IAEA
تسخير الذرة من أجل السلام

المؤتمـــر العـــام

GC(58)/INF/4
١٨ تموز/يوليه ٢٠١٤

توزيع عام
عربي
الأصل: انكليزي

الدورة العادية الثامنة والخمسون

البند ١٦ من جدول الأعمال المؤقت
(الوثيقة GC(58)1 وإضافتاها Add.1 وAdd.2)

استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠١٤

تقرير من المدير العام

ملخص

- استجابة لطلبات الدول الأعضاء، تُصدر الأمانة في كل عام استعراضاً للتكنولوجيا النووية ذا نطاق شامل. ومُرفق طيه التقرير الخاص بهذا العام الذي يسلِّط الضوء على أبرز التطورات التي حدثت بشكل رئيسي في عام ٢٠١٣.

- ويتناول *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠١٤* المجالات التالية: تطبيقات القوى، وتقنيات الانشطار والاندماج المتقدمة، وتطبيقات المعجلات ومفاعلات البحوث، والإنتاج الحيواني وخفض انبعاثات غازات الدفيئة، والتصوير الرقمي وممارسات الطب الإشعاعي عن بعد، واستخدام التكنولوجيا الإشعاعية في معالجة مياه الصرف والمواد الصلبة الأحيائية، وتكاثر الطحالب الضارة. وثمة وثائق إضافية مرتبطة بوثيقة *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠١٤* متاحة على موقع الوكالة الشبكي[١] باللغة الإنكليزية عن دور إدارة المعارف النووية وعن القوى النووية وتغيُّر المناخ.

- ويمكن أيضاً الاطلاع على معلومات عن أنشطة الوكالة المتصلة بالعلوم والتكنولوجيا النووية في تقرير الوكالة السنوي لعام ٢٠١٣ (الوثيقة GC(58)/3)، ولا سيما في القسم الذي يتناول التكنولوجيا، وفي تقرير التعاون التقني لعام ٢٠١٣ (الوثيقة GC(58)/INF/5).

- وجاء تعديل هذه الوثيقة ليراعي بالقدر الممكن تعليقات محدّدة أبداها مجلس المحافظين وتعليقات أخرى وردت من الدول الأعضاء.

[١] http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC58/Documents/

استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠١٤

تقرير من المدير العام

موجز جامع

١- مع وجود ٤٣٤ مفاعلاً للقوى النووية قيد التشغيل على نطاق العالم في نهاية عام ٢٠١٣، بلغت قدرة توليد القوى النووية في العالم ٣٧١,٧ غيغاواط (كهربائي). وكانت هناك أربع حالات ربط جديدة بالشبكة و١٠ حالات للبدء في تشييد مفاعلات جديدة. وأصبحت بيلاروس البلد 'المستجد' النووي الثاني على مدى ثلاثة عقود الذي يبدأ في بناء أولى محطاته للقوى النووية. وظلَّت آفاق النمو في الأجلين القريب والبعيد تتمركز في آسيا، لا سيما في الصين. ومثَّلت المفاعلات الاثنان والسبعون التي كانت قيد التشييد في عام ٢٠١٣ أعلى عدد أقيم منذ عام ١٩٨٩. ومن بين هذه المفاعلات، كان هناك ٤٨ مفاعلاً في آسيا؛ كما كان هناك ٤٢ مفاعلاً في آسيا من بين المفاعلات الاثنين والخمسين الجديدة التي تم ربطها بالشبكة منذ عام ٢٠٠٠.

٢- ويستخدم ثلاثون بلدًا القوى النووية في الوقت الحالي، ويفكِّر عدد مماثل تقريباً من البلدان في إدراج هذه القوى ضمن مزيجها من الطاقة. ومن بين البلدان الثلاثين التي تشغِّل محطات للقوى النووية بالفعل، هناك ١٣ من البلدان إما أنها تشيِّد محطات جديدة أو تعمل فعلياً على الانتهاء من أعمال التشييد التي توقَّفت من قبل، و١٢ من البلدان تخطط إما لتشييد محطات جديدة أو للانتهاء من أعمال التشييد المتوقِّفة.

٣- وأكد *المؤتمر الوزاري الذي عقدته الوكالة بشأن القوى النووية في القرن الحادي والعشرين* في حزيران/يونيه ٢٠١٣ مجدداً على أن القوى النووية تظل خياراً مهماً بالنسبة للعديد من البلدان من أجل تحسين أمن الطاقة، والحد من تأثير تقلبات أسعار الوقود الأحفوري، والتخفيف من تداعيات تغيُّر المناخ. وجاء في البيان الختامي للمؤتمر أن "القوى النووية، باعتبارها مصدرًا ثابتًا لتوليد الكهرباء بالحد الأدنى المطلوب في عصر يتسم بالتزايد المطرد في الطلب العالمي على الطاقة، تكمِّل مصادر الطاقة الأخرى بما فيها مصادر الطاقة المتجددة." وتشير توقعات الوكالة لعام ٢٠١٣ إلى أنَّ القوى النووية ستشهد بحلول عام ٢٠٣٠ نمواً يتراوح بين ١٧٪ طبقاً للتوقعات المنخفضة و٩٤٪ بحسب التوقعات المرتفعة. وهذه الأرقام أدنى بقليل من الأرقام التي أشارت إليها التوقعات في عام ٢٠١٢، مما يعكس استمرار التأثير الناجم عن حادث فوكوشيما داييتشي، وتدني أسعار الغاز الطبيعي، وتزايد استخدام الطاقة المتجددة. وتركِّز معلومات إضافية على الصلات القائمة بين القوى النووية وتغير المناخ، باعتبار أن القوى النووية والقوى المائية وطاقة الرياح هي صاحبة المعدل الأدنى لدورة حياة انبعاثات غازات الدفيئة من بين جميع مصادر توليد القوى.

٤- ويظل تنفيذ خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي من صميم الإجراءات التي اتُّخِذت من جانب الدول الأعضاء والأمانة وسائر أصحاب المصلحة لتوطيد الأمان. ويتواصَل إدخال تحسينات على أمان محطات القوى النووية، بما في ذلك عن طريق تطبيق الدروس المستفادة من حادث فوكوشيما داييتشي. وقد ساهم ذلك في توطيد الإطار العالمي للأمان النووي. ونظراً لما تتسم به عملية تقاسم ونقل المعارف من أهمية أساسية لإدارة أي نشاط نووي بأمان وفعالية، ثمة معلومات إضافية متاحة مخصصة لمجال إدارة المعارف النووية.

٥- ومن المتوقع أن تساهم التحسينات والبحوث المستمرة فيما يتعلق بمفاعلات الانشطار المتقدمة، مثل المفاعلات المبرَّدة بالماء والمفاعلات السريعة والمفاعلات المبرَّدة بالغاز، في استخدام الوقود النووي بفعالية

وتقليص حجم النفايات المشعة. ويتنامى الاهتمام بالمفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم وباستخدام محطات القوى النووية لأغراض التطبيقات غير الكهربائية، كتحلية المياه والمعالجة الحرارية وتدفئة المناطق السكنية وإنتاج الهيدروجين.

٦- وظلت أسعار البيع الفوري لليورانيوم منخفضة طوال السنوات السبع الأخيرة، الأمر الذي يعوق الشركات عن توفير التمويل اللازم لأغراض الاستكشاف وإجراء دراسات الجدوى، مما سيؤثّر على الإنتاج مستقبلًا. ورغم الإفادة بوجود موارد إضافية في العديد من البلدان، فمن المرجح تأجيل الكثير من المشاريع الجديدة التي سبقة الإعلان عنها.

٧- وواصلت القدرة العالمية على إثراء اليورانيوم اتجاهها نحو استخدام تكنولوجيات أكثر كفاءة في مجال الطاقة. وأُغلِقت محطات للانتشار الغازي في عامي ٢٠١٢ و٢٠١٣. وأُحرِز تقدم في مشاريع الإثراء بالطرد المركزي، وبلغ الإثراء بالليزر درجات تطوُّر نحو تسويقه تجارياً.

٨- وظلَّت القدرة الإجمالية لتصنيع الوقود ثابتة نسبيًا، وإن كان من المنتظَر أن تزداد خلال السنوات القليلة المقبلة كي تستجيب للنمو المتوقّع في الطلب.

٩- ورغم أن البدء في تشغيل مرافق للتخلص من الوقود المستهلك والنفايات القوية الإشعاع أمر وشيك، فإن حجم الوقود المستهلك المخزَّن مستمر في التزايد. وقد تم تصريف ١٠٠٠٠ طن من الفلزات الثقيلة كوقود مستهلك من مجموعة محطات القوى النووية على الصعيد العالمي. وبذلك تصل الكمية التراكمية الإجمالية من الوقود المستهلك الذي تم تصريفه إلى نحو ٣٧٠ ٥٠٠ طن من الفلزات الثقيلة.

١٠- ويتم في كل أرجاء العالم تشغيل مرافق للتخلص من النفايات المشعة بجميع فئاتها، باستثناء النفايات القوية الإشعاع والوقود النووي المستهلك المعلن عنه باعتباره نفايات. ويجري حالياً الترخيص بتشييد مرافق للتخلص الجيولوجي في فنلندا وفرنسا والسويد. كما تشهد أنشطة البحث والتطوير المتعلقة بالتخلص من النفايات القوية الإشعاع والوقود النووي المستهلك تطوراً في دول أعضاء أخرى.

١١- وهناك عمل لا يُستهان به ينبغي القيام به في مجال الإخراج من الخدمة: فحتى كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣، تم إغلاق ١٤٧ مفاعلاً للقوى في العالم بصفة دائمة، وكان هناك أكثر من ٤٠٠ من مفاعلات البحوث والمجمعات الحرجة وعدة مئات من مرافق نووية أخرى، مثل مرافق التصرف في النفايات المشعة أو مرافق دورة الوقود، تم إخراجها من الخدمة أو يجرى تفكيكها. ويبلغ عمر نحو ٤٠٪ من جميع مرافق القوى النووية العاملة اليوم أكثر من ٣٠ عامًا ونحو ٧٪ منها يتجاوز عمرها ٤٠ عامًا. ورغم أن بعض هذه المفاعلات قد تُواصِل عملها لمدة تصل إلى ٦٠ عامًا، فإنَّ الكثير منها سيُسحَب من الخدمة في خلال السنوات العشر إلى العشرين القادمة.

١٢- وفي عام ٢٠١٣، أُحرِز تقدم فيما يتعلق بأنشطة التنظيف داخل المناطق التي تأثرت بحادث فوكوشيما داييتشي. وقد خصَّصت اليابان موارد هائلة لتخطيط وتنفيذ أنشطة الاستصلاح في مساحات ملوثة شاسعة خارج الموقع. وكرِّست جهود خاصة لتمكين الأشخاص الذين تم إجلاؤهم من العودة إلى منازلهم. كما أُحرِز تقدم طيب في تنسيق أنشطة الاستصلاح مع جهود إعادة البناء والإنعاش.

١٣- وإذ يجري العمل قُدُماً في تشييد المفاعل التجريبي الحراري النووي، فإنَّ برنامج الاندماج المغنطيسي العالمي في سبيله للتحوَّل إلى برنامج يركز أكثر فأكثر على إنتاج طاقة الاندماج على نطاق محطات القوى في المجال الصناعي. وتعكف بلدان كثيرة بشكل مستقل على وضع خطط برنامجية واستهلال أنشطة جديدة للبحث والتطوير بهدف البرهنة على إمكانية التسويق التجاري لطاقة الاندماج. وتضم هذه الخطط والأنشطة مجتمعة برنامجاً يتناول 'محطات قوى الاندماج الإيضاحية'، وإن كانت لا توجد وجهة نظر منفردة أو منسَّقة بخصوص خارطة طريق إيضاحية لعملية توليد الكهرباء من الاندماج.

١٤- ويولى الاهتمام من جانب عدد متزايد من الدول الأعضاء بوضع برامج خاصة بمفاعلات البحوث، وبعضها يخطط لاستخدام أول مفاعلاته البحثية كمدخل للبلد إلى استحداث البنية الأساسية للعلوم والتكنولوجيا النووية. وتعكف ثلاثة بلدان على تشييد مفاعلات بحوث جديدة، في حين وضعت عدة بلدان خططاً رسمية لبناء مفاعلات جديدة أو تأخذ ذلك بعين الاعتبار. وتجري الاستعاضة عن المفاعلات الأقدم عمراً بمفاعلات متعددة الأغراض أقل عدداً، وسيلزم توفير قدر أكبر من التعاون الدولي بما يضمن الاستفادة من هذه المرافق على نطاق واسع واستخدامها بكفاءة.

١٥- وقد ظهرت من جديد في عام ٢٠١٣ التحديات التشغيلية التي كانت تواجَه في مرافق المعالجة ومفاعلات البحوث الأقدم عمراً، وإن لم تتأثر كثيرًا إمدادات الموليبدينوم-٩٩ كما تأثَّرت بشدة في الفترة بين عامي ٢٠٠٧ و٢٠١٠ نظرًا للتحسن في إدارة المتطلبات وتنويع الإمدادات. وما زالت أستراليا وجنوب أفريقيا هما أكبر المورِّدين للموليبدينوم-٩٩ الذي لا يحتوي على يورانيوم شديد الإثراء. وواصلت جنوب أفريقيا تحويل عملياتها إلى الاستخدام الحصري لليورانيوم الضعيف الإثراء. واستمرت بلجيكا وهولندا في خططهما الرامية إلى تحويل عملياتهما الإنتاجية على نطاق تجاري من استخدام اليورانيوم الشديد الإثراء إلى استخدام اليورانيوم الضعيف الإثراء.

١٦- وأصبحت الجمهورية التشيكية وفييت نام وهنغاريا ضمن البلدان الخالية من وقود اليورانيوم الشديد الإثراء بعد إعادة وقود اليورانيوم الشديد الإثراء المستهلك الذي كان لديهما إلى الاتحاد الروسي.

١٧- وتظل التكنولوجيا النووية تساهم بدرجة كبيرة في تحقيق الأهداف الإنمائية للألفية. والكثير من الدول الأعضاء مقتنعة بأن القوى النووية يمكن أن تبدِّد المخاوف المتعلقة بتغير المناخ عن طريق تقليص انبعاثات الكربون. وتُقدِّم التكنولوجيات غير المتعلقة بالقوى مساهمة كبيرة كذلك من خلال البرامج والتعاون التقني في مجالات الصحة البشرية والأغذية والزراعة وإدارة الموارد المائية والبيئتين البحرية والبرية وإنتاج النظائر المشعة والتكنولوجيا الإشعاعية. ويتم تطبيق تقنيات الطب النووي والعلاج الإشعاعي بأمان وفعالية لمكافحة وباء السرطان المتزايد عالميًا والذي سيؤثِّر في البلدان النامية بمعدلات غير متكافئة في السنوات القادمة. ويُقدَّم الدعم للقضاء على الفقر والجوع بفضل ما تقوم به الوكالة من أنشطة في مجال الأغذية والزراعة تستخدم فيها التكنولوجيات النووية من أجل تحسين إدارة موارد التربة والأراضي، واستنباط أصناف محاصيل يمكن أن تنمو في تربة هامشية أو مالحة وفي ظل ظروف قاسية. وثمة تكنولوجيات أخرى تُستَخدم لتحسين الجوانب الإنتاجية والصحية الخاصة بالماشية ومكافحة الآفات الحشرية التي تدمِّر المحاصيل وتنشر الأمراض الحيوانية والبشرية، كما تُستخدم لتشعيع المنتجات الغذائية بأمان من أجل حماية المستهلكين من انتشار الأمراض التي تنقلها الأغذية والحد من تلف الأطعمة.

١٨- ولا يمكن تحقيق التنمية الزراعية المستدامة بدون إدارة مستدامة للموارد المائية. وتُستَخدَم التقنيات النووية والنظيرية لإجراء تقييم دقيق لحجم الموارد المائية وتحديد موقعها ومعدلات تجدُّدها، وكذلك للكشف عن التلوث في المياه الجوفية، وهي معلومات أساسية من أجل صوغ استراتيجيات طويلة المدى لإدارة الموارد المائية. ويتم دعم الاستدامة البيئية باستخدام العلوم والتطبيقات النووية في الكشف عن مصير الملوثات الإشعاعية في المناطق المحيطية والساحلية، وتحديد تأثيرات هذه الملوِّثات على الكائنات البحرية، وتقييم العمليات الحرارية البحرية الأساسية وعمليات دورات الكربون وتداعيات تغير المناخ. واستخدام التكنولوجيات الإشعاعية في معالجة دوافق المخلفات الصناعية ومياه الصرف الصحي والحمأة يساعد في الحفاظ على الموارد المائية وتحسين ظروف التربة، الأمر الذي يدعم الاستدامة البيئية بدرجة أكبر. وتتم دراسة العديد من هذه التكنولوجيات النووية بتعمق أكبر في هذه الوثيقة الخاصة باستعراض التكنولوجيا النووية.

١٩- ومع استمرار النمو في عدد السكان، يتنامى كذلك الطلب على توفير كميات كافية من الغذاء؛ كما تتزايد كمية غازات الدفيئة التي تتولد عن ذلك على طول سلسلة الإنتاج الغذائي، لا سيما فيما يتعلق بالماشية. وهناك دور فريد ينبغي أن تقوم به التكنولوجيات النووية الابتكارية والتكنولوجيات المتصلة بالمجال النووي في مجالات التغذية والصحة والتناسل والتربية المتصلة بالحيوان، بما يساهم في تحقيق الأمن الغذائي المستدام مع التخفيف من حدة تغير المناخ عن طريق تقليص انبعاثات غازات الدفيئة.

٢٠- وتُستخدم تقنيات نووية عديدة من أجل دراسة امتصاص البروتين الميكروبي والاستفادة منه، واستحداث محاصيل علفية أفضل، بهدف تحسين معدلات تحويل العلف والاستفادة من الطاقة، بما من شأنه أن يؤدي، بالاقتران مع مجموعة من الممارسات الجيدة كتحسين إدارة المراعي، إلى الحد من غازات الدفيئة. وتتزايد الإنتاجية الحيوانية من خلال استخدام البروجيسترون المرقوم باليود-١٢٥ في القياس المناعي الإشعاعي لتحديد الحيوانات الحوامل في قطعان الألبان، وهو ما يمكن استخدامه بعد ذلك لتقليص نسبة الحيوانات غير المنتِجة في مجال التربية. وتساهم التقنيات النووية كذلك في تحديد خصائص العوامل الوراثية الحيوانية، مما يسهِّل تحديد الصفات الجينية المفيدة، مثل تلك المسؤولة عن مقاومة الأمراض أو القدرة على النمو في ظل الإجهاد المناخي أو التغذوي.

٢١- وقد انتقل برنامج العمل من أجل علاج السرطان، وهو برنامج رائد من برامج الوكالة، إلى إدارة التعاون التقني اعتباراً من عام ٢٠١٤ وتم الارتقاء به ليصبح برتبة شعبة. وتهدف هذه المبادرة الجديدة إلى زيادة تعزيز فعالية وكفاءة تنفيذ البرنامج. وسيركِّز هذا البرنامج على تعبئة الموارد وحشد الأموال لاستخدامها في الأنشطة المتصلة بمكافحة السرطان؛ واستحداث منتجات وخدمات جديدة وتحسين المنتجات والخدمات القائمة في مجال مكافحة السرطان لتلبية احتياجات الدول الأعضاء (مثل البعثات المتكاملة لاستعراض برنامج العمل من أجل علاج السرطان، والجامعة الافتراضية لمكافحة السرطان، والموقع الإيضاحي النموذجي لبرنامج العمل من أجل علاج السرطان)؛ وإرساء وتعزيز الصلات بالجهات الشريكة مع التركيز على الطابع المكمِّل للولايات المسندة إلى كلٍّ منها، لا سيما منظمة الصحة العالمية.

٢٢- ويعتبر التصوير بالأشعة السينية من أقوى الأدوات في مجال الممارسة الطبية، حيث يضم مجموعة واسعة النطاق من التطبيقات التشخيصية، بما في ذلك الكشف عن السرطان وتحديد مراحله. وبالإضافة إلى ذلك، تُستخدم أساليب تصوير متعددة لوضع خطط علاجية في مجال العلاج الإشعاعي، وتُطبَّق التقنيات النووية لتحسين مكافحة السرطان في كل أرجاء العالم. وفي ميدان التصوير الإشعاعي الطبي، يتزايد الطلب باستمرار على التحوُّل من التصوير التقليدي (القائم على الأفلام) إلى التصوير الرقمي. ورغم أن التصوير الرقمي ينطوي

على مزايا هائلة، مثل تحسين الموثوقية وسهولة الاستخدام، فإن هناك تحديات تواجه التحوُّل بعيداً عن التصوير التقليدي، مثل ارتفاع التكاليف الرأسمالية بما في ذلك تنمية رأس المال البشري. والتحدي القائم بالنسبة للبلدان النامية عموماً هو العثور على منهجية مناسبة لاحتياجاتها وظروفها من أجل الانتقال بشكل فعال من تجهيز وتخزين الأفلام بالصورة التقليدية إلى الاستخراج والعرض بالشكل الرقمي.

٢٣- ويسمح استخدام تكنولوجيا التصوير الرقمي بالاقتران مع التصوير الإشعاعي عن بعد بإجراء التشخيص بصرف النظر عن المسافة بين الموقع الذي تؤخذ فيه الصورة ومكان الممارس. ولذلك فإن التصوير الإشعاعي عن بعد هو وسيلة فعالة لمعالجة التوزيع الجغرافي غير المتكافئ وحالات النقص المحلي للمتخصصين في مجال التصوير. ومن شأن تزايد دور التكنولوجيا أن يساعد على التخفيف من حدة النقص في الموارد البشرية، وإن كانت هذه التكنولوجيا تتطلَّب شبكات اتصالات أقوى، وسيكون من الضروري الاضطلاع بأدوار جديدة في دعم البنية الأساسية التقنية.

٢٤- ويساهم استمرار التوسع العمراني والتصنيع في المجتمعات على نطاق العالم في تلوث إمدادات المياه العذبة وتوليد حمأة مياه المجاري على الصعيد المحلي. ويمكن أن تساعد معالجة دوافق المخلفات الصناعية ومياه الصرف الصحي والحمأة باستخدام التكنولوجيات النووية، مثل معجلات الحزم الإلكترونية، في الحفاظ على الموارد المائية وحماية حياة الحيوانات والصحة العامة، وإنتاج أسمدة من الجوامد الأحيائية لتحسين ظروف التربة. وقد نجحت هذه التقنيات في إثبات فعاليتها في معالجة مياه الصرف الصحي الناتجة عن صباغة المنسوجات الصناعية، وفي تنظيف حمأة المجاري من أجل توفير مخلفات صلبة عالية الجودة لاستخدامها في التطبيقات الزراعية. وفي ظل كثافة حالات نقص المياه، زاد الاهتمام في جميع أنحاء العالم بإعادة استخدام المياه. ويجري اليوم اختبار التكنولوجيات الإشعاعية، بالاقتران مع عمليات المعالجة التقليدية، من أجل إنتاج مياه عالية الجودة يعاد استخدامها لأغراض الشرب بصورة غير مباشرة؛ ومن المتوقع أن تصبح هذه التكنولوجيات هي تكنولوجيات المعالجة المهيمِنة في المستقبل القريب.

٢٥- وتعتبر النظم الإيكولوجية البحرية مصدرًا حيويًا للأغذية وتوليد الدخل بالنسبة لقطاع كبير من سكان العالم. وفي بعض المناطق، تتعرض هذه النظم الإيكولوجية للتهديد بصورة دورية بسبب تكاثر الطحالب الضارة. ومن المتوقَّع أن يزيد تغير المناخ، إلى جانب توسُّع النشاط الاقتصادي، من تواتر هذه الأحداث. وعلى سبيل المثال، فإن السموم الطحلبية مسؤولة عن الخسائر الاقتصادية الهائلة لصناعة المحار من خلال فرض إغلاق مرافق الحصاد عندما تتجاوز السموم الموجودة في المحار حد مستويات التنظيم الرقابي. كما يزداد تواتر عمليات تكاثر الطحالب الضارة في بيئات المياه العذبة، مما يشكِّل تهديدًا للكائنات المائية التي تعيش في المياه العذبة وللماشية، وكذلك للبشر. وبعض التقنيات النووية، مثل اختبارات ربط أجهزة الاستقبال، هي أدوات مؤكدة لرصد السموم الطحلبية في المأكولات البحرية وفي البيئة بكفاءة، وكذلك لدراسة تأثير تغير المناخ على تكاثر الطحالب الضارة والنظام الإيكولوجي البحري ككل. وللاختبارات المذكورة ميزة مهمة تفوق الأساليب التقليدية، فهي محددة بدرجة عالية وحساسة للغاية، وبالتالي فهي تزوِّد السلطات الرقابية والمنتجين بإنذار مبكِّر فيما يتعلق بسمية تكاثر الطحالب الضارة.

استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠١٤

التقرير الرئيسي

ألف- تطبيقات القوى

ألف-١- القوى النووية اليوم

١- وصل عدد مفاعلات القوى التي كانت قيد التشغيل في ٣١ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣ على نطاق العالم إلى ٤٣٤ مفاعلاً بقدرة إجمالية بلغت ٣٧١,٧ غيغاواط (كهربائي)[٢] (أنظر الجدول ألف-١). ويمثّل ذلك انخفاضاً طفيفاً يُقدّر بنحو ١,٦ غيغاواط (كهربائي) من إجمالي القدرة مقارنةً بأرقام عام ٢٠١٢. وكانت هناك أربع حالات ربط جديدة بالشبكة في عام ٢٠١٣، وهي: هونغيانهي ١ و٢ (١٠٠٠ ميغاواط (كهربائي)) ويانغجيانغ-١ (١٠٠٠ ميغاواط (كهربائي)) في الصين، وكودانكولام-١ (٩١٧ ميغاواط (كهربائي)) في الهند.

٢- ومن بين المفاعلات التجارية قيد التشغيل، تمثل المفاعلات المهدأة والمبردة بالماء الخفيف نحو ٨١٪؛ والمفاعلات المهدأة والمبردة بالماء الثقيل ١١٪؛ والمفاعلات المبرّدة بالماء الخفيف والمهدّأة بالغرافيت ٤٪؛ والمفاعلات المبردة بالغاز ٣٪ (الشكل ألف-١). ويوجد اثنان من المفاعلات السريعة المبرّدة بالمعدن السائل.

---

[٢] واحد غيغاواط (كهربائي) يساوي ألف مليون واط من القوى الكهربائية.

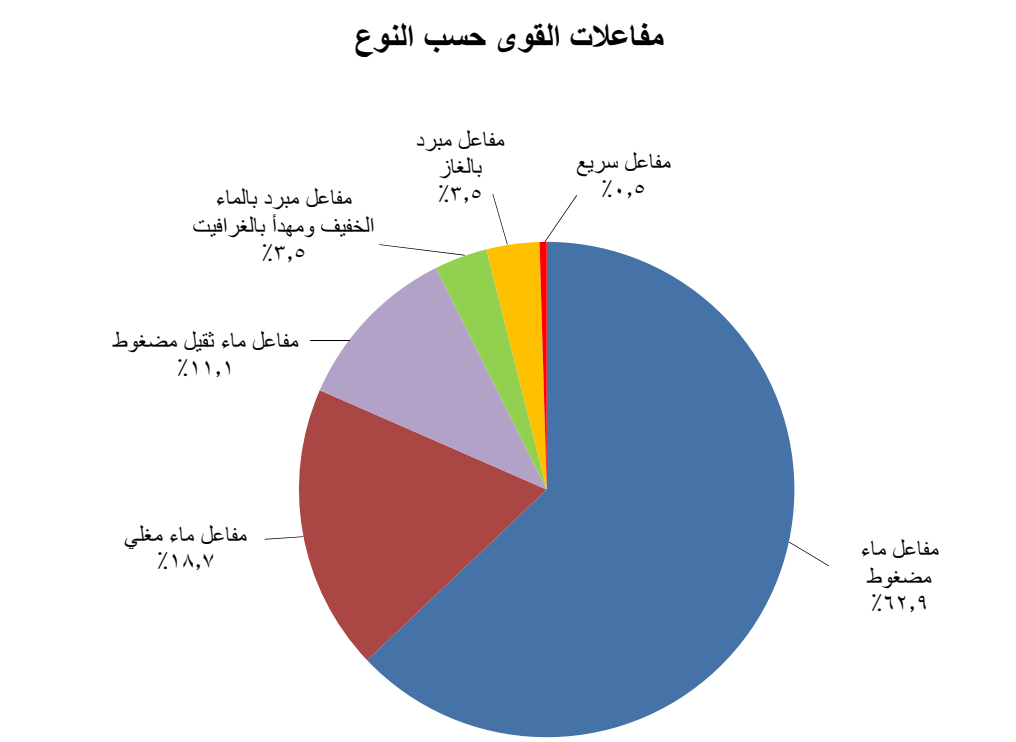
الجدول ألف-١ مفاعلات القوى النووية قيد التشغيل وتحت الإنشاء في العالم (حتى ٣١ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣)[أ]

البلد	المفاعلات قيد التشغيل		المفاعلات تحت الإنشاء		إمدادات الكهرباء النووية في عام ٢٠١٣		مجموع الخبرة التشغيلية حتى نهاية عام ٢٠١٣	
	عدد الوحدات	المجموع بالميغاواط (الكهربائي)	عدد الوحدات	المجموع بالميغاواط (الكهربائي)	تيراواط-ساعة	النسبة المئوية من المجموع	الأعوام	الشهور
الاتحاد الروسي	٣٣	٢٣ ٦٤٣	١٠	٨ ٣٨٢	١٦١,٧	١٧,٥	١١٢٤	٢
الأرجنتين	٢	٩٣٥	١	٦٩٢	٥,٧	٤,٤	٧٠	٧
أرمينيا	١	٣٧٥			٢,٢	٢٩,٢	٣٩	٨
إسبانيا	٧	٧ ١٢١			٥٤,٣	١٩,٧	٣٠١	١
ألمانيا	٩	١٢ ٠٦٨			٩٢,١	١٥,٤	٧٩٩	١
الإمارات العربية المتحدة			٢	٢٦٩٠				
أوكرانيا	١٥	١٣ ١٠٧	٢	١٩٠٠	٧٨,٢	٤٣,٦	٤٢٨	٦
إيران (جمهورية-الإسلامية)	١	٩١٥			٣,٩	١,٥	٢	٤
باكستان	٣	٦٩٠	٢	٦٣٠	٤,٤	٤,٤	٥٨	٨
البرازيل	٢	١ ٨٨٤	١	١ ٢٤٥	١٣,٨	٢,٨	٤٥	٣
بلجيكا	٧	٥ ٩٢٧			٤٠,٦	٥٢,١	٢٦١	٧
بلغاريا	٢	١ ٩٠٦			١٣,٣	٣٠,٧	١٥٥	٣
بيلاروس			١	١ ١٠٩				
الجمهورية التشيكية	٦	٣ ٨٨٤			٢٩,٠	٣٥,٩	١٣٤	١٠
جمهورية كوريا	٢٣	٢٠ ٧٢١	٥	٦ ٣٧٠	١٣٢,٥	٢٧,٦	٤٢٧	١
جنوب أفريقيا	٢	١ ٨٦٠			١٣,٦	٥,٧	٥٨	٣
رومانيا	٢	١ ٣٠٠			١٠,٧	١٩,٨	٢٣	١١
سلوفاكيا	٤	١ ٨١٥	٢	٨٨٠	١٤,٦	٥١,٧	١٤٨	٧
سلوفينيا	١	٦٨٨			٥,٠	٣٣,٦	٣٢	٣
السويد	١٠	٩ ٤٧٤			٦٣,٧	٤٢,٧	٤١٢	٦
سويسرا	٥	٣ ٣٠٨			٢٥,٠	٣٦,٤	١٩٤	١١
الصين	٢٠	١٥ ٩٧٧	٢٩	٢٨ ٧٧٤	١٠٤,٨	٢,١	١٦٠	٠
فرنسا	٥٨	٦٣ ١٣٠	١	١ ٦٣٠	٤٠٥,٩	٧٣,٣	١٩٣٢	٣
فنلندا	٤	٢ ٧٥٢	١	١ ٦٠٠	٢٢,٧	٣٣,٣	١٣٩	٤
كندا	١٩	١٣ ٥٠٠			٩٤,٣	١٦	٦٥٥	٧
المكسيك	٢	١ ٣٣٠			١١,٤	٤,٦	٤٣	١١
المملكة المتحدة	١٦	٩ ٢٤٣			٦٤,١	١٨,٣	١٥٢٧	٧
الهند	٢١	٥ ٣٠٨	٦	٣ ٩٠٧	٣٠,٠	٣,٥	٣٩٧	٦
هنغاريا	٤	١ ٨٨٩			١٤,٥	٥٠,٧	١١٤	٢
هولندا	١	٤٨٢			٢,٧	٢,٨	٦٩	٠
الولايات المتحدة الأمريكية	١٠٠	٩٩ ٠٨١	٤	٥ ٦٣٣	٧٩٠,٢	١٩,٤	٣٩١٢	٤
اليابان	٤٨	٤٢ ٣٨٨	٢	١ ٣٢٥	١٣,٩	١,٧	١٦٤٦	٤
المجموع[ب،ج]	٤٣٤	٣٧١ ٧٣٣	٧٢	٦٩ ٣٦٧	٢ ٣٥٨,٩		١٥ ٦٦٠	٧

أ- أخذت البيانات من نظام المعلومات عن مفاعلات القوى الخاص بالوكالة (http://www.iaea.org/pris)

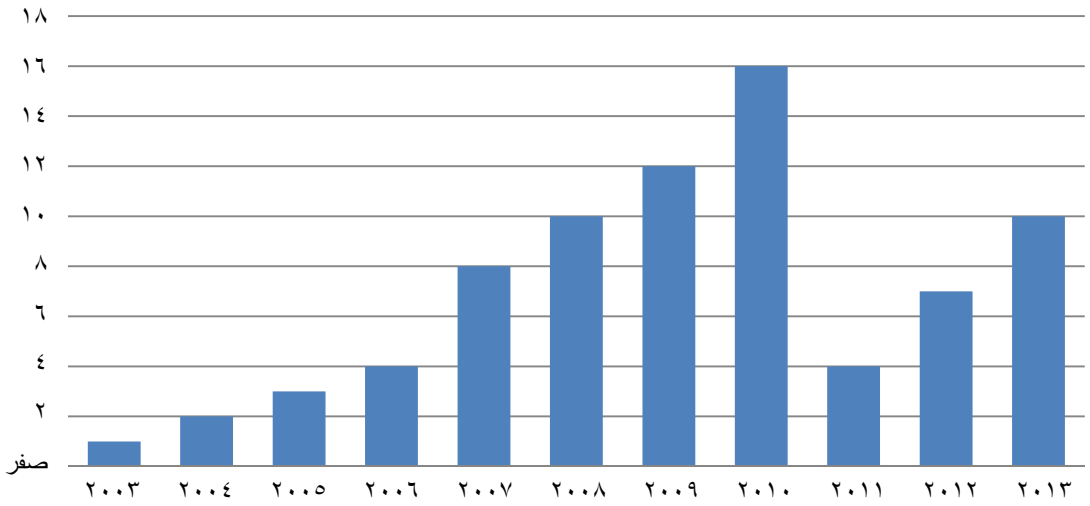
ب- ملحوظة: هذا المجموع يتضمّن البيانات التالية المتعلقة بتايوان، الصين:
٦ وحدات، ٥٠٣٢ ميغاواط (كهربائي) قيد التشغيل؛ ووحدتان، ٢٦٠٠ ميغاواط (كهربائي) جارٍ تشييدهما؛
٣٩,٨ تيراواط-ساعة من الكهرباء المولدة نووياً، أي ما يمثّل ١٩,١٪ من إجمالي حجم الكهرباء المولّدة.

