةٌ محوريةٌ للنهوض بالطاقة النووية. ومفاعلات البحوث بمثابة منصات اختبار لتكنولوجيات المفاعلات المبتكرة ما يجعلها توفر بيئة واقعية لتجربة المواد والوقود النووي. وتوفر مفاعلات البحوث أيضاً فرصاً للتعليم والتدريب للعاملين في المرافق النووية، وموظفي الوقاية من الإشعاع والموظفين الرقابيين، فضلاً عن الطلبة والباحثين.

كيف تدعم مفاعلات البحوث أهداف الأمم المتحدة للتنمية المستدامة؟

أهداف التنمية المستدامة تتألف من 17 غاية عالمية وضعتها الأمم المتحدة في عام 2015 للتصدي للتحديات العالمية، مثل الصحة والتعليم والطاقة. وتسهم مفاعلات البحوث في معالجة العديد من أهداف التنمية المستدامة، بما في ذلك:

الهدف 3 من أهداف التنمية المستدامة – الصحة الجيدة والرفاه: تؤدي مفاعلات البحوث دوراً أساسياً في التصوير الطبي وعلاج السرطان. وهي تنتج نظائر مشعة تُستخدم في 85 في المائة من إجراءات الطب النووي، وهي ضرورية لتطوير مستحضرات صيدلانية إشعاعية جديدة، ليستفيد ملايين الأشخاص سنوياً من خلال تعزيز أساليب التشخيص والعلاجات لمختلف أنواع السرطان. وتساعد مبادرة أشعة الأمل، وهي مبادرة رئيسية للوكالة لمكافحة السرطان، البلدان على زيادة الحصول على العلاجات المنقذة للحياة من هذا القبيل.

الهدف 4 – التعليم الجيد و**الهدف 5** – المساواة بين الجنسين: كأداة تعليمية وتدريبية، تخدم مفاعلات البحوث الطلبة من الجنسين. وتؤدي حلقات العمل والتدريبات والبعثات التي تدعمها الوكالة، فضلاً عن برنامج المنح الدراسية ماري سكلودوفسكا-كوري وبرنامج ليزا مايتنر التابعان للوكالة، إلى تنمية قوة عاملة شاملة تسهم في الابتكار العلمي والتكنولوجي العالمي وتعطيه الزخم نحو الأمام.

الهدف 6 من أهداف التنمية المستدامة – المياه النظيفة والصرف الصحي: تؤدي مفاعلات البحوث دوراً رئيسياً في تطوير تقنيات التعقيم القائمة على التشعيع لمعالجة المياه. والمعالجة الإشعاعية لمياه الصرف الصحي طريقة فعّالة للقضاء على الكائنات الحية الدقيقة الضارة، ومسبِّبات الأمراض والملوِّثات الأخرى في المياه، ومن ثم جعلها آمنة للاستهلاك والاستخدامات الأخرى.

الهدف 7 من أهداف التنمية المستدامة – طاقة نظيفة وبأسعار معقولة: تمكّن مفاعلات البحوث من تطوير تكنولوجيات جديدة للطاقة واختبارها. ويمكن للباحثين تقييم مفاهيم المفاعلات النووية الجديدة والوقود والمواد لتحسين تصميمات مفاعلات القوى النووية بما يعزز الأمان والكفاءة والأداء للمساعدة على دعم مستقبل الطاقة النظيفة وتعُد مبادرة تسخير الذرة من أجل عالمٍ خالٍ من الانبعاثات (Atoms4NetZero) مبادرة للوكالة من أجل مساعدة جهود البلدان على تسخير الطاقة النووية من أجل الوصول بصافي الانبعاثات إلى مستوى الصفر. وتُستخدم مفاعلات البحوث أيضاً، مع تقنيات مثل التصوير بالنيوترونات، وتشتت النيوترونات، وتوصيف عمق النيوترونات، لدراسة مفاهيم الطاقة غير النووية مثل خلايا وقود الهيدروجين وبطاريات أيونات الليثيوم.

الهدف 8 – العمل اللائق والنمو الاقتصادي: يمكن للطلاب والباحثين والمهنيين في المجال النووي اكتساب الخبرات العملية والمعارف من خلال التدريبات التي تتم بالاستعانة بمفاعلات البحوث. ويمكن لهذه التدريبات أن تهيئهم للفرص المتاحة في الميدان النووي والميادين المتصلة به. وعلاوة على ذلك، تُستخدم مفاعلات البحوث لتوفير المنتجات والخدمات، مثل عملية تطعيم السيليكون، والتي تُدخل الشوائب في السيليكون لتعديل الخصائص الكهربائية للأجهزة الإلكترونية.

الهدف 9 من أهداف التنمية المستدامة – الصناعة والابتكار والبنية التحتية: تعزز مفاعلات البحوث الابتكار في مختلف المجالات، من الإلكترونيات ومواد البناء للظروف القاسية إلى الطب وأكثر من ذلك. والنيوترونات التي تنتجها مفاعلات البحوث هي أيضاً قيّمة للاختبار غير المتلِف في مختلف الصناعات، وهو ما يضمن جودة وسلامة الأجسام.

منظر جوي لقلب مفاعل البحوث بجامعة ميسوري (MURR) في الولايات المتحدة الأمريكية. ينتج هذا المفاعل النظائر المشعة المستخدمة في العلاجات المنقذة للحياة لسرطان الكبد والبنكرياس والبروستاتا والغدة الدرقية.
(الصورة: جامعة ميسوري)

الهدف 17 من أهداف التنمية المستدامة – عقد الشراكات لتحقيق الأهداف العمل من أجل تحقيق التنمية المستدامة هو جهد جماعي، ويشارك العديد من المعاهد والجامعات التي تحتضن مفاعلات البحوث في مشاريع تعاونية وأنشطة بحثية تعزز التعاون الإقليمي والدولي بشأن العلوم والتكنولوجيا والابتكار والنفاذ إليها.

ما دور الوكالة؟

تدعم الوكالة البلدان في الاستخدام ذي الكفاءة والاستدامة لمفاعلات البحوث حتى تتمكن من جني فوائد هذه المرافق النووية بالكامل. وتوفر الوكالة دورات تدريبية وحلقات عمل في مجال مفاعلات البحوث، فضلاً عن إرشادات منشورة، ومعايير أمان، ودورات تعلُّم إلكتروني. وتعزز مشاريع الوكالة البحثية المنسَّقة التعاون الدولي والتواصل فيما بين الخبراء، مع النهوض بالعلوم التي تنطوي على استخدام مفاعلات البحوث. وبالإضافة إلى ذلك، تدعم بعثات الاستعراض التي تضطلع بها الوكالة لمفاعلات البحوث مشاريعَ مفاعلات البحوث الجديدة. وهي تقوم بتقييم ممارسات البلدان باستخدام الإرشادات والمعايير الصادرة عن الوكالة لتحسين تشغيل مرافق المفاعلات، واستخدامها وأمانها وصيانتها. ويركّز العديد من مشاريع التعاون التقني للوكالة أيضاً على تعزيز القدرات التقنية للبلدان في مجال التشغيل والصيانة من أجل تحسين أمان مفاعلات البحوث وموثوقيتها واستخدامها.

إنقاذ الأرواح بالاستعانة بالنيوترونات:

استخدام مفاعلات البحوث في إنتاج النظائر الطبية والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية

بقلم أمير رضا جليليان وماري ألبون

تؤدي الإنجازات التي تحققت في إنتاج النظائر المشعة الطبية بكفاءة وفي استحداث المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية إلى تحسين نتائج التشخيص وتعزيز فعالية العلاج في سياق مكافحة العديد من أنواع السرطان والأمراض الأخرى. ونتيجة لذلك، يتزايد الطلب باستمرار على النظائر المشعة، التي تُنتج أساسا باستخدام مفاعلات البحوث أو المعجلات، كما أنَّ عدد المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية المستخدمة إكلينيكيا آخذ في الازدياد بمعدل سريع.

وقالت السيدة ميليسا دينيكي، مديرة شعبة العلوم الفيزيائية والكيميائية في الوكالة: "إن النظائر المشعة الطبية والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية يمكن أن تكون عاملاً حاسماً في إنقاذ الأرواح في حال تحضيرها واستخدامها بطريقة صحيحة".

والنظائر المشعة الطبية هي عناصر مشعة تُستخدم في تركيبات صيدلانية ترتبط فيها بجزيئات معينة ومن ثم تنبعث منها إشعاعات يمكن تتبعها بسهولة، مما يجعلها مفيدة للتشخيص الطبي. ويمكن استخدامها أيضا لأغراض علاجية، عن طريق استهداف أنسجة الأورام لعلاج بعض أنواع السرطان، مثل سرطانات البروستاتا والثدي والأمعاء.

أما المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية فهي عقاقير تجمع بين نظير مشع طبي وجزيء نشط بيولوجيًا.

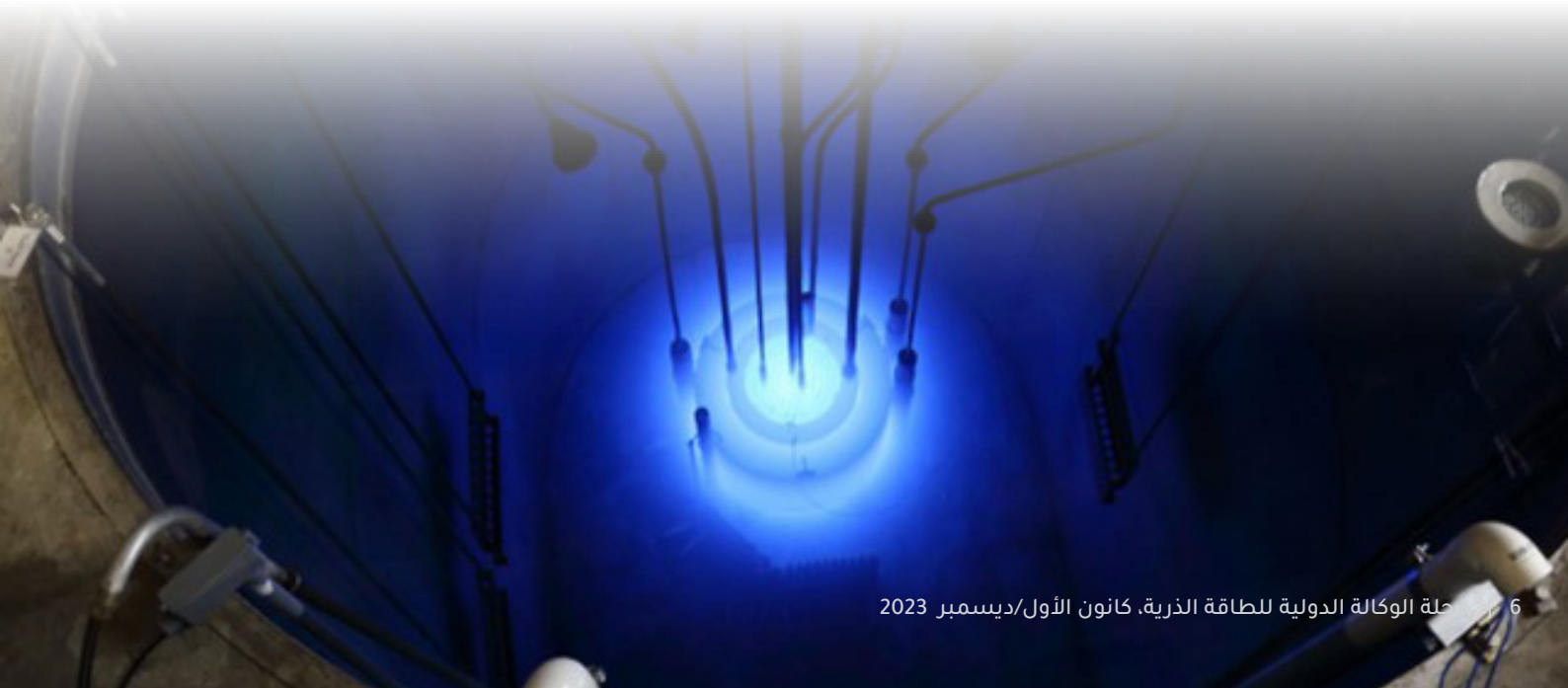
وعلى سبيل المثال، ففي حالة المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية التشخيصية المحتوية على نظائر مشعة تنبعث منها أشعة غاما، يمكن استهداف أعضاء أو أنسجة أو خلايا بعينها. ويُعطى العقار للمرضى من خلال الحقن أو الاستنشاق أو عن طريق الفم، وتُستخدم كاميرا خارجية كاشفة لأشعة غاما لإنتاج صور للأعضاء أو الأنسجة المستهدفة دون أي تدخل جراحي. أما المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية العلاجية فتحتوي على نظائر مشعة باعثة للجسيمات تتراكم في الأنسجة المستهدفة لقتل الخلايا السرطانية.

ومفاعلات البحوث هي المصدر الرئيسي لإنتاج النظائر المشعة الطبية، بما في ذلك الموليبدينوم–99 واليود–131 والهولميوم–166، من بين نظائر أخرى. ويُستخدم اليود–131 لتشخيص وعلاج سرطان الغدة الدرقية، وهو من أول النظائر المشعة التي أُنتجت في مفاعلات البحوث في أوائل أربعينات القرن العشرين. ورغم أن عدد النظائر المشعة الطبية التي يجري إنتاجها حاليا يقترب من 35 نظيراً، يستأثر الموليبدينوم–99 وحده بالنصيب الأكبر. والموليبدينوم–99 هو النظير الأصلي للتكنيتيوم–99 شبه المستقر، الذي يُستخدم في نحو 85 في المائة من إجراءات الطب النووي المنفَّذة حول العالم لتشخيص السرطانات وأمراض القلب والمخ والعظام – أي ما يصل إلى 50 مليوناً من إجراءات الطب النووي سنويا.

يبلغ عدد البلدان التي لديها مفاعلات بحوث قادرة على إنتاج النظائر المشعة **40** بلداً، ومن بين هذه البلدان هناك **25** بلداً ينتج بالفعل نظائر مشعة للتطبيقات الطبية.

عملية إنتاج النظائر المشعة الطبية عن طريق تشعيع مادة مستهدفة في قلب مفاعل بحوث في كلية ريد بالولايات المتحدة الأمريكية.

(الصورة من: دون ماكالاه، موقع Flickr)



واللوتشيوم–177 هو نظير مشع مهم آخر يُنتج في مفاعلات البحوث. وقالت السيدة ريناتا ميكولايتشاك، الباحثة في مركز النظائر المشعة التابع للمركز الوطني للبحوث النووية في بولندا: " اللوتشيوم–177 هو الركيزة الأساسية لإنتاج المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية العلاجية المستخدمة لعلاج المرضى الذين يعانون من آلام العظام وسرطانات البروستاتا والمعدة والأمعاء. وهناك ما لا يقل عن 20 من العقارات الجديدة التي يجري العمل على إعدادها باستخدام اللوتشيوم–177 حول العالم".

وفي أيار/مايو 2023، أطلقت الوكالة مشروعا بحثيا منسقا لاستحداث مستحضرات صيدلانية إشعاعية جديدة لعلاج السرطان باستخدام اللوتشيوم–177. وقالت السيدة أرونا كورد، وهي عالمة متخصصة في الصيدلة الإشعاعية بالوكالة: "لقد أفضت التطورات الأخيرة في العلاجات الإشعاعية القائمة على اللوتشيوم-177 إلى نقلة نوعية في إدارة علاج أورام الغدد الصماء العصبية وسرطانات البروستاتا - مع تحسين نتائج المرضى. ومع ذلك، فلا تزال هناك فجوات في فهمنا للسلوك البيولوجي للمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية العلاجية الموسومة باللوتشيوم–177". ويهدف المشروع البحثي المنسق إلى تحديد ومعالجة العوامل التي قد تحد من فعالية هذه العلاجات الإشعاعية. وسيعمل المشروع على استحداث وتنفيذ أسلوب تقييم سابق على مرحلة التطبيق الإكلينيكي، لتقييم قدرة المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية القائمة على اللوتشيوم–177 على استهداف بعض أنواع السرطان الرئيسية. كما سيوفر مبادئ توجيهية بشأن الوسم الإشعاعي وتقييم المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية القائمة على اللوتشيوم–177 من حيث الجودة والسلامة والفعالية.

إنتاج النظائر المشعة

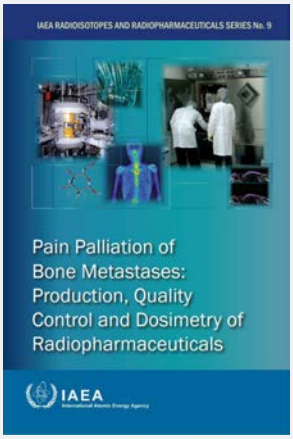
يبلغ عدد البلدان التي لديها مفاعلات بحوث قادرة على إنتاج النظائر المشعة 40 بلداً، ومن بين هذه البلدان هناك 25 بلداً ينتج بالفعل نظائر مشعة للتطبيقات الطبية. وفي معظم الحالات، يجري إنتاج النظائر المشعة للسوق المحلي. وهناك عدد أقل من البلدان التي تصدر النظائر المشعة إلى السوق الإقليمية أو العالمية، في حين يقتصر تصدير الكميات الكبيرة على عدد محدود من البلدان. وتوفر الوكالة المعارف والخبرات للبلدان في جميع أنحاء العالم بشأن كيفية استخدام مفاعلات البحوث في تطوير وصنع هذه المواد التي تؤدي دورا حاسم الأهمية في التشخيص والعلاج. وتوفر مفاعلات البحوث مصدرا مأمونا ومستقرا للنظائر المهمة للتطبيقات الطبية، بما يشمل المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية، وكذلك المصادر العلاجية القائمة على النظائر المشعة، مثل العلاج بالتشعيع الداخلي، وتعقيم الأجهزة الطبية.