ج- يشمل إجمالي الخبرة التشغيلية أيضاً المحطات المغلقة في إيطاليا (٨٠ عاماً و٨ شهور) وكازاخستان (٢٥ عاماً و١٠ شهور) وليتوانيا (٤٣ عاماً و٦ شهور) وتايوان، الصين (١٩٤ عاماً وشهر واحد).



الشكل ألف-١ - التوزيع الحالي لأنواع المفاعلات. (مفاعل ماء مغلي؛ مفاعل سريع؛ مفاعل مبرد بالغاز؛ مفاعل مبرد بالماء الخفيف ومهدأ بالغرافيت؛ مفاعل ماء ثقيل مضغوط؛ مفاعل ماء مضغوط)

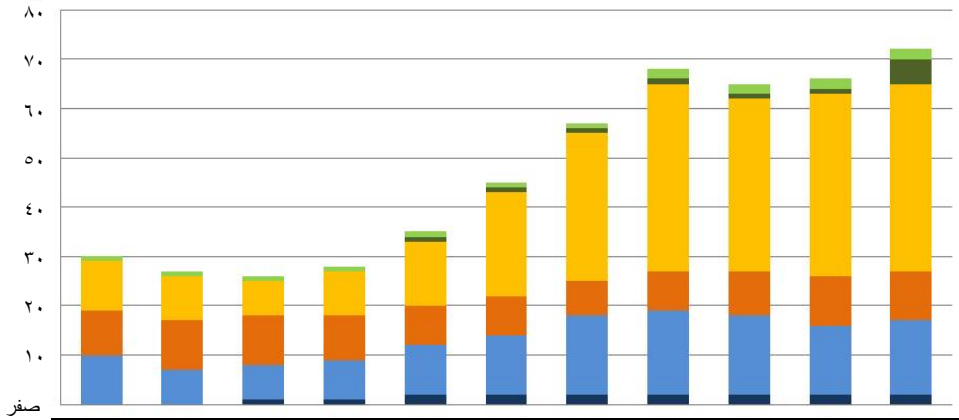
٣- وفي حين أن عدد حالات البدء في تشييد مفاعلات جديدة قد انخفض من ١٦ في عام ٢٠١٠ إلى أربع حالات في عام ٢٠١١، فقد كانت هناك سبع حالات في عام ٢٠١٢ و١٠ في عام ٢٠١٣ (الشكل ألف-٢)، وهو ما يشير إلى اتجاه نحو الصعود منذ وقوع حادث محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. وبدأت الأعمال الإنشائية في سمر ٢ و٣ وفوغتل ٣ و٤ في الولايات المتحدة، وتيانوان-٤ ويانغجيانغ-٥ و٦ في الصين، وشين-هانول-٢ (الاسم الجديد لمحطة شين-أولتشين-٢) في جمهورية كوريا، وبراكة-٢ في الإمارات العربية المتحدة، وبيلاروسيان-١ في بيلاروس. وبيلاروس هي ثاني بلد "مستجد" نووي يبدأ في تشييد أولى محطاته للقوى النووية في العقود الثلاثة الأخيرة بعد الإمارات العربية المتحدة التي بدأ فيها تشييد أول محطة للقوى النووية في عام ٢٠١٢.



الشكل ألف-٢ - اتجاه حالات بدء تشييد مفاعلات القوى.

٤- وفي عام ٢٠١٣، تم الإعلان رسمياً عن إغلاق ست مفاعلات بصفة دائمة، وهي: كريستال ريفر-٣ وكيووني وسان أونوفري ٢ و٣ في الولايات المتحدة الأمريكية، وفوكوشيما دايتشي ٥ و٦ في اليابان. ويزيد ذلك بمقدار ثلاث مفاعلات عن عام ٢٠١٢، ولكنه يقل كثيراً عن حالات الإغلاق الثلاث عشرة في عام ٢٠١١. وبالإضافة إلى ذلك، ثمة مفاعل واحد في إسبانيا، وهو مفاعل سانتا ماريا دي غارونا، أعلِن أنه في حالة "إغلاق طويل الأجل".

٥- وبلغ في ٣١ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣ عدد المفاعلات التي كانت لا تزال قيد الإنشاء ٧٢ مفاعلاً، وهو أعلى رقم منذ عام ١٩٨٩. وعلى غرار السنوات السابقة، لا تزال حالات التوسّع وكذلك آفاق النمو في الأجلين القصير والطويل متركزة في آسيا (أنظر الجدول ألف-٣)، لا سيما في الصين. ومن بين المفاعلات الاثنين والسبعين الجاري تشييدها، هناك ٤٨ مفاعلاً في آسيا؛ ومن بين المفاعلات الاثنين والخمسين الجديدة التي تم ربطها بالشبكة منذ عام ٢٠٠٠ هناك أيضاً ٤٢ مفاعلاً في آسيا.



	٢٠٠٣	٢٠٠٤	٢٠٠٥	٢٠٠٦	٢٠٠٧	٢٠٠٨	٢٠٠٩	٢٠١٠	٢٠١١	٢٠١٢	٢٠١٣
أمريكا اللاتينية	١	١	١	١	١	١	١	٢	٢	٢	٢
أمريكا الشمالية	٠	٠	٠	٠	١	١	١	١	١	١	٥
آسيا - والشرق الأقصى	١٠	٩	٧	٩	١٣	٢١	٣٠	٣٨	٣٥	٣٧	٣٨
الشرق الأوسط وجنوب آسيا	٩	١٠	١٠	٩	٨	٨	٧	٨	٩	١٠	١٠
أوروبا الشرقية والوسط	١٠	٧	٧	٨	١٠	١٢	١٦	١٧	١٦	١٤	١٥
أوروبا الغربية	٠	٠	١	١	٢	٢	٢	٢	٢	٢	٢

الشكل ألف-٣- عدد المفاعلات الجاري تشييدها حسب المنطقة.

٦- واستمر في عام ٢٠١٣ الاتجاه نحو رفع معدّلات القوى وتجديد أو تمديد تراخيص المفاعلات العاملة. ومددت هيئة الأمان النووي الكندية تراخيص تشغيل مفاعلات الماء الثقيل المضغوط الستة في بيكرينغ لمدة خمس سنوات. ووافقت الهيئة الرقابية النووية في الولايات المتحدة على رفع معدلات القوى في ثلاث وحدات، هي ماكغواير ١ و٢، ومونتسيللو. ومددت المفتشية الحكومية الأوكرانية للرقابة النووية رخصة تشغيل الوحدة ١ في محطة جنوب أوكرانيا للقوى النووية لمدة ١٠ سنوات.

٧- وفي عام ٢٠١٣، أحرزت عدة بلدان تقدماً كبيراً في تشييد أولى محطاتها للقوى النووية. ففي الإمارات العربية المتحدة انتهت مؤسسة الإمارات للطاقة النووية من أول صبة خرسانية لوحدتها الثانية في موقع براكة في أيار/مايو ٢٠١٣. ولا يزال طلب الترخيص الخاص بتشييد وحدتين إضافيتين قيد النظر. ومن المقرر أن يبدأ تشغيل أول وحدة من الوحدات الأربع بحلول عام ٢٠١٧، بينما من المتوقع أن يبدأ تشغيل سائر الوحدات في عام ٢٠٢٠.

٨- وانتهت بيلاروس في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣ من أول صبة خرسانية لوحدتها الأولى بيلاروسيان-١ (الشكل ألف-٤). وهذه هي أول وحدة تشييد من إجمالي وحدتين من طراز WWER-1200 بموجب العقد الموقع مع شركة أتومسترويكسبورت في تموز/يوليه ٢٠١٢.

الشكل ألف-٤- تشييد أول محطة للقوى النووية في بيلاروس بدأ في موقع أوستروفتس في ٦ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣ . (الصورة من: مديرية تشييد محطات القوى النووية، بيلاروس)

٩- وتواصل تركيا تطوير البنية الأساسية لبرنامجها الخاص بالقوى النووية وتجهّز لتشييد أربع وحدات من طراز WWER-1200 في أكويو. وفي عام ٢٠١٣، قدمت الشركة المعنية بمشروع محطة أكويو للقوى النووية تقريراً عن تقييم التأثر البيئي للمشروع. ووقعت تركيا اتفاق تعاون مع اليابان لإنشاء محطة قوى نووية ثانية في سينوب. وخلصت بعثة الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية التي أوفدتها الوكالة إلى تركيا في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣ (الشكل ألف-٥) إلى أن تركيا حققت تقدماً في تطوير بنيتها الأساسية النووية وأوصت باتخاذ إجراءات أخرى.

١٠- وقطعت عدة بلدان قررت الأخذ بالقوى النووية أشواطاً بعيدة في إعداد البنية الأساسية. وبدأت بنغلاديش في عام ٢٠١٣ الأعمال التحضيرية الخاصة بالموقع عقب توقيعها اتفاقاً حكومياً دولياً مع الاتحاد الروسي في عام ٢٠١١ بشأن التعاون في تشييد محطة مؤلَّفة من وحدتين للقوى النووية في روبور. وفي تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣، اختارت الأردن شركة أتومسترويكسبورت في الاتحاد الروسي كمورِّد مفضل، وتعكف حالياً على تحديد خصائص موقع عَمره. وتزمع بولندا بناء محطتين للقوى النووية. وخلصت بعثة استعراض متكامل للبنية الأساسية النووية جرى تنظيمها في آذار/مارس ٢٠١٣ إلى أن بولندا أحرزت تقدماً وأوصت باتخاذ إجراءات أخرى. وفي عام ٢٠١٣، انتهت فييت نام من دراسات الجدوى المتعلقة بموقعين لمحطتين للقوى النووية في نينه ثوان بقدرة إجمالية تبلغ ٤٠٠٠ ميغاواط (كهربائي). ولا تزال نيجيريا ومصر تطوران بنيتهما الأساسية اللازمة لإدخال القوى النووية. وطلبت كلٌّ من الأردن ونيجيريا والمغرب رسمياً تحديد مواعيد لبعثات الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية في عام ٢٠١٤. وفي كانون الثاني/يناير ٢٠١٣، أصبحت جنوب أفريقيا أول بلد مشغل يستقبل بعثة استعراض متكامل للبنية الأساسية النووية من أجل استعراض بنيتها الأساسية النووية في إطار التحضير للإنشاءات الجديدة المزمعة.

١١- وتواصل عدة بلدان النظر في الأخذ بالقوى النووية. ويعكف بعضها بهمة على التحضير لاتخاذ قرار مستنير بشأن التنفيذ المحتمل لبرنامج قوى نووية، وتقوم عدة بلدان بصياغة استراتيجياتها بشأن الطاقة كي تشمل

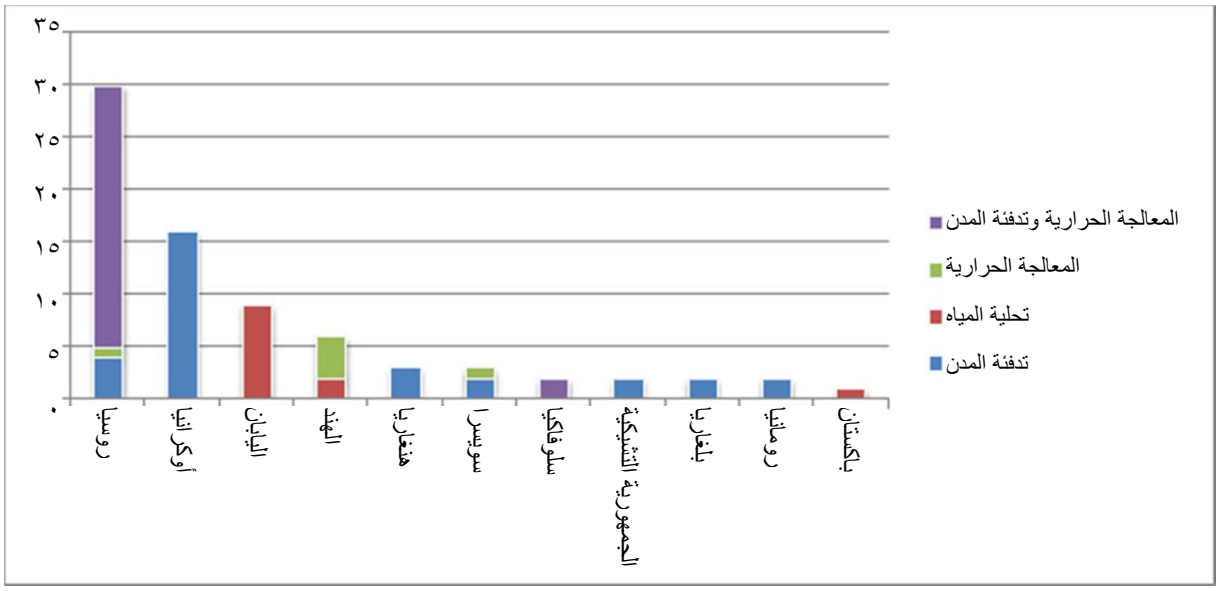
خيار القوى النووية. وينصب التركيز في هذه المرحلة على تطوير البنية الأساسية القانونية والرقابية الشاملة اللازمة لدعم برنامج القوى النووية، بالإضافة إلى تنمية الموارد البشرية المطلوبة.

الشكل ألف-٥- خبراء من الوكالة وخبراء دوليون مع نظرائهم الأتراك خلال بعثة استعراض متكامل للبنية الأساسية النووية في الفترة من ٤ إلى ١٤ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣ . (الصورة من: وزارة الطاقة والموارد الطبيعية، تركيا)

١٢- ومن بين البلدان الثلاثين التي تُشغّل بالفعل محطات للقوى النووية، يقوم ١٣ بلداً، بما في ذلك الصين وجمهورية كوريا والاتحاد الروسي والولايات المتحدة الأمريكية، إما بتشييد محطات جديدة، أو تعمل بلدان بهمة على الانتهاء من أعمال التشييد التي كانت قد توقفت من قبل، بما فيها الأرجنتين والبرازيل وسلوفاكيا. ويخطط بالفعل ١٢ بلداً آخر من البلدان التي تُشغّل محطات قوى نووية، بما فيها الجمهورية التشيكية وهنغاريا وجنوب أفريقيا والمملكة المتحدة، لتشييد محطات جديدة أو للانتهاء من أعمال التشييد التي كانت قد توقفت من قبل، مثل رومانيا والولايات المتحدة الأمريكية.

١٣- وعلى الرغم من أن الصناعة النووية قد سعت على مدار تاريخها إلى تحقيق وفورات في الحجم، فإن هناك اهتماماً متزايداً بالمفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم، ويرجع ذلك في جانب منه إلى أنها تتطلب قدراً أقلّ من الاستثمارات وتقلل من مخاطر الاستثمار المالي. ويعمل حالياً ١٣٠ مفاعلاً صغيراً ومتوسط الحجم في ٢٦ بلداً بقدرة إجمالية تبلغ ٥٨,٢ غيغاواط (كهربائي) كما أن ١٤ من المفاعلات الاثنين والسبعين الجاري تشييدها صغيرة ومتوسطة الحجم. ويوجد حالياً قيد البحث والتطوير ما يقرب من ٤٥ مفهوماً ابتكارياً لمفاعلات صغيرة ومتوسطة الحجم، وهو ما سترد تفاصيله في القسم باء-١-٤.

١٤- وعلى الرغم من أن إنتاج الكهرباء يمثّل الوظيفة الرئيسية للمفاعلات العاملة اليوم؛ فإن عدداً منها يُستخدَم أيضاً حالياً لأغراض إزالة الملوحة والمعالجة الحرارية وتدفئة المدن (الشكل ألف-٦). وتشمل الاستخدامات غير الكهربائية الإضافية الممكنة في المستقبل إنتاج الهيدروجين، أولاً لتحسين جودة الموارد البترولية الرديئة النوعية، مثل الرمال النفطية، مع موازنة انبعاثات الكربون المرتبطة بإعادة تشكيل الميثان البخاري؛ وثانياً، دعم عمليات الإنتاج الواسعة النطاق لأنواع الوقود السائل الاصطناعي على أساس الكتلة الأحيائية أو الفحم أو مصادر الكربون الأخرى؛ وثالثاً، الاستخدام بصورة مباشرة كوقود للسيارات، وعلى الأرجح سيارات الخدمة الخفيفة الكهربائية الهجينة العاملة بخلايا الوقود الهيدروجينية. ويمكن لاستخدام محطات القوى النووية في توليد الكهرباء وفي التطبيقات غير الكهربائية، أي التوليد المشترك للطاقة النووية، أن يحقق مجموعة متنوعة من الفوائد الاقتصادية لكبار مستخدمي الطاقة، إذ تتجسد زيادة كفاءة محطات القوى النووية في تحسن الأداء الاقتصادي، وانخفاض انبعاثات كل الملوثات، وزيادة العولمة وجودة القوى، وتحسن استخدام الوقود النووي، ومرونة الشبكة الكهربائية. ويخصص القسم باء-١-٦ للتوليد المشترك للطاقة النووية.



الشكل ألف-٦ - عدد المفاعلات المستخدمة للأغراض غير الكهربائية ولإنتاج الكهرباء على السواء.

ألف-٢- النمو المتوقّع للقوى النووية

١٥- اختار ثلاثون بلدًا القوى النووية، ويفكِّر العدد ذاته تقريباً من البلدان مرةً أخرى في إدراج القوى النووية كجزء من مزيجها من الطاقة، نظراً لما تراه من إغراءات في فوائدها الطويلة الأجل. ومن الرسائل الرئيسية التي انبثقت عن *مؤتمر الوكالة الوزاري بشأن القوى النووية في القرن الواحد والعشرين* الذي عُقد في سانت بطرسبرغ في حزيران/يونيه ٢٠١٣، أن القوى النووية سيكون لها في الكثير من البلدان دور مهم في تحقيق أمن الطاقة وأهداف التنمية المستدامة. ويمكن للقوى النووية، باعتبارها مصدراً نظيفاً منخفض الكربون، أن تساعد البلدان على تلبية الطلب المتزايد على الكهرباء، والحد من انبعاثات الكربون استجابة للمسائل المثيرة للقلق بشأن تغير المناخ، وتقليص المخاوف حيال أمن إمدادات الطاقة، والحد من الاعتماد على أنواع الوقود الأحفوري المعرضة لتفاوتات وتقلبات الأسعار الإقليمية.

١٦- وتشير توقعات الوكالة لعام ٢٠١٣ إلى أنَّ القوى النووية ستشهد بحلول عام ٢٠٣٠ نمواً يتراوح بين ١٧٪ كنسبة تمثل التوقعات المنخفضة و٩٤٪ كنسبة تمثل التوقعات المرتفعة. وتقل هذه الأرقام بقليل عما كان متوقعاً في عام ٢٠١٢، مما يدل على استمرار تأثير حادث فوكوشيما داييتشي، وانخفاض أسعار الغاز الطبيعي، وتزايد قدرات الطاقة المتجددة المدعومة.

١٧- وتشير التوقعات المرتفعة إلى أن مجموع القدرة العالمية سيصل إلى ٧٢٢ غيغاواط (كهربائي) بحلول عام ٢٠٣٠، أي أنها ستزداد بمقدار الضعف تقريباً مقارنةً بمستويات عام ٢٠١٢. وتستند هذه التقديرات إلى افتراضات متفائلة، وإن كانت معقولة، بشأن معدلات النمو الاقتصادي والطلب على الكهرباء، لاسيما في الشرق الأقصى. وتفترض التوقعات المرتفعة تغييرات في السياسات الوطنية المتعلقة بتغير المناخ وتحسناً في الاقتصاد العالمي، وهو ما سيدفع بلداناً أكثر نحو الأخذ بالقوى النووية في مزيجها من الطاقة أو توسيع قدراتها القائمة.

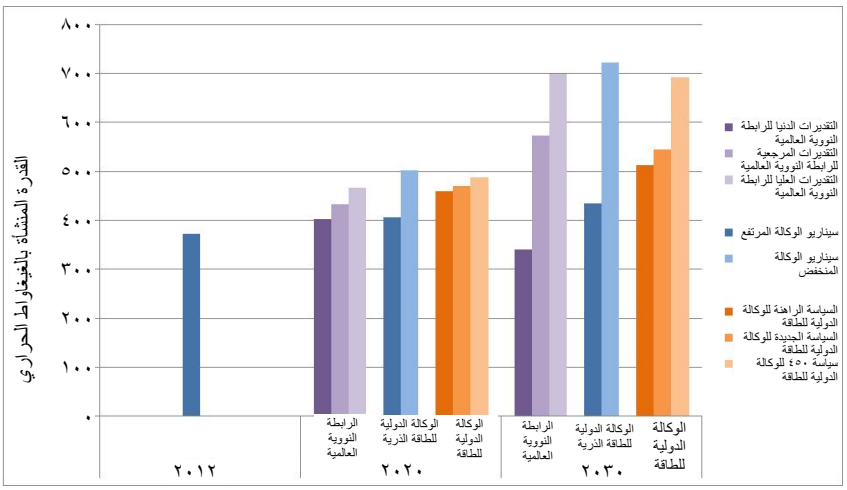
١٨- ووفقاً للتوقعات المنخفضة، سيزداد مجموع القدرة العالمية ليصل إلى ٤٣٥ غيغاواط (كهربائي) في عام ٢٠٣٠، بزيادة قدرها ٦٢ غيغاواط (كهربائي) فقط عن مستويات عام ٢٠١٢. ويفترض هذا التقدير أن

الاتجاهات الراهنة للسوق والتكنولوجيا والموارد لن تشهد سوى القليل من التغييرات في القوانين والسياسات واللوائح الداعمة للزيادة في الأخذ بالقوى النووية. وتعبر التوقعات المنخفضة عن توقف بعض البلدان لمدة طويلة عن التطوير النووي أو اتخاذها قراراً بعدم مواصلته بسبب حادث فوكوشيما داييتشي.

١٩- وتشير التوقعات إلى أن النمو سيصل إلى أقوى معدلاته في المناطق التي لديها بالفعل محطات قوى نووية قيد التشغيل، وتأتي على رأسها البلدان الآسيوية، بما فيها الصين وجمهورية كوريا. وتكشف منطقة أوروبا الشرقية التي تشمل روسيا، وكذلك منطقة الشرق الأوسط وجنوب آسيا التي تشمل الهند وباكستان، عن إمكانات قوية للنمو.

٢٠- وتكشف أيضاً التقييمات الأخرى عن نمو نووي لا يختلف عن توقعات الوكالة. وتشير *توقعات الطاقة في العالم لعام ٢٠١٣* الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي إلى أن القوى النووية ستزداد إلى ٥١٣ غيغاواط (كهربائي) بحلول عام ٢٠٣٠ في ظل سيناريو السياسات الراهنة، و٥٤٥ غيغاواط (كهربائي) في سيناريو السياسات الجديدة، و٦٩٢ غيغاواط (كهربائي) في السيناريو الأعلى الذي يفترض أن الزيادة العالمية في درجات الحرارة ستقتصر على ٢ درجة مئوية. ويعني ذلك أن التوقعات المنخفضة للوكالة متحفظة بصورة متواضعة، إذ تقل تقديراتها لعام ٢٠٣٠ بمقدار ٧٨ غيغاواط (كهربائي) عن أقل توقعات الوكالة الدولية للطاقة.

٢١- ويقارن الشكل ألف-٧ بين توقعات الوكالة الدولية للطاقة الذرية لعام ٢٠١٣، وسيناريوهات الوكالة الدولية للطاقة لعام ٢٠١٣، وتوقعات الرابطة النووية العالمية لعام ٢٠١٣ في تقريرها المعنون *السوق العالمية للوقود النووي: العرض والطلب للفترة ٢٠١٣-٢٠٣٠*. وتتشابه نتائج السيناريوهات المرتفعة في المنظمات الثلاث.



الشكل ألف-٧- مقارنة توقعات القوى النووية بين الوكالة الدولية للطاقة الذرية والرابطة النووية العالمية والوكالة الدولية للطاقة.

القوى النووية: تكنولوجيا منخفضة الكربون[٣]

تتميز القوى النووية والقوى المائية وطاقة الرياح بأن دورة حياة غازات الدفيئة المنبعثة منها هي الأقصر بين كل مصادر توليد القوى. وسوف تزداد أهمية تلك التكنولوجيات في ظل فرض قيود جديدة على الكربون في الاتفاق المقبل بشأن تغير المناخ العالمي المقرر توقيعه في عام ٢٠١٥. واستناداً في المقام الأول إلى قاعدة بيانات القائمة الإيكولوجية (ecoinvent) واستنباطات المختبر الوطني للطاقة المتجددة في الولايات المتحدة، يقدر متوسط انبعاثات غازات الدفيئة من مفاعل الماء الخفيف بأنه ١٤,٩ غرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون لكل كيلوواط/ساعة، بما في ذلك الانبعاثات الناجمة عن تعدين اليورانيوم طيلة دورة الحياة حتى التخلص من النفايات.

وتشبه انبعاثات غازات الدفيئة الناجمة عن القوى المائية المتولدة من الخزانات الألبية وغير الألبية، وكذلك نظم توليد الطاقة من التيارات النهرية على امتداد دورة الحياة، ما تطلقه القوى النووية من انبعاثات. وتتوقف انبعاثات طاقة الرياح على حجم (فئة) توربينات الرياح، فالوحدات الصغيرة (١-٣ ميغاواط) تولد في الواقع انبعاثات أقل تبعاً لقدرتها بالمقارنة مع الوحدات الكبيرة (أكثر من ٣ ميغاواط) التي تتطلب استخداماً أعلى للطاقة وللمواد بغرض تشييدها. ولا تختلف انبعاثات الوحدات البرية والبحرية الصغيرة عن الانبعاثات الناجمة عن القوى النووية، وأما الوحدات الأكبر فيمكن أن تتولد عنها انبعاثات أكثر بمقدار عشرة أضعاف.

ولكي توضع تلك القيم في منظورها الصحيح، تزيد الانبعاثات الناجمة عن الطاقة الأحفورية بنحو ١٠ أضعاف مقارنةً بالقوى النووية. ومن ذلك، على سبيل المثال، أن الانبعاثات الناجمة عن الفحم الصلب تقدر بنحو ١٢٠٠ غرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون للكيلوواط/ساعة، والانبعاثات الناجمة عن الغاز الطبيعي التقليدي بنحو ٦٥٠ غراماً من مكافئ ثاني أكسيد الكربون للكيلوواط/ساعة، لتقل بذلك بمقدار النصف تقريباً عن قيمة الانبعاثات الناجمة عن الفحم. ويمكن تقليص انبعاثات غازات الدفيئة الناجمة عن الوقود الأحفوري من خلال احتجاز الكربون وعزله، لتصل بذلك الانبعاثات الناجمة عن الفحم إلى نحو ٢٠٠ غرام من مكافئ ثاني أكسيد الكربون للكيلوواط/ساعة، وانبعاثات الغاز الطبيعي إلى ١٥٠ غراماً من مكافئ ثاني أكسيد الكربون للكيلوواط/ساعة.

وبالرغم من أن انبعاثات غازات الدفيئة الناجمة عن القوى النووية منخفضة أصلاً، فإن انبعاثاتها في المستقبل ستزداد انخفاضاً بفضل زيادة كفاءة إنتاج اليورانيوم المثرى، وتحسين أنواع الوقود النووي والمفاعلات النووية بما يسمح بزيادة الاستفادة منها، وتمديد العمر التشغيلي لمحطات القوى النووية وبالتالي تقليص الحاجة إلى بناء مرافق جديدة.

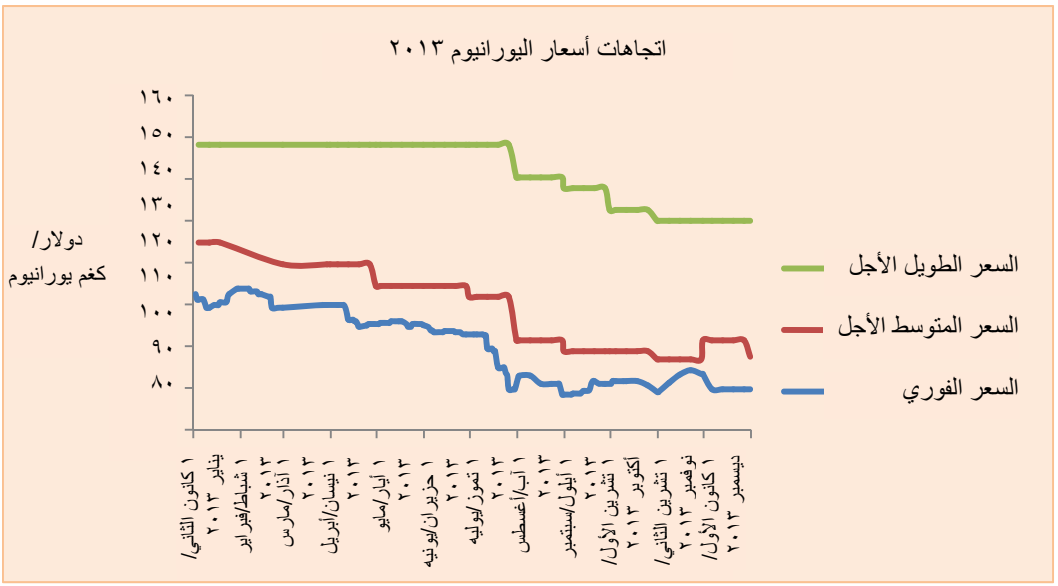
---

[٣] تُتاح على الموقع الشبكي http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC58/Documents/ معلومات إضافية عن القوى النووية وتغير المناخ.

ألف-٣- دورة الوقود

ألف-٣-١- موارد اليورانيوم وإنتاجه

٢٢- ظلت أسعار البيع الفوري لليورانيوم منخفضة في عام ٢٠١٣ عند أدنى مستوياتها منذ سبع سنوات، حيث تراجعت من نحو ١١٥ دولاراً للكيلوغرام الواحد من اليورانيوم في مطلع السنة إلى ما يقرب من ٩٠ دولاراً للكيلوغرام الواحد من اليورانيوم بحلول نهاية السنة. ولوحظ تأثير ذلك أيضاً على الأسعار الطويلة الأجل المبلغ عنها التي وصلت إلى نحو ١٥٠ دولاراً للكيلوغرام الواحد من اليورانيوم في بداية السنة وتراجعت إلى نحو ١٣٠ دولاراً للكيلوغرام الواحد من اليورانيوم في نهاية السنة. وأدى انخفاض الأسعار إلى التضييق كثيراً على قدرة الشركات في جمع الأموال للاستكشاف ودراسات الجدوى، وهو ما سيؤثّر على الإنتاج مستقبلًا. ومن المرجح إرجاء تنفيذ الكثير من المشاريع الجديدة التي كان قد أعلن عنها من قبل. وتشير تقديرات تقرير *اليورانيوم في عام ٢٠١١: موارده وإنتاجه والطلب عليه"* المعروف باسم 'الكتاب الأحمر' الذي أصدرته الوكالة بالاشتراك مع وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي في عام ٢٠١٢، إلى أن الكمية الإجمالية لموارد اليورانيوم التقليدية المحدّدة التي يمكن استخلاصها بتكلفة أقل من ٢٦٠ دولاراً للكيلوغرام الواحد من اليورانيوم تبلغ ٧,١ مليون طن من اليورانيوم.



الشكل ألف-٨- اتجاهات أسعار اليورانيوم وفقاً لمؤشرات شركة تريد تك (Trade Tech) الخاصة بسوق اليورانيوم.

٢٣- وأفادت التقارير في عام ٢٠١٣ بوجود موارد إضافية في الكثير من البلدان، بما فيها أستراليا، وبوتسوانا، وكندا، وجمهورية أفريقيا الوسطى، والصين، والجمهورية التشيكية، ومملكة الدانمرك (غرينلاند)، والهند، والأردن، ومنغوليا، وناميبيا، والاتحاد الروسي، وسلوفاكيا، وجنوب أفريقيا.

٢٤- واستمرت الاستعدادات لإنتاج اليورانيوم كمنتج فرعي من منجم تالفيفارا للنيكل في شرقي فنلندا. وتبلغ موارد اليورانيوم من هذا المنجم ٢٢ ٠٠٠ طن يتوقع أن ينتج منها ٣٥٠ طناً من اليورانيوم سنوياً. ومن المتوقع أن يبدأ استخراج اليورانيوم في عام ٢٠١٤.

٢٥- وقد أُجرِيت دراسات على مياه البحر كمصدر غير تقليدي لليورانيوم. وتحتوي مياه المحيطات في العالم على زهاء ٤,٥ مليار طن من اليورانيوم الذائب بتركيزات منخفضة للغاية تبلغ نحو ٣,٣ جزء في المليار وتمثل مورداً هائلاً للطاقة، مقارنةً بتركيزات الصخور الأرضية التي تتراوح بين ١ ٠٠٠ و٥ ٠٠٠ جزء في المليار. واستمرت بعض البحوث بشأن هذا المصدر المحتمل.

٢٦- وتشير تقديرات الرابطة النووية العالمية إلى أن حجم الإنتاج بلغ ٥٣ ٤٩٣ طناً من اليورانيوم في عام ٢٠١١ و٥٨ ٣٩٤ طناً من اليورانيوم في عام ٢٠١٢، و٥٤ ٠٣٩ طناً من اليورانيوم في عام ٢٠١٣.