وما زال الطلب عليها في ازدياد مستمر. وقال السيد برنار بونسار، مدير مشروع النظائر المشعة في المركز البلجيكي للبحوث النووية: "لا يزال الطريق أمامنا طويلاً حتى نتمكن من تلبية الطلب المتزايد على النظائر المشعة القائمة على مفاعلات البحوث.

وتدعم الوكالة البلدان في إنتاج النظائر المشعة باستخدام مفاعلات البحوث لا للاستخدامات الطبية فحسب، وإنما أيضا للأغراض الصناعية وأغراض البحث والتطوير. وتقدم الوكالة هذا الدعم من خلال وضع المنشورات الإرشادية، وعقد الاجتماعات التقنية لتبادل المعلومات والخبرات الفنية، وتنظيم المشاريع البحثية المنسقة التي تشارك فيها مؤسسات بحثية من بلدان متعددة، وتعزيز بناء القدرات عن طريق أنشطة التدريب والزيارات العلمية والمنح الدراسية. وتعمل الوكالة أيضا من خلال برنامجها للتعاون التقني من أجل تقديم الدعم إلى فرادى البلدان وتشجيع المشاريع الإقليمية والأقاليمية.

"هدفنا النهائي هو المساعدة على زيادة الإنتاج العالمي من هذه المواد التي لا غنى عنها في مجال الطب النووي وسد الفجوات في توافرها في بعض المناطق، حتى يتمكن المرضى المصابون بالسرطان وغيره من الأمراض المهددة للحياة من الحصول على الرعاية التي يحتاجون إليها."

– ميليسا دينيكي،
مديرة شعبة العلوم الفيزيائية والكيميائية،
الوكالة الدولية للطاقة الذرية



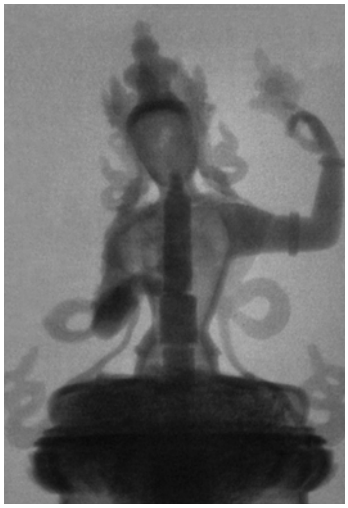
صدر عن الوكالة مؤخرا منشوران يتناولان إنتاج المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية واستخدامها إكلينيكيا لعلاج آلام المفاصل لدى المصابين بالتهاب المفاصل الروماتويدي والهيموفيليا، وللحد من الألم المرتبط بحالات انتشار السرطان إلى العظام في المراحل المتقدمة. ويمكن لهذه العلاجات تحسين نوعية حياة المصابين بهذه الأمراض.

Production, Quality Control and Clinical Applications of Radiosynovectomy Agents | IAEA
(إنتاج عوامل الاستئصال الإشعاعي للغشاء الزليلي ومراقبة جودتها وتطبيقاتها الإكلينيكية)

Pain Palliation of Bone Metastases: Production, Quality Control and Dosimetry of Radiopharmaceuticals | IAEA
(تسكين الألم في حالات انتشار السرطان إلى العظام: إنتاج المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية ومراقبة جودتها وقياس جرعاتها)

التقدم في مجال التصوير النيوتروني يتيح فرصاً لاستخدام مفاعلات البحوث المنخفضة القدرة

بقلم ماري ألبون



كشف نظام التصوير النيوتروني في الجامعة التقنية التشيكية في براغ عن وجود نحت لمحور العالم (وهو رمز للصلة بين العالمين المادي والروحي) داخل تمثال للإلهة "تشاما" في ديانة بون التبتية.
(الصورتان من: لوبومير سكلينكا، الجامعة التقنية التشيكية)

التصوير

التصوير النيوتروني هو تقنية غير تدخلية لفحص الهياكل الداخلية للأجسام تُنفَّذ باستخدام مفاعلات البحوث أو المصادر النيوترونية القائمة على المعجلات. وقالت السيدة مولي كيت غافيلو، وهي موظفة مشاريع معاونة في الوكالة، إن التصوير النيوتروني "أداة مدهشة لا يمكن حصر إمكانات استخدامها في البحث والتطوير على المستويين العلمي والصناعي، وكذلك في مجالي التحليل الجنائي ودراسة القطع التراثية الثقافية". ويمكن استخدام التصوير النيوتروني لاختبار المحركات ووسائل امتصاص الصدمات ورِيَش التوربينات. كما يمكن استخدامه لتتبع حركة المياه داخل نبات حي، أو لفحص التركيب الداخلي لجمجمة ديناصور متحجرة مليئة بالصخور الحديدية.

ورغم أن التصوير النيوتروني يُستخدم منذ خمسينات القرن العشرين، فحتى عقد التسعينات من القرن نفسه كانت الصور المنتجة باستخدامه قاصرة على صيغة الصور الثنائية الأبعاد القائمة على رقاقات التصوير. ومع ظهور التقنيات الرقمية، بما في ذلك الكاميرات الرقمية المتطورة، صار التصوير النيوتروني يُستخدم الآن بطريقة التصوير المقطعي الحاسوبي، أي أخذ مئات الصور من زوايا مختلفة لتكوين صورة ثلاثية الأبعاد بتفاصيل عالية الدقة.

وحتى وقت قريب، لم يكن التصوير النيوتروني بطريقة التصوير المقطعي الحاسوبي، أو التصوير الثلاثي الأبعاد، ممكنا باستخدام المصادر النيوترونية المنخفضة التدفق، مثل مفاعلات البحوث المنخفضة القدرة، لأسباب بعضها تقني والآخر اقتصادي.

صور عالية الجودة بمستوى قدرة منخفض

تغير هذا في عام 2021، حين أثبتت السيدة يانا ماتوشكوفا، طالبة الدكتوراه في الجامعة التقنية التشيكية في براغ، والمشرف على دراستها السيد لوبومير سكلينكا، إمكانية إجراء التصوير النيوتروني بطريقة التصوير المقطعي المحوسب باستخدام مفاعل البحوث بمستوى قدرة 500 واط.

وجاء هذا الإنجاز في أعقاب تطورين: أولهما أنَّ الكاميرات المستخدمة في التصوير الفلكي قد أصبحت متاحة بتكلفة منخفضة وجودة عالية منذ العقد السابق؛ والثاني هو تمكُّن الباحثين في المصدر النيوتروني البحثي Heinz Maier–Leibnitz (مفاعل البحوث FRM II) في جامعة ميونيخ التقنية بألمانيا من الاستفادة من إمكانات هذه الكاميرات الجديدة، ومن ثم تقديمهم في عام 2016 أول جهاز مصغر للتصوير المقطعي النيوتروني، بما في ذلك في سياق المفاعلات المنخفضة القدرة. وبقيادة السيد بوركهارد شيلينغر، استحدث الفريق وركَّب نظاماً منخفض التكلفة وعالي الجودة للتصوير النيوتروني يضمُّ علبة لجهاز كشف مصنوعة باستخدام الطباعة الثلاثية الأبعاد ونسخة مخفضة النطاق من برنامج التحكم المتخصص المستخدم في مرفق التصوير بالنظام التجريبي للتصوير المقطعي النيوتروني والإشعاعي المتقدم (مرفق ANTARES) في مفاعل البحوث FRM II. وجاءت جودة الصور المأخوذة بأجهزة الكشف الجديدة مطابقة لجودة الصور التي تُنتج باستخدام النظام الأحدث المستخدم عادة في مرفق ANTARES.

وأرادت السيدة ماتوشكوفا اختبار التصوير النيوتروني باستخدام المصادر النيوترونية المنخفضة القدرة، مثل مفاعل التدريب VR–1 التابع للجامعة التقنية التشيكية والذي تبلغ قدرته 500 واط — وللمقارنة، فالمفاعل FRM II تبلغ قدرته 20 ميغاواط، أي أنه ينتج من النيوترونات كماً يعادل 40 000 ألف ضعف ما ينتجه مفاعل الجامعة التقنية التشيكية. وتبيَّن أن إجراء هذا الاختبار سيكون صعباً، لأنها لم تتمكن من الوصول إلى مرافق الجامعة التقنية التشيكية لإجراء التجارب في ظل القيود المفروضة بسبب جائحة كوفيد-19.

واتصل السيد سكلينكا بالسيد شيلينغر للحصول لاستشارته بشأن استنساخ النظام المنخفض التكلفة الذي استحدثه فريق مفاعل البحوث FRM II، وقدم السيد شيلينغر المشورة للسيدة ماتوشكوفا في مكالمات عن طريق الفيديو وزودها بمعلومات حول تصميم النظام وكيفية الحصول على الأجزاء اللازمة. وبالتدريج، نجحت السيدة ماتوشكوفا في بناء نظام للتصوير النيوتروني في منزلها واختبرته بالضوء المرئي.

وفور رفع القيود المفروضة بسبب جائحة كوفيد-19، ركَّبت السيدة ماتوشكوفا النظام الذي صنعته في مفاعل الجامعة التقنية التشيكية ونجحت في إنتاج أول صورة نيوترونية رقمية ثنائية الأبعاد في الجامعة التقنية التشيكية، وبعدها أنتجت صورة نيوترونية مقطعية حاسوبية عن طريق التعرض للنيوترونات لمدة 12 ساعة عند مستوى قدرة يبلغ 500 واط. ومقتضى ذلك أنه يمكن الحصول على النتائج

المنشودة في غضون يوم واحد وبمستوى قدرة أقل بكثير — حيث كانت قدرة مفاعلات البحوث التي تُستخدم فيها هذه التقنية تتراوح بين مئات الكيلوواطات وعشرات الميغاواطات.

وتعمل السيدة ماتوشكوفا الآن على تحسين نظام التصوير النيوتروني بالجامعة التقنية التشيكية في إطار دراستها للحصول على درجة الدكتوراه. ويُستخدم النظام حاليا للأغراض التعليمية في المقام الأول، بيد أنه يُستخدم أيضا لإجراء البحوث، على سبيل المثال، لفحص القطع التراثية الثقافية بالتعاون مع المعرض الوطني في براغ.

تقاسم التكنولوجيات والخبرات

أثبتت تجربة مفاعل البحوث FRM II والجامعة التقنية التشيكية أنه يمكن استخدام جهاز مصغر في أي مصدر نيوتروني، بما في ذلك مفاعلات البحوث ذات القدرة البالغة الانخفاض. وقال السيد شيلينغر إن فريقه مستعد لإتاحة مخططات التصميم والبرامجيات مجانا والمساعدة على تركيب الجهاز وإعداده على الصعيد الدولي.

وفي ضوء صُنع أجزاء الجهاز باستخدام طابعة ثلاثية الأبعاد، واستخدام برامجية مخفضة النطاق بحيث يمكن وضعها على حاسوب محمول، وانخفاض أسعار كاميرات التصوير الفلكي، يمكن تجميع الحزمة بأكملها بتكلفة أقل من 5000 يورو ويمكن نقلها بسهولة. وفي عام 2022، قاد السيد شيلينغر والسيد آرون كرافت، وهو عالم بحوث في مختبر أيداهو الوطني في الولايات المتحدة الأمريكية، بعثة خبراء تابعة للوكالة لتركيب نظام رقمي للتصوير النيوتروني في مفاعل البحوث RECH–1 التابع للجنة الطاقة النووية في شيلي. وأحضر السيد شيلينغر المكونات في حقيبة سفر، وتم إعداد النظام في غضون يومين.

وقال السيد شيلينغر: "إن الوكالة تؤدي دورا رئيسيا في إتاحة هذه التكنولوجيا لمفاعلات البحوث المنخفضة القدرة. وبالاستعانة بأجهزة الكشف الحساسة الجديدة، يفتح ذلك مجال تطبيق جديد تماما للاستفادة من هذه المفاعلات التي لا توفر ما يكفي من النيوترونات لإجراء تجارب التشتت النيوتروني المعقدة. ويؤدي التصوير النيوتروني إلى زيادة إمكانية الاستفادة من هذه المفاعلات في التعليم والبحث والتعاون مع المتاحف".

وتدعم الوكالة التعاون التقني مع مفاعلات البحوث، بوسائل منها إيفاد بعثات الخبراء وشراء المعدات. وتعمل أيضا على نشر الأدلة الإرشادية عن التصوير النيوتروني، وتوفير التدريب الإقليمي، والتوسع في إتاحة فرص التعلم الإلكتروني. وقد مكّنت الوكالة أيضا السيدة ماتوشكوفا من قضاء أربعة أشهر في مفاعل البحوث RA-6 في الأرجنتين للمساعدة على تركيب واختبار نظام تصوير نيوتروني منخفض التكلفة في عام 2022.

وبالمثل، تم تركيب نظام مزدوج للتصوير بالأشعة السينية والتصوير النيوتروني وبدأ تشغيله في مرفق علوم النيوترونات التابع للوكالة في زايبرسدورف بالنمسا، حيث يُستخدم في التدريب.

"بالاستعانة بأجهزة الكشف الحساسة الجديدة، يفتح ذلك مجال تطبيق جديد تماما للاستفادة من هذه المفاعلات التي لا توفر ما يكفي من النيوترونات لإجراء تجارب التشتت النيوتروني المعقدة."

- بوركهارد شيلينغر، عالم متخصص في الأجهزة، جامعة ميونيخ التقنية

السيد لوبومير سكلينكا والسيدة يانا ماتوشكوفا والسيد بوركهارد شيلينغر في مرفق مفاعل البحوث بالجامعة التقنية التشيكية في براغ.

ما التصوير النيوتروني؟

التصوير النيوتروني هو طريقة غير تدخلية لفحص الهياكل الداخلية للأجسام المعتمة واستكشاف تركيبها. وهو قائم على مبادئ مشابهة لمبادئ التصوير بالأشعة السينية. بيد أنَّه خلافاً للأشعة السينية التي تمتصها المواد العالية الكثافة مثل المعادن، تخترق الحزم النيوترونية معظم المعادن والصخور، وتخففها بعض العناصر الخفيفة مثل البورون والكربون والهيدروجين والليثيوم. ويمكن استخدام النيوترونات أيضا للمساعدة على تصوير المجالات المغناطيسية، ورصد الإجهاد في المواد التكنولوجية والهيكلية.

خدمة الوكالة الجديدة لاستعراض النظراء تساعد البلدان على زيادة قدرة مفاعلات البحوث وفائدتها إلى أقصى حد

بقلم إيما ميدجلي

وتعتبر مفاعلات البحوث أدوات متعددة الاستخدامات. ومع أنها لا تُستَخدم لتوليد الكهرباء، فإنَّ بعضها يساهم في تطوير حلول ابتكارية للطاقة النظيفة، في حين يوفر البعض الآخر نظائر مشعة منقذة للحياة ويكشف حقائق جديدة عن التراث الثقافي. ويُستخدم العديد من مفاعلات البحوث بكامل طاقتها، ولكن بعضها لا يُستغلُّ استغلالاً كاملاً. ولمساعدة البلدان على تسخير الإمكانات الكاملة لمفاعلات البحوث لديها بطريقة مستدامة وفعالة، أطلقت الوكالة الاستعراض المتكامل لاستخدام مفاعلات البحوث (الاستعراض IRRUR).

وقال نونو بيسوا باراداس، وهو أخصائي في مفاعلات البحوث في الوكالة: "إنَّ العديد من مفاعلات البحوث شُيِّدت في خمسينات وستينات القرن العشرين لكي تلبي حاجة ماسة آنذاك. واليوم، أصبحت إمكانات مفاعلات البحوث مفهومة بصورة أفضل، ويجري تطوير تطبيقات جديدة للمفاعلات الجديدة والقديمة على حد سواء".

وقد نُفِّذ الاستعراض الافتتاحي IRRUR بالاشتراك مع بعثة تقييمات تشغيل وصيانة مفاعلات البحوث (البعثة OMARR) في عام 2022 في مفاعل البحوث RECH–1 من النوع الحوضي الذي يعمل بقدرة 5 ميغاواط في مركز لا رينا للبحوث النووية في سانتياغو، بشيلي، بعد إجراء بعثة استعراض تجريبية في إيطاليا في عام 2019. وقد جلب فريق الخبراء الدوليين المعني بالاستعراض IRRUR طائفة من المعلومات الأساسية العلمية والإدارية والتشغيلية المتصلة باستخدام مفاعلات البحوث وتطبيقاتها.

وقال لويس هويرتا، المدير التنفيذي لهيئة الطاقة النووية الشيلية: "إنَّ العلوم والتكنولوجيات النووية تساهم في تحقيق الأهداف الإنمائية الوطنية في مجالات الصحة والبيئة والموارد المائية والزراعية والطاقة والتعدين والصناعة، من بين مجالات أخرى". "وبهدف إجراء استعراض شامل للمفاعل النووي الشيلي RECH–1، قدَّمت هذه البعثات الخاصة بالوكالة تحليلاً لقدراتنا وإمكاناتنا، من أجل تحسين التشغيل والصيانة وتوسيع نطاق استخدامات وتطبيقات مرفقنا النووي، لا سيما فيما يتعلق بمبادرات البحث والتطوير الجديدة."