٢٧- وقد تفوّق النضّ الموقعي على التعدين الجوفي بوصفه طريقة الإنتاج الرئيسية في عام ٢٠٠٩، ويُتوقّع أن تتواصل مستقبلاً الزيادة في نسبة إنتاج النضّ الموقعي على الأمد المتوسط. وشهد عام ٢٠١٢ توسّعات في العديد من مناجم النضّ الموقعي في كازاخستان، مما زاد الإنتاج في البلد بنحو ٢ ٢٥٠ طناً من اليورانيوم سنوياً. وتشير تقارير الرابطة النووية العالمية إلى أن التعدين باستخدام النض الموقعي يمثل ٤٥٪ تقريباً من حجم الإنتاج العالمي في عام ٢٠١٢.

٢٨- وانتهت في ناميبيا في عام ٢٠١٢ المرحلة الثالثة لتوسيع منجم لانغر هاينريتش التابع لشركة بالادين للطاقة بهدف زيادة الإنتاج السنوي إلى ٢ ٠٠٠ طن من اليورانيوم. وتجري حالياً دراسة مرحلة رابعة لهذا التوسيع بهدف تحقيق زيادة أخرى في الإنتاج السنوي ليصل إلى ٣ ٩٠٠ طن سنوياً. ونظراً لظروف السوق الحالية، علقت شركة أريفا أعمالها المتصلة بتطوير منجم تريكوبجي في ناميبيا. وبدأت الأعمال الإنشائية في منجم هوساب في ناميبيا (الشكل ألف-٩)، الذي يُتوقع أن يدخل طور التشغيل بحلول عام ٢٠١٥، ويمكن أن يصل إلى قدرته الإنتاجية القصوى البالغة ٥ ٧٧٠ طناً من اليورانيوم بحلول عام ٢٠١٧. ومن المتوقع أن يبدأ في عام ٢٠١٥ تشغيل منجم إمورارين الجديد في النيجر بقدرة إنتاجية قصوى تبلغ ٥ ٠٠٠ طن من اليورانيوم.

الشكل ألف- ٩ - موقع منجم هوساب لليورانيوم في ناميبيا. (الصورة من: المجموعة الصينية العامة للقوى النووية)

٢٩- ولا تزال دراسات الجدوى الخاصة بمشروع لتلهاكان في بوتسوانا جارية. وأعلن في نيسان/أبريل ٢٠١٣ عن منح جمهورية تنزانيا المتحدة رخصة أول منجم لليورانيوم، ولكن من المتوقع إرجاء المشروع بسبب كساد أسواق اليورانيوم.

٣٠- وفي جنوب أستراليا، أعلنت شركة كوازار للموارد أنها ستبدأ عمليات التعدين بطريقة النضّ الموقعي في مستودعي فور مايل الشرقي والغربي في عام ٢٠١٤. وفي غرب أستراليا، حصل منجم ويلونا لليورانيوم

التابع لشركة تورو للطاقة على الموافقة البيئية النهائية من الحكومة الاتحادية على مستودعاته الأصلية، واشترت الشركة مشروع ليك ميتلاند لليورانيوم من شركة ميغا لليورانيوم.

٣١- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، بدأ مشروع نورث باط ومشروع لوست كريك في وايومينغ إنتاجهما باستخدام النض الموقعي في أيار/مايو وآب/أغسطس ٢٠١٣ على التوالي.

٣٢- وفي تركيا، أجريت دراسات الجدوى التمهيدية لمشروع تمريزلي للنض الموقعي وتم الحصول على التراخيص اللازمة لأعمال التطوير. ومن المقرر الآن أن يبدأ الإنتاج في عام ٢٠١٦ بكمية سنوية تبلغ ٣٥٠ طناً من اليورانيوم.

٣٣- وفي عام ٢٠١٣، صوت برلمان غرينلاند (مملكة الدانمرك) لصالح رفع الحظر المفروض منذ مدة طويلة على استخراج المواد المشعة، بما فيها اليورانيوم. ويمكن لهذه الخطوة أن تمكّن من المضي قدماً في مشروع كفانفيلد، الذي يخضع حالياً لدراسة جدوى من أجل تقييم عمليات التعدين لإنتاج اليورانيوم والعناصر الأرضية النادرة والزنك.

٣٤- ويجري التخطيط لبرنامج اختبارات التعدين الأولية في مشروع نيرك في وسط السويد، حيث يمكن لطفال الألوم أن يحتوي على أكثر من ٠٠٠ ٢٥٧ طن من اليورانيوم. وفي إسبانيا، صدرت رخصة بيئية لمستودع ريتورتيللو في مشروع سالامانكا-١ لليورانيوم وبدأت الإجراءات الرسمية لإصدار رخصة وتصريح لأعمال التطوير. وأعلنت رومانيا عن خطط لفتح منجم جديد لليورانيوم في منطقة نيامت لتعويض استنفاد الموارد بالمنجم الحالي في سوسيافا.

٣٥- وانتهت أوزبكستان من تشييد ثلاثة حقول لتعدين اليورانيوم عن طريق الاستخراج الموقعي في كيزيلكوم الوسطى في عام ٢٠١٣. واختارت وزارة الأراضي والموارد في الصين ستة من مناجم اليورانيوم لتكون 'مناجم خضراء وطنية'. والمناجم الخضراء منشآت تعدينية صديقة للبيئة تراعي توفير الطاقة والحد من الانبعاثات واستصلاح الأراضي في عملياتها اليومية. وأعلنت جمهورية إيران الإسلامية بدء العمليات في منجم ساغاند لليورانيوم ووحدة المعالجة المتصلة به بالقرب من أرداكان.

٣٦- وتشير تقديرات الرابطة النووية العالمية إلى أن إنتاج اليورانيوم في عام ٢٠١٣ لم يُغَطِّ سوى ٨٣٪ تقريباً من الاستهلاك المقدر لليورانيوم في المفاعلات، وهو ٩٧٨ ٦٤ طناً من اليورانيوم. وأما الكمية المتبقية فقد وفرتها خمسة مصادر ثانوية هي: المخزونات العسكرية من اليورانيوم الطبيعي، ومخزونات اليورانيوم المثرى، واليورانيوم الذي أعيدت معالجته من الوقود المستهلك، ووقود مزيج الأكسيدين (موكس) مع الاستعاضة جزئياً عن اليورانيوم-٢٣٥ بالبلوتونيوم من الوقود المستهلك الذي أعيدت معالجته، وإعادة إثراء مخلفات اليورانيوم المستنفد. وبمعدل الاستهلاك المقدّر لعام ٢٠١٢، فإن العمر التشغيلي لما قدره ٥,٣ مليون طن من اليورانيوم، أي إجمالي الموارد المقدرة المجدية اقتصادياً بأسعار السوق الحالية، يبلغ ٧٨ عاماً.

٣٧- وتزيد موارد اليورانيوم والثوريوم غير التقليدية من توسيع قاعدة الموارد. وتشير التقديرات الحالية إلى أن اليورانيوم الذي يمكن استخلاصه كمنتج فرعي ثانوي يبلغ نحو ثمانية ملايين طن. وفي آذار/مارس ٢٠١٣، أعلنت شركة يورانيوم إيكويتيز، التي تتولى تشغيل محطة إيضاحية في فلوريدا بالولايات المتحدة الأمريكية، أن دراسة توصلت إلى أن استخراج اليورانيوم من الفوسفات باستخدام عملية المعالجة PhosEnergy مجدية وفعالة

من حيث التكلفة. وعُرِض تقرير عن تقييم التأثير البيئي لمنجم إيتاتايا في سانتا كويتيريا بالبرازيل فيما يتعلق بمحطتين لإنتاج الفوسفات وركازة اليورانيوم.

٣٨- وتقدّر موارد الثوريوم في جميع أنحاء العالم بما يتراوح بين ستة إلى سبعة ملايين طن تقريباً. وعلى الرغم من استخدام الثوريوم كوقود على أساس إيضاحي، لا تزال هناك حاجة إلى الكثير من العمل قبل أن يمكن اعتباره وقوداً. وهناك بعض مشاريع العناصر الأرضية النادرة التي يمكن أن تنتج الثوريوم كمنتج فرعي ومخلفات محتوية على الثوريوم، ومن المتوقع أن تبدأ مرحلة الإنتاج قريباً في أستراليا (نولانز بور)، وفي مملكة الدانمرك (كفانفيلد في غرينلاند) وفي جنوب أفريقيا (ستينكامبسكرال). وفي نيسان/أبريل ٢٠١٣، بدأت شركة ثوريوم للطاقة برنامجاً لاختبار وقود خليط الأوكسيدين والثوريوم في هالدن بالنرويج.

ألف-٣-٢- التحويل والإثراء وتصنيع الوقود

٣٩- تقوم ستة بلدان (كندا والصين وفرنسا والاتحاد الروسي والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية) بتشغيل محطات على نطاق تجاري لتحويل ثُماني أكسيد ثلاثي اليورانيوم (U_3O_8) إلى سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6)، كما توجد مرافق تحويل صغيرة قيد التشغيل في الأرجنتين والبرازيل وجمهورية إيران الإسلامية واليابان وباكستان. وتتفرّد الولايات المتحدة الأمريكية باستخدام عملية جافة لتطاير الفلوريد، فيما تستخدم جهات التحويل الأخرى كلها عملية رطبة. وقد ظل مجموع قدرة التحويل السنوية العالمية ثابتاً عند حوالي ٠٠٠ ٧٦ طن من اليورانيوم على شكل سادس فلوريد اليورانيوم سنوياً. على أنه من المتوقع أن يسفر وجود محطة جديدة يجري بناؤها في فرنسا (كوميرهيكس الثانية التابعة لشركة أريفا) ومحطة أخرى يجري تجديدها في الولايات المتحدة الأمريكية (مرفق هانيويل ميتروبوليس وركس) عن تغييرات كبيرة.

٤٠- وسوف تحل محطة كوميرهيكس الثانية، التي تبلغ قدرتها الإنتاجية القصوى ٠٠٠ ١٥ طن من اليورانيوم ويُحتمل توسيعها بحيث تصل قدرتها الإنتاجية إلى ٠٠٠ ٢١ طن من اليورانيوم، محل المحطات القائمة في موقعي مالفيسي وتريكاستين. وسيبدأ الإنتاج من محطة كوميرهيكس الثانية تدريجيا بعدما ينتهي الإنتاج من محطة كوميرهيكس الأولى.

٤١- واستأنف مرفق هانيويل ميتروبوليس وركس (الشكل ألف-١٠) الإنتاج في حزيران/يونيه ٢٠١٣ بعد تطوير المعدات والعمليات لتحسين الكفاءة وتقليل أعطال المحطات.

الشكل ألف-١٠- جهاز جديد لتبخير فلوريد الهيدروجين في مرفق هانيويل ميتروبوليس وركس في ولاية إيلينوي بالولايات المتحدة الأمريكية. (الصورة من: شركة كوفردين)

٤٢- وفي عام ٢٠١١، قررت الشركة الحكومية للطاقة الذرية في الاتحاد الروسي أن تبدأ مشروعاً لتركيز كل مرافق التحويل في موقع واحد، هو المجموعة السيبيرية للمنشآت الكيميائية في سيفيرسك. ويُعتزم إغلاق موقع التحويل الكائن في أنغارسك، في نيسان/أبريل ٢٠١٤.

٤٣- ويتراوح الطلب الحالي على خدمات التحويل (بافتراض أن نسبة إثراء المخلفات[٤] هي ٠,٢٥٪ من اليورانيوم–٢٣٥) بين ٠٠٠ ٦٠ و٠٠٠ ٦٤ طن سنوياً.

٤٤- ومن المتوقع أن تبدأ بحلول عام ٢٠١٨ الأعمال الإنشائية لمصفاة جديدة لثالث أكسيد اليورانيوم (UO_3) في كازاخستان، في إطار مشروع مشترك بين مؤسسة كازاتومبروم وشركة كاميكو الكندية. ومن المتوقع أن تصل القدرة الإنتاجية للمصفاة التي تقع داخل محطة أولبا التعدينية في أوست-كامينوغورسك إلى ٠٠٠ ٦ طن من ثالث أكسيد اليورانيوم سنوياً.

٤٥- ويبلغ حالياً إجمالي قدرة الإثراء العالمية نحو ٦٥ مليون وحدة فصل سنوياً، مقارنةً بطلب إجمالي يقترب من ٤٩ مليون وحدة فصل سنوياً. وتتولى خمس شركات تنفيذ خدمات الإثراء التجارية، وهي: الشركة النووية الوطنية الصينية، وشركة أريفا (فرنسا)، وروزاتوم (الشركة الحكومية للطاقة الذرية في الاتحاد الروسي)، والشركة الأمريكية للإثراء (يوسيك) ومجموعة يورينكو (كلتاهما في الولايات المتحدة).

٤٦- وتشغّل مجموعة يورينكو محطات للطرد المركزي في كلٍّ من ألمانيا والمملكة المتحدة وهولندا والولايات المتحدة الأمريكية. ويبلغ مجموع قدرة يورينكو في الاتحاد الأوروبي ١٤,٧ مليون وحدة فصل سنوياً منذ نهاية عام ٢٠١٢. وتبلغ القدرة الأولية المرخص بها حالياً للمرفق التابع لمجموعة يورينكو في الولايات المتحدة الأمريكية ٣ ملايين وحدة فصل سنوياً، واتخذ في مطلع عام ٢٠١٣ قرار استثماري بتوسيع قدرة المرفق إلى ٥,٧ مليون وحدة فصل من المستهدف الوصول إليها بحلول عام ٢٠٢٢. وطلبت مجموعة يورينكو من الهيئة الرقابية النووية الأمريكية تعديل رخصتها بما يسمح لها بزيادة قدرتها الإنتاجية في الولايات المتحدة الأمريكية إلى ١٠ ملايين وحدة فصل سنوياً.

الشكل ألف-١١ - مرفق الإثراء التابع لمجموعة يورينكو في يونايس بولاية نيو مكسيكو في الولايات المتحدة الأمريكية. (الصورة من: مجموعة يورينكو)

---

[٤] تحدد نسبة إثراء المخلفات، أو معدل تركيز اليورانيوم-٢٣٥ في الجزء المستنفد، بشكل غير مباشر حجم العمل المطلوب لكمية معيّنة من اليورانيوم من أجل ضمان إثراء المنتَج بنسبة معينة. وتؤدي الزيادة في نسبة إثراء المخلفات مقترنةً بكمية ثابتة وبنسبة ثابتة من اليورانيوم المُثرّى داخل المنتَج إلى خفض كمية الإثراء اللازمة، ولكنها تزيد المتطلبات فيما يخص اليورانيوم الطبيعي والتحويل، والعكس بالعكس. ويمكن أن تتفاوت نسب إثراء المخلفات بشكل كبير مما يؤثر بالتالي على الطلب المتعلق بخدمات الإثراء.

٤٧- ووصلت محطة بادوكا للإثراء بالانتشار الغازي التابعة لشركة يوسيك، وهي أقدم محطة إثراء عاملة في العالم، إلى نهاية عملياتها التجارية في عام ٢٠١٣ بعد أكثر من ٦٠ عاماً من التشغيل. وتتوقع شركة يوسيك استمرار عملياتها في الموقع في عام ٢٠١٤ حتى تتمكن من إدارة عمليات الجرد وتلبية طلبات العملاء والوفاء بمتطلبات دورة العقد المبرم مع وزارة الطاقة الأمريكية.

٤٨- ويجري العمل حالياً على تصميم واستحداث مرفقين جديدين للإثراء بالطرد المركزي في الولايات المتحدة الأمريكية وهما: مرفق إيغل روك للإثراء التابع لشركة أريفا، ومحطة الطرد المركزي الأمريكية التابعة لشركة يوسيك. وتوقف حالياً مرفق إيغل روك للإثراء، وتبحث شركة أريفا عن شركاء ماليين ونماذج مالية بديلة للوصول بنفقاتها الرأسمالية إلى المستوى الأمثل. ويتوقف الجدول الزمني الذي حددته شركة يوسيك للانتهاء من تشييد محطة الطرد المركزي الأمريكية على التمويل الذي ستحصل عليه من برنامج وزارة الطاقة الأمريكية لضمان القروض.

٤٩- وأنهى المرفق العالمي للإثراء بالليزر في نورث كارولاينا بالولايات المتحدة الأمريكية في حزيران/يونيه ٢٠١٣ المرحلة الأولى لبرنامج الأنشوطة الاختبارية لإيضاح استخدام تكنولوجيا الليزر في إثراء اليورانيوم. وبعد إجراء الدراسات المفصلة عن المرحلة الثانية، من المتوقع أن يكون أول مرفق تجاري قادراً على إنتاج ستة ملايين وحدة فصل سنوياً. ووفقاً لشركة سيليكس، بدأت وزارة الطاقة الأمريكية محادثات مع المرفق العالمي للإثراء بالليزر حول بناء محطة أخرى للإثراء بالليزر في موقع بادوكا لإثراء مخزوناتها (قرابة ١٠٠ ٠٠٠ طن) من المخلفات التي ترتفع فيها نسبة تركيز اليورانيوم المستنفد.

٥٠- وفي فرنسا، أطلقت شركة أريفا رسمياً مرفق جورج بيس الثاني لإثراء اليورانيوم في آذار/مارس ٢٠١٣، بالإضافة إلى محطة ساوث التي افتتحت في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٠.

٥١- وفي عام ٢٠١٣، حصلت المحطة الكهروكيميائية التابعة لشركة تفيل (TVEL) في زيلينوغورسك (الشكل ألف-١٢)، وهي واحدة من محطات إثراء اليورانيوم الأربع العاملة في الاتحاد الروسي، على تجديد لرخصة التشغيل حتى عام ٢٠٢٣. وفي عام ٢٠١٢، وافقت شركة تفيل ومؤسسة كازاتومبروم على المشاركة في زيادة رأس المال المملوك في مرفق الإثراء التابع لمحطة أورال الكهروكيميائية المتكاملة، التي من المزمع أن تصل قدرتها إلى ٥ ملايين وحدة فصل سنوياً.

الشكل ألف-١٢ - المحطة الكهروكيميائية في زيلينوغورسك بالاتحاد الروسي. (الصورة من: شركة تفيل)

٥٢- وهناك أيضاً مرافق إثراء صغيرة في الأرجنتين والبرازيل والهند وجمهورية إيران الإسلامية واليابان وباكستان. وتعكف الأرجنتين على إعادة بناء قدراتها في مجال الانتشار الغازي في بيلكانيو. ويجري حالياً استيراد الخدمات المتصلة بالإثراء من الولايات المتحدة الأمريكية.

٥٣- وظل مجموع القدرات العالمية الحالية لإعادة التحويل[٥] في عام ٢٠١٣ عند مستويات تقترب من ٦٠ ٠٠٠ طن من سادس فلوريد اليورانيوم سنوياً.

٥٤- وظل الطلب السنوي الحالي على خدمات تصنيع وقود مفاعلات الماء الخفيف يناهز ٧٠٠٠ طن من اليورانيوم المثرى في مجمّعات الوقود، ولكن من المتوقع أن يزيد إلى حوالي ٨٠٠٠ طن من اليورانيوم سنوياً بحلول عام ٢٠١٥. أما بالنسبة لمفاعلات الماء الثقيل المضغوط، فقد بلغت المتطلبات ٣٠٠٠ طن من اليورانيوم في السنة. وهناك الآن العديد من المورّدين المتنافسين على معظم أنواع الوقود. وظل مجموع القدرة العالمية لتصنيع الوقود يناهز ٥٠٠ ١٣ طن من اليورانيوم في السنة (يورانيوم مثرى على شكل عناصر وقود وحزم وقود) لوقود مفاعلات الماء الخفيف، وحوالي ٤٠٠٠ طن من اليورانيوم في السنة (يورانيوم طبيعي على شكل عناصر وقود وحزم وقود) لوقود مفاعلات الماء الثقيل المضغوط. وفيما يخص وقود مفاعلات الماء الثقيل المضغوط المصنوع من اليورانيوم الطبيعي، تتم تنقية اليورانيوم وتحويله إلى ثاني أكسيد اليورانيوم (UO_2) في الأرجنتين وكندا والصين والهند ورومانيا.

٥٥- وفي الصين، بلغت قدرة الإنتاج في محطة الوقود التابعة للشركة الوطنية النووية الصينية في يبين في عام ٢٠١٢ نحو ٦٠٠ طن من اليورانيوم سنوياً. وفيما يتعلق بالمحطة التابعة للشركة الوطنية النووية الصينية في باوتو بمنغوليا الداخلية، والتي تصنّع مجمعات الوقود الخاصة بمفاعلات كاندو للماء الثقيل المضغوط لشركة كينشان (٢٠٠ طن من اليورانيوم سنوياً)، يجري توسيع قدرتها المتعلقة بالوقود لتصل إلى ٤٠٠ طن من اليورانيوم في السنة. ويجري حالياً إنشاء محطة جديدة في باوتو لتصنيع الوقود الخاص بمفاعلات الصين من طراز AP1000.

٥٦- ومن المزمع الانتهاء من إقامة مرفق لتصنيع الوقود في كازاخستان في عام ٢٠١٤، كمشروع مشترك بين شركة أريفا ومؤسسة كازاتومبروم، وتبلغ قدرته المتوقعة ١٢٠٠ طن من اليورانيوم في السنة.

٥٧- وبدأت بالقرب من منطقة سمولين في أوكرانيا الأعمال الإنشائية الخاصة بمحطة وقود من طراز WWER-1000 تصل قدرتها المخطط لها إلى ٤٠٠ طن من اليورانيوم في السنة.

٥٨- وطورت شركة تفيل خلال السنوات القليلة الأخيرة مجمعة وقود لمفاعلات الماء المضغوط، ويجري تحميل أربع مجمعات تجريبية لاختبار تشغيلها في محطة رينغالز-٣ للماء المضغوط في السويد في عام ٢٠١٤.

٥٩- وتوفّر عمليات إعادة التدوير مصدراً ثانوياً للإمداد بالوقود النووي من خلال استخدام اليورانيوم المعادة معالجته ووقود موكس. ويُنتج حالياً حوالي ١٠٠ طن من اليورانيوم المعادة معالجته في السنة في إيليكتروستال، بالاتحاد الروسي، لحساب شركة أريفا. ويتم في خط إنتاج واحد بالمحطة التابعة لشركة أريفا في رومان بفرنسا تصنيع نحو ٨٠ طناً من الفلزات الثقيلة لليورانيوم المعادة معالجته على شكل وقود سنوياً لمفاعلات الماء الخفيف في فرنسا. وتبلغ القدرات الحالية لتصنيع وقود موكس في جميع أنحاء العالم نحو ٢٥٠ طناً من الفلزات الثقيلة،

[٥] يجب أن يعاد تحويل سادس فلوريد اليورانيوم المثرى إلى مسحوق ثاني أكسيد اليورانيوم من أجل تصنيع وقود اليورانيوم المثرى. وهذه هي الخطوة الأولى في تصنيع الوقود المثرى. وهي تسمى إعادة التحويل.

حيث تقع المرافق الرئيسية في فرنسا والهند والمملكة المتحدة مع وجود بعض المرافق الأصغر حجماً في اليابان والاتحاد الروسي.

٦٠- ويتم في الهند والاتحاد الروسي تصنيع وقود موكس لاستخدامه في المفاعلات السريعة. وفي الاتحاد الروسي، يوجد مرفق لتصنيع وقود موكس اللازم للمفاعل السريع BN-800 تحت الإنشاء في زهيليزنوغورسك (Krasnoyarsk-26). ولدى الاتحاد الروسي أيضاً مرافق تجريبية في ديميتروفغراد بمعهد بحوث المفاعلات الذرية وفي أوزيرسك بمحطة مايك.

٦١- واستخدم نحو ٣٠ مفاعلاً من مفاعلات الماء الخفيف على نطاق العالم وقود موكس في عام ٢٠١٣.

٦٢- وفي تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣، بدأ مرفق تصنيع وقود ميلوكس التابع لشركة أريفا إنتاج وقود موكس لمحطة بورسيل للقوى النووية في هولندا. وخلال السنوات الثلاثين الأخيرة، أعيدت في محطة أريفا في لاهاي معالجة ٣٧٥ طناً من الوقود المستهلك الناتج عن محطة بورسيل.

ضمان الإمداد

٦٣- في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٠، وافق مجلس المحافظين على إقامة مصرف لليورانيوم الضعيف الإثراء في كازخستان. وخلال السنتين ٢٠١٢ و٢٠١٣، واصلت أمانة الوكالة العمل على وضع الترتيبات المالية والقانونية والتقنية وإجراء تقييمات للموقع المخصّص لإنشاء هذا المصرف. وقدمت الدول الأعضاء والاتحاد الأوروبي والمبادرة المعنية بالتهديد النووي تعهّدات تزيد قيمتها على ١٥٠ مليون دولار لإنشاء المصرف. وبحلول نهاية عام ٢٠١٣، سددت التعهدات بالكامل من كلٍّ من الكويت (١٠ ملايين دولار)، والنرويج (٥ ملايين دولار)، والمبادرة المعنية بالتهديد النووي (٥٠ مليون دولار)، والإمارات العربية المتحدة (١٠ ملايين دولار)، والولايات المتحدة الأمريكية (٥٠ مليون دولار تقريباً)؛ ودفع الاتحاد الأوروبي ٢٠ مليون يورو من أصل ٢٥ مليون يورو تعهد بها[٦].

ألف-٣-٣- المرحلة الختامية من دورة الوقود النووي

٦٤- تُستخدَم استراتيجيتان مختلفتان للتصرف في الوقود النووي المستهلك. وتعاد معالجة الوقود لاستخلاص المواد الصالحة للاستخدام (اليورانيوم والبلوتونيوم) في الوقود الجديد، أو تعتبر ببساطة نفايات وتخزن لحين التخلص منها. وتقوم حالياً كلٌّ من الصين وفرنسا والهند والاتحاد الروسي بإعادة معالجة ما لديها من وقود مستهلك، في حين اختارت بلدان أخرى، مثل كندا وفنلندا والسويد، التخلص منه مباشرةً في مجتمع محلي يستقبل طوعاً موقعاً للتخلُّص. ولم تبت حتى الآن معظم البلدان في الاستراتيجية التي ستنتهجها، وتقوم حالياً بخزن الوقود المستهلك وبمواكبة التطورات المتصلة بكلا البديلين.

٦٥- ويُلزم توجيه مجلس الاتحاد الأوروبي رقم 2001/70/Euratom الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي قانونياً بوضع سياسة بشأن التصرف في الوقود المستهلك والنفايات المشعة والحفاظ على تلك السياسة. واتجه أيضاً الاهتمام في مجال التصرف في الوقود المستهلك نحو إيضاح سلوك الوقود المستهلك في نظم الخزن الجاف، إذ من المعترف به أن مستودعات النفايات القوية الإشعاع لن تظهر لعدة عقود في كثير من البلدان الرئيسية التي لديها قوى نووية.

---

[٦] ويبين "استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠١٢" الآليات الأخرى المعمول بها لضمان الإمداد.

٦٦- وبدأت في المملكة المتحدة في كانون الثاني/يناير ٢٠١٣ الأعمال الإنشائية الخاصة بمرفق للتخزين الجاف للوقود المستخدم في محطة سايزويل-بي للقوى النووية التابعة لهيئة كهرباء فرنسا. ويُتوقّع أن يدخل المرفق طور التشغيل بحلول عام ٢٠١٥.

٦٧- وعقب قيامها في عام ٢٠١٢ بتعليق كل قراراتها النهائية بشأن طلبات المفاعلات الجديدة أو تجديد رخص المفاعلات لحين تحديث 'قرار الثقة بشأن النفايات' و'قاعدة الخزن المؤقت'، أصدرت الهيئة الرقابية النووية الأمريكية في آذار/مارس ٢٠١٣ تقريراً بعنوان *عملية تقييم بيانات التأثير البيئي العام للثقة في النفايات: تقرير موجز*. وأتيحت للجمهور في عام ٢٠١٣ مسودة بيان التأثير البيئي العام وقاعدة الخزن المؤقت المقترحة للتعليق عليها. وبينما تقوم المديرية المعنية بالثقة في مجال النفايات بإعداد القرار المحدث بشأن الثقة في البيانات وقاعدة الخزن المؤقت، تواصل الهيئة الرقابية النووية الأمريكية بالتوازي مع ذلك استعراض طلبات المفاعلات وطلبات تجديد رخص المفاعلات وطلبات تجديد منشآت خزن الوقود المستهلك المستقلة الخاصة بمواقع محددة.

٦٨- وفي عام ٢٠١٣، تم تصريف حوالي ١٠ ٠٠٠ طن من الفلزات الثقيلة كوقود مستهلك من جميع محطات القوى النووية. ويقدّر إجمالي الكمية التراكمية للوقود المستهلك التي تم تصريفها على مستوى العالم حتى كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣ بما يقرب من ٣٧٠ ٥٠٠ طن من الفلزات الثقيلة، يتم تخزين حوالي ٢٥٣ ٧٠٠ طن منها داخل مرافق تخزين قائمة في محيط المفاعلات أو بعيداً عنها. والكميات التي أعيدت معالجتها بالفعل لا تتجاوز ثلث الكمية التراكمية من الوقود المستهلك الذي تم تصريفه عالمياً، أي حوالي ١١٢ ٨٠٠ طن من الفلزات الثقيلة. وفي عام ٢٠١٣، بلغت قدرة إعادة المعالجة التجارية العالمية – موزّعةً على أربعة بلدان (فرنسا والهند والاتحاد الروسي والمملكة المتحدة) – نحو ٤ ٨٠٠ طن من الفلزات الثقيلة في السنة.

٦٩- وواصلت الهند في عام ٢٠١٣ الأعمال الإنشائية الخاصة بمرفق دورة وقود المفاعلات السريعة في كالباكام. والغرض من إقامة المرفق المقترح هو تصنيع الوقود للمفاعل النموذجي السريع التوليد الذي سيقام قريباً والوحدتين الإضافيتين اللتين ستقامان بعد ذلك.

٧٠- وأصبحت محطة إعادة المعالجة التجارية في روكاشو التي تبلغ قدرتها ٨٠٠ طن من الفلزات الثقيلة سنوياً وتتبع الشركة اليابانية المحدودة للوقود النووي، جاهزة للإدخال في الخدمة بنهاية عام ٢٠١٣ بعد تعليق العمل فيها مؤقتاً بسبب الزلزال والتسونامي اللذين وقعا في ١١ آذار/مارس ٢٠١١. وتم الانتهاء بنجاح من تجربة إنتاج نفايات مزججة في واحد من فرني الصهر. وحالما تدخل المحطة طور التشغيل بعد حصولها على التصاريح الرقابية، ستبلغ قدرتها القصوى على إعادة المعالجة ٨٠٠ طن سنوياً. (الشكل ألف-١٣)

الشكل ألف- ١٣ - محطة روكاشو لإعادة المعالجة، اليابان. (الصورة من: الشركة اليابانية المحدودة للوقود النووي)

٧١- وأعلنت الصين اقتراحاً يدعو إلى إعادة معالجة وقود المفاعلات المستخدم في محطة جديدة، بقدرة تبلغ ٨٠٠ طن من الوقود المستهلك في السنة، وستقام المحطة بالتعاون مع شركة أريفا.

٧٢- وفي تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣، أعلنت حكومة المملكة المتحدة عن اتفاق مع هيئة كهرباء فرنسا للانطلاق في تشييد أول محطة للقوى النووية في المملكة المتحدة لمدة ٢٠ عاماً. وذكرت الورقة البيضاء التي أصدرتها حكومة المملكة المتحدة في عام ٢٠٠٨ أن تشييد المحطة الجديدة ينبغي أن يمضي على أساس عدم إعادة معالجة الوقود المستهلك. وتقوم الاستراتيجية الحالية للتصرف في الوقود المستهلك في وحدة هنكلي بوينت سي على أساس التخزين في محيط المفاعل لمدة ١٠ سنوات ثم التخزين المؤقت في مرفق مستقل لخزن الوقود المستهلك لحين توفر مرفق للتخلص الجيولوجي. ويتمثل الأساس الذي يقوم عليه تصميم مرفق التخزين المذكور في الخزن الرطب الذي يشمل مبادلات للحرارة مغمورة في الحوض ونظاماً خاملاً لإزالة الحرارة. ويجري أيضاً تقييم هذا النوع من التكنولوجيا في البرازيل.

٧٣- وخلال الفترة بين آذار/مارس وأيار/مايو ٢٠١٣، نقلت براميل التخزين الجاف التسعة من منطقة التحفظ على البراميل بالقرب من البحر في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية إلى الحوض المشترك لخزن الوقود المستهلك، وذلك لتفتيشها ثم نقلها بعد ذلك إلى منطقة التحفظ على براميل التخزين المؤقت الجديدة. وتبين من التفتيش عدم تأثر احتواء البراميل أو سلامة الوقود. وبدأت في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣ عمليات أخرى لاستعادة الوقود في الموقع بإجراء تفريغ روتيني من حوض الوقود المستهلك في الوحدة ٤، وكانت تلك خطوة مهمة نحو الحد من المخاطر والإخراج من الخدمة.

٧٤- وفي تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣، انتهت الشركة اليابانية لخزن الوقود القابل للتدوير (وهي شركة فرعية تابعة لشركة طوكيو للطاقة الكهربائية والشركة اليابانية للقوى الذرية) من تشييد وحدة الخزن المؤقت للوقود المستهلك في مدينة موتسو في مقاطعة آوموري. وتنص الرخصة الحالية على تخزين ٠٠٠ ٣ طن من يورانيوم الوقود المستهلك، على أن تصل قدرتها في نهاية المطاف إلى ٠٠٠ ٥ طن من اليورانيوم. وشهدت هيئة الرقابة النووية الاختبار الرسمي النهائي. على أن إحراز المزيد من التقدم مرهون بالحصول على تصديق من هيئة الرقابة النووية وفقاً لمتطلبات الأمان الجديدة.

ألف-٣-٤- الإخراج من الخدمة والاستصلاح والتصرف في النفايات المشعة

٧٥- تَنتُج النفايات المشعة من استخدام التكنولوجيات النووية في إنتاج الطاقة وأنشطة البحوث والتطبيقات الطبية والصناعية. وبالإضافة إلى الوقود المستهلك المعلن بأنه نفايات أو مجاري النفايات المتولدة كمنتج فرعي ناشئ عن إعادة معالجة الوقود المستهلك، تنشأ النفايات المشعة أثناء تشغيل المرافق النووية، وأثناء إخراجها من الخدمة وما يتصل بذلك من استصلاح للمواقع، بما في ذلك الاستخدامات الموروثة، والاستخدامات العسكرية الراهنة، والمواقع المتخلفة عن الحوادث. ويتطلب التصرف في النفايات المشعة بأمان تصرفاً مناسباً في مجاري النفايات، ومعالجتها وتكييفها، فضلاً عن توفير قدرات التخزين الكافية، والنقل بين المرافق، والتخلص منها في نهاية المطاف.