وانضم خبراء من الأرجنتين وبلجيكا والولايات المتحدة الأمريكية والوكالة، فضلا عن مراقب من بيرو، إلى البعثة التي استغرقت خمسة أيام. ووجد الفريق أن هناك فرصاً لتوسيع نطاق استخدام المفاعل، مثل إقامة شراكة مع الجهات المعنية في إنتاج النظائر الطبية لوضع خطط خاصة بالاحتياجات المستقبلية. وأوصى الفريق أيضا بأن يضع المرفق استراتيجية للتوعية من أجل زيادة أوساط مستخدميه.

استكمل فريق من الوكالة ومن الخبراء الدوليين بعثة استعراض متكامل لاستخدام مفاعلات البحوث في مختبر أيداهو الوطني في حزيران/يونيه 2023. (الصورة من: مختبر أيداهو الوطني)

ومنذ إيفاد البعثة، جرى تركيب نظام للتصوير النيوتروني في المفاعل الشيلي، بمساعدة من الوكالة، مما فتح خطوطا جديدة للبحث في المفاعل. والتصوير النيوتروني هو طريقة غير متلفة لتصوير الأجسام، على غرار التصوير الإشعاعي بالأشعة السينية. ويمكن استخدام هذه الطريقة لفحص أنواع الوقود النووي والمكونات الإلكترونية وشفرات توربينات المحركات، وكذلك لتحديد خصائص خلايا الوقود والعينات الجيولوجية.

دعم حلول الطاقة النظيفة

لوحظت أهمية مفاعلات البحوث في البحث والتطوير، بما يشمل البحوث المتعلقة بمواد مفاعلات الانشطار النووي والاندماج النووي، في بعثتين متتاليتين في إطار الاستعراض IRRUR في الولايات المتحدة الأمريكية في عام 2023. فقد زارت أفرقة دولية من الخبراء مختبر أيداهو الوطني ومختبر المفاعلات النووية في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا.

ويُستَخدم مفاعل البحوث التابع لمختبر أيداهو الوطني أساساً في البحوث المتعلقة بالتصوير الإشعاعي النيوتروني وغير ذلك من التقنيات غير المتلفة، ولأغراض عمليات التشعيع النيوتروني، التي تستكشف كيف يتفاعل الوقود النووي والمواد الهيكلية مع الظروف العادية والقصوى. ويضطلع المفاعل التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا بعمليات تشعيع تكمِّل عمل مختبر أيداهو الوطني وغيره من مرافق البحوث النووية في الولايات المتحدة، وهو يدعم البحوث في مجال تطوير مواد الانشطار النووي والاندماج النووي على حد سواء.

وتوصَّلت البعثة إلى أن مختبر أيداهو الوطني يمكن أن يحسِّن بعض القدرات النيوترونية الرقمية على تعزيز بحوثه لإيجاد حلول ابتكارية للطاقة النووية، بينما يستطيع معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا أن يستفيد من المشاركة بشكل مثمر أكثر مع مجتمع العلوم والتكنولوجيا النووية العالمي. وبالإضافة إلى ذلك، أوصت البعثة بأن يقوم مختبر المفاعلات النووية التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا بإنعاش بنيته الأساسية المتقادمة، من أجل تحسين استخدام المفاعلات على نحو يعول عليه وتوفير بيئة أكثر جاذبية للمستخدمين الخارجيين والطلاب والموظفين.

وقال رون كرون، مدير المختبر المساعد المعني بمجمع المواد والوقود في مختبر أيداهو الوطني والعضو في فريق الاستعراض IRRUR في حديثه عن البعثة التي أوفدت إلى معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، إنه يرى أن مختبر المفاعلات النووية التابع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا لديه القدرة على أن يصبح مرفقاً "رائدا على مستوى العالم" للتشعيع المخصص للوقود والمواد النووية. وقال: "مع الاستثمار الإضافي في البنية الأساسية وبمشاركة خارجية أكبر، أعتقد أنه سيدعم البحوث المهمة الرامية إلى إيجاد حلول ابتكارية للطاقة تنطوي على الانشطار النووي، وكذلك الاندماج النووي، طيلة العقود القادمة".

وتنفَّذ بعثات الاستعراض IRRUR بناء على الطلب، ويمكن إما توجيهها إلى جميع أنشطة مفاعل بحوث ما أو جعلها تقتصر على مجالات محددة في البعثة الموفدة للمرفق. وتستند الاستعراضات إلى إرشادات الوكالة بشأن التخطيط الاستراتيجي لمفاعلات البحوث واستخدامها، وإلى أفضل الممارسات الدولية.

وقد نشرت الوكالة في عام 2023 المبادئ التوجيهية للاستعراض IRRUR، وهي مبادئ توجيهية تتيح معلومات عن إعداد بعثات IRRUR وتنفيذها وتقديم تقارير عنها، فضلا عن إتاحة معلومات عن التقييمات الذاتية الخاصة بالمنظمات المشغِّلة لمرافق مفاعلات البحوث. وفي عام 2020، أطلقت الوكالة أيضا دورة للتعلم الإلكتروني بشأن التخطيط الاستراتيجي لتعزيز استخدام مفاعلات البحوث.

بعثات الاستعراض IRRUR

2019: إيطاليا (بعثة تجريبية)

2022: شيلي، بيرو، جنوب أفريقيا

2023: جمهورية إيران الإسلامية، الولايات المتحدة الأمريكية (بعثتان)

2024: كندا (بعثة مخطط لها)

"إنَّ العديد من مفاعلات البحوث شُيِّدت في خمسينات وستينات القرن العشرين لكي تلبي حاجة ماسة آنذاك. واليوم، أصبحت إمكانات مفاعلات البحوث مفهومة بصورة أفضل، ويجري تطوير تطبيقات جديدة للمفاعلات الجديدة والقديمة على حد سواء."

— نونو بيسوا باراداس،
أخصائي في مفاعلات البحوث، الوكالة

دعم علماء أفريقيا في تسخير إمكانات مفاعلات البحوث من أجل التنمية الاجتماعية والاقتصادية

بقلم عمر يوسف

اكتُشفت رواسب اليورانيوم للمرة الأولى في أفريقيا في عام 1915 في قرية شينكولوبوي، التي تقع اليوم في جنوب جمهورية الكونغو الديمقراطية. وبعد ما يقرب من أربعة عقود، وتحديداً في عام 1958، بدأت قصة العلوم والتكنولوجيا النووية في أفريقيا، مع بلوغ أول مفاعل بحوث يُشيَّد في المنطقة مرحلة الحرجية، وهو مفاعل البحوث TRICO I في جامعة كينشاسا بجمهورية الكونغو الديمقراطية. وحذت مصر وجنوب أفريقيا حذو جمهورية الكونغو الديمقراطية بعد فترة وجيزة، فأدخلتا مفاعلي بحوث في الخدمة في عامي 1958 و1965 على التوالي. ومنذ ذلك الحين، تؤدي مفاعلات البحوث دورا حيويا في التنمية الاجتماعية والاقتصادية في القارة.

ويوجد في أفريقيا الآن 11 مفاعل بحوث في 8 بلدان، هي الجزائر وجمهورية الكونغو الديمقراطية وجنوب أفريقيا وغانا وليبيا ومصر والمغرب ونيجيريا. وتبلغ القدرة الحرارية لهذه المرافق ما يصل إلى 22 ميغاواط وتُستخدم بصورة روتينية في العديد من التطبيقات، بما في ذلك دعم مزارعي أفريقيا في الإدارة المستدامة للأراضي، وإنتاج النظائر المشعة لتوفير علاج السرطان اللازم لإنقاذ الأرواح، والتحقق من السلامة الهيكلية للمباني والمعدات الصناعية، وتحديد مصادر التلوث الصناعي للهواء.

ورغم أن هناك نحو عشرة بلدان أفريقية تنظر حاليا في توليد الكهرباء باستخدام الطاقة النووية، فهناك بلدان كثيرة أخرى تعتبر إنشاء مفاعلات البحوث خطوة تمهيدية نحو استهلال برامج القوى النووية في المستقبل، لأن هذه المفاعلات ستمكنها من تكوين قوة عاملة من الموظفين المدربين المتمتعين بالقدرات اللازمة.

وهناك بعض البلدان التي لا توجد لديها مفاعلات بحوث – ومنها إثيوبيا وأوغندا وجمهورية تنزانيا المتحدة ورواندا وزامبيا والسنغال وكينيا والنيجر – والتي تنظر الآن في تشييد مرافق مفاعلات بحوث أو تخطط لذلك وحددت بالفعل تطبيقات ومنتجات أو خدمات بعينها لكي توفرها هذه المرافق.

> ويوجد في أفريقيا الآن **11** مفاعل بحوث في **8** بلدان، هي الجزائر وجمهورية الكونغو الديمقراطية وجنوب أفريقيا وغانا وليبيا ومصر والمغرب ونيجيريا.

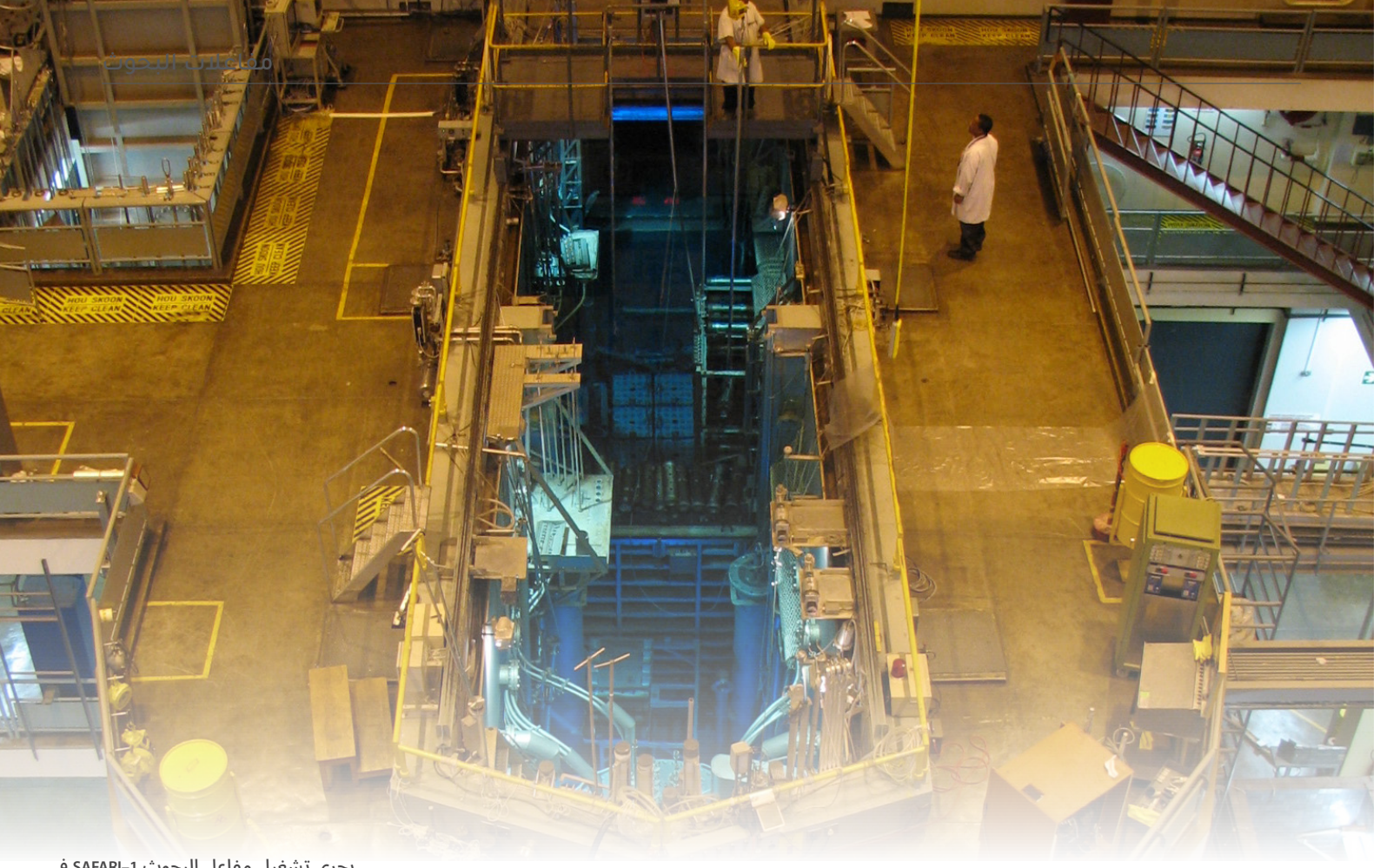
تدريب الجيل القادم من المهنيين للعمل في مفاعلات البحوث

شهدت السنوات الأخيرة زيادة الاحتياج إلى الخدمات الإشعاعية التي توفرها مفاعلات البحوث، ومن ثم زيادة الحاجة إلى المهنيين الشباب القادرين على تقديمها. ونتيجة لذلك، تدعم الوكالة البلدان الأفريقية في وضع خطط استراتيجية لتشييد مفاعلات بحوث جديدة واستخدامها.

وعلى سبيل المثال، فمن خلال أحد مشاريع التعاون التقني الإقليمية الجارية، حضر خبراء من عدة بلدان أفريقية حلقة عمل عقدتها الوكالة في حزيران/يونيه 2023 للتعرف على كيفية إعداد الخطط الاستراتيجية لتشييد مفاعلات البحوث الجديدة. ولهذه الخطط غرض تنظيمي داخلي يتألف من شقين أولهما بيان مبررات تشييد المرفق، والثاني هو تقديم توصيات مفصلة بشأن مجالات استخدام المفاعل، بما في ذلك الخدمات أو المنتجات الإشعاعية المحددة التي يُعتزم أن يوفرها المرفق للاستخدامات الصناعية والطبية والعلمية. وبعد ذلك، طُلب من العلماء المشاركين أن يقترحوا، بالاستعانة بإرشادات من خبراء الوكالة وبناءً على الخطط الاستراتيجية التي سبق وضعها، خططاً مالية وسياسية لضمان أمان واستدامة مفاعل البحوث المقترح.

وطوال حلقة العمل التدريبية التي دامت أسبوعاً، قدم خبراء الوكالة المتخصصون عروضاً إيضاحية وجلسات عملية لفائدة العلماء الحاضرين من إثيوبيا وأوغندا وجمهورية تنزانيا المتحدة ورواندا وزامبيا والسنغال وكينيا والنيجر.

وفي سياق مكمِّل، وبغية دعم بناء القدرات في المجالات الأكثر ارتباطاً بتشغيل مفاعلات البحوث، أطلقت الوكالة مبادرة المراكز الدولية المسمَّاة من الوكالة والقائمة على مفاعلات البحوث (المراكز الدولية القائمة على مفاعلات البحوث)، وهي عبارة عن مخطط لتحديد المرافق القادرة على تلبية الاحتياجات التدريبية والبحثية للبلدان التي لا تتوفر فيها فرص الوصول إلى مفاعلات البحوث بشكل روتيني. وفي أيار/مايو 2023، عقدت الوكالة النسخة الثالثة من الدورة الدراسية بشأن مفاعلات البحوث في منطقة أفريقيا. واستضافت الدورة الدراسية آخر مركز سمَّته



يجري تشغيل مفاعل البحوث SAFARI-1 في جنوب إفريقيا منذ عام 1965. وهو أحد أكبر خمسة منتجين في العالم للنظير المشع الطبي الموليبدينوم-99.
(الصورة من: شركة جنوب أفريقيا للطاقة النووية)

الوكالة ضمن المراكز الدولية القائمة على مفاعلات البحوث، وهو المركز الوطني للطاقة والعلوم والتقنيات النووية بالمغرب، والذي يشغِّل مفاعل البحوث MA-R1.

وكان الغرض من النسخة الثالثة من الدورة الدراسية بشأن مفاعلات البحوث في منطقة أفريقيا هو توفير التدريب المكثف على فيزياء المفاعلات، وعلى تشغيل واستخدام مفاعلات البحوث بأمان. وأتاحت الدورة الدراسية للمشاركين البالغ عددهم 13 مهندسا وفيزيائيا فرصة مشاهدة عمليات تشغيل مفاعل بحوث على عين المكان. وعلى وجه التحديد، أُتيحت للمشاركين إمكانية دراسة العمل الذي يقوم به الخبراء في المركز الوطني للطاقة والعلوم والتقنيات النووية بالمغرب من أجل إنتاج النظائر المشعة الطبية وإجراء التحليل بالتنشيط النيوتروني. وقال السيد يحيى موسى، الذي يعمل في مجال الفيزياء الطبية في مركز البحوث والتدريب في مجال الطاقة في زاريا بنيجيريا: "لقد كانت الدورة الدراسية تثقيفية وغنية بالمعلومات وجذابة وقيمة للغاية. وقد ساعدني البرنامج على تعزيز معرفتي بتشغيل وتجارب مفاعلات البحوث، وتطوير مهاراتي في هذا المجال".

دعم أمان المفاعلات وتشغيلها واستخدامها

في الوقت الذي تسعى فيه البلدان المستجدة إلى إنشاء مفاعلات بحوث جديدة، سيكون من المفيد أيضا تعزيز دور المفاعلات القائمة في القارة الأفريقية من خلال تحسين معايير الأمان التشغيلي، وزيادة فعالية تخطيط الأعمال، وتوطيد الارتباط بين الخدمات التي تقدمها مفاعلات البحوث والتحديات المستمرة التي تواجهها التنمية على الصعيد الوطني.