تقديرات الرصيد العالمي من النفايات المشعة

٧٦- يبلغ الرصيد العالمي من النفايات المشعة التي أُبلغ عن وجودها في المخازن خلال عام ٢٠١٣ ما يقرب من ٦٨ مليون متر مكعب (الجدول ألف-٢). وقد قُدِّرت الكمية التراكمية للنفايات المشعة التي تم التخلص منها

حتى عام ٢٠١٢ بحوالي ٧٦ مليون متر مكعب تشمل الضخّ في آبار عميقة لنحو ٢٩ مليون متر مكعب من النفايات السائلة، والتخلص مما يقرب من ٤٠٠٠ متر مكعب من النفايات الصلبة القوية الإشعاع، من تشيرنوبيل في المقام الأول. والتراكم السنوي للنفايات القوية الإشعاع التي تتم معالجتها ثابت إلى حد ما، إذ يقدَّر متوسط معدل التراكم بنحو ٨٥٠ متراً مكعباً سنوياً على مستوى العالم (بدون الوقود المستهلك).

٧٧- وحتى كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣، كان هناك ٤٦٧ مرفقاً للتخزين و١٥٤ مرفقاً للتخلص من النفايات قيد التشغيل في جميع أنحاء العالم[٧] للتصرف في أرصدة تلك النفايات.

الجدول ألف-٢- تقدير الرصيد العالمي من النفايات المشعة لعام ٢٠١٣ [٨]

فئة النفايات	خزن[٩] [أمتار مكعبة]	تخلص تراكمي [أمتار مكعبة]
نفايات ضعيفة الإشعاع جداً	١٦٣ ٠٠٠ [١٠]	١٩٣ ٠٠٠
نفايات ضعيفة الإشعاع	٥٦ ٦٦٣ ٠٠٠ [١١]	٦٤ ٩٩٢ ٠٠٠ [١٢]
نفايات متوسطة الإشعاع	٨ ٧٣٤ ٠٠٠	١٠ ٥٨٨ ٠٠٠
نفايات قوية الإشعاع	٢ ٧٤٤ ٠٠٠	٧٢ ٠٠٠ [١٣]

المصدر: قاعدة بيانات التصرف في النفايات المتاحة على الشبكة (٢٠١٣)، والتقارير الوطنية الرسمية، والبيانات المتاحة على نطاقٍ عام.

---

[٧] استناداً إلى المعلومات المقدّمة من الدول الأعضاء إلى قاعدة بيانات الوكالة للتصرف في النفايات المتاحة على الشبكة (NEWMDB)، ويمكن الوصول إليها في هذا الموقع الشبكي http://newmdb.iaea.org/.

[٨] الأرقام الواردة في الجدول ألف-٢ أرقام تقديرية وليست حصراً دقيقاً لكميات النفايات المشعة التي يجري التصرف فيها حالياً في جميع أنحاء العالم. وبالإضافة إلى ذلك، هناك تباينات كامنة في كميات التخزين المقدّرة من عام إلى آخر بسبب العوامل التالية: (أ) التغييرات في الكتلة والحجم أثناء عملية التصرف في النفايات؛ (ب) والتغييرات في تقارير الإبلاغ أو التصويبات التي تُدخِلها الدول الأعضاء على بياناتها الذاتية؛ (ج) وإضافة دول أعضاء جديدة إلى قاعدة البيانات.

[٩] تُعالَج النفايات وتُكيّف وتمر بخطوات مناولة مختلفة في العادة أثناء خزنها وقبل التخلص منها. ولذلك، فإن كتلة وحجم النفايات المشعة يتغيران بشكل مستمر أثناء عملية التصرف في النفايات تمهيداً للتخلص منها. وقد يؤدي ذلك إلى تضارب في الكميات المخزونة المقدّرة من سنة إلى أخرى.

[١٠] التقديرات المتعلقة بالنفايات الضعيفة الإشعاع جداً أقل بكثير من النفايات الضعيفة الإشعاع، وذلك لأن العديد من الدول الأعضاء التي لديها مخزونات كبيرة من النفايات لا تحدّد فئة للنفايات الضعيفة الإشعاع جداً. على أن الكثير من هذه الدول الأعضاء تعيد حالياً تقييم تعاريفها لفئات النفايات من أجل مواءمتها بصورة أفضل مع الفئات الموصى بها في تصنيف النفايات المشعة (العدد GSG-1 من سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة، ٢٠٠٩)، وبالتالي فإن هذه التقديرات من المحتمل أن تصبح أكبر في المستقبل، ويقابلها انخفاض في فئة النفايات الضعيفة الإشعاع.

[١١] التقديرات المتعلقة بالنفايات الضعيفة الإشعاع قيد التخزين لا تشمل ما يقرب من ١٠×٤[٨] متر مكعب من النفايات الضعيفة الإشعاع السائلة التي أُبلِغ عنها باعتبارها محفوظة في مستودعات خاصة غير معزولة عن البيئة المحيطة، لأن ذلك لا يفي بتعريف الوكالة لمصطلح 'تخزين' كما هو موضّح في مسرد مصطلحات الأمان الصادر عن الوكالة (٢٠٠٧). ولهذا السبب، فإن وضع هذه النفايات لا يزال غير محدّد فيما يتعلق بإدراجها في هذه التقديرات.

[١٢] التغيّر الكبير في تقديرات التخلّص التراكمي من النفايات الضعيفة الإشعاع والنفايات المتوسطة الإشعاع مقارنةً بالتقرير السابق يرجع إلى إدراج تقديرات الاتحاد الروسي.

[١٣] هذا الحجم من النفايات القوية الإشعاع يجمع بين النفايات السائلة التي أبلغ الاتحاد الروسي عن التخلص منها، وما يقرب من ٤ ٠٠٠ متر مكعب من النفايات المشعة الصلبة التي أبلغت عنها أوكرانيا والتي تعد في عداد النفايات التي تم التخلص منها مؤقتاً لحين إيجاد تصميم/مكان أو حل يدوم أكثر. أما التصرف في النفايات القوية الإشعاع الأوكرانية فكان نتيجة التنظيف الطارئ لمكان الحادث الذي وقع في الوحدة ٤ من محطة تشيرنوبيل للقوى النووية.

الإخراج من الخدمة

٧٨- حتى كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣، كان قد تم إغلاق ١٤٩ مفاعلاً من مفاعلات القوى بشكل دائم في جميع أنحاء العالم. وإجمالاً، تم الآن تفكيك ١٦ مفاعلاً للقوى بالكامل؛ وهناك ٥٢ مفاعلاً آخر في طور التفكيك؛ ويجري الاحتفاظ بـ٥٩ مفاعلاً في حالة تطويق مأمون أو يُنتظَر البدء في تفكيكها نهائياً؛ كما توجد ٣ مفاعلات مُقبَرة؛ و١٧ مفاعلاً لم توضع بعد استراتيجية محدّدة لإخراجها من الخدمة. ونحو ٤٠٪ من جميع مفاعلات القوى النووية العاملة التي يبلغ عددها ٤٣٤ هي مفاعلات يزيد عمرها على ٣٠ عامًا ونحو ٧٪ من هذه المفاعلات يبلغ عمرها أكثر من ٤٠ عامًا. ورغم أن بعض هذه المفاعلات قد تواصل عملها لمدة تصل إلى ٦٠ عامًا، فإنَّ الكثير منها سيتوقّف عن الخدمة في السنوات العشر إلى العشرين القادمة. وباستثناء حالات خاصة، مثل المفاعلات المهدأة بالغرافيت والتي لم توضع حتى الآن سبل للتخلص منها، تتمثل استراتيجية الإخراج من الخدمة المفضلة عموماً في معظم الدول الأعضاء في 'التفكيك الفوري'، أي تتم إزالة القائمة الإشعاعية من الموقع ويُسحب التحكم الرقابي في غضون مدة تتراوح بين ١٥ و٢٥ عاماً بعد الإغلاق.

٧٩- ومن بين ٤٨٠ مفاعل بحوث ومجمعة حرجة مغلقة إغلاقاً دائماً، تم بالفعل تفكيك ٧٠٪ بالكامل. كما أخرجت من الخدمة عدة مئات من المرافق النووية الأخرى، مثل مرافق التصرف في النفايات المشعة أو مرافق دورة الوقود النووي، أو يجري تفكيكها.

٨٠- وأحرزت الدول الأعضاء التي لديها برامج كبيرة للقوى النووية، أي التي بدأت إنتاج الطاقة النووية في خمسينات وستينات القرن الماضي، تقدماً كبيراً في التعامل مع إرث أنشطتها المبكرة. وطورت هذه البلدان تكنولوجيات وخبرة في تنفيذ برامج الإخراج من الخدمة والاستصلاح البيئي. وتكمن هذه الخبرة في الهيئات الرقابية والمنظمات المنفذة ومجموعة من المنظمات الهندسية التي تقدم خدمات سلسلة الإمدادات إلى الجهات المالكة للمرافق والمواقع المراد إخراجها من الخدمة أو استصلاحها. ومع ذلك، فإن الاستصلاح الكامل لمواقع إنتاج اليورانيوم الرئيسية والمواقع المستخدمة في أعمال البحوث المبكرة لا تزال في حاجة إلى عدة عقود من الجهد الإضافي. وفيما يلي أمثلة للبرامج التي أحرزت تقدماً هائلاً في إخراج محطات القوى النووية إخراجاً فعلياً من الخدمة في عام ٢٠١٣:

- فرنسا – إزالة التلوث وإزالة مولدات البخار من محطة Chooz A للقوى النووية والتخلص منها في الموقع الفرنسي للتخلص من النفايات الضعيفة الإشعاع جداً في موريفيلييه؛
- إسبانيا – الانتهاء من تجزئة وإزالة المكونات الداخلية للمفاعل من محطة خوسيه كابريرا للقوى النووية؛
- المملكة المتحدة – إزالة التلوث من أحواض الوقود المستهلك في محطة برادويل للقوى النووية استعداداً للدخول إلى التطويق المأمون بحلول عام ٢٠١٥؛
- الولايات المتحدة الأمريكية – استمرار العمل في إزالة النفايات المشعة الضعيفة الإشعاع من محطة زيون للقوى النووية في إطار قرار لتنفيذ تفكيك فوري بدلاً من استراتيجية التفكيك المؤجل السابقة.

٨١- ويسير التقدم في الغالب بخطى أبطأ كثيراً في الدول الأعضاء التي لا توجد لديها برامج كبيرة للطاقة النووية. وتشمل أسباب ذلك عدم وجود أطر قانونية وسياسية ورقابية مناسبة وما يرتبط بها من خطط للتمويل، والافتقار إلى التكنولوجيا والخبرة، ونقص الآليات اللازمة للانخراط مع أصحاب المصلحة المتأثرين.

٨٢- وواصلت السلطات اليابانية تنفيذ خارطة الطريق المتوسطة والطويلة الأجل استعداداً لإخراج المحطات من ١ إلى ٤ في محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية التابعة لشركة طوكيو للطاقة الكهربائية من الخدمة (نشرت في عام ٢٠١١ وجرى تحديثها في حزيران/يونيه ٢٠١٢). وركزت المرحلة الأولى من خارطة الطريق (كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١-كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣) على أعمال التنظيف والتثبيت استعداداً لإزالة الوقود من أحواض الوقود المستهلك (في المرحلة الثانية). وبدأت إزالة الوقود من الوحدة ٤ في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣، أي قبل شهر من الموعد الأصلي. ومن المقرر إزالة الوقود من الوحدة ٣ في عام ٢٠١٥ ومن الوحدتين ١ و٢ في عام ٢٠١٧. ويجري أيضاً إعداد خطط لعمليات إزالة حطام الوقود من مباني المفاعل في المرحلة الثالثة (بعد كانون الأول/ديسمبر ٢٠٢١). وتبعاً لقدرة المباني المتضررة على مقاومة الزلازل، قد يتطلب ذلك تشييد بنى فوقية جديدة على المباني حتى يمكنها دعم آلات مناولة الوقود. وسوف تعالج هذه القضايا في عام ٢٠١٤ وستقترح حلول مناسبة لها. ولا تزال أعمال البحث والتطوير الكبيرة تتيح تطوير أجهزة يمكن التحكم فيها من بعد لكشف الأضرار التي تلحق بأوعية الاحتواء الرئيسية.

الاستصلاح

٨٣- يشمل الاستصلاح البيئي أي تدابير يمكن القيام بها لتقليص التعرض للإشعاعات الناجم عن تلوث موجود في مساحات من الأرض عن طريق إجراءات يتم تطبيقها على التلوث ذاته (المصدر) أو على مسارات التعرض الموصلة إلى البشر. وتوجد في جميع أنحاء العالم مواقع كثيرة يجري فيها تطبيق إجراءات استصلاحية أو لا تزال في حاجة إلى تطبيق إجراءات استصلاحية. وتشمل أعمال الاستصلاح في العادة موارد هائلة وتتطلب تخطيطاً مناسباً، وإدارة سليمة للمشروع، ومهنيين مؤهلين، وإطاراً رقابياً وافياً. وتعكف الوكالة على تحليل تأثيرات تلك المفردات المحددة في تنفيذ مشاريع الاستصلاح والإخراج من الخدمة من خلال القيود التي تعوق تنفيذ مشروع الإخراج من الخدمة والاستصلاح البيئي. وحالما يُستكمل هذا المشروع، من المتوقع أن تتمكن الوكالة من تكوين صورة واضحة عن أسباب عدم إحراز تقدم كبير في هذه الأنشطة واقتراح حلول خلاقة ومبتكرة.

٨٤- ومن التطورات الرئيسية في عام ٢٠١٣ ما أُحرِز من تقدم في أنشطة التنظيف في المناطق التي تلوَّثت جراء حادث فوكوشيما داييتشي. وقد خصَّصت السلطات اليابانية موارد هائلة لوضع الاستراتيجيات والخطط ولتنفيذ أنشطة الاستصلاح في مساحات شاسعة ملوثة خارج الموقع. وكرِّست جهود خاصة لتمكين الأشخاص الذين تم إجلاؤهم من العودة إلى منازلهم. وأُحرِز أيضاً تقدم طيب في تنسيق أنشطة الاستصلاح مع جهود إعادة البناء والإنعاش. وقامت بعثة متابعة من الوكالة في تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣ بمساعدة اليابان على تقييم التقدم المحرز منذ إيفاد البعثة السابقة في عام ٢٠١١، واستعرضت استراتيجيات وخطط وأعمال الاستصلاح، وأطلعت المجتمع الدولي على ما خلصت إليه من استنباطات.

النفايات المشعة الموروثة

٨٥- يساهم فريق خبراء الاتصال التابع للوكالة والمعني بالمبادرات الدولية بشأن الإرث النووي في الاتحاد الروسي في نجاح تنفيذ البرامج الدولية في هذا المجال. وأوشك الآن برنامج تفكيك الغواصات النووية وإخراجها من الخدمة على الانتهاء. ويجري حالياً ختم وحدات مفاعلات الغواصات التي أُفرِغ وقودها مع وضعها في مرافق للتخزين الطويل الأجل. وتوضع حالياً ٦٥ وحدة من وحدات مفاعلات الغواصات في مرفق تخزين في المنطقة الشمالية الغربية وثلاثة في أقصى الشرق من الاتحاد الروسي. ويجري تنفيذ برنامج مماثل في الولايات

المتحدة الأمريكية، التي فكّكت ١١٤ قطعة من الغواصات والسفن النووية. وهناك مركزان إقليميان لتكييف وتخزين النفايات المشعة تحت الإنشاء في منطقتي الشمال الغربي (الشكل ألف-١٤) وأقصى الشرق بالاتحاد الروسي. كما يُنفَّذ بنجاح برنامج دولي لاستعادة مولّدات كهربائية حرارية قوية تعمل بالنظائر المشعة كانت تُستخدَم في المنارات البحرية على طول ساحل الاتحاد الروسي.

الشكل ألف-١٤ - تشييد المركز الإقليمي لتكييف النفايات المشعة وتخزينها الطويل الأجل في شمال غرب روسيا. (الصورة من: شركة إنيرجي ويرك نورد المحدودة)

معالجة وتكييف النفايات المشعة

٨٦- تنشأ النفايات السائلة المشعة من معظم أجزاء دورة الوقود النووي، بما فيها المفاعلات النووية، ومرافق إعادة المعالجة ومعالجة النفايات وأنشطة الإخراج من الخدمة. وتقنيات المعالجة المستخدمة لتقليص المحتويات المشعة تشمل الترسيب الكيميائي، وإضافة ماصّات نشاط إشعاعي مقسمة إلى قطع دقيقة (تليهما إزالة المواد الصلبة)، واستخدام ماصّات التبادل الأيوني على هيئة أعمدة. أو يمكن بدلا من ذلك استخدام التبخير أو التناضح العكسي (الترشيح على المستوى الذري). ويستمر تحسين خصائص ماصات التبادل الأيوني المتخصصة عن طريق تعزيز انتقائية النويدات المشعة الرئيسية وتحسين الخواص المادية لاستخدام الأعمدة، وذلك مثلاً باستخدام المواد المركبة. وكانت معالجة النفايات السائلة تمثل سمة مهمة في أعمال الاستصلاح التي أعقبت حادث فوكوشيما داييتشي وذلك من خلال استخدام مرفق معالجة متاح دولياً. ويتم الجمع بين كل هذه العمليات السالفة الذكر لإزالة مقادير كبيرة من مختلف النويدات المشعة في فوكوشيما.

٨٧- ويشمل تكييف النفايات تجميد النويدات المشعة، ووضع النفايات في عبوات، وتوفير تغليف إضافي. وتشمل أساليب التجميد الشائعة تصليد النفايات المشعة السائلة الضعيفة والمتوسطة الإشعاع باستخدام الأسمنت أو البيتومين أو الزجاج، وتزجيج النفايات المشعة السائلة القوية الإشعاع في مصفوفة زجاجية أو وضعها في مصفوفة معدنية. ولا تزال الاتجاهات الراهنة تحسن خصائص عمليات تجميد النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع. وقد عدلت كلٌّ من مصر والهند والاتحاد الروسي وصربيا والولايات المتحدة الأمريكية عملياتها باستخدام مخاليط مضافة لتعزيز الخواص الفيزيائية للأسمنت وتحديد إمكانات التجميد لأصناف محددة من النفايات أو مجموعات من النفايات، ومكافحة التأثير الضار المحتمل الناجم عن أصناف النفايات الخاملة. وطورت فرنسا والصين وروسيا وسويسرا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية رابطات مبتكرة للتغلب على قيود خواص أسمنت بورتلاند. وأبلغت فرنسا عن تثبيت ملح الزنك القابل للذوبان باستخدام أسمنت ألومينات الكالسيوم الكبريتية.

٨٨- وقيمت الوكالة مؤخراً أربعة أنواع من المواد الأسمنتية المبتكرة، هي: أسمنت ألومينات الكالسيوم الكبريتية، وأسمنت ألومينات الكالسيوم، والبوليمرات الجيولوجية المصنوعة من السيليكات القلوية والكاولين المعدني، وأسمنت فوسفات المغنيسيوم[١٤]. وتشير تجربة التشييد الإيجابية التي أجريت مؤخراً باستخدام البوليمرات الجيولوجية إلى إمكانية استخدامها في تكييف النفايات على نطاق أوسع. وأثبتت البوليمرات الجيولوجية المصنوعة من السيليكات القلوية والكاولين المعدني قوتها المعززة في مقاومة الأحمال الضاغطة وإمكانية أقل لنض السيزيوم-١٣٧، ورُخّص استخدامها في الجمهورية التشيكية وسلوفاكيا مع الرواسب الطينية المشعة وتصليد الراتينجات. ويرجح أن تسفر البحوث في أستراليا والاتحاد الروسي وسلوفاكيا والمملكة المتحدة عن المزيد من المعرفة، بما في ذلك معلومات عن متانتها في الأجل الطويل.

خزن النفايات المشعة

٨٩- يتيح تخزين النفايات احتواءها وعزلها بشكل مناسب، وييسر استعادتها لمواصلة معالجتها أو للتخلص منها. ولوحظت خلال العقد الأخير اتجاهات بارزة في تخزين النفايات المشعة، مثل أزمنة الخزن الممتدة، ومرافق تعزيز أمان الخزن. واكتسبت هذه الاتجاهات شعبية أكبر، لا سيما بالنسبة للنفايات المشعة الأقوى إشعاعاً. ومن أدلة الممارسات الجيدة بشأن التنظيم الرقابي لخزن النفايات المشعة الوثيقة الإرشادية التي أصدرتها الهيئة النووية المعنية بالإخراج من الخدمة في المملكة المتحدة في عام ٢٠١٢ بعنوان *الخزن المؤقت لعبوات النفايات الأقوى إشعاعاً – نهج متكامل*. وتشمل المبادئ المستخدمة دورات العمر من المهد إلى اللحد؛ واتساق ظروف عبوات النفايات وظروف الخزن للتقليل إلى أدنى حد من توليد النفايات؛ والوقاية خير من العلاج؛ وبعد النظر في التصميم؛ وإدارة المعرفة الفعالة. ووفقاً لما هو متصور في الإرشادات، ينبغي أن تكون مرافق الخزن قادرة على البقاء لمدة لا تقل عن ١٠٠ سنة.

٩٠- وينبغي عموماً ألا يقل العمر التصميمي للمخازن الجديدة عن ١٠٠ سنة. وعلاوة على ذلك، إذا كان من المقترح استخدام هيكل موجود بالفعل بعد تعديله حسب الاقتضاء ليكون مخزناً، ينبغي إثبات أن الهيكل يفي بالمعايير الإنشائية الحديثة، واختيار مواد ملائمة لأعمال التعديل، واتساق المخزن الناشئ عن ذلك مع عمر تصميمي مستهدف لا يقل عن ١٠٠ سنة.

التخلص من النفايات المشعّة

٩١- تنتشر في جميع أنحاء العالم مرافق قيد التشغيل للتخلص من جميع فئات النفايات المشعة، باستثناء النفايات القوية الإشعاع و/أو الوقود المستهلك. وهذه المرافق تشمل التخلص في خنادق من النفايات الضعيفة الإشعاع جداً (على سبيل المثال في فرنسا وإسبانيا والسويد)، أو التخلص من النفايات الضعيفة الإشعاع في مناطق قاحلة (على سبيل المثال في الأرجنتين والهند وجنوب أفريقيا والولايات المتحدة الأمريكية)؛ والمرافق المصمّمة هندسياً بالقرب من سطح الأرض للتخلص من النفايات الضعيفة الإشعاع (على سبيل المثال في الصين والجمهورية التشيكية وفرنسا والهند واليابان وسلوفاكيا وإسبانيا والمملكة المتحدة وأوكرانيا)؛ والمرافق المصمّمة هندسياً تحت سطح الأرض للتخلص من النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع (على سبيل المثال في السويد وفنلندا)؛ والتخلص في حُفَر لدفن النفايات الضعيفة الإشعاع كما يجري في الولايات المتحدة الأمريكية؛ والمرافق

---

[١٤] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، سلوك المواد الأسمنتية لدى التخزين الطويل الأمد للنفايات المشعة والتخلص منها: نتائج مشروع بحثي منسَّق، العدد ١٧٠١ من سلسلة الوثائق التقنية الصادرة عن الوكالة، فيينا (٢٠١٣).

الجيولوجية المخصّصة لاستقبال النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع (على سبيل المثال في هنغاريا والولايات المتحدة الأمريكية). وتتفاوت خيارات التخلص من المواد المشعة الطبيعية المنشأ تبعاً للوائح التنظيمية الوطنية، حيث تتراوح بين مرافق التخلص في خنادق إلى المرافق المصمّمة هندسياً تحت سطح الأرض (على سبيل المثال في النرويج).

٩٢- وقد اتُّخِذت خطوات نحو ترخيص مرافق للتخلص الجيولوجي من النفايات القوية الإشعاع و/أو الوقود المستهلك في فنلندا وفرنسا والسويد.

٩٣- وتسعى كندا إلى تطوير مرفقيْن جيولوجيين اثنين للتخلص من النفايات، أولهما، مرفق موقع بروس للنفايات الضعيفة الإشعاع والنفايات المتوسطة الإشعاع الناتجة عن مؤسسة أونتاريو لتوليد القوى، الذي يجتاز في الوقت الراهن مرحلة الترخيص واستُكملت بشأنه جلسات الاستماع العامة في عام ٢٠١٣ ويُتوقَّع أن يُتَّخذ قرار رقابي بصدده في أواخر عام ٢٠١٤ أو أوائل عام ٢٠١٥. أما الموقع الثاني فهو غير محدد يخص مستودع الوقود النووي المستعمل ومركز الخبرة في كندا. وانتهت هيئة التصرف في النفايات النووية، في إطار عملها مع ٢١ من الجماعات المتطوعة التي أعربت عن اهتمامها بالتعرف على خطة كندا للتصرف المأمون والطويل الأجل في الوقود النووي المستعمل، من المرحلة الأولى للتقييم الأولي في ثمانٍ من هذه الجماعات وتسعى إلى الحصول على تقييمات الجماعات الثلاث عشرة المتبقية. واعتُبرت أربع من هذه الجماعات الثماني الأوّلية أنها في حالة مناسبة للتقدُّم إلى المرحلة التالية من التقييم.

٩٤- وسارت الصين وفق خطتها المتوسطة الأجل للتصرف في نفاياتها الضعيفة والمتوسطة الإشعاع بها في خمسة مواقع إقليمية للتخلص بحلول عام ٢٠٢٠ بقدرة إجمالية على التخلص تقدَّر بحوالي ١ مليون متر مكعب. ويجري تشغيل اثنين من هذه المواقع بقدرة تبلغ ٢٠ ٠٠٠ متر مكعب و٨٠ ٠٠٠ متر مكعب، ولا يزال الموقع الثالث تحت الإنشاء، ومن المقرر تطوير الموقعين المتبقيين. وتتوقع الصين حالياً احتياجاتها من التخلص الجيولوجي الناشئ عن ١٤٠ ٠٠٠ طن من الوقود المستهلك من مجموعة مفاعلات يبلغ عددها ٤٨ مفاعلاً. وسوف تحتاج النفايات القوية الإشعاع التي ستنشأ عن إعادة المعالجة إلى إيجاد حل للتخلص منها. وتشمل خطط المضي قدماً نحو التخلص الجيولوجي من النفايات القوية الإشعاع تحديد الموقع (٢٠١٤)، والتشييد (٢٠١٧)، وتشغيل مختبر للبحوث تحت الأرض بحلول عام ٢٠٢٠؛ وإجراء أعمال البحث والتطوير الموقعية والبدء في تشييد مستودع جيولوجي عميق بحلول عام ٢٠٤٠؛ والبدء في عمليات التخلص بحلول عام ٢٠٥٠.

٩٥- وفي فنلندا، تأمل شركة بوزيفا أن تحصل على رخصة إنشاء مستودعها الجيولوجي العميق بحلول أواخر عام ٢٠١٤ أو مطلع عام ٢٠١٥، وهي في صدد التحضير لإجراء تجارب إيضاحية كاملة لحسم القضايا العلمية والتقنية المتبقية حتى يمكنها الحصول على رخصة تشغيل. وتتوقع بوزيفا أن تبدأ عملياتها في مطلع عشرينات هذا القرن.

٩٦- وتقوم الوكالة الوطنية الفرنسية للتصرف في النفايات المشعة (آندرا) بالتحضير للمرحلة الصناعية من مشروعها الخاص بالتخلص العَكوس من النفايات المتوسطة والقوية الإشعاع، Cigéo، وقد أجرت مراجعة للجدوى وشرعت في عملية ذات طابع رسمي ترمي إلى إشراك أصحاب المصلحة العامة قبل تقديم طلب استصدار ترخيص. وفي عام ٢٠١٣، وصلت خطط مرفق Cigéo إلى مرحلة التشاور العام النهائي الذي قامت بتنظيمه اللجنة الوطنية للمناقشات العامة. وتَعَيَّنَ الاستعاضة عن الخطط الأولية للاجتماعات العامة بمناقشات على الخط الحاسوبي المباشر عقب سلسلة من

الاحتجاجات. وقد أنشِئت لجنة من المواطنين كجزء من هذه العملية فخلصت إلى "عدم معارضة مشروع Cigéo بداهة" (*'a priori' for a non-opposition* to the Cigéo project). ولحين تقديم طلب الحصول على رخصة في عام ٢٠١٥ ومنح رخصة تشييد في عام ٢٠١٨، تخطط آندرا لإدخال مرفق التخلص في الخدمة بحلول عام ٢٠٢٥.

٩٧- واعتمدت ألمانيا في حزيران/يونيه ٢٠١٣ قانوناً بشأن اختيار مواقع المستودعات. وسوف تجري لجنة مستقلة عملية اختيار موقع المستودع الجديد للنفايات المولّدة للحرارة. ولم يُستبعد من العملية الجديدة مرفق التنقيب في غورليبين الذي جرى تناوله من قبل.

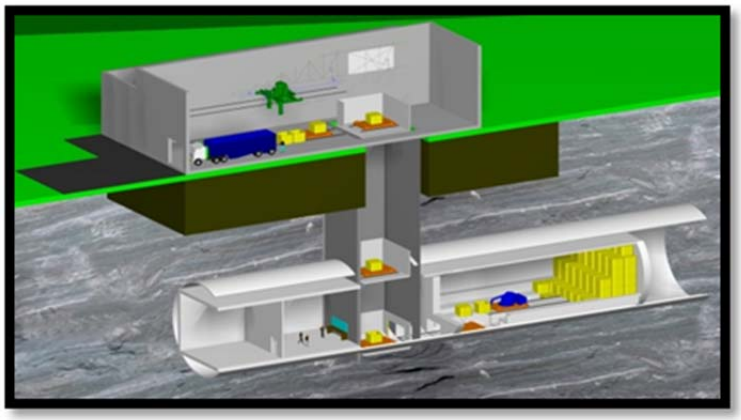
٩٨- وعقب حفل افتتاحي في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٢، بدأت العمليات المنتظمة في مرفق باتاباتي للتخلص بهنغاريا الذي جرى تصميمه لاستقبال ٤٠ ٠٠٠ متر مكعب من النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع الناتجة عن عمليات محطات القوى النووية. ويسمح التصميم بالقيام بصورة موازية بتشييد المزيد من أقبية التخلّص في ذات الوقت الذي توضع فيه النفايات داخل الأقبية القائمة.

٩٩- وفي جمهورية كوريا، أوشكت الأعمال الإنشائية لمركز وولسونغ للتخلص من النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع على الانتهاء، ومن المقرر الانتهاء في حزيران/يونيه ٢٠١٤ من المرحلة الأولى من المركز الذي سيستوعب ١٠٠ ٠٠٠ اسطوانة. وأنشأت الحكومة لجنة لإجراء نقاش علني حول خيارات التصرف في الوقود المستهلك في المستقبل. وسيجري توسيع نفق البحوث الجوفي التابع للمعهد الكوري لبحوث الطاقة الذرية كي يستوعب برنامج البحث والتطوير المتوقع لدعم التخلص الجيولوجي.

١٠٠- ودخلت أعمال تطوير المستودع الليتواني القريب من سطح الأرض للنفايات الضعيفة الإشعاع مرحلة التخطيط التفصيلي، ومن المقرر أن يبدأ تشييد مستودع النفايات الضعيفة الإشعاع جداً في النصف الثاني من عام ٢٠١٤. وتوضع حالياً عبوات النفايات في مرفق تخزين مؤقت حجمه ٤٠٠٠ متر مكعب حصل على رخصة تشغيل من هيئة التفتيش الحكومية المعنية بأمان القوى النووية في أيار/مايو ٢٠١٣ ،إلى أن يحين الوقت الذي يصبح فيه التخلص متاحاً.

١٠١- واتخذ المعهد الجيولوجي البولندي إجراءات التحضير لاستئناف تطوير برنامج للتخلص الجيولوجي. وسوف تبدأ مرحلة للتشاور العام والإداري على المستوى المحلي عقب التحديد الأولي لخصائص المواقع من أجل اختيار المواقع المرشحة لمرافق التخلص قرب السطح.

١٠٢- وفي الاتحاد الروسي، يجري وضع التصاميم اللازمة لإقامة مختبر تحت الأرض في سلسلة الجبال الجرانيتية نيزهنيكانسكي على عمق ٥٠٠ متر في إقليم كراسنويارسك بسيبيريا، لدراسة إمكانية التخلص من النفايات الطويلة العمر القوية والمتوسطة الإشعاع. وتبلغ القدرة المخطط لها ٧ ٥٠٠ برميل من النفايات المولدة للحرارة، و١٥٥ ٠٠٠ متر مكعب من النفايات غير المولدة للحرارة. وحدد موقع إقامة مرفق للتخلص من النفايات الضعيفة الإشعاع والنفايات القصيرة العمر المتوسطة الإشعاع في منطقة لينينغراد، في إحدى التكوينات الطينية على عمق يتراوح بين ٦٠ و٧٠ متراً تحت السطح (الشكل ألف-١٥). وصُمم هذا الموقع لاستقبال ٥٠ ٠٠٠ متر مكعب من النفايات الضعيفة الإشعاع في حجرات التخلص من النوع القبوي خلال المرحلة الأولى من العمليات.



الشكل ألف-١٥- مفهوم عمليات وضع النفايات في المرفق المزمع للتخلص من النفايات الضعيفة الإشعاع في الاتحاد الروسي. (الرسم من: معهد عموم روسيا لتصاميم وبحوث تكنولوجيا القوى المتكاملة)

١٠٣- وفي السويد، من المتوقع أن تستغرق عملية ترخيص مرفق التخلص من الوقود المستهلك عدة سنوات أخرى. وفي أيلول/سبتمبر ٢٠١٣، قدمت الشركة السويدية للتصرف في الوقود النووي والنفايات النووية أحدث برنامج لبحث وتطوير وإيضاح التخلص الجيولوجي في السويد لمراجعته، وتعكف حالياً على إعداد الحسابات المنقحة لتكاليف برنامج التصرف في الوقود المستهلك في المستقبل. وسوف تستند الحكومة إلى ذلك كأساس لتحديد الرسوم التي ستساهم بها في صندوق النفايات النووية، الذي يمول منه هذا البرنامج.

١٠٤- وتعيد سويسرا حالياً النظر في مرسومها بشأن أموال الإخراج من الخدمة والتخلص. وتشمل اقتراحات تعديل تقديرات التكاليف المستقبلية تخفيض معدل التضخم (من ٣٪ إلى ١,٥٪) ومعدل العائد على الاستثمار (من ٥٪ إلى ٣,٥٪) عن التقديرات السابقة، وإضافة 'بدل عدم تيقن' نسبته ٣٠٪. ووافقت الحكومة الاتحادية على البرنامج الشامل للتصرف في النفايات الذي يشمل النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع والنفايات القوية الإشعاع الذي أطلقته الجمعية التعاونية الوطنية للتخلص من النفايات المشعة. وقدمت في عام ٢٠١٣ الاقتراحات المتعلقة بمكان المرافق القريبة من السطح، ولا يزال العمل جارياً في المرحلة الثانية لعملية الخطة القطاعية التي ستفضي إلى اختيار ما لا يقل عن موقعين لإقامة مستودع النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع والنفايات القوية الإشعاع.

١٠٥- وتعكف أوكرانيا، بالتعاون مع المفوضية الأوروبية، على وضع خطة وطنية للتخلص الجيولوجي من النفايات المشعة، وتعتزم إجراء تقييمات الأمان الأولية لثلاثة مواقع محتملة بحلول عام ٢٠١٧. ويشهد مرفق أوكرانيا للتخلص من النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع بالقرب من سطح الأرض في بورياكوفكا، الذي جرى تطويره في أعقاب حادث تشيرنوبيل، توسيعاً في قدرته بمقدار ١٢٠ ٠٠٠ متر مكعب تضاف إلى قدرته الحالية التي تقترب من ٧٠٠ ٠٠٠ متر مكعب، وذلك في إطار مشروع للتعمير بتمويل من المفوضية الأوروبية.

١٠٦- وانسحبت في كانون الثاني/يناير ٢٠١٣ منطقة ويست كومبريا في المملكة المتحدة من عملية اختيار مواقع التخلص الجيولوجي. وتواصل حكومة المملكة المتحدة تشديدها على تطوير التخلص الجيولوجي، وتلتمس اقتراحات بشأن كيفية تنقيح وتحسين عملية اختيار المواقع.

١٠٧- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، تلقت اللجنة ٧ في المحطة التجريبية لعزل النفايات التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية موافقة إدارة البيئة المكسيكية الجديدة على التخلص من مواد نفايات قطاع الدفاع الملوثة بنظائر

مشعة بشرية المنشأ أثقل من اليورانيوم. واستناداً إلى توصيات لجنة الشريط الأزرق المعنية بالمستقبل النووي الأمريكي، تتوقع الاستراتيجية الوطنية للتصرف في النفايات الضعيفة الإشعاع والوقود المستهلك تطوير مرافق خزن تجريبية ومؤقتة أكبر، فضلاً عن إحراز تقدم ملموس في اختيار مواقع التخلص الجيولوجي وتحديد خصائصها. وسوف تواصل الهيئة الرقابية النووية الأمريكية معالجة طلب رخصة مشروع جبل يوكا.

التصرف في المصادر المشعة المختومة المهمَلة

١٠٨- تنظر عدة بلدان، بما فيها غانا وماليزيا والفلبين وجنوب أفريقيا، بجدية في خيارات التخلص من المصادر المشعة المختومة المهمَلة، بما فيها التخلص المشترك مع نفايات أخرى في مرافق مناسبة، أو زيادة عدد خيارات إعادة التدوير والإعادة إلى بلد المنشأ، أو التخلص في حُفَر مخصّصة للدفن.

١٠٩- وقد أُجري في عام ٢٠١٣ عدد من العمليات الناجحة لإزالة مصادر مشعة مختومة مهمَلة من المباني الخاصة بالمستخدمين ووضعها تحت السيطرة، وذلك عن طريق نقلها إما إلى مرفق وطني لتخزين النفايات المشعة أو إلى مؤسسة أخرى تتوفّر فيها ظروف تخزين مناسبة. ونشرت الخلية الساخنة المتنقلة في الفلبين في نيسان/أبريل ٢٠١٣ لتكييف ٢٢ من المصادر المشعة المختومة المهمَلة القوية الإشعاع ووضعها في مكان تخزين مأمون وآمن. واستُردت خمسة مصادر مشعة مختومة مهملة في البوسنة والهرسك ونقلت من البلد لإعادة تدويرها. وبادر العديد من الدول الأعضاء، بما فيها الكاميرون ولبنان والمغرب، بإعادة المصادر المهملة من الفئتين ١ و٢ الفرنسية الصنع إلى بلد المنشأ. وتم الانتهاء في السودان من إعادة اثنين من هذه المصادر إلى بلد المنشأ في عام ٢٠١٣.

١١٠- وبذلت جهود كبيرة لربط الخلية الساخنة المتنقلة بمفهوم تصميم التخلص في حفر الدفن، بقصد التقليل إلى أدنى حد من مناولة المصادر وتلافي نقلها دون داعٍ.

١١١- وصدر العديد من الوثائق التقنية والوحدات التدريبية واستخدمت في مساعدة الدول الأعضاء على التمكن تقنياً من التكييف المأمون والآمن للمصادر المشعة المختومة المهملة من الفئات ٣ حتى ٥. وأنجزت في مصر والمغرب عمليات شملت تكييف تلك المصادر، وتم تدريب عاملين محليين وإقليميين.

١١٢- وأتاحت الوكالة إمكانية الوصول إلى الفهرس الدولي للمصادر والأجهزة المشعة المختومة أمام الكثير من الأفراد المرشحين من بلدانهم، وأمام الوكالات الدولية، مثل مكتب الشرطة الأوروبية (اليوروبول)، ويسرت بالتالي التعرف على المصادر المشعة المختومة المهملة التي يُعثَر عليها في الميدان.

١١٣- وخلال المؤتمر الدولي المعني بأمان المصادر المشعة وأمنها: الحفاظ على فرض رقابة عالمية مستمرة على المصادر طوال دورة عمرها، الذي عُقد في أبوظبي بالإمارات العربية المتحدة، في تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣، تم تسليط الضوء على استمرار الكثير من التحديات فيما يتعلق بالتصرف في المصادر المشعة المختومة المهملة والتخلص منها، مثل عدم توفر طرود نقل معتمدة، ومرافق الخزن الطويل الأجل، وإرشادات التصرف في نهاية العمر التشغيلي.

ألف-٤- الأمان

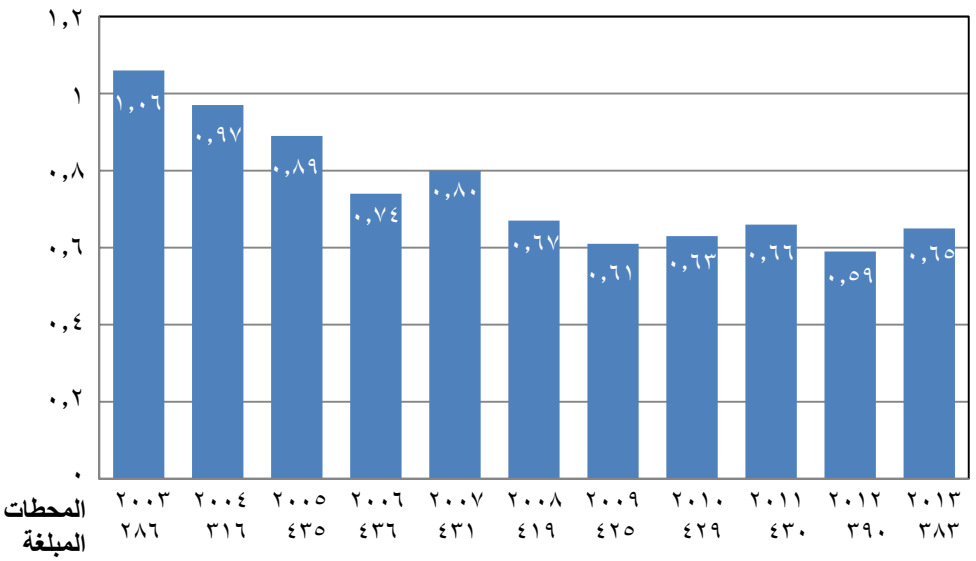
١١٤- تواصلت في كل أنحاء العالم خلال عام ٢٠١٣ تحسينات الأمان في محطات القوى النووية، من خلال وسائل شملت تحديد وتطبيق الدروس المستفادة حتى الآن من حادث فوكوشيما داييتشي. وأحرز تقدم كبير في

عدة مجالات رئيسية، مثل تقييم مواطن الضعف في أمان محطات القوى النووية، والتحسينات في قدرات التأهب والتصدي للطوارئ، وتقديم الدعم إلى الدول الأعضاء التي تخطط للشروع في برنامج للقوى النووية، وتعزيز ومواصلة بناء القدرات، ووقاية الناس والبيئة من الإشعاعات المؤينة. وساهم التقدم المحرز في هذه المجالات وغيرها في تحسين الإطار العالمي للأمان النووي.

١١٥- وتواصل الوكالة تقاسم وتعميم الدروس المستفادة من حادث فوكوشيما داييتشي. ولا تزال خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي التي اعتمدها المؤتمر العام في أعقاب حادث فوكوشيما تشكل صلب إجراءات الأمان المتخذة من الدول الأعضاء والأمانة وسائر الجهات المعنية ذات الصلة. وفي عام ٢٠١٣، نظمت الوكالة الاجتماع الدولي للخبراء بشأن الإخراج من الخدمة والاستصلاح بعد وقوع حادث نووي (٢٨ كانون الثاني/يناير إلى ١ شباط/فبراير ٢٠١٣)، والاجتماع الدولي للخبراء بشأن العوامل البشرية والتنظيمية في مجال الأمان النووي على ضوء الحادث الذي تعرضت له محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية (٢١ إلى ٢٤ أيار/مايو ٢٠١٣)، والمؤتمر الدولي المعني بالنظم الرقابية النووية الفعالة (٨ إلى ١٢ نيسان/أبريل ٢٠١٣). وصدر في عام ٢٠١٣ *تقرير الوكالة عن الإخراج من الخدمة والاستصلاح بعد وقوع حادث نووي*، و*تقرير الوكالة عن تعزيز الفعالية الرقابية النووية على ضوء حادث محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية*، و*تقرير الوكالة عن التأهب والتصدي لطارئ نووي أو طارئ إشعاعي على ضوء حادث محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية*.

١١٦- وأعلن المدير العام خلال الدورة العادية السادسة والخمسين للمؤتمر العام أن الوكالة ستعد تقريراً عن حادث فوكوشيما داييتشي من المقرر الانتهاء منه في عام ٢٠١٤. وسوف يغطي التقرير أموراً تشمل وصف الحادث وسياق وقوعه، وتقييم الأمان، والتأهب والتصدي للطوارئ، والعواقب الإشعاعية، فضلاً عن التعافي بعد الحادث.

١١٧- ولا يزال مستوى الأمان التشغيلي لمحطات القوى النووية مرتفعاً، حسبما يتضح من مؤشرات أداء الأمان التي جمعتها الوكالة والرابطة العالمية للمشغلين النوويين. ويتبين من الشكل ألف-١٦ عدد الإغلاقات غير المخطط لها لكل ٧٠٠٠ ساعة (حوالي سنة) من التشغيل. ويُستخدم هذا التحليل عمومًا كمؤشر لنجاح تحسين أمان المحطات من خلال تقليص عدد الإغلاقات الحرارية-الهيدروليكية غير المرغوب فيها وغير المخطط لها والاستجابات العابرة التي تتطلب إغلاق المفاعل. وحسبما هو واضح من الشكل، فقد تحققت في السنوات الأخيرة تحسينات مطردة. وتتصل الزيادة التي حدثت من عام ٢٠١٠ إلى عام ٢٠١١ بكِبَر عدد حالات الإيقاف الطارئ غير المخطط لها الناتجة من الزلزال الذي حدث في اليابان في آذار/مارس ٢٠١١.



الشكل ألف-١٦ متوسط معدل الإغلاقات: عدد الإغلاقات الآلية واليدوية التي تحدث كل ٧٠٠٠ ساعة من التشغيل. (المصدر: نظام المعلومات عن مفاعلات القوى التابع للوكالة http://www.iaea.org/pris).

١١٨- ترد معلومات إضافية عن الأمان النووي في وثيقة *استعراض الأمان النووي لعام ٢٠١٤*.

باء- الانشطار والاندماج المتقدّمان

باء-١- الانشطار المتقدم

باء-١-١- المفاعلات المبرَّدة بالماء

١١٩- في كندا، انتهت هيئة الأمان النووي الكندية من المرحلة الثالثة والنهائية من استعراض الترخيص المسبق لتصميم مفاعل كاندو ٦ المعزز (EC6) بقدرة ٧٤٠ ميغاواط (كهربائي) الذي يشمل عدداً من تعزيزات الأمان لتلبية آخر المعايير الكندية والدولية. كما أتمَّت شركة كاندو للطاقة تطوير المفاعل كاندو المتقدم (ACR-1000) الذي ينطوي على مستوى عالٍ جداً من التوحيد القياسي للمكوّنات وعلى استخدام يورانيوم طفيف الإثراء للتعويض عن استخدام الماء الخفيف كمبرّد ابتدائي. وأتمَّ المفاعل المذكور (ACR-1000) مرحلتين اثنتين من مراحل استعراض ما قبل الترخيص. كما تعمل شركة كاندو للطاقة حالياً مع شركاء دوليين لاستحداث بدائل متنوّعة من التصميم EC6 من أجل استخدام أنواع الوقود المتقدّم بما في ذلك اليورانيوم المعاد معالجته ووقود موكس ووقود الثوريوم.

١٢٠- ويجري في الصين تشييد ٢٩ من مفاعلات الماء المضغوط. وتشمل هذه المجموعة مفاعلات ماء مضغوط تطورية بقدرة ٦٥٠ ميغاواط (كهربائي) و١٠٨٠ ميغاواط (كهربائي) يقوم تصميمها على أساس تكنولوجيا محطات قائمة قيد التشغيل، فضلاً عن تصاميم أكثر حداثة للمفاعل AP-1000 ولمفاعل الماء المضغوط الأوروبي. وتم توصيل مفاعل جديد، Hongyanhe-1، وهو مفاعل مصمَّم وفق معدل القوة الحرج CPR 1000،

بالشبكة في شباط/فبراير ٢٠١٣. وتواصل الصين تطوير التصميمين CAP-1400 وCAP-1700، وهما نسختان أكبر حجماً من المفاعل AP-1000. وفي الوقت ذاته، تواصل الصين الاستثمار في مجال البحوث المتعلقة بتصميم مفاعل صيني فائق الحرجية مبرّد بالماء.

١٢١- وفي فرنسا، تواصل مجموعة شركات AREVA تسويق مفاعل الماء المضغوط الأوروبي بقدرة تفوق ١٦٠٠ ميغاواط (كهربائي). وتقوم أيضا بتطوير مفاعل الماء المضغوط ATMEA1 بقدرة تتجاوز ١١٠٠ ميغاواط (كهربائي)، جنباً إلى جنب مع شركة Mitsubishi Heavy Industries اليابانية، ومفاعل الماء المغلي KERENA بقدرة أكبر من ١٢٥٠ ميغاواط (كهربائي) بالشراكة مع مؤسسة E.ON الألمانية. ومن المعتزم أن يشهد موقع Sinop في تركيا نشر أول مفاعل من طراز ATMEA1.

١٢٢- وتضم الهند خمسة مفاعلات تحت الإنشاء، بما في ذلك أربعة مفاعلات ماء ثقيل مضغوط تطوّرية بقدرة ٧٠٠ ميغاواط (كهربائي) ومفاعل قوى واحد مبرد ومهدأ بالماء بقدرة ١٠٠٠ ميغاواط (كهربائي). وتم ربط المفاعل المبرد والمهدأ بالماء Kudankulam-1 بالشبكة في تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣، وتجتاز الوحدة الثانية اختبارات للبدء في تشغيلها. ويعكف مركز بهابها للبحوث الذرية على وضع اللمسات الأخيرة لتصميم مفاعل ماء ثقيل متقدم بقدرة ٣٠٠ ميغاواط (كهربائي)، الذي سيستخدم وقود موكس المصنوع من اليورانيوم الضعيف الإثراء والثوريوم المهدّأ بالماء الثقيل، ويتضمَّن أنابيب ضغط عمودية، وسمات الأمان الهندسي الكامن.

١٢٣- ويوجد في اليابان اثنان من مفاعلات الماء المغلي المتقدمة تحت الإنشاء. وطورت شركة Hitachi-GE للطاقة النووية نسختي المفاعلات من الفئتين ٦٠٠ ميغاواط (كهربائي) و٩٠٠ ميغاواط (كهربائي) لتلبية احتياجات متنوعة. وعدّلت شركة Toshiba مفاعل الماء المغلي المتقدم لتلبية متطلبات الولايات المتحدة والمتطلبات الأوروبية، كما طورت المفاعلين US-ABWR وEU-ABWR على التوالي. وتواصل اليابان عمليات البحث والتطوير بغية وضع تصاميم مبتكرة للمفاعلات المبردة بالماء فوق الحرج.

١٢٤- وفي جمهورية كوريا، يتواصل التقدّم في تشييد أول مفاعل قوى متقدم APR-1400 وفقاً للخطة الموضوعة. وتمضي قدماً عملية التصديق من قِبَل الهيئة الرقابية النووية في الولايات المتحدة على تصميم المفاعل APR-1400، حيث قُدِّم الطلب في تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣. وفي موازاة ذلك، استمر في عام ٢٠١٣ تطوير مفاعلي القوى المتقدمين +APR و APR-1000 بقدرة ١٥٠٠ ميغاواط (كهربائي).

١٢٥- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، يجري إنشاء خمسة مفاعلات ماء مضغوط بما فيها أربعة مفاعلات AP1000. وتواصل الهيئة الرقابية النووية مراجعة طلبات الترخيص لتصميم مفاعل الماء المغلي المبسط الاقتصادي (شركة GE-Hitachi للطاقة النووية)، والمفاعل US-EPR (شركة AREVA NP) والمفاعل (شركة Mitsubishi Heavy Industries).

١٢٦- واستمر تشييد سبعة مفاعلات مبردة ومهدأة بالماء في الاتحاد الروسي، بما فيها مفاعلان WWER-1000s وخمسة مفاعلات WWER-1200s (NPP-2006). واستمرت أيضاً الخطط الموضوعة لتطوير المفاعل WWER-1200A، وكذلك المفاعلات WBER-600 وWWER-600 (NPP-2006/2) وWWER-1800، استناداً إلى التصميم الحالي للمفاعل WWER-1200. وإلى جانب ذلك، واصل الاتحاد الروسي العمل على تصميم ابتكاري لمفاعل مبرّد بالماء فوق الحرج، WWER-SC، ويتواصل تشييد المفاعل KLT-40S، وهو مفاعل عائم صغير مخصص لبعض التطبيقات التخصصية.

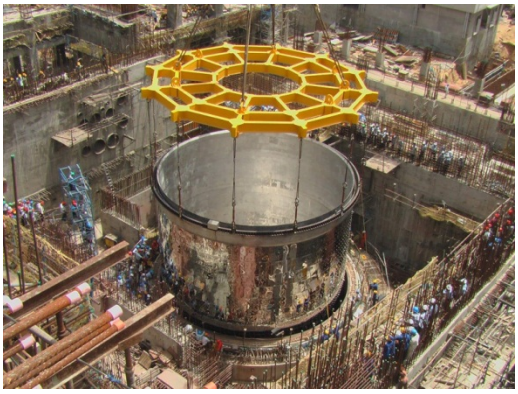
باء-١-٢- النظم النيوترونية السريعة

١٢٧- على مدى فترة ممتدة، يجري الاعتراف بالدور المهم للمفاعلات السريعة ودورات الوقود ذات الصلة من أجل استدامة القوى النووية على المدى الطويل. وتسمح نسبة التوليد الإيجابي القابلة للتحقيق، إلى جانب التدوير المتعدد للمواد الانشطارية التي يتم الحصول عليها من الوقود المستهلك من المفاعلات السريعة، بالاستفادة الكاملة من إمكانات اليورانيوم والثوريوم في مجال الطاقة. وتضمن هذه التكنولوجيا إمدادات الطاقة لآلاف السنين، كما تعزز إلى حد كبير من استدامة القوى النووية عن طريق الحد من النفايات القوية الإشعاع والطويلة العمر.

١٢٨- ومع ذلك، فإن النجاح في نشر المفاعلات السريعة على نطاق واسع لا يمكن تحقيقه إلا إذا أمكن من خلال البحث وتطوير التكنولوجيا تهيئة الظروف التي تضمن تحقّق كامل إمكانات أنظمة النيوترونات السريعة ودورات الوقود المغلقة ذات الصلة، وإذا تم على نحو كافٍ استيفاء معايير التنافسية الاقتصادية، والمتطلبات الصارمة للأمان، والتنمية المستدامة، والقبول العام.

١٢٩- ومنذ عام ١٩٦٠، تم تنفيذ برامج مهمة لتطوير المفاعلات السريعة في جميع أنحاء العالم، وبذلك بلغت المعرفة حول المفاعلات السريعة وما يرتبط بها من تكنولوجيات دورة الوقود مستوى عالياً من النضج. وتكنولوجيا المفاعلات السريعة الأكثر نضجاً هي تلك الخاصة بالمفاعلات السريعة المبردة بالصوديوم. فوراء هذه التكنولوجيا تاريخ ممتد على مدار ٣٥٠ سنة من الخبرة المكتسبة في مجال المفاعلات عبر تصميم وتشييد وتشغيل مفاعلات سريعة مبردة بالصوديوم بأحجام تجريبية ونمطية وإيضاحية وتجارية تعمل في عدد من البلدان، مثل الاتحاد الروسي وألمانيا والصين وفرنسا والمملكة المتحدة والهند والولايات المتحدة الأمريكية واليابان. وكان الأداء العام للمفاعلات السريعة المبردة بالصوديوم ملحوظاً، في ظل إنجازات مهمة مثل إيضاح جدوى توليد وقود جديد من خلال دورة وقود المفاعل السريع، مع تحقيق أوجه كفاءة حرارية تتراوح قيمها ما بين ٤٣ و٤٥٪، وهي الأعلى في المجال النووي. كما تراكمت خبرة لا غنى عنها في إخراج العديد من هذه المفاعلات من الخدمة.

١٣٠- وتوجد في الوقت الحاضر أربعة مفاعلات سريعة مبردة بالصوديوم قيد التشغيل: المفاعل السريع التجريبي الصيني في الصين، والمفاعل التجريبي السريع التوليد في الهند، والمفاعلان BOR-60 و BN-600 في الاتحاد الروسي. وهناك مفاعلان سريعان مبردان بالصوديوم، Joyo وMonju في اليابان، في حالة إغلاق مؤقت. ومن المتوقع أن يكتمل في عام ٢٠١٤ تشييد مفاعلين سريعين اثنين مبرّدين بالصوديوم: المفاعل التجريبي السريع التوليد بقدرة ٥٠٠ ميغاواط (كهربائي) في الهند (الشكل باء-١)، والمفاعل التجاري بقدرة ٨٨٠ ميغاواط (كهربائي) BN-800 في الاتحاد الروسي.



الشكل باء-١ - المفاعل التجريبي السريع التوليد بلغ مرحلة متقدمة من مراحل التشييد في كالباكام، الهند. (الصورة من: مركز إنديرا غاندي للبحوث الذرية)

١٣١- وفي الاتحاد الروسي، تم اكتساب بعض الخبرة فيما يتعلق بمعادن سائلة ثقيلة مثل الرصاص أو الرصاص-البزموث السهل الانصهار، استُمِدّت من تشغيل سبع غواصات نووية في إطار المشروع 705/705K، مجهزة بمفاعل مبرد بالرصاص-البزموث بقدرة ١٥٥ ميغاواط (حراري).

١٣٢- ويجري حالياً تطوير أربعة أنواع مختلفة من المفاعلات السريعة (الجدول باء-١) على المستويين الوطني والدولي من أجل الامتثال لمعايير أعلى فيما يتعلق بجوانب الأمان والاستدامة والاقتصاد والحماية المادية ومقاومة الانتشار. وهذه المفاعلات هي المفاعل السريع المبرد بالصوديوم، والمفاعل السريع المبرد بالرصاص، والمفاعل السريع المبرد بالغاز، والمفاعل السريع المبرد بالأملاح المصهورة.

الجدول باء-١- تصاميم المفاعلات السريعة

التصاميم	النوع	القدرة الكهربائية	الجهات المختصة بالتصميم
CFR-600	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل من النوع الحوضي	٦٠٠ ميغاوط(كهربائي)	معهد الصين للطاقة الذرية، الصين
Astrid	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل تجريبي من النوع الحوضي	٦٠٠ ميغاوط(كهربائي)	شركات French Alternative Energies and Atomic Energy Commission, EDF, AREVA NP, Alstom, Bouygues, Comex Nucléaire, Toshiba, Jacobs, Rolls-Royce and Astrium Europe، فرنسا
FBR-1 & 2	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل من النوع الحوضي	٥٠٠ ميغاوط(كهربائي)	مركز إنديرا غاندي للبحوث الذرية، الهند
4S	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل صغير	١٠ ميغاوط(كهربائي)	شركة Toshiba، اليابان

التصاميم	النوع	القدرة الكهربائية	الجهات المختصة بالتصميم
JSFR	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل من النوع الحَلقي	٧٥٠ ميغاواط (كهربائي) (متوسط النطاق)، ١٥٠٠ ميغاواط (كهربائي) (واسع النطاق)	الوكالة اليابانية للطاقة الذرية، اليابان
PGSFR	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل تجريبي من النوع الحوضي	١٥٠ ميغاوط(كهربائي)	المعهد الكوري لبحوث الطاقة الذرية، جمهورية كوريا
BN-1200	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل من النوع الحوضي	١٢٢٠ ميغاوط(كهربائي)	مكتب التصميمات التجريبية المتعلقة بتصنيع الآلات، الاتحاد الروسي
MBIR	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل بحثي من النوع الحوضي	١٠٠ميغاوط(كهربائي)	معهد البحث والتطوير في مجال الهندسة النووية، الاتحاد الروسي
PRISM	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل من النوع الحوضي	٣١١ ميغاوط(كهربائي)	شركة GE-Hitachi، الولايات المتحدة الأمريكية
TWR-P	مفاعل سريع مبرّد بالصوديوم، مفاعل موجات مرتحلة	٦٠٠ ميغاوط(كهربائي)	شركة TerraPower، الولايات المتحدة الأمريكية
MYRRHA	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل بحثي يعمل بالرصاص-البزموث من النوع الحوضي	-	المركز البلجيكي للبحوث النووية، بلجيكا
CLEAR-I	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل بحثي يعمل بالرصاص-البزموث من النوع الحوضي	-	معهد تكنولوجيا أمان الطاقة النووية، الصين
ALFRED	مفاعل سريع مبرد بالرصاص، محطة إيضاحية تعمل بالرصاص من النوع الحوضي	١٢٥ ميغاوط(كهربائي)	شركة Ansaldo Nucleare، أوروبا/إيطاليا
ELFR	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل يعمل بالرصاص من النوع الحوضي	٦٣٠ ميغاوط(كهربائي)	شركة Ansaldo Nucleare، أوروبا/إيطاليا

التصاميم	النوع	القدرة الكهربائية	الجهات المختصة بالتصميم
PEACER	مفاعل سريع مبرد بالرصاص، محطة إيضاحية تعمل بالرصاص-البزموث من النوع الحوضي	٣٠٠ ميغاوط(كهربائي)	جامعة سول الوطنية، جمهورية كوريا
BREST-OD-300	مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، مفاعل يعمل بالرصاص من النوع الحوضي	٣٠٠ ميغاوط(كهربائي)	معهد البحث والتطوير في مجال هندسة القوى، الاتحاد الروسي
SVBR-100	مفاعل سريع مبرد بالرصاص، مفاعل نمطي صغير يعمل بالرصاص-البزموث	١٠١ ميغاوط(كهربائي)	شركة AKME Engineering، الاتحاد الروسي
ELECTRA	مفاعل سريع مبرد بالرصاص، مفاعل تدريبي يعمل بالرصاص	-	المعهد الملكي للتكنولوجيا، السويد
G4M	مفاعل سريع مبرد بالرصاص، مفاعل نمطي صغير يعمل بالرصاص-البزموث	٢٥ ميغاوط(كهربائي)	شركة Gen4 Energy Inc، الولايات المتحدة الأمريكية
ALLEGRO	مفاعل سريع مبرد بالغاز، مفاعل تجريبي	-	الجماعة الأوروبية للطاقة الذرية، أوروبا
EM^2	مفاعل سريع مبرد بالغاز، مفاعل مرتفع الحرارة	٢٤٠ ميغاوط(كهربائي)	شركة General Atomics، الولايات المتحدة الأمريكية
MSFR	MSFR	١٥٠٠ ميغاوط(كهربائي)	المركز الوطني للبحوث العلمية، فرنسا

باء-١-٣- المفاعلات المبرَّدة بالغاز

١٣٣- تواصل المملكة المتحدة تشغيل مفاعلات تجارية مبردة بالغاز منذ سنوات عديدة. ولا يزال هناك مفاعل من طراز Magnox و١٤ من المفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز تعمل في المملكة المتحدة، وهي مستمرة في تأدية دور مهم فيما يخص المفاعلات المرتفعة الحرارة المبردة بالغاز، كما توفر الدعم للمشغلين جنباً إلى جنب مع العديد من الجامعات التقنية في إطار التصدي للتحديات التي تواجه هذا النوع من المفاعلات. وتتميز المفاعلات المتقدمة المبردة بالغاز أساساً عن المفاعلات المبردة بغاز ثاني أكسيد الكربون في المملكة المتحدة من حيث استخدام وقود جسيمي مغلف، وارتفاع درجات حرارة منافذ الغاز (≤ ٧٥٠°C) واستخدام الهيليوم كمبرّد. وعلى النقيض من التراجع الذي تشهده المملكة المتحدة، تجري متابعة تطوير المفاعلات المرتفعة الحرارة المبردة بالغاز في العديد من الدول الأعضاء.

١٣٤- وفي الصين، تم صب الخرسانة الأولى للمفاعل المرتفع الحرارة النمطي-الحصوي القاع في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٢ (الشكل باء-٢)، بعد تلبية متطلبات إعادة تقييم الأمان على ضوء حادث فوكوشيما داييتشي. وتتكون محطة القوى الإيضاحية الصناعية المذكورة بقدرة ٢٠٠ ميغاواط (كهربائي) من وحدتي مفاعلات قدرتها ٢٥٠ ميغاواط (حراري)، من المتوقع أن تكونا قيد التشغيل بحلول نهاية عام ٢٠١٧.

الشكل باء-٢ - موقع تشييد المفاعل المرتفع الحرارة النمطي-الحصوي القاع في خليج شيداو، مدينة ويهاي، الصين. (الصورة من: معهد تكنولوجيا الطاقة النووية ومصادر الطاقة الجديدة)

١٣٥- وقد ترسخت التكنولوجيا الصينية لتصنيع الوقود، ويجري اختبار مجالات الوقود دولياً في الظروف الطبيعية وظروف الحوادث. وبدأ في عام ٢٠١٣ تشييد المحطة الجديدة لتصنيع الوقود في باوتو، وسيتم إجراء اختبارات واسعة النطاق للمكونات الرئيسية في حلقة اختبارات الهليوم التي تبلغ قدرتها ١٠ ميغاواط والتي تم الانتهاء منها. وخضع مفاعل الأبحاث HTR-10 لعمليات ترقية في عام ٢٠١٣، وسيتم استخدامه بغرض اكتساب مزيد من الخبرة التشغيلية وجمع البيانات وإجراء الاختبارات.

١٣٦- وتدرس الوكالة الوطنية للطاقة النووية في إندونيسيا تصميماً نظرياً لمفاعل مرتفع الحرارة مبرد بالغاز، يمكن نشره خارج جزر جاوة ومادورا وبالي. وتركز الأنشطة على دراسة جوانب الطلب والاقتصاد والحرارة المستخدمة في المعالجة الصناعية وتصنيع الوقود.

١٣٧- وفي اليابان، يخضع مفاعل الاختبارات الهندسية العالي الحرارة بقدرة ٣٠ ميغاواط (حراري) لاستعراض رقابي. ومن المقرر إجراء اختبار إضافي لاستيضاح عناصر الأمان ينطوي على فقدان التبريد القسري الأولي بالإضافة إلى فقدان تبريد وعاء الضغط في المفاعل، وذلك على سبيل المحاكاة الانقطاع التيار الكهربائي في المحطات. واستجابةً لحادث فوكوشيما داييتشي، بدأت وكالة الطاقة الذرية في اليابان تصميم مفاعل مرتفع الحرارة مبرد بالغاز آمن بشكل طبيعي يستند بشكل كامل على سمات الأمان الكامن، ومفاعل من ذات النوع يتسم بخاصية الحرق النظيف لإحراق فائض البلوتونيوم في اليابان. كما يستمر العمل على تطوير إنتاج الهيدروجين.

١٣٨- وتواصل جمهورية كوريا الاستثمار في مرافق لاختبار مفاعل مرتفع الحرارة مبرَّد بالغاز بغرض إنتاج الهيدروجين. ومن المقرر أيضاً الاستعانة بتطبيقات الحرارة المستخدمة في المعالجة الصناعية بالتعاون مع

مستخدمي الحرارة الصناعية. ويسير تطوير وقود الجسيمات المغلفة بشكل جيد، وسيتم إجراء عمليات تشعيع اختبارية في المفاعل العالي الفيض للتطبيقات النيوترونية المتقدمة .

١٣٩- واستمر العمل على مشروع مفاعل الهليوم النمطي التوربيني الغازي المشترك بين روسيا والولايات المتحدة للتخلص من البلوتونيوم الصالح للاستعمال في صنع الأسلحة عن طريق الاستفادة منه في تطبيقات إنتاج الكهرباء والحرارة المستخدمة في المعالجة الصناعية. وينصبّ التركيز على التكنولوجيات الرئيسية للمفاعل، مثل الوقود، والغرافيت، والمواد المرتفعة الحرارة، ونظام لتحويل القوى مزود بتوربين غازي، وسائر نظم المفاعلات.