وتسعى الوكالة إلى تحقيق هذا الهدف من خلال مشروع آخر من مشاريع التعاون التقني – يجري تنفيذه من خلال الاتفاق التعاوني الإقليمي الأفريقي للبحث والتنمية والتدريب في مجال العلم والتكنولوجيا النوويين (اتفاق أفرا) – ويولي الأولوية لتحسين الأمان والتشغيل الاستراتيجي لأسطول مفاعلات البحوث في أفريقيا. وجميع البلدان المشاركة في المشروع لديها حاليا مفاعلات بحوث عاملة. ومن خلال الزيارات العلمية، يساعد المشروع هذه البلدان على تحديد أفضل السبل لتحسين امتثالها لمعايير الأمان الصادرة عن الوكالة والإرشادات ذات الصلة، وتنفيذ الأنشطة ذات الصلة بداية من إعداد وثائق الأمان وحتى إجراء استعراضات الأمان الدورية ووضع ترتيبات التأهب لحالات الطوارئ.

ونُظِّمت أيضاً زيارات لعلماء كبار من أفريقيا إلى مؤسسات معنية بمفاعلات البحوث في ألمانيا وتايلند وجامايكا والجمهورية التشيكية وفرنسا وماليزيا وهولندا، لمشاهدة ودراسة كيفية تطبيق نظرائهم في الخارج لمعايير الأمان الصادرة عن الوكالة، وإرشادات إدارة التقادم، وبرامج الاستخدام في مرافقهم. وتهدف هذه الزيارات الموقعية وأنشطة تبادل المعارف إلى تعزيز القدرات الإقليمية؛ وتحسين استخدام مفاعلات البحوث لأغراض التنمية الاجتماعية والاقتصادية؛ وضمان أمانها التشغيلي.

شبكات مفاعلات البحوث تنهض بعملياتها إلى الحدّ الأمثل لتلبية الطلب المتزايد

بقلم ميليسا إيفانز

تُعدُّ مفاعلات البحوث النووية مراكز علمية مهمة للأوساط النووية فهي تحتضن جلسات تدريبية وتجارب، وتوفر منتجات وخدمات قيّمة، بما في ذلك إنتاج النظائر المشعّة للاستخدامات الطبية والزراعية والصناعية. ويشهد أكثر من 200 مفاعل بحوث قيد التشغيل في جميع أنحاء العالم طلباً متزايداً، وتساعد الوكالة الدولية للطاقة الذرية موظفي مفاعلات البحوث على تلبية هذا الطلب من خلال إقامة شبكات لتعزيز التعاون بهدف النهوض بالعمليات إلى الحدّ الأمثل.

وأُطلقت الشبكة الإقليمية لمفاعلات البحوث والمؤسسات ذات الصلة في أمريكا اللاتينية والكاريبي (RIALC) في عام 2023، وذلك بدعم من الوكالة. وتضمُّ الشبكة المذكورة، التي تشكّلت على المستوى الإقليمي وانطلقت من التحديات الإقليمية المشتركة، 9 بلدان لديها 16 مفاعل بحوث قيد التشغيل. ومن خلال تضافُر الجهود، يستفيد كلُّ بلد من مجموعة الخبراء والقدرات التي تتميز بها مفاعلات البحوث الأخرى ضمن الشبكة. ويتيح ذلك لكلّ مرفق من مرافق مفاعلات البحوث التركيز على مجال بعينه يتفوق فيه بميزة تنافسية، مع ضمان تلبية المتطلبات الإقليمية بشكل أفضل وزيادة كفاءة الخدمات. وقامت الشبكة بتقييم مخزونها من مفاعلات البحوث لتحديد الأولويات الوطنية والإقليمية، فضلاً عن تخصصات كلّ مفاعل. ويجري أيضاً الاضطلاع بتمارين المقارنة البينية من أجل توحيد أيّ مساعٍ مستقبلية.

وقال ماريو مالوبوما، منسّق الشبكة الإقليمية لمفاعلات البحوث والمؤسسات ذات الصلة في أمريكا اللاتينية والكاريبي ورئيس معهد بيرو للطاقة النووية: "اتفقت البلدان جميعها على العمل بطريقة متكاملة ومتناغمة، وأن تعمل كتكتُّل واحد، لتطوير التكنولوجيا النووية". وأضاف قائلاً: "يتفاوت بقدر كبير مستوى التطوير الذي حققته البلدان، ولكن هذه هي على وجه التحديد القيمة المضافة التي تتسم بها الشبكة - فهي توضّح المسارات المتّبعة بالفعل بالمنطقة لتمكين البلدان من إظهار ما لديها من بنية أساسية وموارد متاحة". وتابع قائلاً: "لم تنطلق الشبكة من الرغبة في دعم بعضنا البعض كبلدان بالمنطقة فحسب، ولكن أيضاً للاضطلاع بالتزامات حقيقية من جانب صُنّاع القرار لتعزيز تحقيق أهداف التنمية المستدامة بالمنطقة وتحسين نوعية حياة السكان."

> **"يتفاوت بقدر كبير مستوى التطوير الذي حققته البلدان، ولكن هذه هي على وجه التحديد القيمة المضافة التي تتسم بها الشبكة — فهي توضح المسارات المتبعة بالفعل بالمنطقة لتمكين البلدان من إظهار ما لديها من بنية أساسية وموارد متاحة."**
>
> – ماريو مالوبوما، منسق الشبكة الإقليمية لمفاعلات البحوث والمؤسسات ذات الصلة في أمريكا اللاتينية والكاريبي، ورئيس معهد بيرو للطاقة النووية

وتعمل الشبكة على خمسة مجالات مواضيعية، هي التعليم والتدريب؛ والتشغيل والتقادُم؛ وتطبيقات المفاعلات مثل التقويم الجيولوجي؛ والتصوير النيوتروني والتحليل بالتنشيط النيوتروني؛ وإنتاج النظائر المشعّة.

ومنذ إطلاق الشبكة في شباط/فبراير 2023، استضافت لجنة الطاقة النووية الشيلية (CNEC) خبراءَ تقنيين من بيرو لمناقشة عملية التحليل بالتنشيط النيوتروني - وهو تطبيق اختبار غير مُتلِف لتحديد العناصر النزرة يُجرى غالباً في مفاعلات البحوث نظراً لقدراتها على تدفُّق النيوترونات. وقال مالوبوما إن "بيرو لديها مفاعل بحوث بقدرة 10 ميغاواط، ما يجعلها صاحبة القدرة الأكبر بالمنطقة والتي يمكنها إنتاج أكبر تدفُّق للنيوترونات. وستعمل بيرو على تعزيز مفاعل البحوث لدينا وتشجيع توسيع نطاق استخدامه للنهوض بالبحوث العلمية، بالإضافة إلى الإجراءات لإنتاج السّلع والخدمات بالاشتراك مع بلدان أخرى بمنطقة أمريكا اللاتينية والبحر الكاريبي".

وأُطلقت دورة جديدة للتعلُّم الإلكتروني باللغة الإسبانية بعنوان التخطيط الاستراتيجي للمؤسسات النووية الوطنية، خلال المؤتمر العام السابع والستين للوكالة في أيلول/سبتمبر 2023، استكمالاً لدورة باللغة الإنكليزية عن الموضوع نفسه. وأُعِدَّت الدورة لتتلاءم مع منطقة أمريكا اللاتينية والبحر الكاريبي، وعلى وجه التحديد بأن تضمَّنت دراستَي حالة متعمقتين قدّمهما ممثلا الشبكة من الأرجنتين وشيلي. والدورة المذكورة قائمة على منشور أصدرته الوكالة في عام 2017 بعنوان *Strategic Planning for Research Reactors* (التخطيط الاستراتيجي لمفاعلات البحوث) (العدد NG-T-3.16 من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة) وتركّز على الإدارة التشغيلية لمفاعلات البحوث. ويتعلّم المشاركون في الدورة كيفية تحديد أولويات الطلبات على أنواع مختلفة من الخدمات من أجل ضمان فعالية مفاعلات البحوث واستدامتها. ويستند ذلك إلى مسيرة الوكالة في دعم مفاعلات البحوث في أنشطة التخطيط الإستراتيجي. فمنذ عام 2014، أسدَت الوكالة مشورة الخبراء بشأن 95 خطة استراتيجية مرتبطة بما مجموعه 63 مفاعلاً، استجابةً لطلبات البلدان.

وتسير الشبكة الإقليمية لمفاعلات البحوث والمؤسسات ذات الصلة في أمريكا اللاتينية والكاريبي على خُطى شبكات سابقة لمفاعلات البحوث أُنشئت بدعم من الوكالة، بما في ذلك الشبكات الإقليمية والتقنية. ففي عام 2008 أُنشئت مبادرة أوروبا الشرقية بشأن مفاعلات البحوث (EERRI). وعلى غرار الشبكة الإقليمية لمفاعلات البحوث والمؤسسات ذات الصلة في أمريكا اللاتينية والكاريبي، تهدف المبادرة المذكورة إلى تعزيز جهود التدريب الإقليمية، وكذلك النهوض بالخدمات إلى الحدّ الأمثل. وتتألف المبادرة من سبعة بلدان هي النمسا والجمهورية التشيكية وهنغاريا وبولندا ورومانيا وصربيا وسلوفينيا - وتستضيف المؤسساتُ المشاركة أنشطة المبادرة. واستضافت المبادرة دورةً تدريبيةً مدتها ستة أسابيع للمهنيين الشباب في المجال النووي، بدعم من الوكالة، وانعقدت الدورة المذكورة 18 مرةً. وتتضمن الدورة التدريبية محاضرات تقنية، وزيارات ميدانية، وتمارين عملية في مرافق مفاعلات البحوث التابعة للمبادرة لإعداد الجيل القادم من موظفي مفاعلات البحوث.

ويشكّل تبادُل الخبرات التقنية الأساس لشبكة مفاعلات بحوث أخرى تدعمها الوكالة - وهي الشبكة العالمية لمفاعلات بحوث تريغا (GTRRN). ومفاعلات تريغا (TRIGA) (تدريب، وبحوث، ونظائر، و الذرية العامة) جميعها مصمَّمة وتعمل بطريقة مماثلة، ويوجد حالياً أكثر من 30 مفاعلاً منها قيد التشغيل في جميع أنحاء العالم. وأُطلقت الشبكة العالمية لمفاعلات بحوث تريغا في تشرين الثاني/نوفمبر 2013 لمساعدة مشغِّلي مفاعلات بحوث تريغا في 15 بلداً على معالجة المشكلات المشتركة، مثل وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء الخاص بمفاعلات تريغا، والذي يصعب على نحو متزايد الحصول عليه والتخلص منه بعدَ استخدامه. وقال نونو بيسوا باراداس، اختصاصي مفاعلات البحوث بالوكالة: "تُعَدُّ الشبكة العالمية لمفاعلات بحوث تريغا مورداً بارزاً لمفاعلات بحوث تريغا، ويستخدمها أعضاء الشبكة لمشاركة المعلومات، ولمساعدة بعضهم البعض، على سبيل المثال، في الحصول على قطع الغيار اللازمة للتجارب، ففي بعض الأحيان قد يكون من الصّعب العثور على مورّدين محتملين".

وتساعد الوكالة البلدان على تحسين خدمات مفاعلات البحوث. وبما أن مفاعلات البحوث هي مؤسسات علمية فريدة من نوعها، فإن الشبكات المخصصة التي تدعمها الوكالة تنشئ منصةً لخبراء مفاعلات البحوث من جميع أنحاء العالم للتغلُّب على التحديات المشتركة وتحقيق الإمكانات الكامنة الكاملة لمؤسساتهم من خلال التعاون.

في مرافق مفاعل البحوث بجامعة فيينا التقنية، تستضيف مبادرة أوروبا الشرقية بشأن مفاعلات البحوث (EERRI) دورات تدريبية لمساعدة الطلبة على بناء مهارات عملية.

(الصورة: الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

الإبقاء على تشغيل مفاعلات البحوث المتقادمة في العالم

بقلم إيما ميدجلي

يوجد اليومَ أكثر من 220 مفاعل بحوث قيد التشغيل، وهي توفر خدماتٍ أساسية من قبيل إنتاج النظائر المشعّة الطبية، وتمكين البحوث العلمية في الزراعة والصناعة. بَيْدَ أن هذه المرافق آخذة في التقادُم، فأغلب أسطول مفاعلات البحوث في العالم قيد التشغيل منذ ما يربو على 50 عاماً. وينصبُّ تركيز المشغّلين والرقابيين، بمساعدة الوكالة الدولية للطاقة الذرية، على تجديد هذه المفاعلات وتحديثها حتى تتمكن من الاستمرار في توفير السلع والخدمات في أثناء تشغيلها بطريقة مأمونة وآمنة.

وقال روبن ماتزي، رئيس الفريق التقني المعنيّ بتشغيل مفاعلات البحوث وصيانتها في الوكالة: "في العديد من البلدان، لا توجد بدائل لهذه المفاعلات البحثية القديمة، مثلما لا توجد خطط لإنشاء مفاعلات جديدة". وأضاف قائلاً: "ونحن نساعد البلدان على اتخاذ الخطوات اللازمة للإبقاء على تشغيل هذه المفاعلات. وكلُّ مفاعل منها يختلف عن غيره بل ويتقادَم بطريقة مختلفة. والموارد والخدمات التي تقدّمها الوكالة لدعم الأسطول العالمي مهمة لعملية إدارة التقادُم".

وكانت الوكالة قد استهلت خطتها لتعزيز أمان مفاعلات البحوث في عام 2001، تحسُّباً لتزايد تقادُم أسطول مفاعلات البحوث. وتهدف هذه الخطة إلى مساعدة البلدان على ضمان تحقيق مستوى عالٍ من أمان مفاعلات البحوث. وهي تشمل مدوَّنة قواعد السلوك بشأن أمان مفاعلات البحوث، التي توفر إرشاداتٍ للبلدان بشأن وضع ومواءمة السياسات والقوانين واللوائح المتعلقة بأمان مفاعلات البحوث. وكجزء من تلك الخطة، تعمل البلدان، بدعم من الوكالة، على تنفيذ برامج منهجية لإدارة التقادُم.

وقد أعدّت الوكالة أنشطةً تكميليةً لمساعدة البلدان على إدارة مفاعلات البحوث المتقادمة لديها. فقد وضعت معايير أمان ومبادئ توجيهية تقنية وتواظب على تحديثها، وتقوم في الوقت نفسه بإجراء استعراضات النظراء وتقديم الخدمات الاستشارية، وتنظيم الاجتماعات التقنية وحلقات العمل والدورات التدريبية.

وقامت الوكالة بمواءمة منهجية جوانب أمان التشغيل الطويل الأجل (خدمة SALTO) الخاصة بمحطات القوى النووية بُغية تطبيقها على مفاعلات البحوث،

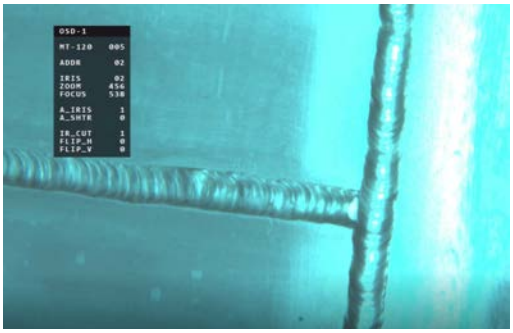
خلال مهمة تقييم التشغيل والصيانة لمفاعلات الأبحاث في مفاعل البحوث ماريا في بولندا في عام 2022، ناقش الخبراء أنظمة ضمان الجودة وإدارتها، وممارسات التشغيل والصيانة، وبرنامج إدارة التقادم.
(الصورة: المركز الوطني للأبحاث النووية، بولندا)

يتم استخدام الفحص البصري والاختبار غير المتلف لتقييم الأمان وظروف التشغيل لهياكل مرفق المفاعل وأنظمته ومكوناته، بما في ذلك دعم قلب المفاعل والشبكة.
(الصور: ر. مازي/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

وأكملت أول بعثة في إطار خدمة جوانب أمان التشغيل الطويل الأجل (SALTO) في عام 2017 وكانت لمفاعل البحوث البلجيكي 2 (BR2) في بلجيكا. وتقوم بعثات خدمة SALTO بتقييم إجراءات وممارسات المرفق بناءً على معايير الأمان الصادرة عن الوكالة مثلما تقدّم توصياتٍ لمواصلة تحسين أمان وفعالية مشاريع التحديث والتجديد لهذه المرافق.
وقال أمجد شكر، رئيس قسم أمان مفاعلات البحوث في الوكالة: "بالإضافة إلى النُّظم والمكونات، تطالُ عمليات التجديد والتحديث أيضاً تنفيذ تحديثات الأمان لجعل مرفق المفاعل متوافقاً مع أحدث معايير الأمان الصادرة عن الوكالة".

وإجراء فحص منتظم لهياكل ونُظم ومكوّنات مرفق المفاعل للكشف عن أي تدهور محتمل مسألةٌ ضروريةٌ لتقييم آثار التقادُم على الأمان والتشغيل، أو لتجنُّب الإصلاحات المكلفة. وتنفّذ المنظمات المشغِّلة برامج الصيانة الروتينية والاختبارات الدورية بما يكفل استمرارية قدرة الهياكل والنُّظم والمكوّنات على أداء وظائفها المقصودة، وبما يكفل أيضاً عمل المفاعل ضمن نطاق الحدود والشروط التشغيلية. وفي بعض الحالات، تستلزم هذه الفحوص تقنياتٍ خاصةً وموارد إضافية قد لا تكون متاحة لجميع المنظمات المشغِّلة.