١٤٠- وفي أوكرانيا، سمح قرار حكومي بإمكانية نشر المفاعلات المرتفعة الحرارة المبردة بالغاز ، مما أدى إلى إحياء البحوث ذات الصلة بالمعدات والتكنولوجيات الصناعية.

١٤١- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، يركز مشروع المحطات النووية من الجيل القادم على اعتماد صلاحية الوقود النظيري الثلاثي الهيكل، وتأهيل الغرافيت والمواد المرتفعة الحرارة، وعلى المرافق الاختبارية لتوضيح خصائص الأمان الكامن، وعلى وضع الإطار الخاص بالترخيص. وقد ثبت الأداء الممتاز لأحدث وقود تم تصنيعه أثناء التشعيع عند درجات حرارة تشغيلية مرتفعة (١٢٥٠ درجة مئوية) وبمعدل حرق عالٍ جداً (١٩٪ من الانشطارات لكل ذرة معدنية أولية)، وعند درجات حرارة في حالات الحوادث تصل إلى ١٨٠٠ درجة مئوية، مما يدل على تحسُّن الأمان واتِّساع هوامش تصاميم المفاعلات وأداء الوقود. وركزت الهيئة الرقابية النووية في الولايات المتحدة على حل بعض المسائل في مجالات الترخيص، وتحديداً في اختيار الأحداث الأساسية المرخص لها، وتقرير حد الإفلات، والأداء الوظيفي للاحتواء، والتخطيط لحالات الطوارئ.

١٤٢- وتعكف الوكالة على إجراء مشروعين بحثيين منسقين عن المفاعلات المرتفعة الحرارة المبردة بالغاز، حول موضوعات تحسين فهم سلوك تزحُّف تشعيع الغرافيت النووي، وتحليل أوجه عدم التيقن في فيزياء المفاعلات المرتفعة الحرارة المبردة بالغاز، والجوانب الحرارية-الهيدروليكية، وحالات الاستنفاد.

١٤٣- ويهدف مشروع المفوضية الأوروبية للبحث والتطوير فيما يخص المفاعلات المتقدمة العالية الحرارة بغرض التوليد المشترك للحرارة والكهرباء إلي توسيع نطاق التكنولوجيا الأوروبية للمفاعلات المرتفعة الحرارة المبردة بالغاز، بما يدعم التوليد المشترك للطاقة النووية مع التركيز على جوانب الأمان في دائرة المبرد الابتدائية بالاقتران مع التطبيقات الصناعية. وفي بولندا، تمت الموافقة على مشروع ترعاه الحكومة لاستقصاء مدى إمكانية إقامة نظام للمفاعلات المرتفعة الحرارة المبردة بالغاز. وتقتصر الأنشطة المنفّذة في ألمانيا على بعض بحوث الأمان المختارة وعلى المشاركة في برامج المفوضية الخاصة بالمفاعلات المرتفعة الحرارة المبردة بالغاز. وفي هولندا، تدعم مجموعة البحوث والاستشارات النووية في بيتين وجامعة دلفت للتكنولوجيا برامج المفوضية الأوروبية.

١٤٤- وفي وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، يُجرى تحليل مرجعي للتوازن القرني العابر بين شفرات النيوترونيات/السوائل الحرارية فيما يتعلق بتصميم القلب المنشوري للمفاعلات المرتفعة الحرارة المبردة بالغاز، بهدف دراسة الظروف التشغيلية وظروف الحوادث التي تشمل فقدان سيناريوهات المبرد ودخول الرطوبة.

باء-١-٤- المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم

١٤٥- تشكل المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أحد المصادر الممكنة لتوليد القوى في الدول الأعضاء التي لديها مجتمعات معزولة نسبياً أو شبكات كهرباء محدودة خلافاً لذلك. كما يمكن أن تكون هذه المفاعلات وسيلة فعالة لإحلال مصادر القوى التي عفا عليها الزمن أو المصادر المتقادمة أو التي ينبعث منها كربون عالي الطاقة دون إدخال أي تعديلات تُذكَر على البنية التحتية القائمة. وقد لاحظت الدول الأعضاء أن تحلية مياه البحر باستخدام الطاقة النووية وضّحت نجاحها من خلال شتى المشاريع في بعض الدول الأعضاء وهي بوجه عام فعالة التكلفة، في حين سلّمت بأن اقتصاديات التنفيذ ستتوقف على عوامل خاصة بالمواقع. ويُعتبَر هذا النوع من المفاعلات أيضاً بمثابة خيار تكنولوجي ممكن للتوليد المشترك.

١٤٦- ووفقاً للتصنيف المعتمد من جانب الوكالة، فإن المفاعلات الصغيرة هي المفاعلات القادرة على توليد قوى كهربائية بقدرة تقل عن ٣٠٠ ميغاواط (كهربائي)، والمفاعلات المتوسطة الحجم هي المفاعلات القادرة على توليد قوى كهربائية بقدرة تتراوح بين ٣٠٠ ميغاواط (كهربائي) و٧٠٠ ميغاواط (كهربائي). ويجري حالياً تشييد ٤ مفاعلات صغيرة ومتوسطة الحجم في أربعة بلدان هي: الاتحاد الروسي والأرجنتين والصين والهند. ويجري تطوير مفاعلات صغيرة ومتوسطة الحجم لجميع خطوط المفاعلات الرئيسية بما في ذلك مفاعلات ماء خفيف، ومفاعلات ماء ثقيل، ومفاعلات مرتفعة الحرارة مبردة بالغاز، ومفاعلات سريعة مبردة بفلز سائل. ويميل اتجاه التطوير نحو المفاعلات النووية الصغيرة المتقدمة المزمع نشرها كمحطة قوى ذات وحدات نمطية متعددة. وفي بعض المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم المبردة بالماء، يجري اعتماد النهج المتكامل فيما يخص دائرة المبرد الابتدائية لهذه المفاعلات، حيث يتم تركيب مكونات نظام إمدادات البخار النووي في وعاء مشترك جنباً إلى جنب مع قلب المفاعل. وتتناول الأجزاء ذات الصلة من هذه الوثيقة التقدم المحرز في تطوير ونشر المفاعلات الصغيرة المرتفعة الحرارة المبردة بالغاز والمفاعلات السريعة المبردة بفلز سائل ثقيل. وتحرز بلدان عديدة تقدماً في تطوير وتطبيق محطات القوى النووية القابلة للنقل، بما في ذلك المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم العائمة والمقامة في قواعد بحرية.

١٤٧- وهناك حوالي ٤٥ من المفاهيم المبتكرة المتصلة بالمفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم بلغت مراحل شتى من البحث والتطوير. وتتطرق الفقرات التالية إلى وصف بعض تصاميم المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم المبردة بالمياه التي يجري الإعداد لنشرها على المدى القريب.

١٤٨- ففي الأرجنتين، بدأ إنشاء مفاعل CAREM، وهو تصميم لمفاعل ماء خفيف مضغوط صغير متكامل تقع جميع مكوّناته الرئيسية داخل وعاء المفاعل وتتراوح قدرته على توليد الكهرباء بين ١٥٠ و٣٠٠ ميغاواط (كهربائي). واكتملت بالفعل أعمال الحفر في موقع المحطة النموذجية CAREM-25 بقدرة ٢٧ ميغاواط (كهربائي). وأصدرت الحكومة الترخيص الخاص بإنشاء المحطة CAREM-25 في تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣. ومن المقرر صب الخرسانة الأولى في الربع الأول من عام ٢٠١٤.

١٤٩- وطوّرت الصين مفاعلات ماء مضغوط بقدرة ٣٠٠ ميغاواط (كهربائي) و٦٠٠ ميغاواط (كهربائي). وقد تم بالفعل نشر عدة وحدات من هذا المفاعل، ويجري إنشاء ثلاث وحدات من طراز CNP-600. ونشرت باكستان أيضاً وحدتين من طراز CNP-300 مستوردتين من الصين ووحدتين إضافيتين من طراز CNP-300 تحت الإنشاء. وبالإضافة إلى ذلك، تعكف الشركة الوطنية النووية الصينية (CNNC) على تطوير مفاعل من طراز ACP-100 بقدرة توليد ١٠٠ ميغاواط (كهربائي)، وهو مفاعل متكامل من المفاعلات الصغيرة والمتوسطة

يعمل بالماء المضغوط ومزود بمضخات مركَّبة أفقياً داخل وعاء المفاعل. وتخطط الصين لتشييد وحدتين من طراز ACP-100 في مقاطعة فوجيان بغرض إنتاج الكهرباء وتحلية مياه البحر. ويواصل معهد شنغهاي للبحوث والتصاميم الهندسية النووية تطوير مفاعل متقدم صغير من طراز CAP-150 بقدرة ١٥٠ ميغاواط (كهربائي) يعتمد سمات الأمان الكامن، ومفاعل عائم من نوع المفاعلات الصغيرة والمتوسطة بقدرة ٢٠٠ ميغاواط (حراري)، طراز CAP-FNPP.

١٥٠- وفي فرنسا، تعكف شركة خدمات مديرية الإنشاءات البحرية (DCNS) على تطوير تصميم Flexblue، وهو تصميم لمفاعل نمطي صغير قابل للنقل تبلغ قدرته ١٦٠ ميغاواط (كهربائي). ويستخدم هذا المفاعل المبرد بالماء والذي يتم تشغيله في قاع البحر تكنولوجيات نووية في عرض البحر وأخرى كامنة للاستفادة من البحر، وهو بالوعة حرارة لامتناهية ومتاحة بصورة دائمة.

١٥١- وفي الهند، هناك الكثير من مفاعلات الماء الثقيل بقدرة ٢٢٠ ميغاواط (كهربائي) و٥٤٠ ميغاواط (كهربائي) و٧٠٠ ميغاواط (كهربائي)،إما أنها قيد التشغيل أو تحت الإنشاء. ويجتاز مفاعل الماء الثقيل المتقدم بقدرة ٣٠٤ ميغاواط (كهربائي)، الجاري تطويره من قِبَل مركز بهابها للبحوث الذرية، مرحلة التصميم التفصيلي.

١٥٢- وفي إيطاليا، تواصل جامعة العلوم التطبيقية المتعددة في ميلانو Polytechnic University of Milan تطوير تصميم مشروع المفاعل الدولي المبتكر والمأمون IRIS، الذي سبق تطويره في إطار اتحاد مالي دولي بقيادة شركة Westinghouse. والمفاعل IRIS هو مفاعل ماء خفيف مزود بنسق متكامل لدائرة المبرد الابتدائية وينتج قوى كهربائية متوسطة تبلغ ٣٣٥ ميغاواط ميغاواط (كهربائي). وقد تم تصميم مفهوم المفاعل لتلبية متطلبات تعزيز الأمان وتحسين الجوانب الاقتصادية ومقاومة الانتشار وتقليل النفايات.

١٥٣- وفي اليابان، تم تطوير مفاعل ماء خفيف متوسط الحجم بقدرة ٣٥٠ ميغاواط (كهربائي) مزوّد بدائرة مبرد ابتدائية متكاملة، ويسمّى مفاعل الماء المعياري المتكامل (IMR). وتُجرى اختبارات للتثبُّت، إلى جانب عمليات بحث وتطوير فيما يخص المكونات وطرق التصميم وتطوير التصميم الأساسي، دعماً لاستصدار التراخيص اللازمة. والمفاعل IMR مصمَّم لأغراض إنتاج الكهرباء والتوليد المشترك للطاقة في آنٍ معاً.

١٥٤- وطوّرت جمهورية كوريا تصميم المفاعل المتقدم النموذجي المتكامل النظم SMART، بقدرة حرارية تبلغ ٣٣٠ ميغاواط (حراري). والمقصود من المفاعل SMART هو الاستخدام المشترك لتوليد الكهرباء وتحلية مياه البحر. واستُهل مشروع لتصميم محطة تجريبية بغية التحقق الشامل من الأداء. وقد حصل المفاعل SMART بقدرة ١٠٠ ميغاواط (كهربائي) على اعتماد للتصميم المعياري من اللجنة الوطنية للأمان والأمن النوويين في تموز/يوليه ٢٠١٢، ويجري الآن الإعداد لإنشاء أول محطة من نوعها.

١٥٥- ويعكف الاتحاد الروسي على وضع اللمسات الأخيرة لتشييد محطة قوى نووية مقامة على سفينة تحتوي على مفاعلين من الطراز KLT-40S وتبلغ قدرة كلٍّ منهما ٣٥ ميغاواط (كهربائي)، لاستخدامهما في أغراض التوليد المشترك للكهرباء والمعالجة الحرارية. ويستند المفاعل KLT-40S إلى المحطة التجارية KLT-40 العاملة بالدفع البحري، وهو شكل مختلف متقدم للمفاعل الذي يُشغِّل كاسحات الجليد النووية. أما المفاعل ABV-6M الذي تبلغ قدرته ٨,٦ ميغاواط (كهربائي) فهو في مرحلة التصميم التفصيلي. وهو مفاعل ماء خفيف مضغوط متكامل يدور فيه المبرِّد الابتدائي دوراناً طبيعياً. وفيما يتعلق بالمفاعل RITM-200 الذي تبلغ قدرته ٥٠ ميغاواط

(كهربائي)، وهو حالياً في مرحلة التصميم التفصيلي، فهو مفاعل متكامل ذو دوران مستحثّ لكاسحات الجليد النووية.

١٥٦- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، توجد أربعة من مفاعلات الماء المضغوط المتكاملة وهي: مفاعل القوى B&W m وهو تصميم لمحطة مزدوجة الوحدات بقدرة ١٨٠ ميغاواط (كهربائي) لكل وحدة نمطية. وتزمع شركة NuScale إنشاء محطة للقوى النووية تتألف من اثنتي عشرة وحدة نمطية كلٌّ منها بقدرة ٤٥ ميغاواط (كهربائي). ومفاعل شركة Westinghouse من النوع الصغير والمتوسط الحجم بقدرة ٢٢٥ ميغاواط(كهربائي، القائم على تصميم مفهوم المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم بقدرة ٢٢٥ ميغاواط (كهربائي)، ويجمع بين أنظمة الأمان الخامل ومكونات مثبَتة للمفاعل من طراز AP1000. والمفاعل من طراز Holtec SMR-160، وهو مفاعل بقدرة ١٦٠ ميغاواط (كهربائي) يعتمد على الحَمل الحراري الطبيعي، بما تنتفي معه الحاجة إلى مضخات التبريد والاعتماد على مصادر قوى خارجية. ومن المتوقع وضع تطبيقات لمراجعة إجازة التصميم فيما يخص المفاهيم الأربعة تقدَّم إلى الهيئة الرقابية النووية للولايات المتحدة في غضون الفترة ٢٠١٤-٢٠١٦.

١٥٧- وفي عام ٢٠١٢، أصدرت الوكالة كتيباً بعنوان *حالة تصاميم المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم* Status of Small and Medium Sized Reactor Designs [١٥] استكمالاً لنظام المعلومات الخاصة بالمفاعلات المتقدمة الذي وضعته الوكالة (ARIS). ويسرد الجدول باء-٢ تصاميم المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم المبردة بالمياه المتاحة للنشر في الأجلين القريب والمتوسط.

الجدول باء-٢- تصاميم المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم المبردة بالمياه المتاحة للنشر في الأجلين القريب والمتوسط.

التصميم	النوع	القدرة الكهربائية [ميغاواط (كهربائي)]	الجهات المختصة بالتصميم	الحالة
CAREM-25	مفاعل ماء مضغوط متكامل، دوران طبيعي	٢٧	الهيئة الوطنية للطاقة الذرية، الأرجنتين	نموذج أحادي الوحدة تحت الإنشاء
CNP-300	مفاعل ماء مضغوط بحلقتين	٣١٥	الشركة الوطنية النووية الصينية CNNC، الصين	ثلاث وحدات قيد التشغيل، ووحدتان تحت الإنشاء
ACP-100	مفاعل ماء مضغوط متكامل	١٠٠	الشركة الوطنية النووية الصينية CNNC، الصين	تصميم متكامل
CAP-150	مفاعل ماء مضغوط متكامل	١٥٠	شركة SNERDI، الصين	تصميم مفاهيمي
Flexblue	مفاعل نمطي صغير يرسو في قاع البحر	١٦٠	شركة DCNS، فرنسا	تصميم مفاهيمي
AHWR300-LEU	أنبوب ضغط	٣٠٤	مركز بهابها للبحوث الذرية، الهند	تصميم تفصيلي

[١٥] مُتاح على الموقع الشبكي التالي:
http://www.iaea.org/NuclearPower/Downloadable/SMR/files/smr-status-sep-2012.pdf

التصميم	النوع	القدرة الكهربائية [ميغاواط (كهربائي)]	الجهات المختصة بالتصميم	الحالة
IMR	مفاعل ماء مضغوط متكامل، دوران طبيعي	٣٣٥	شركة Mitsubishi Heavy Industries Ltd، اليابان	تصميم مفاهيمي
SMART	مفاعل ماء مضغوط متكامل	١٠٠	المعهد الكوري لبحوث الطاقة الذرية، جمهورية كوريا	مُنِحت الموافقة على التصميم المعياري في تموز/يوليه ٢٠١٢
ABV-6M	مفاعل ماء مضغوط متكامل، دوران طبيعي	٨,٦	مكتب التصميمات التجريبية المتعلقة بتصنيع الآلات OKBM، الاتحاد الروسي	تصميم تفصيلي
VBER-300	مفاعل ماء مضغوط متكامل	٣٢٥	OKBM، الاتحاد الروسي	تصميم تفصيلي
RITM-200	مفاعل ماء مضغوط متكامل	٥٠	OKBM، الاتحاد الروسي	تصميم تفصيلي
KLT-40S	محطة قوى نووية عائمة- مُقامة على سفينة	٧٠	OKBM، الاتحاد الروسي	وحدتان في المرحلة النهائية للتشييد
WWER-300	مفاعل ماء مضغوط متكامل	٣٠٠	شركة Gidropress، الاتحاد الروسي	تصميم تفصيلي
VK-300	مفاعل ماء مغلي BWR	٢٥٠	معهد البحث والتطوير في مجال هندسة القوى RDIPE، الاتحاد الروسي	تصميم مفاهيمي
UNITHERM	مفاعل ماء مضغوط متكامل، صغير الحجم جداً، بخاصية الدوران الطبيعي	٢,٥	RDIPE، الاتحاد الروسي	تصميم مفاهيمي
Shelf	مفاعل نمطي صغير يرسو في قاع البحر	٦	RDIPE، الاتحاد الروسي	تصميم مفاهيمي
IRIS	مفاعل ماء مضغوط متكامل	٣٣٥	الاتحاد المالي الدولي لمشروع المفاعل الدولي المبتكر والمأمون IRIS International Consortium، إيطاليا	تصميم مفاهيمي
مفاعل ماء مضغوط متكامل B&W mPower	(مزدوج الوحدات بقدرة ٨٠ ميغاواط (كهربائي))	٣٦٠	شركة B&W Generation mPower، الولايات المتحدة الأمريكية	تصميم تفصيلي

التصميم	النوع	القدرة الكهربائية [ميغاواط (كهربائي)]	الجهات المختصة بالتصميم	الحالة
NuScale	مفاعل ماء مضغوط متكامل بخاصية الدوران الطبيعي (١٢ وحدة نمطية كلٌّ منها بقدرة ٤٥ ميغاواط (كهربائي)	٤٥	شركة NuScale Power، الولايات المتحدة الأمريكية	تصميم تفصيلي
Westinghouse SMR	مفاعل ماء مضغوط متكامل	٢٢٥	شركة Westinghouse Electric Corporation، الولايات المتحدة الأمريكية	تصميم تفصيلي
Holtec SMR-160	مفاعل ماء مضغوط متكامل	١٦٠	شركة Holtec Corporation، الولايات المتحدة الأمريكية	تصميم تفصيلي

باء-١-٥- المبادرات الدولية بشأن النظم النووية الابتكارية

١٥٨- نظرًا لتزايد القلق إزاء توافر موارد الطاقة وتغير المناخ وأمن الطاقة، وبما أن الطاقة النووية تستطيع تقديم مساهمة كبيرة في تلبية الطلب العالمي المتزايد على الطاقة، فقد أُطلِق في العقود الأخيرة عدد من المبادرات الدولية بشأن النظم النووية الابتكارية.

١٥٩- وفي مطلع القرن الحالي، أقرَّ عدد من الدول الأعضاء في الوكالة بضرورة اتخاذ إجراءات لضمان تطوير الطاقة النووية بأسلوب مستدام. ونتيجة لذلك، استُهِلَّ المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود النووي الابتكارية (مشروع إنبرو) في عام ٢٠٠٠ كأحد مشاريع الوكالة، عملاً بقرار اعتمده المؤتمر العام، من أجل المساعدة على ضمان توافر الطاقة النووية للمساهمة بأسلوب مستدام في تلبية الطلبات العالمية على الطاقة للقرن الحادي والعشرين. وكان الهدف الرئيسي هو جمع حائزي التكنولوجيا ومستخدميها للنظر معًا في الإجراءات الدولية والوطنية اللازمة لتحقيق الابتكارات المرجوة في مفاعلات البحوث ودورات الوقود. ويتلقى الفريق المعني بمشروع إنبرو التمويل أساساً من ٣٨ دولة عضوًا ومن المفوضية الأوروبية، التي هي أعضاء مشروع إنبرو. وقد انضمت كينيا إلى مشروع إنبرو في عام ٢٠١٣ باعتبارها العضو التاسع والثلاثين في المشروع.

١٦٠- ويعمل مشروع إنبرو على تنقيح منهجيته التي تتبع نهجًا شموليا لتقييم النظم النووية الابتكارية في سبعة مجالات، هي: الاقتصاديات، والبنية الأساسية، والتصرف في النفايات، ومقاومة الانتشار، والحماية المادية، والبيئة، والأمان. وأكملت بيلاروس تقييما لنظم الطاقة النووية استنادًا إلى هذه المنهجية، ونشرت الوكالة التقرير الخاص بذلك كوثيقة مرجعية للدول الأعضاء. ويجري العمل على تقيم نظم الطاقة النووية في اندونيسيا وأوكرانيا ورومانيا.

١٦١- والمحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات هو من المساعي التعاونية الدولية التي تُنظَّم من أجل الاضطلاع بأنشطة البحث والتطوير اللازمة لتحديد جدوى الجيل القادم من نظم الطاقة النووية وقدراته الأدائية.

ويركز المحفل الدولي المذكور، الذي يضم ١٣ عضوًا، على ستة نظم للطاقة النووية يرد وصفها في المنشور *خارطة طريق تكنولوجيا الجيل الرابع من نظم الطاقة النووية*[١٦] الصادر من المحفل في عام ٢٠٠٢، وهي: المفاعلات السريعة المبرّدة بالغاز، والمفاعلات الفائقة الحرارة، والمفاعلات المبردة بالماء فوق الحرج، والمفاعلات السريعة المبرّدة بالصوديوم، والمفاعلات السريعة المبرّدة بالرصاص، ومفاعلات الأملاح المصهورة.

١٦٢- وقام أعضاء المحفل الدولي المذكور المهتمِّين بتنفيذ أنشطة البحث والتطوير التعاونية المتعلقة بنظام واحد أو أكثر من النظم المختارة بالتوقيع على "ترتيبات النظم" المناظرة. وفي إطار كل "ترتيب نظام" على حدة، تم اختيار عدد محدود من مشاريع البحث والتطوير المشتركة ذات الأهداف والمعالم والجداول الزمنية المحدَّدة تحديداً جيِّداً وضمن إطار تعاقدي محدَّد بوضوح.

١٦٣- ويعقد المحفل الدولي المذكور ومشروع إنبرو اجتماعات تنسيقية سنوية تركِّز على منهجيات التقييم المحددة في مجال الاقتصاديات ومقاومة الانتشار والحماية المادية والمخاطر والأمان، وكذلك المحاكاة المتقدمة.

١٦٤- ومن الأنشطة الأخرى الهامة التي استهلها المحفل الدولي المذكور في عام ٢٠١١ بالتعاون مع الوكالة في مجال المفاعلات السريعة المبرّدة بالصوديوم، إعداد معايير التصميم المتصلة بالأمان والرامية إلى تنسيق متطلبات الأمان فيما بين منظمات التصميم الممثَّلة في المحفل الدولي، وكذلك التحديد الكمّي للمستوى العالي من الأمان المتوقع للجيل الرابع من نظم المفاعلات السريعة المبرّدة بالصوديوم. وأصدر المحفل الدولي في عام ٢٠١٣ تقريرًا عن المرحلة ١ من معايير التصميم المتصلة بالأمان، ويجري حاليًا استعراضه من طرف الوكالة ووكالة الطاقة النووية وبرنامج تقييم التصميمات المتعدد الجنسيات ومن طرف بعض الرقابيين التابعين للدول الأعضاء في المحفل الدولي. وسيُحدِّد تقرير المرحلة ٢ من معايير التصميم المتصلة بالأمان معايير التصاميم تحديداً كميّاً وسيتضمن وضع مبادئ توجيهية مفصّلة بشأن كيفية تنفيذ المعايير العامة.

١٦٥- ويشمل نطاق عمل المحفل الدولي مرحلتي دراسة الجدوى والأداء من أنشطة البحث والتطوير، ولا يشمل مرحلة التجربة العملية. لذلك فإن إعداد النماذج الأولية ليس من اختصاصات المحفل.

١٦٦- واستُهل رسميًا في الاتحاد الأوروبي في عام ٢٠٠٧ منتدى تكنولوجيا الطاقة النووية المستدامة من أجل ترويج البحث والتطوير والتجربة العملية فيما يتعلق بتكنولوجيات الانشطار النووي اللازمة لتحقيق الخطة الأوروبية الاستراتيجية لتكنولوجيا الطاقة.

١٦٧- ويضم منتدى تكنولوجيا الطاقة النووية المستدامة اليوم أكثر من ١٠٠ من أصحاب المصلحة الأوروبيين من أوساط الصناعة والبحوث والأوساط الأكاديمية والمنظمات التقنية المعنية بالأمان والمنظمات غير الحكومية والممثلين الوطنيين. وتركِّز الأنشطة على الحفاظ على الأمان والقدرة على المنافسة في تكنولوجيا الانشطار، وعلى تقديم الحلول البعيدة المدى للتصرف في النفايات لعام ٢٠٢٠، واستكمال التجربة العملية لجيل جديد من مفاعلات الانشطار مع زيادة الاستدامة، وتوسيع تطبيقات الانشطار النووي لغير إنتاج الكهرباء بحلول عام ٢٠٥٠.

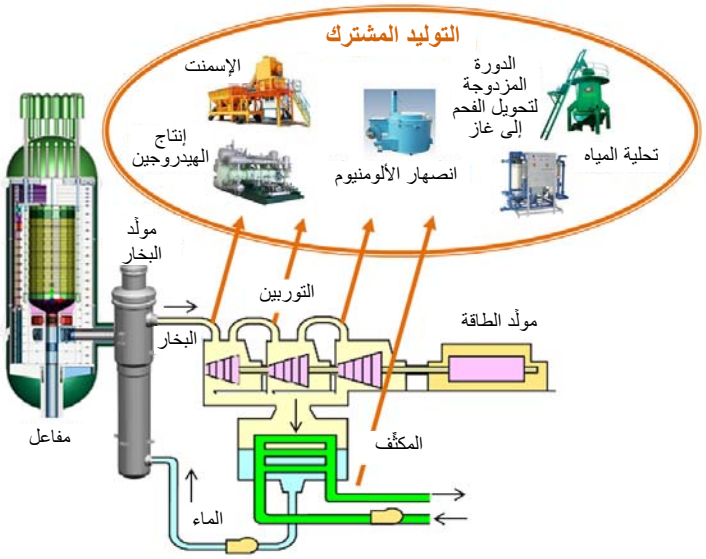
---

[١٦] مُتاح على الموقع الشبكي التالي: http://www.gen-4.org/PDFs/GenIVRoadmap.pdf

١٦٨- وتتناول المبادرة الصناعية النووية المستدامة الأوروبية، التي أطلقها الاتحاد الأوروبي في عام ٢٠١٠، الحاجة الأوروبية إلى التجربة العملية للجيل الرابع من تكنولوجيات المفاعلات النيوترونية السريعة، إلى جانب البنى الأساسية البحثية الداعمة، ومرافق الوقود، وأعمال البحث والتطوير. ويركِّز عملها على استحداث نوعين متوازيين من التكنولوجيات، هما: تكنولوجيا المفاعلات النيوترونية السريعة المبرّدة بالصوديوم، باعتبارها الحل المرجعي، مع تشييد نموذج أولي في حوالي عام ٢٠٢٠ في فرنسا التي ستقدم دعمًا قويًا لهذا النوع من التكنولوجيا؛ ونوع بديل من التكنولوجيا، وهو إما المفاعلات السريعة المبرَّدة بالرصاص أو المفاعلات السريعة المبرَّدة بالغاز، مع تشييد مفاعل تجريبي للتجربة العملية لهذه التكنولوجيا في بلد أوروبي آخر مستعدٍّ لاستضافة هذا البرنامج.

باء-١-٦- التوليد المشترك من أجل التطبيقات غير الكهربائية للقوى النووية

١٦٩- يتسم ربط المفاعلات النووية بالتطبيقات الصناعية، أي التوليد المشترك للطاقة النووية، بالعديد من المزايا العملية، مثل ما يلي: الوفورات التي تتحقَّق بإعادة استخدام الحرارة المبدَّدة من محطات القوى النووية، وزيادة الكفاءة الحرارية الشاملة للمحطات، وتعزيز مرونة الشبكات الكهربائية، وتقليص انبعاثات غازات الدفيئة والأثر البيئي. وعلى وجه العموم، يمكن استخدام جميع المفاعلات النووية من أجل التطبيقات غير الكهربائية. وقد تختلف عملية التوليد المشترك للطاقة باختلاف التكنولوجيا ونوع المفاعل ونوع الوقود ودرجة الحرارة. ويمكن استخدام بعض الحرارة التي تُطلَق عادة في البيئة لتحلية المياه وتدفئة الأحياء السكنية باعتبار ذلك دورة تحتية. وبناء على ذلك، يمكن زيادة الكفاءة الشاملة لاستخدام الحرارة إلى ما يتراوح بين ٧٠٪ و٨٠٪، مقارنة بـ ٣٣٪ فيما يتعلق بمفاعلات الماء الخفيف الموجودة حالياً. ومفاعلات الماء الخفيف والمفاعلات المبرّدة بالماء فوق الحرج والمفاعلات السريعة المبرّدة بالفلز السائل كلُّها مفاعلات مرشحة مناسبة للاستخدام في التوليد المشترك للطاقة مع تطبيقات المعالجة الحرارية المنخفضة الحرارة، كنظم تدفئة الأحياء السكنية وتحلية المياه. أمَّا المفاعلات المرتفعة الحرارة، مثل المفاعلات المرتفعة الحرارة المبرّدة بالغاز والمفاعلات السريعة المبرّدة بالغاز ومفاعلات الملح المصهور، فهي مفاعلات مناسبة بقدر أكبر للتوليد المشترك للطاقة مع تطبيقات المعالجة الحرارية المرتفعة الحرارة وإنتاج الهيدروجين. ويعتبر نهج الدورة غير المباشرة نهجًا مناسبًا لكل المفاعلات (انظر الشكل باء-٣).



الشكل باء-٣- تمثيل بياني للتوليد المشترك للطاقة.

١٧٠- يمثل التوليد المشترك للطاقة خيارًا مثاليًا للعديد من التطبيقات الكثيفة الاستخدام للطاقة، مثل تركيب الوقود (بما في ذلك إنتاج الهيدروجين)، وتحويل الفحم إلى غاز، واستخراج النفط. ويكمن أن تمثِّل الطاقة النووية خيارًا هامًا للاستجابة لإمكانيات السوق فيما يتعلق بخيارات التوليد المشترك للطاقة. وفي درجات الحرارة المنخفضة، تعتبر تدفئة الأحياء السكنية (٨٠-١٥٠ درجة مئوية) وتحلية مياه البحر (٦٥-١٢٠ درجة مئوية) أوضح هذه التطبيقات. وفي درجات الحرارة المتوسطة، هناك عدد كبير من التطبيقات الحرارية، مثل تكرير النفط، ومعالجة الطَفَل النفطي والرمل النفطي. ويكون هناك عادة طلب على درجات الحرارة المرتفعة في مجال إنتاج البتروكيماويات والفولاذ والهيدروجين.

١٧١- وقد ثبتت الاستدامة التقنية والتجارية لمفاعلات الماء الخفيف في العديد من المحطات العاملة في بلدان شتى لأكثر من ٣٠ عامًا. وفي الاتحاد الروسي وأوكرانيا وبلغاريا وسلوفاكيا وسويسرا وهنغاريا، حيث تمثل تدفئة الأحياء السكنية ممارسة شائعة بمحطات تعمل بالوقود الأحفوري، توجد أيضاً نظم لتدفئة الأحياء السكنية مقترنة بمحطات القوى النووية. وتتراوح القدرة الحرارية التي تقدِّمها هذه المحطات النووية بين ٢٠ ميغاواط (حراري) و٢٥٠ ميغاواط (حراري)، وهو عادة جزء ضئيل من مجموع الطاقة الحرارية للمفاعل. ويتم تسخين ماء أو بخار تدفئة الأحياء السكنية ليصل إلى درجة تتراوح بين ١٣٠ و١٥٠ درجة مئوية باستخدام البخار المستخرج من التوربين.

١٧٢- وقد استُخدِمت تحلية المياه للتوليد المشترك للطاقة بالاقتران مع محطات مفاعلات الماء الخفيف في الولايات المتحدة الأمريكية واليابان، وبالاقتران مع المفاعل السريع المبرّد بالصوديوم BN-350 في كازاخستان. وفي اليابان، تقع جميع محطات القوى النووية هذه على مواقع بحرية. ولدى العديد من محطات القوى النووية التي تشغِّلها شركة كنساي للقوى الكهربائية وشركة كيوشو للقوى الكهربائية وشركة شيكوكو للقوى الكهربائية نظم لتحلية مياه البحر باستخدام الحرارة و/أو الكهرباء الناشئة من المحطة النووية لإنتاج المياه لنظم تعويض مياه التغذية لمولِّدات البخار وإمدادات المياه الصالحة للشرب داخل الموقع. وقد استُخدِمت في ذلك عمليات التقطير المتعدد التأثير والتقطير الوميضي المتعدد المراحل وتحلية مياه البحر بالتناضح العكسي. وتتراوح قدرات تحلية المياه لكل محطة على حدة بين نحو ١٠٠٠ و٣٠٠٠ متر مكعَّب في اليوم.