وتدعم الوكالة البلدانَ، عند الطلب، عبر توفير المعدات اللازمة أو إسداء مشورة الخبراء لها لتمكين المشغِّل من إجراء أنشطة تفتيش محدَّدة في إطار عمليات التفتيش أثناء الخدمة. وتقوم عمليات التفتيش أثناء الخدمة بتقييم حالة المكوّنات المهمة لأمان المفاعلات وتشغيلها. ويمكن للمعدات المتخصصة رصد العيوب



تُستخدم كاميرات عالية الدقة تحت الماء المقاومة للإشعاع لفحص ومراقبة اللحامات في خزانات مفاعلات البحوث.
(الصور: ر. مازي/الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

الهيكلية والأضرار التي تلحق بالبنية الأساسية المادية للمفاعل. وتحدد هذه الفحوص الشقوقَ وسائر العيوب أو مَواطِن الضعف في الهياكل في مرحلة مبكرة، ومع مرور الوقت في الأجزاء الخرسانية والمعدنية للمفاعل باستخدام كاميرات مقاوِمة للإشعاع تعمل تحت الماء إلى جانب أدوات متخصصة أخرى.

وتعتزم الوكالة إصدار المنشور الجديد المعنون مؤقتاً *Guidelines for Non-Destructive Examination, In-Service Inspection and On-Line Monitoring Programme for Research Reactors* ("المبادئ التوجيهية لبرنامج الفحص غير المتلِف، والتفتيش أثناء الخدمة، والرصد أثناء التشغيل لمفاعلات البحوث") في عام 2024.

تعزيز الاستدامة

هناك بعثة استعراض نظراء أخرى تدعم البلدان في إدارة تقادُم المفاعلات هي تقييمات تشغيل وصيانة مفاعلات البحوث (خدمة OMARR). وتركز بعثات خدمة OMARR على جوانب التشغيل والصيانة التي يتعيّن معالجتها طوال العمر التشغيلي لمفاعلات البحوث، ابتداءً من الإدخال في الخدمة وانتهاءً بالإخراج من الخدمة. ومن خلال بعثات خدمة OMARR، يمكن للبلدان تعزيز استدامة وموثوقية مفاعل البحوث وتحقيق الاستخدام الأمثل للموارد البشرية والمالية، مع مراعاة معايير الوكالة، والممارسة الدولية الجيدة، واللوائح الوطنية.

وتحدّد هذه البعثات مجالات التحسين، وتعالج تحديات تشغيلية محدَّدة، وتضع منصة لتبادل الخبرات والممارسات الجيدة فيما بين الخبراء الدوليين والموظفين المحليين. ومنذ عام 2012، استُكمل تنفيذ، أو جارٍ تنفيذ، بعثات خدمة OMARR وكذلك البعثات التمهيدية للخدمة نفسها في كلّ من بنغلاديش وشيلي وجمهورية الكونغو الديمقراطية وإندونيسيا وإيطاليا وجمهورية إيران الإسلامية وبولندا والبرتغال وتايلاند والولايات المتحدة الأمريكية وأوزبكستان.

وقد شارك سامي مالاكا، المدير العام للعمليات التشغيلية للمفاعلات في شركة جنوب إفريقيا للطاقة النووية، بصفة خبير في البعثة التمهيدية لخدمة OMARR في عام 2018 مثلما شارك في بعثات عمليات التفيش أثناء الخدمة في عام 2023 في مفاعل البحوث TRICO II في جمهورية الكونغو الديمقراطية. والمفاعل TRICO II هو قيد إغلاق ممتد منذ عام 2004، ولكن ثمة خطط الآن لإعادة تشغيل المفاعل واستئناف أنشطته على صعيد البحث العلمي، والتدريب، وإنتاج النظائر المشعّة، وتحديد خصائص المواد.

وفي هذا الصدد، قال مالاكا: "نجاح هاتين البعثتين كلتيهما سيمكّن المرفق TRICO II من إرساء الحد الأدنى من الهياكل والنُّظم والمكوّنات لدعم برنامج إعادة تشغيل المفاعل وتشغيله على المدى الطويل". وأضاف قائلاً: "وعلى وجه الخصوص، أكدنا على أهمية

ما المقصود بتقادُم مفاعلات البحوث؟

التقادُم المادي ويُقصد به تدهور الحالة المادية لنُظم المفاعل ومكوناته. فبمرور الوقت، يؤدي التعرض لبيئات وظروف تشغيل قاسية، مثل التشعيع والعوامل المسببة للتآكل والاهتزاز، إلى تدهور بعض المواد والمكوّنات.

القِدَم هو نوع آخر من التقادُم، بأن تصبح التكنولوجيا المستخدمة للحواسيب والأجهزة ونُظم التحكم قديمةً وغير مواكِبَة، أو ربما تتغير لوائح الأمان فتصبح قديمةً.

بدء برنامج لإدارة التقادُم لإدارة تقادُم الهياكل والنُّظم والمكوّنات وتتبُّع ورصد الترقيات ومشاريع التحديث أو الاستبدال، فقد يكون ذلك مفيداً للمرفق في الأجل الطويل في أعقاب نجاح برنامج إعادة التشغيل".

وفي أيار/مايو 2023، تم إيفاد بعثة خدمة OMARR بدعم من خبراء من أستراليا والجمهورية التشيكية إلى مفاعل البحوث التايلندي1-/التعديل 1 (TRR-1/M1) في تايلند، والذي يُستخدَم لإنتاج النظائر المشعّة، ولأغراض البحث والتطوير، والتعليم والتدريب. وقال كانوكرات تيابون، مدير المفاعل في معهد تايلند للتكنولوجيا النووية: "كانت الاقتراحات المقدَّمة من بعثة OMARR مفيدة في إنشاء وتنفيذ برامج منهجية وفعّالة في مجال الصيانة وإدارة تقادم للمفاعل TRR-1/M1من أجل تعزيز التشغيل والاستخدام الفعّال للمفاعل". وأردف قائلاً: "هذه مسألة أساسية للتنمية المستدامة للقدرة النووية - الخبرات التكنولوجية والموارد البشرية - والبنية الأساسية اللازمة للبرامج النووية المستقبلية في تايلند."

بعثات الاستعراض والخدمات الاستشارية

توفر الوكالة أكثر من 30 خدمة من خدمات استعراض النظراء والخدمات الاستشارية لمساعدة البلدان على تعزيز وتحسين ممارساتها المتعلقة بالمجال النووي. وتقود الوكالة استعراضات النظراء، التي تُنظَّم بناء على الطلب، وتُنفَّذ بدعم من أفرقة من الخبراء الدوليين. وتقوم الاستعراضات بتقييم البنية الأساسية الوطنية والممارسات الراهنة في بلد ما مع الأخذ في الاعتبار الإرشادات ومعايير الأمان الصادرة عن الوكالة إلى جانب الممارسات الدولية الجيدة. وتركّز هذه الخدمات، التي يُشار إليها باسم "بعثات"، على مجموعة من التخصصات، بدءاً من الأمان النووي ووصولاً إلى القطاع الصحي.

وتوفر الوكالة العديد من بعثات استعراض النظراء لمساعدة البلدان على الاستخدام المأمون والآمن والموثوق والمستدام لمفاعلات البحوث لديها. واستعراضات النظراء التي تجريها الوكالة تحديداً لمفاعلات البحوث هي: الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية فيما يخص مفاعلات البحوث (INIR-RR)، والاستعراض المتكامل لاستعمال مفاعلات البحوث (IRRUR)، والتقييمات المتكاملة لأمان مفاعلات البحوث (INSARR)، وتقييمات تشغيل وصيانة مفاعلات البحوث (OMARR). وتغطي بعثات الخدمة الاستشارية الدولية الخاصة بالحماية المادية (IPPAS) فيما يتعلق بالأمن النووي، وبعثات جوانب أمان التشغيل الطويل الأجل (SALTO) مفاعلات البحوث، مثلما تشمل أيضاً محطات القوى النووية.

خبراء فريق بعثة الوكالة الدولية للطاقة الذرية وموظفو مركز أبحاث سيج (CVŘ) يناقشون توصيات مراجعة تقييم الأمان المتكامل لمفاعلات البحوث في غرفة التحكم بمفاعل البحوث LVR-15 في سيج، الجمهورية التشيكية، في عام 2023.

(الصورة: CVŘ)

التخطيط للموارد البشرية في برامج مفاعلات البحوث

بقلم سارة كوجه باغ

في حالة البلدان التي تتطلع إلى استهلال برامج جديدة أو التوسع في برامجها القائمة في مجال مفاعلات البحوث، عادةً ما يكون وضع استراتيجية لإدارة الموارد البشرية أمراً يلزم الانتهاء منه قبل الشروع في استثمار كبير من هذا القبيل. وتدعم الوكالة البلدان في مجال إدارة الموارد البشرية من خلال توفير أدوات النمذجة والموارد التعليمية والمنشورات وخدمات استعراض النظراء.

ويتطلب قطاع الصناعة النووية، بما في ذلك برامج مفاعلات البحوث، مستوى مرتفعاً من الجودة عند التخطيط للموارد البشرية، حيث يعتمد القطاع على توافر القوى العاملة المدربة جيداً لتحقيق الأمان والاستدامة. وتواجه هذه القوى العاملة تحديات متعددة، منها تقاعد الموظفين المؤهلين والمسائل المتعلقة باستبقاء الموظفين المتميزين. وتحتاج البلدان والمنظمات المعنية إلى إدراك أهمية وضع وتنفيذ استراتيجية لإدارة الموارد البشرية من أجل زيادة عدد الموظفين المؤهلين المتاحين في الأجل الطويل واستبقائهم.

وقال السيد شيخ نياني، المنسق التقني لمشروع مفاعل البحوث الأول في السنغال والأمين العام لوزارة البترول والطاقة: "إنَّ إدارة الموارد البشرية هي ركيزة النجاح في تطوير المشاريع. وعلينا أن نحدد الحالة الراهنة للقوى العاملة اللازمة لدعم برنامج نووي في بلدنا، والمصادر التي ينبغي أن نستقدم منها العاملين".

والسنغال واحدة من عدة بلدان تخطط لإنشاء مفاعلها البحثي الأول. وفي كانون الأول/ديسمبر 2022،استهلت الوكالة في السنغال تجريب خدمة تدريبية جديدة تتناول أداة الوكالة لنمذجة الموارد البشرية في برامج مفاعلات البحوث الجديدة، التي أُعدَّت على أساس أداة نمذجة الموارد البشرية للقوى النووية، التي قدمتها الولايات المتحدة الأمريكية إلى الوكالة في عام 2011. والغرض من أداة نمذجة الموارد البشرية للقوى النووية هو مساعدة البلدان على فهم احتياجاتها من القوى العاملة وتدفق الموارد البشرية عند التخطيط لاستهلال برنامج للقوى النووية.

أما الأداة الجديدة المعنية ببرامج مفاعلات البحوث فتدعم البلدان في تحسين فهمها لمتطلبات الموارد البشرية وضرورة إيجاد قوة عاملة متجانسة على الصعيد الوطني في هذا المجال. وتضمنت حلقة العمل التي عُقدت في السنغال عرضا عمليا لنموذج الموارد البشرية، وعملية تثبيت الأداة وضبط إعداداتها على حواسيب المشاركين، والتدريب على المهارات الأساسية اللازمة لاستخدام النمذجة الدينامية وإجراء التمارين. وتناولت حلقة العمل أيضاً الممارسات الجيدة المتبعة في تخطيط القوى العاملة والسلامة المهنية وإدارة بيانات الموارد البشرية.

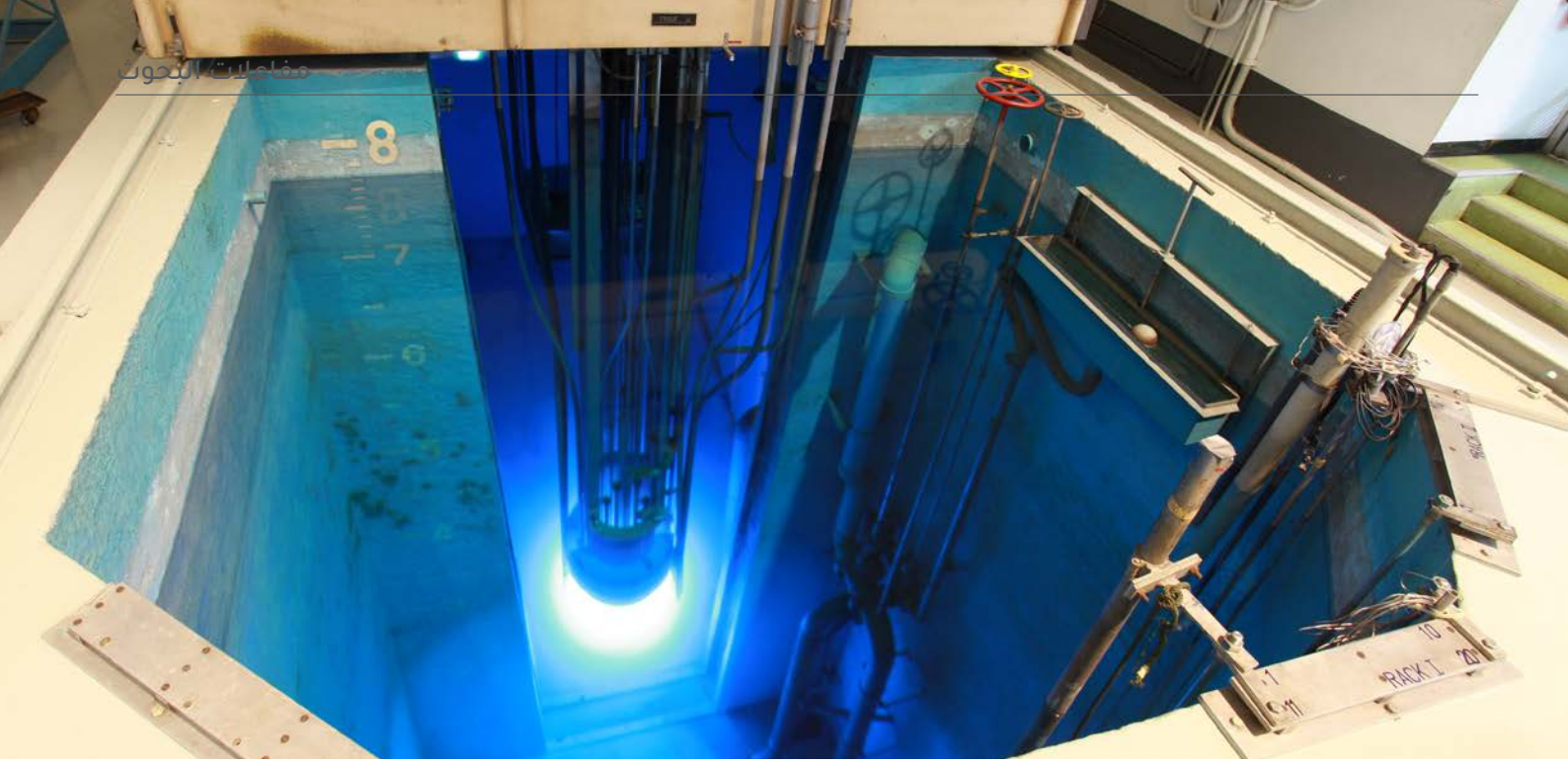
وفي نيسان/أبريل 2023، عُقدت دورة تدريبية مماثلة في تايلند، التي يوجد لديها مفاعل بحوث واحد قيد التشغيل واثنان مخطط لهما، لإطلاع الموظفين على كيفية استخدام أداة النمذجة وتقديم تعقيبات على خطة تايلند للقوى العاملة. وبالإضافة إلى ذلك، قدمت الجلسة معلومات عن إرشادات الوكالة وجهودها التعاونية بشأن أفضل سبل تكييف أداة نمذجة الموارد البشرية للقوى النووية لتناسب مفاعلات البحوث في المستقبل.

وقالت السيدة كانوكرات تيابون، مديرة مركز مفاعل البحوث في معهد تايلند للتكنولوجيا النووية: "إن تنمية الموارد البشرية عنصر مهم في عملية إرساء البنية الأساسية لمفاعل بحوث جديد، وفقا لنهج المعالم المرحلية البارزة الذي وضعته الوكالة. وسوف تُستخدم النتائج المستمدة من النموذج كوثيقة داعمة للتواصل مع صانعي القرارات بشأن متطلبات الموارد البشرية والكفاءات اللازمة وقدرة البلد على تلبية متطلبات برنامج مفاعل بحوث جديد".

> **"سوف تُستخدم النتائج المستمدة من النموذج كوثيقة داعمة للتواصل مع صانعي القرارات بشأن متطلبات الموارد البشرية والكفاءات اللازمة وقدرة البلد على تلبية متطلبات برنامج مفاعل بحوث جديد."**
>
> كانوكرات تيابون، مديرة مفاعل، معهد تايلند للتكنولوجيا النووية

موارد إضافية للقوى العاملة

توفر الوكالة أيضا مواد تعليمية مجانية على الإنترنت بشأن تنمية الموارد البشرية، بما في ذلك وحدات دراسية ومنشورات عبر الإنترنت. وصدر حديثا منشور بعنوان إدارة الموارد البشرية في مجال الطاقة النووية (العدد NG-G-2.1 (الصيغة المنقحة Rev. 1) من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة) يوفر إرشادات لصانعي القرارات وكبار المديرين المسؤولين عن تنمية قدرات الموظفين لإيجاد قوة عاملة كفؤة ومستدامة. ويتناول المنشور أهم عناصر إدارة الموارد البشرية التي يلزم إدماجها في استراتيجية الإدارة في البلد المعني – مثل تخطيط القوى العاملة، والتدريب والتطوير، وإدارة الأداء. ويحدد المنشور معالم واضحة لتحقيق الفعالية في إدارة الموارد البشرية، وهو أسلوب قد يكون مثاليا لكبار المديرين والمتخصصين في الموارد البشرية والمديرين المباشرين. والمنشور مفيد أيضا للبلدان المستجدة، وكذلك للبلدان التي تسعى إلى الارتقاء ببرنامجها النووي الحالي إلى المستوى الأمثل.