١٧٣- وقامت محطة شتادي للقوى النووية في ألمانيا بالتجربة العملية للتوليد المشترك للطاقة لأغراض التطبيقات الصناعية في مفاعل الماء المضغوط الذي تبلغ قدرته ١٨٩٢ ميغاواط (حراري) و٦٤٠ ميغاواط (كهربائي)، والذي يورَّد البخار لمصفاة لتكرير الملح تقع على بعد ١,٥ كم من المحطة. وكانت إمدادات البخار من محطة القوى النووية متوافرة على نحو مستمر للغاية وكانت التجربة التشغيلية جيدة من عام ١٩٨٣ إلى عام ٢٠٠٣. ومن الأمثلة الأخرى محطة غيزغن للقوى النووية في سويسرا بمفاعلها الذي تبلغ قدرته ٩٧٠ ميغاواط (كهربائي)، والذي ما انفك منذ عام ١٩٧٩ يزوِّد ببخار المعالجة الحرارية مصنعًا مجاورًا للورق المقوى. ويولَّد بخار المعالجة البخارية في دورة بخارية ثلاثية بواسطة البخار المستخرج مباشرة من مفاعل الماء المضغوط. ويتم بعدئذ توصيل البخار عبر أنابيب تمتد على مسافة ١,٧٥ كم لتصل إلى المصنع. كما تُستخدَم محطة بيزناو للقوى النووية في سويسرا، بوحدتي مفاعلها للماء المضغوط البالغة قدرتهما ٣٦٥ ميغاواط (كهربائي)، لتدفئة الأحياء السكنية.

١٧٤- وتمت التجربة العملية للتوليد المشترك للطاقة كذلك باستخدام مفاعلات كندو. فعلى سبيل المثال، نجحت محطة بروس للقوى النووية في كندا في توفير الحرارة لإنتاج الماء الثقيل في حين كانت تولِّد الكهرباء على مدى عقديْن. وفي عام ٢٠٠٨، تم ربط محطة لتحلية المياه تبلغ قدرتها ٦٣٠٠ متر مكعّب في اليوم بمحطة

مدراس للقوى الذرية في كالباكام بالهند. وتجمع العملية الهجينة لتحلية المياه بين التقطير الوميضي المتعدد المراحل والتناضح العكسي. ويورَّد المزيج المائي النهائي لأغراض الاستخدامات الصناعية/البلدية. ويمكن أن يتولَّد عن استخدام ميغاواط (كهربائي) واحد من الطاقة الحرارية-الكهربائية ١٥٠٠ متر مكعّب في اليوم من الماء بالنسبة للتقطير الوميضي المتعدد المراحل و١٨٠٠ متر مكعب في اليوم باستخدام التناضح العكسي. لذلك، سيتحقَّق عقب الاصلاحات إنتاج ٦ ٣٠٠ متر مكعب في اليوم بالتزامن مع انخفاض يبلغ زهاء ٤ ميغاواط من الناتج الكهربائي الناشئ من توليد القوى النووية. وفي عام ٢٠١٠، أدخلت باكستان في الخدمة أحدث محطة في العالم للتوليد المشترك للطاقة النووية. وهذا مشروع آخر من مشاريع التحسين يهدف في هذه الحالة إلى ربط وحدة التقطير المتعدد التأثير بمحطة كراتشي للقوى النووية القائمة، التي تعمل بمفاعل كاندو للماء الثقيل بقدرة ١٢٥ ميغاواط (كهربائي). وتُنتج محطة تحلية المياه بعد اكتمالها ١٦٠٠ متر مكعّب من مياه البحر المحلاة يوميًا. ويقوم الموقع ذاته بتشغيل محطة للتناضح العكسي تنتج ٤٥٤ متر مكعّب يومياً من المياه لأغراض الاستخدام المنزلي.

١٧٥- وجميع المفاعلات المرتفعة الحرارة مناسبة للتوليد المشترك للطاقة. وكما يوضِّح الجدول باء-٣ فإنَّ المفاهيم الخاصة بالمفاعلات المبردّة بالغاز، كالمفاعل النمطي الحصوي القاع، والمفاعل النمطي المنشوري والمفاعل السريع المبرّد بالغاز، يمكن أن توفر الحرارة للعمليات الصناعية وإنتاج الهيدروجين. وبغية الاستفادة من هذه المفاعلات، أطلق الاتحاد الأوروبي المبادرة الصناعية للتوليد المشترك للطاقة النووية (NC2I). وبالإضافة إلى ذلك فإنَّ نظام المفاعل الفائق الحرارة يعتبر المرشّح الرئيسي لإنتاج الهيدروجين على نطاق واسع. والتوليد المشترك للحرارة والقوى الكهربائية يجعل من المفاعل الفائق الحرارة مصدرًا حراريًا يثير اهتمام المجمعات الصناعية الضخمة. ويمكن نشر المفاعل الفائق الحرارة في معامل التكرير والصناعات البتروكيميائية من أجل الاستعاضة عن المصادر الأخرى لإنتاج كميات كبيرة من حرارة المعالجة في درجات حرارية مختلفة، بما يشمل توليد الهيدروجين لتحسين جودة النفط الخام الثقيل والكبريتي.

الجدول باء-٣- إمكانيات تطبيقات إنتاج الطاقة في أكثر النظم وعداً من الجيل الرابع من المفاعلات المبرَّدة بالغاز

المفاعل	المفاعل النمطي الحصوي القاع	المفاعل النمطي المنشوري	المفاعل السريع المبرد بالغاز	المفاعل الفائق الحرارة
قوى حرارية ميغاواط (حراري)	٢٥٠	٦٠٠	٦٠٠	٦٠٠
قوى كهربائية ميغاواط (كهربائي)	١١٠	٢٨٦	٢٨٨	٣٦٠-٣٠٠
حرارة المنافذ	٨٥٠	٨٥٠	٨٥٠	١٣٠٠-٩٥٠
الضغط الأساسي	٧,٧٥	٧,٠٧	٧,٠	٨,٠-٦,٨
إنتاج الهيدروجين	نعم	نعم	نعم	نعم
تحلية المياه	نعم	نعم	نعم	نعم
المعالجة الحرارية المرتفعة الحرارة (معامل تكرير البترول، إزالة الكبريت من النفط الثقيل)	نعم	نعم	نعم	نعم
تدفئة الأحياء السكنية	نعم	نعم	نعم	نعم

١٧٦- وستجلب محطات التوليد المشترك مزايا إضافية إذا تم تشييدها كمحطات مشتركة في موقع واحد، لأنها تستطيع آنذاك أن تتشارك في عدة مرافق وبنى أساسية تقليدية، ما سيؤدي إلى تقليص التكاليف والحد من استخدام الأراضي. ويوجَّه مزيد من الاهتمام عادة إلى جوانب الأمان التي تتحقق بربط محطة القوى النووية بوحدة التوليد المشترك التي يُنظر في إقامة حلقة وسيطة فيها.

باء-٢- الاندماج النووي

١٧٧- يعتبر تطوير علوم وهندسة وتكنولوجيا الاندماج النووي لكي تصل إلى درجة تمكِّن من توفير طاقة الاندماج للشبكة من أكثر التحديات المثيرة للاهتمام في القرن الحادي والعشرين، ويمكن أن تصبح من أكثرها مردودية.

١٧٨- ومع إنشاء مشروع المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي في عام ٢٠٠٦، انضم العديد من أمم العالم إلى الجهود المبذولة لإثبات الجدوى العلمية والتكنولوجية وسمات الأمان لاستخدام طاقة الاندماج بقدرة تفوق ٥٠٠ ميغاواط للأغراض السلمية.

١٧٩- وفي ١٠ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٢ نشرت الحكومة الفرنسية "المرسوم ٢٠١٢-١٢٤٨" الذي يأذن بإنشاء المرفق النووي الخاص بالمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي، وهو ما يمثل إنجازًا بارزًا بشأن المفاعل المذكور وبشأن البرنامج العالمي لتطوير طاقة الاندماج. ويجري العمل على تشييد موقع المفاعل المذكور، ويجري استخدام مقره الرئيسي الجديد منذ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٢. وقد اكتمل بناء "خط السير الخاص" الذي يبلغ ١٠٤ كم لكي يتسنى نقل مكونات كبيرة من ميناء مرسيليا إلى موقع المفاعل المذكور وتم بنجاح اختبار هذا الخط في أيلول/سبتمبر ٢٠١٣ باستخدام موكب تجريبي تمثَّل في مقصورة بحمولة ٨٠٠ طن تحاكي أبعاد أكبر وأثقل حمولة من مكونات المفاعل المذكور (انظر الشكل باء-٤). وتمهِّد هذه التجربة الناجحة السبيل لإرسال شحنات من المكونات الفعلية للمفاعل المذكور، وسيبدأ ذلك في صيف عام ٢٠١٤.

الشكل باء-٤- موقع المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي في أيلول/سبتمبر ٢٠١٣ (على اليسار). سارت المقصورة التي تبلغ حمولتها ٨٠٠ طن والموضوعة على مركبة يتم التحكم فيها عن بعد وتحاكي وزن وأبعاد أكبر حمولة خاصة بالمفاعل (ارتفاعها ١٠ أمتار، وطولها ٣٣ مترًا، وعرضها ٩ أمتار)، بسرعة متوسطة تبلغ ٥ كم في الساعة لمدة أربع ليالٍ متتالية لاختبار "خط السير الخاص" البالغ طوله ١٠٤ كم (على اليمين). (الصور من: المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي)

١٨٠- وفي ٢١ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣، أي بعد مرور سبع سنوات على اليوم التالي للتوقيع على اتفاق المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي في باريس، تم التوقيع على جميع العقود الرئيسية الخاصة بالأعمال المدنية الموقعية، وهو ما يشكل مَعلَمة حاسمة للمشروع، وكان تصنيع المكونات الرئيسية يتقدَّم باطراد في الصناعات المعنية. ويشمل ذلك مكونات حرجة، مثل ملفات الكوابل الفائقة التوصيل والحجيرات الخوائية وترموستات الحرارة المنخفضة. وكان يعمل نحو ٥٠٠ عامل بناء في موقع المفاعل في عام ٢٠١٣. وسيتزايد هذا العدد ليصل إلى ٣٠٠٠ عامل في ذروة أنشطة البناء في الفترة ٢٠١٤-٢٠١٥. ويشتمل الجدول الزمني الحالي على إكمال تركيب الماكينات والقيام بالتشغيل البلازمي الأول في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٢٠. وفي تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣، اتُخذ قرار هام سوف يسفر عن تحقيق وفورات في تكاليف المشروع، وهو البدء في العمليات باستخدام محوِّل الاتجاه المصنوع بالكامل من التنجستن (محول الاتجاه هو منطقة تفريغ القوى البلازمية في جهاز الاندماج بالاحتواء المغنطيسي)، بدلا من استخدام محول الاتجاه المصنوع من ألياف الكربون الذي سيتعين استبداله خلال المرحلة الثانية من العمليات بمحول الاتجاه المصنوع من التنجستن.

١٨١- وإذ يجري العمل قُدُماً في تشييد المفاعل التجريبي الحراري النووي، فإنَّ البرنامج العالمي للاندماج المغنطيسي في مرحلة تحوّل إلى برنامج يركز أكثر فأكثر على إنتاج طاقة الاندماج على نطاق صناعي في محطات القوى. وتعكف بلدان كثيرة، كل منها على حدة، على وضع خطط برنامجية واستهلال أنشطة جديدة للبحث والتطوير بهدف إثبات إمكانية الإنتاج التجاري لطاقة الاندماج. وتشكل هذه الخطط والأنشطة مجتمعة برنامجاً بشأن 'محطات قوى الاندماج الإيضاحية'، وإن كانت لا توجد وجهة نظر وحيدة أو منسَّقة بخصوص خارطة طريق للتجربة العملية لتوليد الكهرباء من طاقة الاندماج.

١٨٢- وتسوية القضايا العلمية والتقنية وتلبية متطلبات المرافق الخاصة بمحطات قوى الاندماج الإيضاحية مسألة تحظى باهتمام مشترك، وإن كانت للدول مجالات تركيز وأولويات مختلفة. وقد استحدثت الوكالة في عام ٢٠١٢ سلسلة من حلقات العمل السنوية الخاصة ببرنامج محطات قوى الاندماج الإيضاحية من أجل تيسير التعاون الدولي على تحديد الأنشطة وتنسيقها. ومباشرة بعد الدورة الرابعة والعشرين لمؤتمر الوكالة للطاقة الاندماجية، التي عُقدت في سان دييغو بالولايات المتحدة الأمريكية، نُظِّمت حلقة العمل الأولى للوكالة حول برنامج محطات قوى الاندماج الإيضاحية، في تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٢ في جامعة كاليفورنيا بلوس أنجيلوس. وسلَّطت مناقشات حلقة العمل الضوء على أن خارطة الطريق الخاصة بالمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي يجب أن تتضمن مرافق نووية اندماجية متكاملة ومرافق لتشعيع المواد الاندماجية. ويجري حاليًا التخطيط لبعض هذه المرافق الرئيسية. وسيتم تحديد خارطة الطريق وكذلك أساليب التعاون المثلى من خلال المبادرات التي تتخذها الأطراف لتشييد واستغلال هذه المرافق الواسعة النطاق.

١٨٣- فعلى سبيل المثال، أُطلِقت مؤخرًا في إطار الاتفاق الأوروبي لتطوير الطاقة الاندماجية[١٧] خارطة طريق رسمية ترمي إلى تحقيق طاقة الاندماج. وتقسِّم خارطة الطريق المذكورة المساعي الرامية إلى استخدام الطاقة الاندماجية إلى ثماني مهام. وتقوم خارطة الطريق، فيما يتعلق بكل مهمة على حدة، باستعراض الحالة الراهنة للبحوث، وتحديد المسائل العالقة، واقتراح برنامج للبحث والتطوير، وتقدير الموارد اللازمة. وتشير الخارطة إلى الحاجة إلى تكثيف مشاركة الصناعات والبحث عن جميع الفرص للتعاون خارج أوروبا. وبحسب خارطة الطريق المذكورة، من المتوقع الشروع في أوائل أربعينات هذا القرن في تشغيل محطة إيضاحية لقوى الاندماج

[١٧] http://www.efda.org/wpcms/wp-content/uploads/2013/01/JG12.356-web.pdf

تُنتج كهرباء صافية للشبكة على مستوى بضع مئات ميغاواط، وسيكون ذلك خطوة نحو إنشاء محطة تجارية قوى الاندماج في أوروبا. ويجري دعم تحول برنامج الاندماج الأوروبي من مشروع ذي منحى علمي إلى مشروع ذي منحى صناعي وتكنولوجي، بالاستعاضة اعتباراً من كانون الثاني/يناير ٢٠١٤ عن الاتفاق الأوروبي لتطوير الطاقة الاندماجية باتحاد مختبرات الاندماج الأوروبية الذي أنشئ مؤخراً. وستتبع هذه المنظمة الجديدة نهجًا قائما على المشاريع، وستدعم المهام المتعلقة بخارطة الطريق، والبحوث في مجال عمليات البلازما الأساسية، وإعداد الجيل الجديد من العلماء للمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي. وهناك مبادرات مماثلة بشأن خارطة الطريق تظهر تدريجيًا في بلدان أخرى أطراف في المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي.

١٨٤- وعُقدت حلقة العمل الثانية للوكالة والخاصة ببرنامج محطات قوى الاندماج الإيضاحية في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣ في مقر الوكالة، وأجرت مناقشات نُظِّمت حول ثلاثة مواضيع رئيسية، هي: قواعد تصميم هندسة فيزياء الاندماج، وتفريغ القوى من البلازما والتحكم في الشوائب، وأحوال البلازما والتحكم فيها.

١٨٥- ويستخدم مرفق الإشعال الوطني الواقع في مختبر لورانس ليفرمور الوطني في الولايات المتحدة الأمريكية مخططاً للاحتواء بالقصور الذاتي يشمل استخدام أجهزة ليزر عالية القدرة لتوليد تفاعلات اندماجية بهدف تحقيق مكاسب عالية في الطاقة بواسطة تسخين وضغط كرة بالغة البرودة مصنوعة من الديوتيريوم والتريتيوم. وفي عام ٢٠١٣، استوفى مرفق الإشعال الوطني العديد من المتطلبات التي رأى أنها ضرورية للتوصل إلى مرحلة الإشعال، وهي النقطة التي يطلق فيها التفاعل مقداراً من الطاقة يساوي المقدار الذي يطلَق في النظام برمته، أي ما يكفي من كثافة الأشعة السينية في الجسم الأسود، والاطلاق الدقيق للطاقة على الهدف، والمستويات المنشودة من الضغط. غير أنه يوجد عائق رئيسي واحد على الأقل يتمثَّل في الانكسار المبكر للكبسولة التي تطوِّق مزيج الوقود، وهو عائق مازال يتعين تجاوزه.

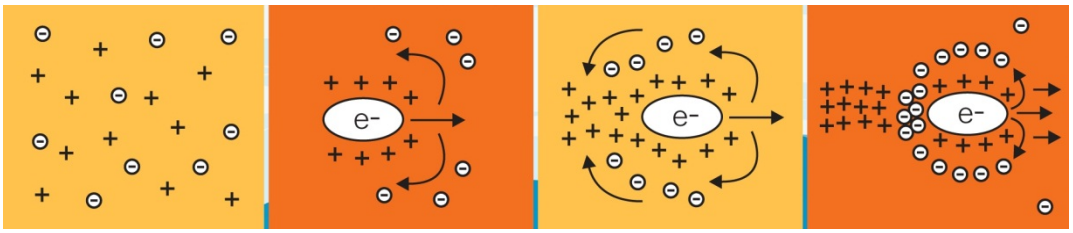
١٨٦- وسوف يُعقد في تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٤ في سانت بطرسبرغ بالاتحاد الروسي مؤتمر الوكالة الخامس والعشرون للطاقة الاندماجية، وهو الحدث الرئيسي في هذا المجال.

جيم- تطبيقات المعجلات ومفاعلات البحوث

جيم-١- المعجلات

١٨٧- يشهد مجال المعجلات تطورات سريعة تسمح بتطبيقات مبتكرة ذات تأثيرات اجتماعية. ويواجه التطوير في تكنولوجيات المعجلات حتى الآن بارامترين رئيسيين عند تحديد شكل وطول آلة التعجيل وهما: أقصى مجال مغنطيسي يمكن تطبيقه على حزمة من الجسيمات المعجَّلة، وأقصى انحدار معجِّل يمكن للآلة أن تحققه. ويبلغ حالياً أعلى مجال مغنطيسي يمكن تحقيقه ٢٠ تسلا تقريباً بافتراض استخدام موصلات فائقة. ومن المتوقع تحقيق بعض التقدم بعد ظهور موصلات فائقة جديدة في درجات الحرارة المرتفعة بما يمكن أن يسمح بمجالات مغنطيسية تصل إلى ٣٠ تسلا. وتمثل هذه الزيادة في شدة المجال المغنطيسي خطوة كبيرة إلى الأمام؛ وإن كان لا يمكن اعتبارها إنجازاً كبيراً على صعيد البحث والتطوير في مجال المعجلات. ومع ذلك، فقد أحرز تقدم من خلال انحدارات التعجيل الهائلة التي تحققت مؤخراً: وبدلاً من العشرين إلى الخمسين ميغا إلكترون فلط/دقيقة التي يستطيع المعجل التقليدي أن يصل إليها، يمكن لمعجلات حقل المَخْر البلازمي أن تعجل حزمة من الإلكترونات إلى نحو ٢٠٠ غيغا إلكترون فلط داخل ذات المسافة. وفي معجل حقل المَخْر البلازمي، تحفز حزمة

إلكترونية منخفضة الطاقة عالية الشدة (أو نبضة ليزر قصيرة وشديدة) البلازما التي تتكون عن طريق تأيين غاز بالليزر أو تأيين المجال بالحزمة الإلكترونية الداخلة ذاتها. ويبين الشكل جيم-١ المبدأ العملي الذي يقوم عليه ذلك:



الشكل جيم-١ - من اليسار: (أ) أيونات موجبة وإلكترونات حرة تكوّن بلازما، (ب) حزمة إلكترونات تدخل البلازما وتصد كل الإلكترونات الحرة. وتنجذب الأيونات الموجبة حول الحزمة، (ج) الإلكترونات الحرة المزاحة بالفعل تنجذب إلى الأيونات الموجبة المتبقية خلف الحزمة، (د) الإلكترونات الحرة في موقعها الجديد خلف الحزمة تُحدث تعجيلاً لحزمة الإلكترونات.

١٨٨- وتتميز المعجلات القائمة على البلازما بإمكاناتها الهائلة في توفير حزم إلكترونية قوية داخل جزء صغير للغاية من الحيز الذي تحتاجه المعجلات التقليدية. ويمكن للتخفيض الممكن في الطول وما يقابله من انخفاض في التكاليف أن يسمح بمعجلات بلازما ليزرية "مكتبية" في المستقبل. وحسب ما أثبته مختبر لورنس بيركلي الوطني، ينشأ عن نبضة ليزر خلال أنبوب شعري أبعاده أقل من كف مملوءة ببلازما الهيدروجين حقل مخْر بلازمي يمكنه تعجيل حزمة من الإلكترونات إلى ١ مليار إلكترون فلط في ٣,٣ سم فقط.

١٨٩- وينتج ضوء الإشعاع السنكروتروني عن إلكترونات تدور بسرعة قريبة من سرعة الضوء. وتنحرف الإلكترونات بسبب المجال المغنطيسي في المغانط المنحنية الموزعة على طول محيط الدائرة. ويتألف ضوء الإشعاع السنكروتروني من الأشعة دون الحمراء الساطعة، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة السينية. وتنبعث حزم الضوء بزاوية تماس إلى مسار الالكترونات في خط مستقيم نحو خطوط الحزم الإشعاعية، أي الأجهزة المؤلفة من سلسلة من المقصورات. وتتألف المقصورة الأولى من أجهزة، مثل الشقوق، والمرشحات، والمرايا، وراسمات الطيف الأحادي.

١٩٠- ويسمح الإشعاع السنكروتروني بدراسة التفاصيل البنيوية للمادة، لا سيما على نطاق يماثل ترتيب فرادى الذرات. وتستطيع الأساليب التحليلية القائمة على الضوء السنكروتروني أن توفر معلومات عن البنية المكانية للمواد، والبنية الكيميائية والإلكترونية، والبنية المجهرية، وخواص الأسطح، والروابط البينية، والطبقات الرقيقة جداً، والطبقات المتعددة. ويمكن استخدام الإشعاع السنكروتروني لتكوين صور مقطعية مستعرضة للمادة من أجل تحليل سلوكها على فترات تصل إلى نانو ثانية. ولذلك، فهي أداة لا غنى عنها للبحوث التطبيقية في مجموعة كبيرة من المجالات، مثل تطوير مواد جديدة ذات صلة بالتكنولوجيا النانوية، والإلكترونيات، والاتصالات، وتوليد الطاقة وخزنها، والطب والرعاية الصحية، والنقل والبيئة.

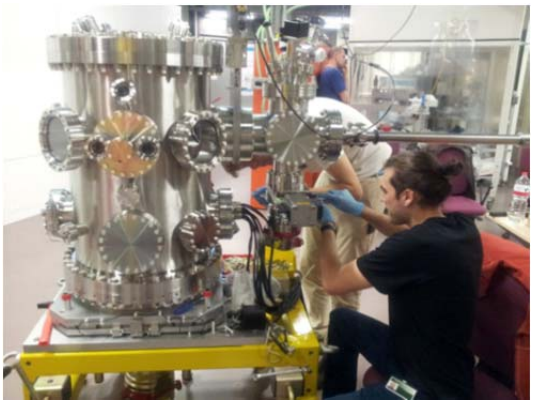
١٩١- وتُستخدم المعجّلات أيضاً لإنتاج النظائر المشعّة مثل الفلور-١٨، والنحاس-٦٤، والكربون-١١. ويركّز مشروع بحثي منسّق تضطلع به الوكالة، استُهلّ في عام ٢٠١١ بتمويل من كندا، على إنتاج النظير الطبي الرئيسي، وهو الموليبدينوم-٩٩، إنتاجاً مباشراً وكذلك ناتجه الوليد، وهو التكنتيوم-٩٩ شبه المستقرّ، في السيكلوترونات. وخلافاً لعملية الانشطار النموذجية التي تُنتج الموليبدينوم-٩٩ في مفاعل يستخدم كبسولات

اليورانيوم، فإن تلك التكنولوجيات تستخدم كبسولات الموليبدينوم-١٠٠. ويمكن أن يُستخدم معجّل خطّي لإنتاج الموليبدينوم-٩٩ من خلال تحويل الموليبدينوم-١٠٠ المُثرى، بينما يمكن استخدام السيكلوترونات لإنتاج التكنتيوم-٩٩ شبه المستقرّ إنتاجاً مباشراً عن طريق تشعيع الموليبدينوم-١٠٠.

١٩٢- ويقود برنامج كندا في هذا المجال جامعة ألبرتا (بالنسبة للسيكلوترونات)، ومختبر TRIUMF (بالنسبة للسيكلوترونات أيضاً)، ومؤسسة برير (Prairie) لإنتاج النظائر (بالنسبة للمعجّلات الخطّية). وثمة أنشطة جارية حالياً لعرض كميات تجارية من إنتاج النظائر عرضاً إيضاحياً، بعدما أعلن مختبر TRIUMF في الآونة الأخيرة عن توفّر قدرة إنتاجية تكفي لتلبية احتياجات منطقة حضرية. وتتمثَّل إحدى المزايا البيئية والاقتصادية المهمّة لهاتين التكنولوجيتين في أنه لا يتولَّد عن استخدامهما سوى القليل من النفايات وأن المشاريع ذات الصلة قد أثبتت كفاءتهما في حدود ٩٠٪ فيما يخص إعادة تدوير الموليبدينوم-١٠٠. والعمل جار حالياً على تلبية المتطلبات الرقابية ذات الصلة والتصدي للتحديات التقنية والتجارية المتبقِّية.

١٩٣- ويدعم مختبر الوكالة لقياس الطيف النووي والتطبيقات النووية تطوير تقنيات قياس طيف الأشعة السينية القائمة على المختبرات والمعجلات في التطبيقات المتعددة التخصصات والبحوث الأساسية من خلال برامج وأنشطة مخصصة لهذا الغرض. وانطلاقاً من مشروع للبحث والتطوير أطلقه في عام ٢٠١١ مختبر قياس الطيف النووي والتطبيقات النووية، وقعت الوكالة ومرفق إليترا في إيطاليا عقداً في عام ٢٠١٣ لإنشاء وتشغيل خط حزم إشعاعية جديد لتألق الأشعة السينية. وتم تركيب المحطة التجريبية الجديدة المقدمة من الوكالة في خط الحزم الإشعاعية خلال الربع الأخير من عام ٢٠١٣. وسوف يتيح ذلك تدريباً عملياً للدول الأعضاء على التقنيات المتقدمة لقياس طيف الأشعة السينية، مثل تألق الأشعة السينية، وتألق الأشعة السينية ذات الانعكاس الكلي، وتألق الأشعة السينية ذات السقوط المُقارِب/تألق الأشعة السينية ذات الخروج المُقارِب، بالاقتران مع انعكاسية الأشعة السينية وقياس طيف امتصاص الأشعة السينية، وكذلك تشجيع الأنشطة البحثية والبرامج الأكاديمية ذات الصلة.

١٩٤- ولهذا الغرض، أطلق بالفعل في عام ٢٠١٣ مشروع بحثي منسق لزيادة جودة وتنافسية بحوث الدول الأعضاء في مجال أساليب قياس طيف الأشعة السينية القائمة على الإشعاع السنكروتروني عن طريق دعم التدريب العملي، وتوجيه العمل التجريبي وإجراء أنشطة البحوث في المحطة النهائية للحجرة الفائقة الفراغ (الشكل جيم-٢) في خط الحزم الإشعاعية لتألق الأشعة السينية في إليترا.

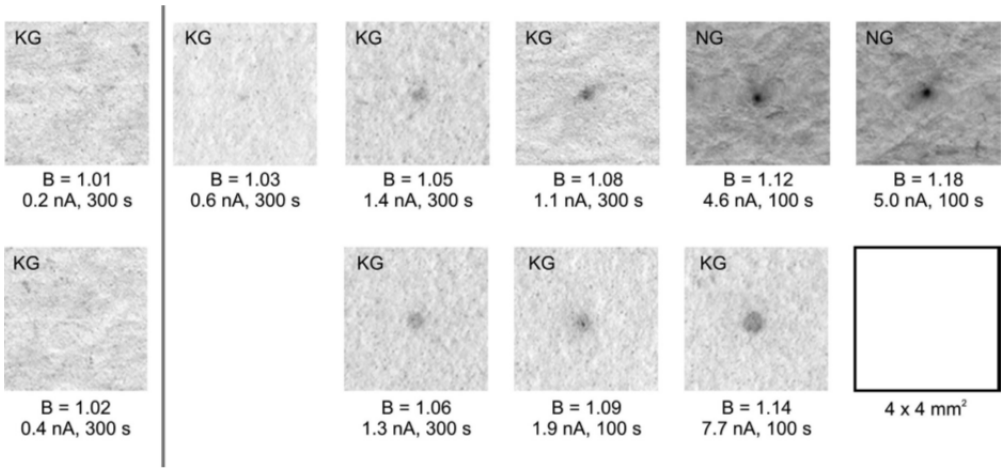


الشكل جيم-٢ - مجمعة المحطة النهائية للغرفة الفائقة الفراغ.

١٩٥- وعند تحديد خصائص القطع الأثرية التاريخية، تمثل الأضرار الإشعاعية شاغلاً مشتركاً بين العلماء وأمناء المتاحف والمرمِّمين والمتخصصين في الآثار. وينشأ عن ارتفاع الجرعة المودعة خطر تدهور المواد موضوع الدراسة. ويمكن في بعض الأحيان رؤية الأضرار بالعين المجردة، مثل تكون مراكز ملونة في الزجاج أو اسمرار المركبّات العضوية. وحتى بدون عواقب مرئية مباشرة في العينات أو الأجسام، فإن احتمالات ضياع المعلومات، بل والأسوأ من ذلك استرجاع معلومات مضللة أو متحيزة من منطقة متضررة بالإشعاع، يمثل خطراً تحليلياً كبيراً.

١٩٦- ولم تُجرَ حتى الآن سوى بضع دراسات منهجية عن تغير اللون بسبب تحليل الورق بالحزم الأيونية، حيث أشارت إحدى الدراسات إلى تكون علامات في نوعين من الورق القماشي المتقادم اصطناعياً (بأساس عظمي وبدونه) نتيجة التعرض لميغا إلكترون فلط من البروتونات في ظل مجموعة متنوعة من الظروف.[١٨] ويبين الشكل جيم-٣ المأخوذ من تلك الدراسة مجموعة نموذجية من الملاحظات. وخلص المؤلفون إلى أنه إذا بقيت ظروف التعرض دون معايير معينة، لا تلاحظ أي علامات مرئية حتى بعد التدوير بالرطوبة ودرجات الحرارة لمحاكاة التقادم بنحو ١٠٠ سنة.

١٩٧- وتمثل الأضرار الإشعاعية التي تصيب مواد التراث الثقافي آلية مهمة في التقادم والتدهور. على أن عملية مماثلة تحدث عندما تُشعع عينات التراث الثقافي لتحديد خصائصها والحفاظ عليها. وتعالج الوكالة هذه القضايا من خلال الاجتماعات التقنية والاختبارات التقابلية وتطوير أفضل الممارسات والبروتوكولات. والهدف من ذلك هو اقتراح تعريف جديد لكيفية تحديد خصائص التأثيرات المستحثة إشعاعياً في مواد التراث الثقافي. وسوف يتجاوز هذا التعريف التفتيش البصري الفوري، وسيحدد الأنشطة ذات الصلة في الميادين المجاورة لتوفير معلومات قيمة عن آليات التلف الذي تتعرض له مواد التراث الثقافي المتنوعة والفريدة في بعض الأحيان، وسيستعرض استراتيجيات رصد الأضرار الإشعاعية، وسيقترح استراتيجيات للتخفيف منها.



الشكل جيم-٣- صور مكبرة لأجزاء مشعة في ورق بعد تعجيل تقادمه، مرتبة حسب الزيادة في التعرض للبروتونات. الصورة NG لورق قماشي بدون أساس عظمي؛ والصورة KG لورق قماشي معالج ببياض العظم القيمة السوداء B (أساساً النسبة بين قيم التدرج الرمادي للبقعة وبيئتها) تشير إلى مقدار تغير اللون المستحث بالحزمة الإشعاعية. لا يظهر أي تأثير في الأشكال من B حتى ١,٠٢ التي تقع إلى أقصى اليسار، ويفصلها عن بقية الأشكال خط رأسي. (المصدر: ميلوتا وآخرون ٢٠٠٨)

[١٨] "قياسات انبعاث الأشعة السينية المستحث بالجسيمات التي أجريت في معجِّل الأبحاث البيئية بجامعة فيينا" للوحات المرسومة بالأقلام ذات الطرف الفضي، الأجهزة والأساليب النووية في قسم أبحاث الفيزياء باء: تفاعلات الحزم الإشعاعية مع المواد والذرات ٢٦٦ (٢٠٠٨) ٢٢٧٩-٢٢٨٥.

١٩٨- والوكالة في صدد إطلاق بوابة جديدة للمعرفة المتعلقة بالمعجلات لصالح مستعملي المعجلات والباحثين ومقدي الخدمات التحليلية على نطاق العالم. ولا تقدم بوابة المعرفة قاعدة بيانات عن معجلات جسيمات الميغا فولط في العالم فحسب، بل تشمل أيضاً العديد من سمات الربط الشبكي والمجتمعي للجمع بين المعنيين بمعجلات الحزم الأيونية، وكذلك لتقديم معلومات إلى مستعملي المعجلات وصانعي السياسات.

جيم-٢- مفاعلات البحوث

١٩٩- تستخدم مفاعلات البحوث أساساً لتوفير نيوترونات للبحوث ومختلف التطبيقات، بما في ذلك التعليم والتدريب على النحو المبين في الجدول جيم-١. وتُحدَّد معدلات قدرة مفاعلات البحوث بالميغاواط، ويمكن أن يمتد ناتجها من الصفر (في حالة المجمَّعة الحرجة أو دون الحرجة مثلاً) إلى ما يصل إلى ٢٠٠ ميغاواط (حراري)، مقابل ٣٠٠٠ ميغاواط (حراري)، أي ١٠٠٠ ميغاواط (كهربائي)، في حالة مفاعل القوى النموذجي الكبير.