وبالإضافة إلى المواد المتاحة بالفعل، يدعم نهج المعالم المرحلية البارزة الذي وضعته الوكالة، البلدان المستجدة في المجال النووي في تطوير برامجها للقوى النووية باتباع نهج تدريجي يمكن تطبيقه أيضاً على برامج مفاعلات البحوث. وحين يختار أحد البلدان العمل على إنشاء مفاعل بحوث باتباع نهج المعالم المرحلية البارزة، فإنه يبدأ بإعداد تقرير عن مبررات حاجته لمفاعل بحوث جديد، وصولاً في نهاية المطاف إلى تشييد المفاعل وإدخاله في الخدمة، شريطة استيفاء جميع المتطلبات على طول الطريق.

وتنمية الموارد البشرية هي أحد عناصر البنية الأساسية التي يتناولها نهج المعالم المرحلية البارزة، والبالغ عددها 19 عنصراً تشمل أيضاً إنشاء هيئة رقابية ووضع إطار رقابي، وضمان الأمان والأمن النوويين. ويمكن معالجتها عن طريق استقبال بعثة في إطار خدمة الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية فيما يخصُّ مفاعلات البحوث (INIR-RR)، والتي تساعد البلدان على تحديد حالة بنيتها الأساسية النووية الوطنية وتحديد المجالات الأخرى التي يلزم تطويرها لدعم المشروع، بدءا من التخطيط وحتى الإخراج من الخدمة.

وقال السيد بيتر شاكروف، رئيس قسم مفاعلات البحوث في الوكالة: "إن توافر الموارد البشرية الكافية عامل أساسي في أي مشروع. وتنطوي تنمية هذه الموارد على عملية معقدة وديناميكية. وأداة النمذجة الجديدة التي وضعناها تساعد البلدان على تخطيط الموارد البشرية لبرامج مفاعلات البحوث بطريقة أكثر شمولا وواقعية".

المفاعل TRR-1/M1 هو مفاعل بحوث من طراز TRIGA Mark III يشغله معهد تايلند للتكنولوجيا النووية في بانكوك بتايلند.
(الصورة من: معهد تايلند للتكنولوجيا النووية)

دعم العاملات في المجال النووي

في عام 2022، أطلقت الوكالة برنامج المنح الدراسية ماري سكلودوفسكا-كوري لدعم الجيل المقبل من المهنيات العاملات في المجال النووي، من خلال تقديم منح دراسية للحصول على درجة الماجستير في المجالات المتصلة بالمجال النووي. وأطلقت الوكالة مبادرة جديدة باسم برنامج ليزا مايتنر في آذار/مارس 2023، ويوفر البرنامج للعاملات في بداية ومنتصف حياتهن المهنية فرصة المشاركة في زيارات تدريبية تدوم لعدة أسابيع إلى المرافق النووية.

The IAEA Marie Skłodowska-Curie FELLOWSHIP PROGRAMME

The IAEA Lise Meitner PROGRAMME

السرعة والفعالية:
نَهْج جديد لتحديث أدلة الأمان الصادرة عن الوكالة

بقلم فولفجانج بيكوت

لمفاعلات البحوث أهميةٌ أساسيةٌ في النهوض بالعلوم النووية، وإجراء التجارب، وإنتاج النظائر الحيوية للأغراض الطبية وأغراض أخرى. وتؤدي أدلة الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية بشأن مفاعلات البحوث دوراً لا غنى عنه في ضمان أمان هذه المرافق. تُعد أدلة الأمان واحدة من ثلاث مجموعات من المنشورات التي تشكل سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية. تتكون السلسلة من ما يلي:

1- **أساسيات الأمان**، التي تحدّد أهداف الأمان الأساسية ومبادئ الحماية والأمان بلغة مفهومة للقراء من غير الخبراء؛

2- **متطلبات الأمان العامة (GSRs) ومتطلبات الأمان المحدَّدة (SSRs)**، التي تحدّد المتطلبات التي يجب استيفاؤها لضمان حماية الإنسان والبيئة، في الحاضر وفي المستقبل، ولمساعدة البلدان على إنشاء الأُطر الرقابية الوطنية الخاصة بها؛

3- **أدلة الأمان العامة (GSGs) وأدلة الأمان الخاصة (SSGs)**، التي تتضمّن الممارسات الدولية الجيدة وتبيّن على نحو متزايد أفضل الممارسات، وتقدّم توصياتٍ وإرشاداتٍ بشأن كيفية الامتثال لمتطلبات الأمان المحدَّدة.

ونظراً لما تتسم به أدلة الأمان من طبيعة تقنية فائقة، يستلزم تحديثها دقةً متناهيةً. تُجمع المعارف وتُدمج في الأدلة من تجارب مختلفة في استخدام التكنولوجيات النووية في كل أنحاء العالم. وتعكف لجانٌ متعددة معنيّة بمعايير الأمان على استعراض المسوّدات التي تُعدُّها الوكالة. ويتمُّ أيضاً إطلاع البلدان المشاركة على المسوّدات من أجل إلتماس تعقيبات ومدخَلات إضافية قبل أن تقرَّها لجنة معايير الأمان.

وفي العادة، تمتدُّ مثل هذه التنقيحات لسنوات عدّة بسبب ما يكتنفها من تعقيد والحاجة إلى النظر بتأنٍ في أوجُه التقدُّم على صعيد البحث والتطوير في المجالين النووي والإشعاعي وممارسات الأمان.

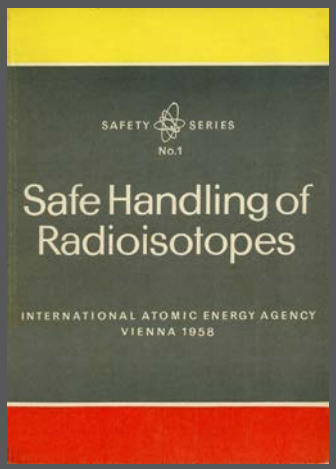
بَيْدَ أن الوكالة قد اتّخذت نهجاً جديداً في آخر تحديث شمل 11 دليل أمان بشأن مفاعلات البحوث. فبتحديثها على نحو متزامن تكون الوكالة قد سرَّعت العملية وأنهت دورة النشر في غضون 12 شهراً، من عام 2022 إلى عام 2023.

وقال ديفيد سيرز، مسؤول أول الأمان النووي في الوكالة، الذي قاد المشروع: "تنقيح أدلة أمان مفاعلات البحوث معاً كدفعة واحدة من خلال عملية مكرَّسة جعل من السهل جداً على البلدان المشارِكة أن تنسّق استعراضاتها لمحتوى معايير الأمان وأن تقدّم التعقيبات في الوقت المناسب".

مرور 65 عاماً على نشر معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية

تتأمل الوكالة في التاريخ الطويل لإصدارات معايير الأمان، فقد صدر أول دليل بعنوان *Safe Handling of Radioisotopes* ("التداول المأمون للنظائر المشعة") (سلسلة الأمان رقم 1 الصادرة عن الوكالة) في عام 1958، أي بعد مرور عام واحد فقد على إنشاء الوكالة. وكان ذلك أيضاً أول منشور صادر عن الوكالة.

وأما اليوم، فيطّلع معظم المستخدمين على سلسلة معايير الأمان على الموقع الشبكي للوكالة، حيث تتوافر للاطلاع مجاناً.



والانتهاء من مثل هذا المشروع المعقّد خلال فترة وجيزة هو إنجاز كبير. وقال سيرز: "نظراً للجدول الزمني الضيق، تطلَّبَ هذا المشروع تعاوناً وثيقاً داخل الوكالة، والكثير من التركيز والجهد الدؤوب من الخبراء، وممثلي البلدان، والمحررين التقنيين التابعين للوكالة". وأردف سيرز قائلاً: "وما كان ذلك ليتحقق بالفعل بدون التزام جميع المعنيّين وتفانيهم".

وفي عام 2016 أُنجزَ تحديثٌ لمنشور متطلبات الأمان المحدَّدة لمفاعلات البحوث المعنون Safety of Research Reactors، (أمان مفاعلات البحوث) (سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة، العدد SSR-3). وهو يغطي جميع متطلبات التشغيل المأمون لمفاعلات البحوث، من الإدارة والإشراف الرقابي إلى تقييم الموقع، والتصميم، والتشييد، والتشغيل، والاستخدام، والتعديل، والإخراج من الخدمة. بالإضافة إلى ذلك، يتضمن الدروسَ ذات الصلة المستفادة من حادث فوكوشيما داييتشي النووي والرؤى المتأتية من تجارب البلدان وتعقيباتها.

ويتعلق التحديث الأخير بما مجموعه 11 دليلاً من أدلة الأمان الخاصة، والتي توفر إرشادات وتقدّم أفضل الممارسات بشأن كيفية تلبية متطلبات العدد SSR-3. وعلى عكس العدد رقم SSR-3، الذي يقدّم لمحة عامة عن جميع المسائل ذات الصلة بين دفتَي مجلّد واحد، تتناول أدلة الأمان المحدَّدة موضوعات تقنية محدَّدة مثل الصيانة، وعمليات الاختبار والتفتيش الدورية، وإدارة قلوب مفاعلات البحوث ومناولة وقودها، والحدود والشروط التشغيلية، والتحكم بالأجهزة، وإدارة التقادم.

وقال أون ووترز، مدير المفاعل العالي الفيض (HFR) في مجموعة البحوث والاستشارات النووية (NRG) في هولندا: "تحديث معايير أمان مفاعلات البحوث مسألة صعبة للغاية لما تتسم به من تنوُّع هائل". وأضاف قائلاً: "أدلة الأمان الصادرة عن الوكالة ذات أهمية بالنسبة لجميع المرافق، مِن أصغر المجمعات الحرجة ووصولاً إلى مفاعلات البحوث الضخمة مثل المفاعل العالي الفيض".

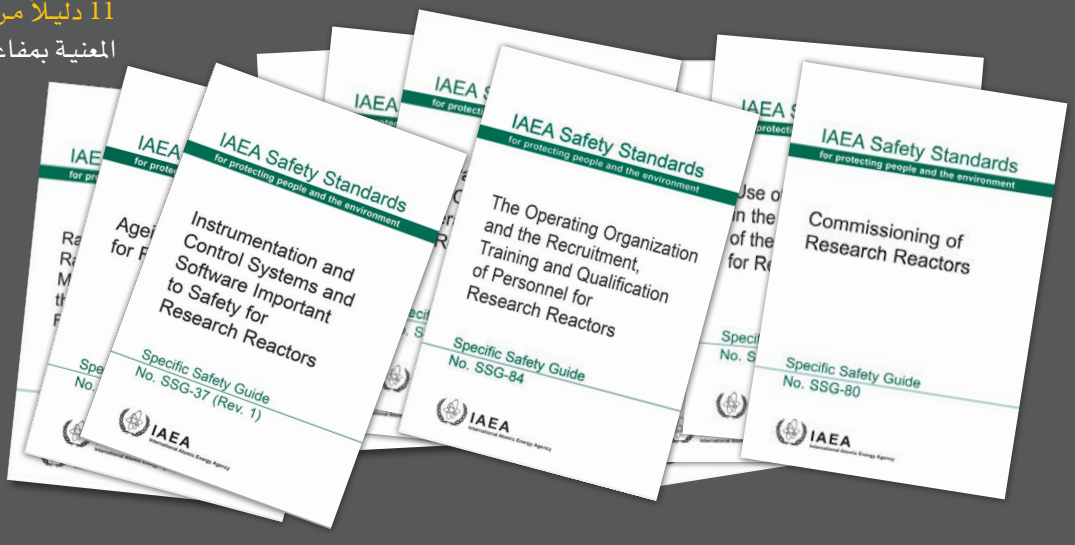
وخضعت مفاعلات بحوث عدّة لترقية بمعدات كهربائية، ويتم تعديل بعضها الآخر لتطبيقات جديدة، ما يوسّع نطاق الغرض المراد منها. ولأن العديد من مفاعلات البحوث يمتد عمرها لعقود عدة، فإن أهمية إدارة التقادم في ازدياد. وقال ووترز: "مع ظهور تكنولوجيات إلكترونية جديدة ووجود مفاعلات متقادمة، يتعيّن علينا إدخال التحسينات والتكيف باستمرار". وأردف قائلاً: "ولا بدّ أن تبيّن أدلة الأمان هذه التغييرات باستمرار".

ومعايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية ليست ملزمة قانوناً للبلدان، وتطبّقها البلدان وفقاً لتقديرها. ويعتمد العديد من البلدان المستخدِمة لمعايير الأمان الصادرة عن الوكالة ضمن لوائحها الوطنية.

"إن تحديث معايير أمان مفاعلات البحوث مسألة صعبة للغاية لما تتسم به من تنوع هائل. وأدلة الأمان الصادرة عن الوكالة ذات أهمية بالنسبة لجميع المرافق، من أصغر المجمعات الحرجة ووصولاً إلى مفاعلات البحوث الضخمة مثل المفاعل العالي الفيض."

– أون ووترز، مدير المفاعل العالي الفيض، مجموعة البحوث والاستشارات النووية، هولندا

قامت الوكالة مؤخراً بتحديث 11 دليلاً من أدلة الأمان المعنية بمفاعلات البحوث



تأمين مفاعلات البحوث في مصر في مواجهة تهديدات الأمن النووي

بقلم فاسيليكي تافيلي

تُنفَّذ تدابير الأمن النووي في جميع أنواع المرافق النووية، بما فيها مفاعلات البحوث، لضمان حمايتها من الأعمال الخبيثة وغيرها من الأعمال الإجرامية أو الأعمال المتعمدة غير المأذون بها التي قد تترتب عليها عواقب إشعاعية أو آثار سلبية أخرى. وتقدِّم الخدمة الاستشارية الدولية الخاصة بالحماية المادية (خدمة IPPAS) التابعة للوكالة مشورة النظراء بشأن الحماية المادية للمواد النووية وغيرها من المواد المشعة والمرافق والأنشطة المرتبطة بها، بما فيها مفاعلات البحوث النووية، بناء على الطلب.

وقد استقبلت مصر بعثة في إطار هذه الخدمة في عام 2005، وتلتها بعثة خبراء إضافية في عام 2014، وتبيَّن من التقييم المستقل الذي أجرته البعثتان لحالة منظومة الأمن النووي أن هناك حاجة إلى تطوير نظم الحماية المادية في مفاعلي البحوث المصريين.

واستجابة لتوصيات خدمة IPPAS، وبغية تعزيز الأمن النووي لمفاعلي البحوث المصريين (المفاعلان البحثيان الأول والثاني)، اللذين يُشار إليهما بالإنكليزية بالاختصارين ETRR-1 وETRR-2، وضعت مصر خطة وطنية متكاملة في إطار آلية الوكالة المعروفة باسم الخطط المتكاملة لدعم الأمن النووي، وهي آلية مصممة خصيصا لتحديد احتياجات الأمن النووي الوطنية في البلد المعني وترتيبها حسب الأولوية.

تطوير الحماية المادية

تتضمن خطة مصر المتكاملة لدعم الأمن النووي مشروعا لتطوير الحماية المادية مع إيلاء الأولوية لنظم الأمن النووي، بهدف حماية المفاعلين البحثيين من التخريب أو السرقة أو أخذ المواد النووية بأي طريقة أخرى غير مشروعة، والتخفيف من العواقب الإشعاعية التي يمكن أن تترتب على الأعمال الخبيثة من هذا القبيل أو تقليل هذه العواقب إلى أدنى حد. وقد نُفِّذت أول مرحلتين من المشروع بين عامي 2015 و2020، ولا يزال تنفيذ المرحلة الأخيرة جارياً.

وقالت السيدة إيلينا بوغلوفا، مديرة شعبة الأمن النووي بالوكالة: "إن التكامل بين أدوات المساعدة المختلفة المشمولة ببرنامج الوكالة في مجال الأمن النووي يتجلى بوضوح في التفاصيل المحددة لتنفيذ هذا المشروع في مصر. وقد كانت نقطة انطلاق التعاون مع مصر هي البعثة التي أوفدتها الوكالة في إطار خدمة IPPAS؛ غير أن تنفيذ المشروع تطلب نطاقاً واسعاً من الدعم التقني والمالي من أجل وضع لوائح جديدة، وبناء القدرات التقنية، وبالطبع تطوير نظم الحماية المادية في مجمع مفاعلات البحوث".

وفي حين أن المفاعل البحثي الأول ETRR-1 في حالة إغلاق طويل الأجل، فإن مجمع المفاعل البحثي

تؤدي نظم الحماية المادية دوراً حيوياً في الحفاظ على الأمن النووي في محطات القوى النووية ومفاعلات البحوث.

(الصور من: دين كالما، الوكالة)

الثاني ETRR-2 يباشر عمله بوصفه مرفق البحوث الوطني المعني بالطاقة النووية. ويُستخدم المجمع أيضا للأغراض التعليمية، والأهم من ذلك، لإنتاج النظائر المشعة للتطبيقات الطبية والزراعية والصناعية. وتبلغ القدرة القصوى للمفاعل ETRR-2 ما قدره 22 ميغاواطاً، وهو موجود في مركز البحوث النووية التابع لهيئة الطاقة الذرية المصرية في إنشاص، على بعد نحو 60 كيلومتراً من القاهرة. وهو من نوع المفاعلات القائمة على حوض مفتوح، وهو مصمم للاستخدام في طائفة متنوعة من المجالات، بما في ذلك فيزياء النيوترونات وعلوم المواد وعلاج السرطان باستخدام تقنية أسر النيوترونات في نواة البورون.

ويجري الآن تشغيل نظم مطورة ومتكاملة للحماية المادية في موقع المفاعل ETRR-2. وقال السيد محمود جاد، رئيس إدارة الأمن النووي في هيئة الرقابة النووية والإشعاعية المصرية: "يحتوي المرفق الآن على نظم حديثة ومتنوعة للأمن النووي، ويتمتع العاملون بالخبرات اللازمة لتشغيل هذه النظم". وأضاف قائلاً: "إن مشروع التطوير مهم للأمن النووي الوطني، وأثبت فائدته في تعزيز نظم الحماية المادية في مجمع المفاعل البحثي الثاني ETRR-2".

وعلى مدى فترة تنفيذ المشروع، استضافت مصر سلسلة من الدورات التدريبية الوطنية حضرها أكثر من 80 مشاركا. وتناولت هذه الدورات مجموعة من المجالات التقنية المتصلة بالأمن النووي، مثل الإذن الرقابي للمفاعلات، وصياغة اللوائح، وعمليات التفتيش على الأمن الحاسوبي، وتدابير الوقاية والحماية من التهديدات الداخلية.

وقال السيد جاد: "رغم التحديات التي واجهناها، مثل جائحة كوفيد-19، وبفضل جهود جميع الجهات المعنية، نجحنا في إكمال المحطات المهمة ضمن الإطار الزمني المتفق عليه". وتلقى المشروع دعما ماليا من خلال صندوق الأمن النووي التابع للوكالة.

وكانت استدامة نتائج المشروع عنصراً رئيسياً في بناء قدرات مصر في مجال الحماية المادية طوال مختلف مراحل المشروع، وتحقق ذلك من خلال مراعاة الإحكام في التصميم والتنفيذ، وإجراء تقييم التهديدات بانتظام، وإدارة المعارف على النحو السليم، والصيانة الفعالة. وقالت السيدة بوغلوفا: "إن الاستدامة عامل رئيسي في مشاريع المساعدة التي تنفذها الوكالة في مجال الأمن النووي في جميع أنحاء العالم، للتأكد من أن الجهود التي تبذلها البلدان في تعزيز نظم الأمن النووي لديها ستظل فعالة مع مرور الوقت".

وتعمل الوكالة على تنفيذ مشاريع مماثلة مع مزيد من البلدان التي ارتأت أنها بحاجة لإدخال تحسينات تقنية على الأمن النووي في مفاعلات البحوث الموجودة لديها.

"إن الاستدامة عامل رئيسي في مشاريع المساعدة التي تنفذها الوكالة في مجال الأمن النووي في جميع أنحاء العالم، للتأكد من أن الجهود التي تبذلها البلدان في تعزيز نظم الأمن النووي لديها ستظل فعالة مع مرور الوقت."

إيلينا بوغلوفا، مديرة شعبة الأمن النووي، الوكالة الدولية للطاقة الذرية

أداتان جديدتان من الوكالة تساعدان البلدان على اتخاذ القرارات بشأن التصرف في الوقود المستهلَك من مفاعلات البحوث

بقلم سارة كوشاباغ

إنتاج النظائر الطبية والتعليم والبحوث والتدريب واختبار المواد كلها– استخدامات وفوائد مفاعلات البحوث وهي متعددة ومتنوعة. ومع ذلك، تواجه البلدان التي تشغّل هذه الأدوات القوية، أو تعتزم القيام بذلك، تحدياً رئيسياً يتمثل في التصرف في الوقود المستهلَك، وخاصةً البنية الأساسية والتكاليف المرتبطة بذلك.

وهناك أداتان جديدتان من الوكالة الدولية للطاقة الذرية تجعلان تلك المهمة أكثر يسراً، وقد أعدّت الوكالة حلقات عمل تستخدم هاتين الأداتين لمساعدة البلدان في عمليات اتخاذ القرارات لديها.

فأداة التقييم المتكامل لاتخاذ القرارات بشأن مفاعلات البحوث في المرحلة النهائية (BRIDE)، والمستندة إلى جدول بيانات مخصّص من إكسل، تتيح للبلدان إجراء مقارنة كمية فيما بين التكنولوجيات المتاحة وتحديد أفضل إستراتيجية مناسبة لحالتها. ومن ثمّ يمكن لأداة تقدير تكلفة دورة وقود مفاعلات البحوث في إكسل (FERREX) أن توفر تقديرات التكلفة التفصيلية للإستراتيجية المختارة. والأداتان متاحتان مجاناً عند الطلب.

وأعدّت الوكالة برامج تعليمية تشمل أمثلة على تطبيقات هاتين الأداتين وعقدت في عام 2022 حلقة عمل تجريبية عن الأداة BRIDE في ماليزيا. فيما نوقشت الأداة FERREX كأحد الأنشطة المنعقدة ما بعدَ حلقة العمل.

وقالت جوليا عبد الكريم من الوكالة النووية الماليزية (MNA)، التي تشغّل مفاعل البحوث TRIGA PUSPATI، وهو المفاعل النووي الوحيد في هذا البلد: "التخلص السليم من الوقود النووي المستهلَك مسألة بالغة الأهمية لضمان الأمان، وقد وفّرت لنا الأداة BRIDE رؤية متعمقة قيّمة لاتخاذ قرارات مستنيرة بشأن المستودع النهائي". وأضافت قائلة: "ومن وجهة نظري، الأداة BRIDE تفيد على وجه الخصوص بلداناً مثل ماليزيا، فهي تساعد على التخطيط الإستراتيجي للتصرّف المستقبلي بالوقود النووي المستهلَك لديها".

وبعدَ 40 عاماً من تشغيل المفاعل TRIGA PUSPATI، تعمل ماليزيا على وضع إستراتيجية لإدارة التقادم وخطة لتولي التصرف بالوقود المستهلَك لديها. وخلال حلقة العمل المنعقدة في تشرين الثاني/نوفمبر 2022، عرضت الوكالة النووية الماليزية سبعة سيناريوهات

يعمل مفاعل البحوث TRIGA PUSPATI في ماليزيا منذ عام 1982.
(الصورة: الوكالة النووية الماليزية)

للمشاركين للنظر فيها. ومن ثم أجرى المشاركون تطبيقاً تجريبياً للأداة BRIDE، شمل مقارنة التكلفة لكلّ نشاط من الأنشطة للمساعدة على تحديد الخيار المفضّل. وبالنسبة لماليزيا، تتمثل الخطوة التالية في وضع خطة إستراتيجية للتخلص من الوقود المستهلَك استناداً إلى نتائج حلقة العمل، والتي ستستعرضها الحكومة الماليزية والأوساط التقنية.

وقال جون دويز، الذي قاد حلقة العمل وهو مهندس نووي لدى الوكالة: "أتاحت لنا حلقة العمل مساعدة ماليزيا على تمحيص العديد من الخيارات فيما يتعلق بالتخلص من المواد النووية المتبقية". وأضاف قائلاً: "لم نقم بتمحيص تكاليف دورة حياة كلّ خيار فحسب، بل نظرنا أيضاً في الجوانب غير الاقتصادية، مثل التأثير البيئي، وتوافر الموارد البشرية، والاستعداد القانوني والرقابي، والدعم السياسي والدعم العام. والتفكير في كلّ هذه العوامل في الوقت نفسه مسألة في غاية التعقيد، ولكن الأداة BRIDE تقوم بتقييم كلّ جانب بطريقة منهجية ومن ثمّ تقوم بتجميع النتائج".

دورة وقود مفاعل البحوث

في تشرين الأول/أكتوبر 2023، كان هناك 224 مفاعل بحوث قيد التشغيل في 54 بلداً، بالإضافة إلى 25 مفاعل بحوث في طور التخطيط أو قيد التشييد. ودورة وقود مفاعل البحوث تشبه مثيلاتها في معظم مفاعلات القوى النووية، ابتداءً من تصنيع الوقود وانتهاءً بالتصرف في الوقود المستهلَك والتخلص منه. وعلى غرار مفاعل القوى النووية، فإنّ دورة وقود مفاعل البحوث تشمل التخزين المؤقت، بالإضافة إلى إعادة المعالجة أو التخلص من الوقود المستهلَك المعلن عنه باعتباره من النفايات. وفي نهاية المطاف، فإنّ الأمر متروك لكلّ بلد لاتخاذ قرار بشأن أفضل طريقة للتصرف بالوقود المستهلَك لديه.

وتوفر الوكالة سيناريوهات مصمَّمة لتلبية احتياجات كلّ بلد بحسب ظروفه. ويتضمن المنشور الصادر مؤخراً بعنوان Research Reactor Spent Fuel Management: Options and Support to Decision Making ("التصرف في الوقود المستهلَك من مفاعلات البحوث: الخيارات المتاحة ودعم اتخاذ القرارات") (العدد NF-T-3.9 من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة)، وهو حصيلة مباشرة لعدد من المشاريع البحثية المنسّقة، معلوماتٍ إضافيةً عن الإستراتيجيات المتاحة للتصرف بالوقود المستهلَك من مفاعلات البحوث، ويقدّم منهجية لاتخاذ القرارات تساعد مَن يتعين عليهم اتخاذ القرار والاختيار من بين خيارات متعددة.

ويساعد المنشور على تحديد النَّهْج المفضّل اعتماداً على الوضع المحدَّد لبلد ما، ويُقدم أدوات إطار دعم القرار من الوكالة للنظر فيها. وبالإضافة إلى ذلك، يوفّر المنشور أمثلة على التكنولوجيات المستخدَمة حالياً من قبل بعض البلدان. ويوفّر المنشور أيضاً معلومات عن الأداتين BRIDE وFERREX، إلى جانب دراسات حالة وبرامج تعليمية لمساعدة المستخدمين.

وقال دويز: «تقوم هاتان الأداتان من الوكالة وحلقات العمل المنعقدة بشأنهما بتيسير العملية التعليمية التي تتيح لأيّ بلد التوصل إلى استنتاجاته الخاصة بشأن ما هو الأفضل بالنسبة له". وتابع قائلاً: "ويمكن لبلدان مثل ماليزيا بعد ذلك تحديد الحلّ الأفضل بنفسها، مع الحصول أيضاً على الدعم الحيوي من جميع الأطراف المعنيّة".

"إن التخلص السليم من الوقود النووي المستهلك مسألة بالغة الأهمية لضمان الأمان، وقد وفرت لنا الأداة BRIDE رؤية متعمقة قيمة لاتخاذ قرارات مستنيرة بشأن المستودع النهائي."

– جوليا عبد الكريم، الوكالة النووية الماليزية

تجربة البرازيل

مفاعلات بحوث لمنفعة المجتمع

بقلم خوسيه أوغوستو بيروتا

يعمل خوسيه أوغوستو بيروتا في مجال تكنولوجيا المفاعلات النووية منذ عام 1978. وانضمّ بيروتا إلى معهد البحوث النووية وبحوث الطاقة (IPEN) التابع للجنة الطاقة النوويةالوطنية للبرازيل في عام 1983 وتقاعد من المعهد في حزيران/يونيو 2022. وهو باحث فخري في المعهد المذكور.

وخلال مسيرته المهنية في المعهد نفسه، تولى العديد من المناصب التقنية والإدارية والتنسيقية، بما في ذلك توليه منصب رئيس شعبة هندسة قلب المفاعل النووي، ورئيس مركز الهندسة النووية، ومنسق برنامج خلايا الوقود والهيدروجين، والمنسق التقني لمشروع المفاعل البرازيلي المتعدد الأغراض.

تتجسد أهمية مفاعلات البحوث للعالم في فكرة أن ثمة صلة وثيقة بين العلم والتكنولوجيا والابتكار والمجتمع. فالبحوث والاكتشافات العلمية تقود إلى تطوير تكنولوجيا جديدة، وبالتالي إعطاء زخم للابتكار، وهو ما يفيد المجتمع في نهاية المطاف على صُعُد الصحة والطاقة والزراعة والصناعة والتنمية الاقتصادية. وهذا ينطبق بشكل خاص على مفاعلات البحوث.

ويمكن أن يلمس الناس بشكل مباشر الفوائد المتأتية من مفاعلات البحوث بطرق عدة إحداها من خلال الاستفادة من الطب النووي الذي يُستعان به لعلاج وتشخيص السرطان وأمراض القلب والأوعية الدموية. وتنفّذ البرازيل سنوياً مليونَي إجراء يتضمن الطب النووي، والذي يعتمد على إنتاج النظائر المشعّة في مفاعلات البحوث. وبدا ذلك واضحاً في عام 2009، عندما أغلق أكبر مورّد للنظائر الطبية في العالم، وهو مفاعل البحوث الوطنية الشامل (NRU) في كندا. فقد تأثرت البرازيل، ومعها العديد من بلدان العالم، تأثراً كبيراً بما ترتب على ذلك من نقص في الإمدادات العالمية من الموليبدينوم-99 (Mo–99)، الذي يُستخدم للتصوير التشخيصي. ويستخدم الطب النووي في البرازيل خمسة في المائة من إمدادات العالم من الموليبدينوم-99. إلا أن البرازيل أصبحت تعتمد على بلدان أخرى للحصول على إمدادات من هذا النظير.

وفي أعقاب أزمة الإمدادات، اتُّخِذ القرار ببدء تشييد مفاعل بحوث جديد متعدد الأغراض في البرازيل، في مدينة إيبيرو، على بُعد نحو 120 كيلومتراً خارج ساو باولو. وهو واحد من قرابة 25 مفاعل بحوث جديداً جارٍ التخطيط لها أو قيد التشييد حول العالم.

وصُمّم المفاعل الجديد لإنتاج نظائر مشعة للتطبيقات الطبية والصناعية؛ وسيُستخدم أيضاً لاختبار الوقود وتشعيع المواد لدعم برنامج الطاقة النووية في البرازيل، ولتوفير حُزم نيوترونية للبحوث العلمية والتطبيقية والابتكار.

وسيستفيد أناس كثيرون في البرازيل - وخارجها - من مفاعلات البحوث، سواء لأنهم بحاجة إلى المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية أو بسبب المعارف والمهارات التكنولوجية المتنامية التي تُطوَّر من أجل رفاه الإنسان والنهوض بمجتمعنا.

ولا تعتمد البرازيل اعتماداً كبيراً على الطاقة النووية لسدّ احتياجاتها من الطاقة، فهي تستمد الكثير من الكهرباء من الطاقة الكهرومائية، وطاقة الرياح، والغاز الحيوي. ومع ذلك، كانت البرازيل أحد رواد بحوث التكنولوجيا النووية منذ خمسينيات القرن العشرين. وكانت البرازيل أول بلد في نصف الكرة الجنوبي يدشّن مفاعل بحوث نووية، المفاعل IEA–R1، وهو مفاعل من النوع الحوضي بقدرة 2 ميغاواط. وبدأ تشغيل هذا المفاعل في عام 1957 في ما يُعرف اليوم باسم معهد البحوث النووية وبحوث الطاقة (IPEN) في ساو باولو، وما يزال هذا المفاعل قيد الاستخدام حتى يومنا هذا، فهو ينتج نظائر مشعة للاستخدام في الطب والبحوث العلمية. وفي عام 1960، بدأ تشغيل مفاعل البحوث IPR–1 TRIGA بقدرة 200 كيلوواط في بيلو هيروزونتي؛ وفي عام 1965، بدأ تشغيل مفاعل البحوث Argonauta بقدرة 500 واط في معهد الهندسة النووية في ريو دي جانيرو؛ وفي عام 1988، بدأ تشغيل المرفق الحرج IPEN/MB–01 في ساو باولو.

وكانت مفاعلات البحوث المذكورة بمثابة محفزات لتطوير مراكز بحوث التكنولوجيا النووية في البرازيل، بفضل التطبيقات المتعددة التخصصات للمفاعلات في مختلف المجالات، ابتداءً من الصحة ووصولاً إلى الهندسة. وبما أن مفاعلات البحوث توجد ضمن بيئة أكاديمية، يمكن لطلبة الجامعات والباحثين الاستفادة منها لأغراض إجراء البحوث والتدريب المتخصص. وعلى مدى العقود الماضية، مكّنت مفاعلات البحوث في البرازيل العلماء والمهندسين في هذا البلد من إجراء البحوث العلمية والتكنولوجية في العديد من المجالات، بما في ذلك البحوث على المواد المستخدَمة في مفاعلات القوى النووية وتطبيق النيوترونات في الصناعة، والزراعة، والبيئة. وتشمل المجالات البحثية الأخرى إمكانات دورة الوقود النووي لكلّ من اليورانيوم والثوريوم ومركباتهما المختلفة؛ وتطوير الوقود النووي؛ والبحوث المتعلقة بمعالجة النفايات المشعة وخزنها؛ وعلم القياس النووي؛ وتصميم المفاعلات النووية وغيرها من المرافق النووية والإشعاعية.

وبعد أن باتت مفاعلات البحوث أساساً للمساعي النووية للبرازيل انخرط هذا البلد في العديد من التطورات الجديدة المثيرة للاهتمام في القطاع النووي. وجارٍ تنفيذ بحوث في مجالات مثل الاندماج، واستخدام أشعة الليزر العالية الكثافة، والمفاعلات الصُغرية لاستكشاف الفضاء، والمفاعلات النمطية الصغيرة. وطوّرت البرازيل وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء لاستخدامه في المفاعلات النمطية الصغيرة ومفاعلات البحوث، والهيدروجين كما تم تطوير أيضاً خلايا الوقود في إطار بحوث حلول الطاقة النظيفة.

والبرازيل ملتزمة بمدوَّنة قواعد السلوك بشأن أمان مفاعلات البحوث الصادرة عن الوكالة، وهي منظمة تنظيماً جيداً على المستوى الوطني فيما يتعلق بالأمان النووي، ولديها هيئة رقابية نووية مستقلة جديدة ومنظمات تشغيلية منخرطة. وفي هذا الصدد، تضطلع الوكالة بدور في غاية الأهمية، لأن الخدمات التي تقدّمها، مثل معايير الأمان والوثائق التقنية الصادرة عنها، وحلقات العمل، والدورات التدريبية، والندوات، والتعاون التقني وبعثات الاستعراض، تمكّن البرازيل من تهيئة بيئة ذات ثقافة راسخة في مجال الأمن والأمان في مرافقها النووية.

وبينما يواصل معهد البحوث النووية وبحوث الطاقة توفير قدرات كبيرة في مجال البحث والتطوير، فإن لبرنامج الدراسات العليا في التكنولوجيا النووية في جامعة ساو باولو أهمية جوهرية لتنشئة الجيل القادم من المتخصصين في التكنولوجيا النووية في البرازيل. وحتى هذا اليوم، تخرّج ما يربو على 3300 طالب وطالبة من برامج درجة الماجستير والدكتوراه في الجامعة، بينما يحتضن معهد البحوث النووية وبحوث الطاقة، سنوياً، قرابة 1000 طالب وطالبة يسعون للحصول على درجة علمية على مستويات مختلفة. ويحظى برنامج التكنولوجيا النووية بإقبال من الرجال والنساء على حدّ سواء، واستحوذت النساء على نسبة 46 في المائة من الطلبة في عام 2022. ولكن على الرغم من هذه الإنجازات، ما تزال الموارد البشرية واحدة من أكبر التحديات التي تواجهنا من حيث مستقبل مفاعلات البحوث والمجال النووي بصفة عامة، فالاحتياجات أكبر من الموارد المتاحة. ويجب علينا أن نجتذب المزيد من الشباب إلى المهن النووية. فبدون الأفراد، لا يمكننا أن نحقق أي شيء.

"سيستفيد أناس كثيرون في البرازيل — وخارجها — من مفاعلات البحوث، سواء لأنهم بحاجة إلى المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية أو بسبب المعارف والمهارات التكنولوجية المتنامية التي تُطوَّر من أجل رفاه الإنسان والنهوض بمجتمعنا."

– خوسيه أوغوستو بيروتا، باحث فخري، معهد البحوث النووية وبحوث الطاقة، البرازيل

الوكالة والفاو تطلقان مبادرة 'تسخير الذرة من أجل الغذاء' (Atoms4Food) بهدف توسيع نطاق استخدام التقنيات النووية لتحقيق الأمن الغذائي العالمي

ستقدِّم مبادرة 'تسخير الذرة من أجل الغذاء'، التي أطلقتها الوكالة ومنظمة الفاو، الدعم للبلدان في استخدام التقنيات النووية الابتكارية بأساليب مختلفة لتعزيز الأمن الغذائي.
(الصورة من: كاتي لافان، الوكالة)

أطلقت الوكالة ومنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) مبادرة 'تسخير الذرة من أجل الغذاء' في منتدى الأغذية العالمي في 18 تشرين الأول/أكتوبر 2023 في روما، من أجل المساعدة على تعزيز الأمن الغذائي والتصدي للجوع المتزايد في جميع أنحاء العالم.

وستدعم مبادرة 'تسخير الذرة من أجل الغذاء' البلدان في استخدام التقنيات النووية الابتكارية في تحسين الإنتاجية الزراعية، والحد من الخسائر في الأغذية، وضمان سلامة الأغذية، وتحسين التغذية، والتكيُّف مع تحديات تغيُّر المناخ.

وقال المدير العام للوكالة، السيد رافائيل ماريانو غروسي، والمدير العام لمنظمة الفاو، السيد شو دونغيو، في بيان مشترك "إننا نجد أنفسنا في زمن لم يسبق له مثيل حيث نسبة الجوع وسوء التغذية آخذة في الارتفاع، مما يشكل تهديداً للبشرية".

"وتسعى مبادرة 'تسخير الذرة من أجل الغذاء' إلى تزويد الدول الأعضاء بحلول رائدة ومصمَّمة خصيصاً لتلبية احتياجاتها وظروفها الخاصة، من خلال الاستفادة من مزايا التقنيات النووية إلى جانب التكنولوجيات المتقدمة الأخرى".

ويواجه العالم تحديات هائلة في مجال الأمن الغذائي والتغذية. ففي عام 2022، واجه ما بين 691 و783 مليون شخص آفة الجوع ولم يكن 3,1 مليار شخص قادراً على تحمُّل تكاليف نظام غذائي صحي - وهو أكثر من 40 في المائة من سكان العالم. وفي الوقت نفسه، أصبحت السمنة أكثر انتشاراً في كل منطقة من مناطق العالم.

وقال المدير العام السيد غروسي: "إنَّ تزايد الظواهر المناخية القصوى سيؤدي إلى فشل المزيد من المحاصيل، مع ارتفاع الطلب العالمي على الغذاء. إننا بحاجة لاستخدام كل الأدوات المتاحة حتى نزيد إنتاجنا من الغذاء". "وتكفل العلوم النووية أدوات ابتكارية لإنتاج محاصيل أقوى وأكثر صحة وأماناً ولحماية مصادر الغذاء اللازمة للحياة".

وتستفيد مبادرة 'تسخير الذرة من أجل الغذاء' من نحو 60 عاماً من الخبرة التي جمَّعتها الوكالة ومنظمة الفاو معاً في تقديم الدعم للبلدان لاستخدام حلول التكنولوجيا النووية والنظيرية من أجل تعزيز الأمن الغذائي وكذلك التغذية وسلامة الأغذية.

ويمكن استخدام التقنيات النووية بأساليب مختلفة لتعزيز الأمن الغذائي. وتُستخدم هذه الأساليب لتسريع العملية الطبيعية للطفرات النباتية من أجل استحداث محاصيل تتحمل الأمراض والتحولات المناخية بشكل أفضل. ويمكن أيضا استخدام التقنيات النووية والنظيرية لتقييم استخدام المغذيات واستخدام المياه في التربة، وتشخيص وتحديد خصائص مسببات الأمراض لدى الحيوانات،

وتتبع مصادر التلوث في المياه، ودراسة مختلف أشكال سوء التغذية. وتستهدف تقنية الحشرة العقيمة القائمة على التكنولوجيا النووية مجموعات الحشرات، مما يؤدي إلى الحد من استخدام المبيدات الحشرية بالنسبة للمحاصيل وكذلك الماشية. ويمكن أن يضمن تشعيع الأغذية سلامة الأغذية من مسببات الأمراض ويزيد من مدة صلاحيتها للمساعدة على تحقيق الأمن الغذائي.

وستكون البحوث المصممة خصيصاً لهذا الغرض العنصر الرئيسي لهذه المبادرة، مع التركيز على الاحتياجات المحددة للبلدان من خلال ابتكارات وحلول ملموسة.

بقلم: شينياد هارفي

مركز الوكالة التدريبي في مجال الأمن النووي يبني خبراته في مجال مكافحة الإرهاب النووي

افتتحت الوكالة مركزاً فريداً للتدريب على الأمن النووي، وهو أول مرفق دولي من نوعه، لدعم الجهود المتنامية الرامية إلى التصدي للإرهاب النووي العالمي.

ولقد افتتح المدير العام للوكالة، السيد رافائيل ماريانو غروسي رسميا، مركز الوكالة التدريبي والإيضاحي في مجال الأمن النووي في 3 تشرين الأول/أكتوبر 2023، خلال احتفال أُقيمَ في مختبرات زايبرسدورف التابعة للوكالة في النمسا، وحضره ممثلون من 45 بلداً وإقليماً.

وسيوفر المركز أكثر من 2000 متر مربع من الهياكل الأساسية التقنية المتخصصة والمعدات للمشاركين في الدورة لمعرفة المزيد عن الحماية المادية للمواد النووية وغيرها من المواد المشعة، وكذلك الكشف عن الأعمال الإجرامية التي تنطوي على مواد ومرافق نووية والتصدي لتلك الأعمال.

وقال السيد غروسي: "إنَّ الأمن النووي هو أحد أهم مجالات عملنا للتأكد من أن المواد النووية لن تقع أبداً في الأيدي الخطأ". "ومركز الامتياز الدولي للأمن النووي هو المكان الذي سيجري فيه تدريب الخبراء في مجال الأمن النووي والحماية المادية للمواد النووية من جميع أنحاء العالم لصقل مهاراتهم".

ففي السنوات الأخيرة، تزايد عدد الطلبات المقدَّمة إلى الوكالة للحصول على تدريب في مجال الأمن النووي في ظل شروع بلدان أكثر في برامج للقوى النووية، وعقب دخول تعديل اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية حيز النفاذ في عام 2016 - وهو الصك الدولي الوحيد الملزم قانوناً في مجال الحماية المادية للمواد النووية.

افتُتح المركز التدريبي والإيضاحي في مجال الأمن النووي التابع للوكالة في تشرين الأول/أكتوبر 2023.
(الصورة من: كاتي لافان، الوكالة)

ويُقام هذا المركز الجديد على طابقين وهو يحتوي على بيئات محاكاة وأدوات للواقع الافتراضي وبرامجيات متقدمة. وسيوفِّر تمريناً عملياً على نظم الأمن النووي لأغراض الحماية المادية للمرافق النووية، وأمن المعلومات والأمن الحاسوبي، والتحليل الجنائي النووي، والفعاليات العامة الكبرى، وغير ذلك من مجالات العمل المتصلة بالأمن النووي.

وأضاف المدير العام غروسي: "إننا نمنح البلدان الأدوات اللازمة للاضطلاع بالأنشطة النووية على نحو أفضل وأكثر أماناً وبطريقة مأمونة".

ولقد استقبل المركز أول المتدربين في تشرين الأول/أكتوبر في دورة نُظِّمت بشأن إدارة أمن المواد المشعة، وهي واحدة من بين 23 دورة تدريبية وحلقة عمل قُدِّمت في هذا الصدد.

وقالت إيلينا بوغلوفا، مديرة شعبة الأمن النووي في الوكالة: "يمكن للوكالة، من خلال بناء هذا المركز الجديد، أن تقدِّم أنشطة تدريبية فريدة من نوعها لمعالجة الثغرات القائمة باستخدام معدات متخصصة حديثة وأدوات محاكاة حاسوبية وأساليب تدريب متقدمة".

والمركز هو جزء من مبنى متعدد الأغراض شُيِّد بتمويل من خارج الميزانية يزيد على 18 مليون يورو قدَّمته 15 جهة مانحة، بالإضافة إلى مساهمات عينية، مما عزَّز قدرات الوكالة على تلبية احتياجات البلدان في مجال بناء القدرات في مجال الأمن النووي.

بقلم: شينياد هارفي

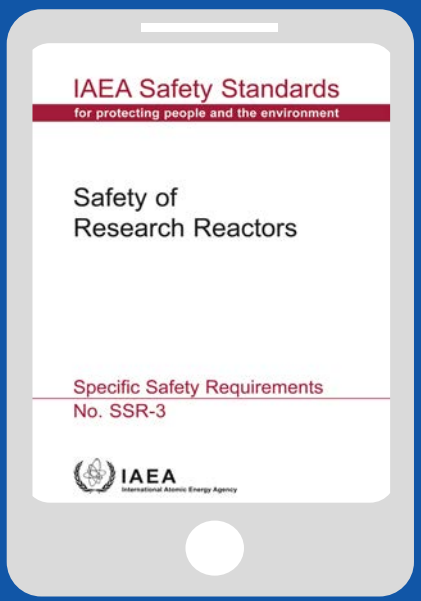
منشورات الوكالة متاحة مجاناً إلكترونياً

التنزيل هنا

www.iaea.org/books

لطلب كتاب، يرجى الكتابة إلى:

sales.publications@iaea.org



التنزيل

منشورات صادرة عن الوكالة بشأن أمان مفاعلات البحوث

ومواضيع أخرى متعلقة بمفاعلات البحوث:

Feasibility Study Preparation for New Research Reactor Programmes
(إعداد دراسات الجدوى لبرامج مفاعلات البحوث الجديدة)

Commissioning of Research Reactors
(إدخال مفاعلات البحوث في الخدمة)

Post-irradiation Examination Techniques for Research Reactor Fuels
(تقنيات فحص وقود مفاعلات البحوث بعد تشعيعه)

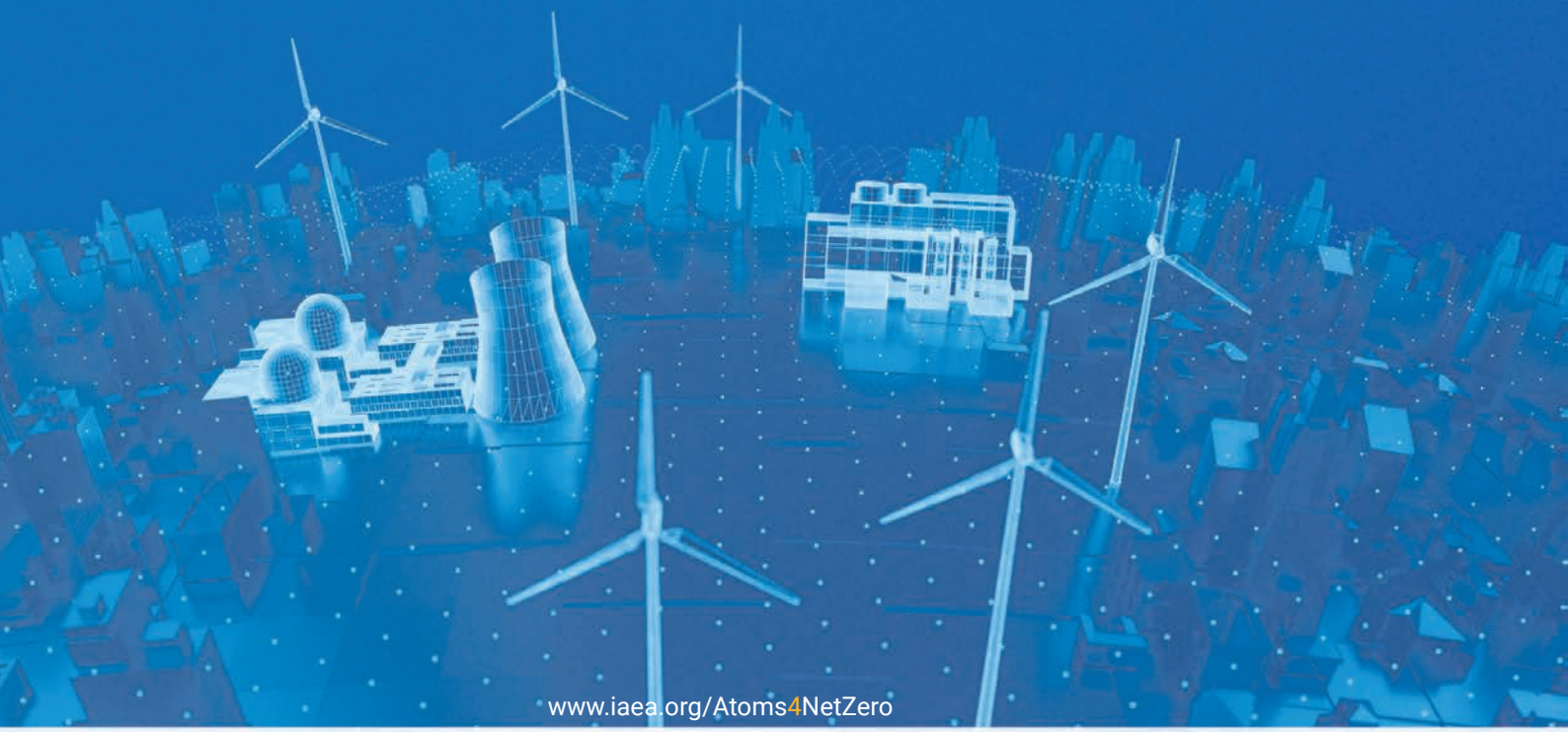
www.iaea.org/bulletin/64-4

شاركونا

من أجل نُظم طاقة خالية من الانبعاثات

تسخير الذرة
من أجل
عالم خالٍ من الانبعاثات

ترحّب الوكالة بشراكة الدول الأعضاء وقطاع الصناعة والمؤسسات المالية وسائر الجهات المعنية من أجل المساهمة بما لديهم من الخبرات وأدوات النمذجة والمعلومات الصناعية وجهود الترويج والموارد المالية.



www.iaea.org/Atoms4NetZero

IAEA

#Atoms4NetZero

طالعوا مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية عبر الرابط:
www.iaea.org/ar/bulletin

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

أو تابعونا على

ISSN 1819-1800 23-04897