٢٠٠- وحتى ٣١ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣، كان هناك ٢٤٥ مرفق مفاعل بحوث قيد التشغيل في العالم.[١٩] وإضافةً إلى ذلك، كان هناك ٢٠ مفاعل بحوث في حالة إغلاق مؤقت، و١٤٢ في حالة إغلاق طويل الأمد. ومن بين المفاعلات العاملة، هناك ٥٧ ذات قدرة عالية، تعمل بمعدلات قوى تزيد على ٥ ميغاواط وتوفّر تدفقات نيوترونية أكبر. وتم إخراج ٣٣٨ مفاعل بحوث آخر من الخدمة. وقلّما تستغل أغلبية مفاعلات البحوث الموضوعة قيد التشغيل، وهي قديمة وتتطلب بالتالي إدارة تقادمها، وتحديثها، وتجديدها باستمرار.

الجدول جيم-١- التطبيقات الشائعة في مفاعلات البحوث على نطاق العالم[٢٠].

نوع التطبيق	عدد مفاعلات البحوث المشمولة[أ]	عدد الدول الأعضاء التي توجد بها مرافق مستخدمة
التدريس/التدريب	١٧٤	٥٤
التحليل بالتنشيط النيوتروني	١٢٨	٥٤
إنتاج النظائر المشعّة	٩٦	٤٣
تشعيع المواد/الوقود[ج]	٨٠	٢٩
التصوير الإشعاعي النيوتروني	٧٢	٤١
التشتت النيوتروني	٥٠	٣٣
التحويل (إشابة السليكون)	٣٠	١٩
علم التقويم الجيولوجي	٢٦	٢٢
التحويل (الأحجار الكريمة)	٢١	١٢
العلاج بأسر نيوترون نواة البورون، أساساً في مجال البحث والتطوير	١٨	١٢
تطبيقات أخرى[ب]	١٣٧	٣٥

أ من بين ٢٨٠ مفاعل بحوث تمت دراستها (٢٤٥ قيد التشغيل، و٢٠ في حالة إغلاق مؤقت، و٥ تحت الإنشاء، و١٠ مخطّط لها؛ ٣١ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٣)

ب تشمل التطبيقات الأخرى معايرة واختبار الأجهزة وقياس الجرعات، وتجارب التدريع، وتجارب فيزياء المفاعلات، وقياسات البيانات النووية، وجولات العلاقات العامة والحلقات الدراسية.

ج تعكف الوكالة على وضع فهرس شامل بعنوان "إمكانات وقدرات مفاعلات البحوث في نشر نظم وتكنولوجيات الطاقة النووية المبتكرة".

[١٩] المصدر: قاعدة بيانات الوكالة بشأن مفاعلات البحوث (http://nucleus.iaea.org/RRDB).

[٢٠] المصدر: قاعدة بيانات الوكالة بشأن مفاعلات البحوث (http://nucleus.iaea.org/RRDB).

٢٠١- وشهدت السنوات الأخيرة زيادة مطردة في اهتمام الدول الأعضاء بتطوير برامج مفاعلات البحوث. ووصل عدد من الدول الأعضاء إلى مراحل مختلفة في مشاريعها الجديدة، ويرغب بعضها في استخدام أول مفاعلاته البحثية كمدخل للبلد إلى استحداث البنية الأساسية للعلوم والتكنولوجيا النووية. ويجري إنشاء مفاعلات بحوث جديدة في فرنسا والأردن (الشكل جيم-٤) والاتحاد الروسي. وتوجد لدى العديد من الدول الأعضاء خطط رسمية لبناء مفاعلات بحوث جديدة: الاتحاد الروسي، والأرجنتين، والبرازيل، وبلجيكا، وجمهورية كوريا، وجنوب أفريقيا، والمملكة العربية السعودية، والهند، وهولندا.

الشكل جيم-٤- إلى اليسار: المجمعة الأردنية دون الحرجة الصفرية القدرة حصلت على رخصة تشغيل في حزيران/يونيه ٢٠١٣ (الصورة من: جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية). إلى اليمين: الانتهاء في تشرين الأول/أكتوبر ٢٠١٣ من ٤٩٪ من الأعمال الإنشائية في مفاعل البحوث والتدريب الأردني الذي تبلغ قدرته ٥ ميغاواط (الصورة من: هيئة الطاقة الذرية الأردنية).

٢٠٢- وتنظر دول أعضاء أخرى، مثل بنغلاديش، وبيلاروس، وتايلند، وتونس، وجمهورية تنزانيا المتحدة، والسودان، وفييت نام، والكويت، ولبنان، ونيجيريا، في بناء مفاعلات بحوث جديدة[٢١].

٢٠٣- ومع إخراج مفاعلات البحوث الأقدم من الخدمة والاستعاضة عنها بمفاعلات متعددة الأغراض أقل عدداً، يُتوقع أن يستمر انخفاض عدد المفاعلات العاملة والمرافق الحرجة المستخدمة في البحوث. وسوف يلزم المزيد من التعاون الدولي لضمان إمكانية الوصول إلى هذه المرافق على نطاق واسع واستخدامها بفعالية. وفي عام ٢٠١٣، ساعدت الشبكات أو الائتلافات الإقليمية المعنية بمفاعلات البحوث، التي تيسِّرها الوكالة[٢٢]، على تعزيز التعاون الدولي، وقدّمت المساعدة لمفاعلات البحوث لتوسيع قاعدة أصحاب المصلحة فيها.

٢٠٤- وطوال عام ٢٠١٣ واصلت المبادرة العالمية التي اتخذتها الولايات المتحدة لتقليص التهديدات تنفيذ مهمتها المتمثلة في التقليل إلى أدنى حد من وجود اليورانيوم الشديد الإثراء في القطاع النووي المدني في جميع أنحاء العالم. وفي عام ٢٠٠٩، تم توسيع نطاق المبادرة من ١٢٩ مفاعلا بحثياً إلى نحو ٢٠٠ مفاعل بحثي تعمل بوقود اليورانيوم الشديد الإثراء، وبنهاية عام ٢٠١٣ كان قد تم تحويل ٨٨ من هذه المفاعلات الى استخدام وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء أو أُغلقت قبل هذا التحويل.

---

[٢١] يهدف منشور الوكالة الجديد المعنون اعتبارات ومعالم خاصة لمشاريع مفاعلات البحوث (العدد NP-T-5.1 من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة) إلى مساعدة الدول الأعضاء في هذا المجال.

[٢٢] شكّلت الوكالة عدة ائتلافات مختلفة لمفاعلات البحوث في منطقة البلطيق، ومنطقة الكاريبي (التي تشمل مشاركة من أمريكا اللاتينية)، ووسط أفريقيا، وآسيا الوسطى، وأوروبا الشرقية، ومنطقة البحر المتوسط.

٢٠٥- ومن الأمثلة الأخيرة الجيدة على الدعم والتعاون الدوليين المتنوعين المتصلين بالحد من اليورانيوم الشديد الإثراء وضع خطة لإزالة وقود اليورانيوم الشديد الإثراء وإخراجه من الخدمة في مفاعل بحوث مؤسسة فوتون في طشقند بأوزبكستان. وعملت حكومة أوزبكستان، اعتباراً من نهاية عام ٢٠١٣، على تمويل تنفيذ إخراج موقع المفاعل من الخدمة.

٢٠٦- وعلاوةً على ذلك، تم تحويل مفاعل البحوث LVR15 في الجمهورية التشيكية تماماً إلى استخدام وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء وأعيدت الكمية النهائية من وقود اليورانيوم الشديد الإثراء المستهلك، وهي ٧٠ كغم، إلى الاتحاد الروسي في نيسان/أبريل ٢٠١٣. وعقب تحويل مفاعل بحوث تريغا في دالات بفييت نام من استخدام وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء، أعيد الرصيد النهائي المتبقي البالغ ١٢ كغم من وقود اليورانيوم الشديد الإثراء المستهلك إلى الاتحاد الروسي في تموز/يوليه ٢٠١٣. وفي هنغاريا، تم الانتهاء في كانون الثاني/يناير ٢٠١٣ من تحويل قلب مفاعل بودابست البحثي الذي تبلغ قدرته ١٠ ميغاواط، وأعيدت الدفعة الأخيرة التي تزيد على ٤٩ كغم من اليورانيوم الشديد الإثراء إلى الاتحاد الروسي خلال شهري تشرين الأول/أكتوبر وتشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣ (الشكل جيم-٥). وبعد اكتمال هذه المشاريع أصبحت الدول الأعضاء الثلاثة كلها خالية من وقود اليورانيوم الشديد الإثراء.[٢٣]

الشكل جيم-٥- إلى اليسار: إحكام ربط مسامير طرود النقل الخاصة التي تحمل وقود اليورانيوم الشديد الإثراء المستهلك من معهد دالات للبحوث النووية في فييت نام إلى الاتحاد الروسي. إلى اليمين: وضع عبوة مجمعة واقية على برميل نقل يحتوي على وقود اليورانيوم الشديد الإثراء المستهلك من مفاعل بودابست البحثي في هنغاريا. وقد صممت هذه العبوة المجمعة للسماح بالنقل جواً.

٢٠٧- وكثيراً ما تجرى بعد التحويل إلى اليورانيوم الضعيف الإثراء وإعادة وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى بلد المنشأ عمليات كبيرة للارتقاء بالبنى الأساسية. من ذلك مثلاً أن مبادرة الوكالة بشأن الاستخدامات السلمية تمول برنامجاً للتحديث الشامل في مفاعل البحوث TRIGA Mark III في المكسيك. وفي أوكرانيا، يجري تشييد مرفق دون حرج يعمل بواسطة المعجِّلات ويستخدم وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء في معهد خاركوف للفيزياء والتكنولوجيا، بدعم مالي وتقني من وزارة الطاقة في الولايات المتحدة، بعد إعادة كل اليورانيوم الشديد الإثراء إلى الاتحاد الروسي.

---

[٢٣] ونقل إجمالاً أكثر من ٢ ٠٠٠ كيلوغرام من اليورانيوم الشديد الإثراء المورد من مصادر روسية إلى روسيا في ٥٦ عملية شحن منذ اتخاذ مبادرة مشتركة بين الوكالة والولايات المتحدة والاتحاد الروسي في عام ٢٠٠٢.

٢٠٨- وواصلت الصين جهودها لتحويل مفاعلاتها النيوترونية المصغَّرة من استخدام اليورانيوم الشديد الإثراء إلى استخدام اليورانيوم الضعيف الإثراء، وتخطط للعمل مع الدول الأعضاء التي اشترت مثل هذه المفاعلات لمساعدتها على تحويل مفاعلاتها وإعادة وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى بلد المنشأ.

٢٠٩- وبعد أن هدأت حدة نقص إمدادات الموليبدينوم-٩٩ خلال عام ٢٠١٢، ظهرت من جديد في عام ٢٠١٣ تحديات تشغيلية في مرافق المعالجة ومفاعلات البحوث الأقدم عمراً. ولم يسفر النقص عن أزمة بحجم الأزمة التي شهدتها الفترة من عام ٢٠٠٧ حتى عام ٢٠١٠ بفضل التغييرات في إدارة الطلب وبعض التنوع في الإمدادات. واستمر تحويل عمليات إنتاج النظائر الطبية من استخدام اليورانيوم الشديد الإثراء إلى استخدام اليورانيوم الضعيف الإثراء. وما زالت أستراليا وجنوب أفريقيا أكبر موردين للموليبدينوم-٩٩ الذي لا يحتوي على يورانيوم شديد الإثراء، وواصلت جنوب أفريقيا تحويل عملياتها إلى الاستخدام الحصري لليورانيوم الضعيف الإثراء. وواصل اثنان آخران من كبار منتجي النظائر الطبية، هما بلجيكا وهولندا، خططهما الرامية إلى تحويل عمليات الإنتاج التجاري من استخدام اليورانيوم الشديد الإثراء إلى استخدام اليورانيوم الضعيف الإثراء.

٢١٠- والأنواع المتقدمة ذات الكثافة العالية للغاية من وقود اليورانيوم-الموليبدينوم التي يجري تطويرها في الوقت الراهن لازمة لتحويل مفاعلات البحوث العالية الفيض العالية الأداء. وعلى الرغم من إحراز تقدّم كبير في هذا الميدان قبل عام ٢٠١٣، يلزم بذل المزيد من الجهود وإجراء المزيد من الاختبارات، وخصوصاً في سياق برامج التشعيع وفحوص ما بعد التشعيع، وكذلك في مجال تقنيات التصنيع، لتحقيق التوفّر التجاري لأنواع وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء المعتمدة في الوقت المناسب.

٢١١- وبعد تحويل مفاعلات تريغا ذات الصلة، انخفض الطلب العالمي على وقود تريغا. ولم تقدم منذ عام ٢٠١٠ أي عناصر وقود جديدة، وهو ما يشكل تحدياً لاستمرار تشغيل عدد من مفاعلات تريغا على نطاق العالم. ونظراً لهذه التهديدات المشتركة، بادرت الأوساط المعنية بمفاعلات تريغا في حزيران/يونيه ٢٠١٢ بإطلاق الشبكة العالمية لمفاعلات بحوث تريغا. واتخذت الشبكة صفتها الرسمية في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٣ في فيينا بإنشاء لجنتها التوجيهية. وسوف تعالج الشبكة تحديات مرافق تريغا الثمانية والثلاثين العاملة على نطاق العالم، وستسعى أساساً إلى إيجاد بدائل لقضايا من قبيل إمدادات الوقود الطازج، وتمديد برنامج الولايات المتحدة لإعادة الوقود النووي المستهلك إلى بلدان المنشأ، وتعزيز الاستخدام وإدارة التقادم، والتشغيل والصيانة.

٢١٢- وتواصلت في عام ٢٠١٣ أنشطة تشجيع وتعزيز استخدام مفاعلات البحوث لأغراض التعليم والتدريب. وشملت المشاريع الدولية مشاريع إيجاد طرق لزيادة عدد الدورات التدريبية وأنواعها وجودتها، وإتاحة فرص الوصول أمام المهنيين الشباب في البلدان النامية في شتى أرجاء العالم، وإشراك مفاعلات البحوث في التعليم الأساسي والمحدد المتصل بالعلوم والتكنولوجيا النووية.

دال- استخدام التقنيات النووية لزيادة الإنتاج الحيواني مع خفض غازات الاحتباس الحراري

٢١٣- إن إنتاج ما يكفي من الغذاء لتلبية مطالب استهلاك العدد المتزايد من السكان يشكل تحدياً عالمياً. ويتفاقم هذا التحدي جراء التأثير البيئي الناجم عن توفير الغذاء، الأمر الذي يتطلب استهلاك الطاقة ويسهم بالتالي في

انبعاثات غازات الاحتباس الحراري (غازات الدفيئة). ويستأثر قطاع الزراعة، بما في ذلك الثروة الحيوانية، بحوالي ٢٢٪ من إجمالي الانبعاثات العالمية [٢٤]. ويمكن لممارسات الإنتاج الحيواني الجيدة أن تؤدي في آنٍ معاً إلى زيادة كمية ونوعية الحيوانات والمنتجات الحيوانية، وإلى الحد من انبعاثات غازات الدفيئة.

٢١٤- ويركز هذا القسم على التكنولوجيات المبتكرة النووية والمتعلقة بالمواد النووية التي يمكن تطويرها وتطبيقها لتحسين عمليات التغذية والتناسل والتربية والصحة الحيوانية، وهو ما يساهم بالتالي في تحقيق الأمن الغذائي المستدام مع تخفيف حدة تغير المناخ من خلال تقليص انبعاثات غازات الدفيئة. ويُعتبَر ذلك بمثابة زراعة ذكية مناخياً من قِبَل منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)[٢٥].

دال-١- إدارة الثروة الحيوانية بصورة ملائمة للبيئة

٢١٥- كي يتسنى الحد من التزايد العالمي في درجات الحرارة إلى أقل من درجتين مئويتين[٢٠]، وهو المستوى الذي تشير اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ إلى أن تداعيات تغير المناخ قد تصبح لا رجعة فيها عنده، لابد وأن يواجه قطاع صناعة الثروة الحيوانية التحدي المزدوج المتمثل في زيادة الإنتاج لتوفير الأمن الغذائي العالمي، مع خفض إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة لحماية البيئة. ومن ثم، فإنه يلزم إجراء بحوث لتطوير أحدث التكنولوجيات والبرامج التي يمكن أن تحقق هذين الهدفين في وقت واحد.

دال-١-١- تلبية الطلب المتزايد على الأغذية الحيوانية المصدر

٢١٦- من المتوقع بحلول عام ٢٠٥٠ حدوث زيادة بنسبة ٧٠٪ في استهلاك الأغذية الحيوانية المصدر، وذلك بسبب النمو السكاني وزيادة الدخل والتوسع العمراني. وبالتالي، ستكون هناك حاجة إلى زيادات مضاعَفة في الإنتاج الحيواني. وتشير التقديرات الحالية إلى أن الثروة الحيوانية تسهم بحوالي ١٤,٥٪ (أي ما يعادل ٧,١ غيغا طن من ثاني أكسيد الكربون في السنة) من إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة البشرية المنشأ.[٢١] وإنتاج وتجهيز الأعلاف وتخمر العلف في أمعاء الماشية هما المصدران الرئيسيان لانبعاثات غازات الدفيئة فيما يخص الثروة الحيوانية، بما يمثل ٤٥٪ و٣٩٪ من الانبعاثات المتعلقة بالثروة الحيوانية على التوالي. ومعظم غازات الدفيئة الناتجة عن الثروة الحيوانية تأتي من الماشية (٦٥٪)، علماً بأن نسبة ٣١٪ من غازات الدفيئة المنبعثة من الماشية هي عبارة عن غاز الميثان المعوي. ويُعتبَر ذلك بمثابة فقدان للمغذيات، وبالتالي فإن تحسين كفاءة هضم الأعلاف من شأنه أن يحد من فواقد غاز الميثان المعوي.

٢١٧- وثمة مصادر أخرى لانبعاثات غازات الدفيئة المتعلقة بالثروة الحيوانية وهي تخزين وتجهيز السماد (١٠٪)، والتوسع في المراعي والمحاصيل العلفية داخل المناطق التي تم تحريجها من قبل (٩٪)، وخفض استهلاك الوقود الأحفوري في جميع الفئات على طول سلسلة التوريد القطاعي (٢٠٪). ويمكن تحقيق أهداف التخفيف من غازات الدفيئة على المدى القصير والمتوسط وزيادة الإنتاج الحيواني، وذلك من خلال اعتماد ممارسات زراعية جيدة لتحسين أوجه الكفاءة في الاستفادة من الأعلاف وتطوير الإنتاجية على المستوى الفردي وعلى مستوى القطيع. ولإيجاد حلول على المدى الطويل، لابد من إجراء بحوث مبتكرة للعمل على تطوير حيوانات أكثر قوة وإنتاجية يتم تكييفها لتحمُّل الظروف المناخية القاسية، وتتمتع بالقدرة على مقاومة الأمراض،

[٢٤] منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، معالجة تغير المناخ من خلال الثروة الحيوانية – تقييم عالمي للانبعاثات وفرص تخفيفها، (منظمة الأغذية والزراعة، روما، (٢٠١٣).

[٢٥] http://www.fao.org/climatechange/climatesmart/en/

وعلى الاستفادة من الأعلاف ذات النوعية الرديئة ومن مخلفات المحاصيل (الشكل دال-١). وهناك حاجة إلى البحث أيضاً من أجل تحسين هضم بقايا المحاصيل دون المساس بغلة الحبوب، وتطوير أعشاب تنمو في ظل الظروف المناخية القاسية وتثمر في ذات الوقت عن كتلة حيوية أكبر ذات قابلية أشدّ للهضم لأغراض الاستهلاك الحيواني.

الشكل دال-١ - ماشية كيوري الأصلية في تشاد ذات إنتاج مرتفع للحليب وتتكيف مع الظروف البيئية القاسية.

دال-١-٢- الممارسات الجيدة للحد من انبعاثات غازات الدفيئة

٢١٨- وفقاً لمنظمة الأغذية والزراعة، يمكن تحقيق خفض نسبته ٣٠٪ في انبعاثات غازات الدفيئة من الثروة الحيوانية إذا اعتمد كل المنتجين في مجتمع ما ممارسات زراعية ذكية مناخياً، تم اعتمادها بالفعل من قِبَل ١٠٪ من صفوة المنتجين النظراء [٢٦]. وينبغي أن تستهدف الأبحاث الحد من انبعاثات غازات الدفيئة من خلال تحسين الممارسات بدلاً من تغيير أنظمة الإنتاج التي تختلف باختلاف أنواع المواشي والمناطق. ويجب ألا تؤدي عمليات التدخل للتخفيف من غازات الدفيئة إلى زيادة نفقات الطاقة في القطاعات الأخرى. وعلى سبيل المثال، من خلال تكثيف نظم الإنتاج وتحقيق التوازن بين حصص الأعلاف والحبوب، تنتج صناعة الثروة الحيوانية في الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا الغربية ما بين ٩ و١٠ ملايين طن من البروتين في حين ينبعث منها ما يقرب من ٠,٦ غيغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون. وفي المقابل، فإن أمريكا اللاتينية ومنطقة البحر الكاريبي تنتجان كمية مماثلة من البروتين بعد تغذية الماشية على مراعٍ وأعلاف ذات نوعية رديئة مع مكملات محدودة من الحبوب، وينبعث منهما ١,٣ غيغا طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون.

٢١٩- ولكن هناك حاجة إلى إجراء بحوث لتحديد ما إذا كان تكثيف الإنتاج الحيواني المحقّق بإضافة الحبوب في العلف سوف يزيد من انبعاثات غازات الدفيئة نتيجةً للزيادة في استهلاك الوقود الأحفوري وفي إنتاج الحبوب. وقد تنشأ شواغل بيئية إضافية من الاستغلال المفرط للمياه بغرض تكثيف الإنتاج الحيواني. ويدل ذلك على أن هناك حاجة إلى البحث المتعمق لتصميم نُهُج شمولية من أجل زيادة إنتاجية الثروة الحيوانية مع الحفاظ على انبعاثات غازات الدفيئة عند أدنى مستوى ممكن.

---

[٢٦] غربر، ب.ج.، ستاينفلد، هـ.، هندرسون، ب.، موتيه، أ.، أوبيو، سي.، ديجكمان، ج.، فالكوتشي، أ. وتمبيو، غ. (٢٠١٣). *معالجة تغير المناخ من خلال الثروة الحيوانية - تقييم عالمي للانبعاثات وفرص تخفيفها*. الفرص المتاحة: منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، روما.

دال-١-٣- المكاسب المشتركة بين زيادة الإنتاج وعمليات التدخل لتخفيف الانبعاثات

٢٢٠- في سياق إدارة أي نظام للإنتاج، غالباً ما تكون الربحية هي العامل الحاسم، ومن المرجح أن تؤدي إلى اعتماد أي ممارسات للتخفيف من غازات الدفيئة. وبالتالي فإن مثل هذه التقنيات سوف تحتاج إلى تحسين كفاءة إنتاج الثروة الحيوانية على مستوى الحيوانات الفردية ومستوى القطيع. وفي الواقع فإن معظم عمليات التدخل لتخفيف الانبعاثات تحقق فوائد لكلٍّ من البيئة والاقتصاديات الزراعية. وعلى سبيل المثال، فإن العمل على توفير نوعية أفضل من العلف وتحقيق التوازن في الأعلاف لا يقلل فقط من انبعاثات غازات الدفيئة المعوية والروثية، ولكنه يساعد أيضاً على زيادة الإنتاجية والدخل.[٢٧] كما أن تحسين ممارسات التربية والصحة الحيوانية يساعد على الحد من النفقات العامة للتربية (الحيوانات المخصصة للتربية التي لا تنُتِج بعد على الرغم من أنها تستهلك موارد) وخفض الانبعاثات ذات الصلة.

٢٢١- وقد وُجِد أن المزارع ذات الغرض المزدوج الخاصة بأصحاب الحيازات الصغيرة في ظل وجود ماشية تنتج اللحوم والحليب معاً تَصدر عنها انبعاثات لغازات الدفيئة أقل أربع مرات من تلك الناجمة عن المزارع المتخصصة لتربية الأبقار وإنتاج الألبان بشكل منفصل[٢٨]. والتوصيف الوراثي والتربية بمساعدة الواسمات وتحسين التغذية، كلها يمكن أن تساعد على زيادة جودة وكمية اللحوم الناتجة من حيوانات الألبان. وعلى سبيل المثال، حدد أحد المشاريع البحثية المنسقة للوكالة عن التوصيف الوراثي للمجترات الصغيرة بغرض مقاومة الطفيليات في الجهاز الهضمي سلالات من الأغنام والماعز أكثر مقاومة لهذه الطفيليات في جميع الدول الأعضاء الاثنتي عشرة المشارِكة فيه (الشكل دال-٢). ومن خلال مشاريع التعاون التقني، تم نقل قدرات مثل استخلاص حمض د.ن.أ.، ورسم خرائط اللوحات الهجينة الإشعاعية، وتحديد التسلسل الكلي للجينوم بالاستناد إلى أيونات البروتونات، والقياسات الدقيقة لتحديد تعدد أشكال النويدات المفردة، وتحديد النمط الوراثي، ويمكن الاستفادة منها في بحوث أخرى ذات صلة بالجينوم، وذلك على سبيل المثال بغرض توصيف السلالات الحيوانية من حيث معدلات الأيض القاعدي وتحسين الاستفادة من الأعلاف ذات النوعية الرديئة ومن مخلفات المحاصيل والمنتجات الثانوية.

الشكل دال-٢ - ماعز أصلية في أنغولا قادرة على تحمُّل الأمراض وتعيش على مراعٍ ذات نوعية رديئة.

[٢٧] هريستوف وآخرون، موضوعات خاصة – التخفيف من انبعاثات غاز الميثان وأكسيد النيتروز من العمليات الحيوانية: أولاً- استعراض لخيارات التخفيف من غاز الميثان المعوي، مجلة علم الحيوان، ٩١ (٢٠١٣): ٥٠٤٥-٥٠٦٩.

[٢٨] غربر، ب.ج.، ستاينفلد، هـ.، هندرسون، ب.، موتيه، أ.، أوبيو، سي.، ديجكمان، ج.، فالكوتشي، أ. وتمبيو، غ. ٢٠١٣. معالجة تغير المناخ من خلال الثروة الحيوانية – تقييم عالمي للانبعاثات وفرص تخفيفها. منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، روما.

دال-٢- استخدام التقنيات النووية لمواجهة انبعاثات غازات الدفيئة

٢٢٢- إن التقنيات النووية التي تنطوي على النظائر المستقرة والنظائر المشعة والإشعاع هي أدوات مهمة في مجال الإنتاج الحيواني والبحوث الصحية. والميزة النسبية لاستخدام التقنيات النووية في مجال البحوث الحيوانية وعمليات التشخيص هي أنها توفر خصوصية وحساسية أعلى من التقنيات غير النووية[٢٩]. وتتناول الفقرات التالية التقنيات النووية التي يمكن استخدامها دعماً للممارسات الهادفة إلى التقدير الكمي لانبعاثات غازات الدفيئة والتخفيف من حدتها في آنٍ معاً، وهي الممارسات المتصلة بالتخمر المعوي، وتحلل السماد، وإنتاج الطعام والأعلاف للماشية، وكفاءة استخدام الأعلاف وإدارة المراعي.

دال-٢-١- تحسين هضم النخالة ذات النوعية الرديئة

٢٢٣- يعتمد تحسين الهضم في المجترات على تحقيق التوازن الغذائي، الأمر الذي يؤدي إلى تحسين التخمر في المَعِدة بواسطة الكائنات الحية الدقيقة التي تنتج الأحماض الدهنية المتطايرة (حامض الخليك، والحامض الزبدي، وحمض البروبيونيك)، وبالتالي توفير المواد الغذائية للمجترات. وثمة نتيجة إضافية لهذه العملية وهي نمو كتلة ميكروبية، تلبي جزءاً من احتياجات الحيوانات المجترة المضيفة إلى البروتين. وأثناء تلك العملية، تتحلل قواعد البيورين التي تكون موجودة في الحمض الريبي والحمض النووي للكلأ والكائنات الحية الدقيقة إلى مشتقات البيورين مثل الزانثين، والهيبوزانثين، وحمض اليوريك والآلانتوين، التي تُفرَز في البول.

٢٢٤- والكشف عن مشتقات البيورين هو إحدى التقنيات غير الاجتياحية في الجسم الحي لتقدير إمدادات البروتين الميكروبية وتفضَّل على التقنيات التقليدية الاجتياحية. ويجري استخدام مقتفيات الكربون-١٤ مثل حمض اليوريك الموسوم بالكربون-١٤ والآلانتوين الموسوم بالكربون-١٤ من أجل تطوير نماذج للعلاقات بين امتصاص البيورين وإفراز مشتقات البيورين في البول[٣٠]. وتُستخدَم عملية ضخ حمض الخليك وحمض البروبيونيك الموسومَين بالكربون-١٤ لتقدير معدلات إنتاج الأحماض الدهنية المتطايرة. كما يمكن استخدام يوريا النيتروجين-١٥ وبيكربونات أمونيوم النيتروجين-١٥ وكلوريد أمونيوم النيتروجين-١٥ في دراسة التحلل الميكروبي للألياف ذات النوعية الرديئة، والكتلة الميكروبية، والاستفادة من النيتروجين غير البروتيني، وإعادة تدوير اليوريا، وتخليق البروتين الميكروبي وعمليات التحويل البيَني للأحماض الأمينية في المَعِدة.

٢٢٥- ويتم تحديد معدل تخليق البروتين الميكروبي بواسطة إدراج الفوسفور-٣٢ أو الفوسفور-٣٣ أو النيتروجين-١٤ أو الكبريت-٣٥ ضمن الكائنات الدقيقة الموجودة في المَعِدة. وتُستخدم معادن موسومة مثل الفوسفور-٣٢ والسيلينيوم-٧٥ والكالسيوم-٤٥ والزرنيخ-٧٦ والنحاس-٦٧ لاستقصاء الاختلالات المعدنية في حيوانات المزارع. كما يُستخدَم حمض رباعي خليك ثنائي أمين إيثيلين الكوبالت-٥٨، وفينانثرولين الروثينيوم-١٠٤، والكلأ الموسوم بالكروم-٥١ لتحديد معدلات المرور. وتُستخدَم أيضاً تقنيات بيكربونات الصوديوم الموسومة بالكربون-١٣/الكربون-١٤ لتقدير إنتاج ثاني أكسيد الكربون في المَعِدة. وتوفر هذه الدراسات أساساً لتحسين الهضم، وهو ما يؤدي بدوره إلى زيادة معدلات تحويل العلف والاستفادة من الطاقة، كما يقلل من

---

[٢٩] فيلجوين وآخرون، دور التكنولوجيات النووية في تشخيص ومكافحة أمراض الماشية – استعراض، الصحة والإنتاج فيما يخص الحيوانات الاستوائية، ٤٤ (٢٠١٢): ١٣٤١-١٣٥٥.

[٣٠] ماكار هـ.ب.س.، استعراض استخدام التقنيات النظيرية والنووية في مجال الإنتاج الحيواني، العلوم والتكنولوجيا الخاصة بعلف الحيوان، ١٤٠ (٢٠٠٨) ٤١٨-٤٤٣.

انبعاثات غازات الدفيئة لكل ناتج من الوحدات. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن تقدير انبعاث غاز الميثان عن طريق الحيوانات المجترة من خلال تخفيف النظائر باستخدام غاز الميثان الموسوم إما بالهيدروجين-٣ أو بالكربون-١٤.[٣١]

دال-٢-٢- التوصيف الوراثي للنباتات الدقيقة الموجودة في المَعِدة بغرض تحسين الهضم المَعِدي

٢٢٦- تؤدي الميكروبات الموجودة في المَعِدة دوراً حيوياً في تحلل الهياكل النباتية المعقدة إلى عناصر غذائية لازمة لنموها هي ذاتها ولنمو الحيوانات المضيفة لها. ويجري وصف تنوع التطور السلفي للمجتمع الميكروبي في المَعِدة من خلال دراسة الحمض النووي الريبي الريباسي للوحدات الفرعية الصغرى أو الجينات المقابِلة لها. ومن شأن تقنيات مثل مسابير النيوكليوتيدات الدقيقة الموسومة بالفوسفور-٣٢، وتغيير طبيعة التدرج الكهربائي الهلامي، والتهجين الموقعي للتفلور، وتفاعل البوليميراز السلسلي في الوقت الحقيقي، أن تساعد على توصيف وتقدير كم الميكروبات الموجودة في المَعِدة وديناميكاتها. وينطوي سبر النظائر المستقرة استناداً إلى الحمض النووي الريبي على إمكانات هائلة لربط المعلومات الوراثية الميكروبية بالوظائف البيولوجية. وتساعد دراسات التحاليل الجينية باستخدام تقنيات تحديد تسلسل الجيل القادم على وضع تصور كامل للجينوم والبلازميدوم الميكروبي في المَعِدة. ومن شأن هذا أن يتيح اكتشاف نطاقات مبتكرة، وهي المتواليات الوراثية الجديدة التي تظهر في البروتينات الفردية نتيجة لتطورها، وسماتها الوظيفية في الهضم المَعِدي[٣٢].

دال-٢-٣- تربية الثروة الحيوانية لتحسين الإنتاجية مع الاحتفاظ بالقدرة على التكيف مع الظروف المحلية

٢٢٧- إن القيام بتحديد الجينات المستهدفة وتوصيف العوامل الوراثية الحيوانية الأصلية والمكيَّفة من شأنه أن يسهِّل تحديد صفات الجينات المفيدة، مثل تلك المسؤولة عن مقاومة الأمراض (كالطفيليات المعوية، أو داء المثقبيات على سبيل المثال) أو القدرة على النمو في ظل الإجهاد المناخي أو التغذوي. وعمليات كشف الحمض الريبي النووي الموسوم بالنظائر، ورسم الخرائط الهجين الإشعاعية، جنباً إلى جنب مع تكنولوجيات أحيائية غير نووية، مثل التفاعل البوليمري المتسلسل، وتحديد تسلسل الجيل القادم لأغراض التوصيف الوراثي، كلها تدعم تربية الماشية بمساعدة الواسمات لتحسين الإنتاجية والقدرة على التكيف.

دال-٢-٤- تحسين الإنتاجية على مستوى القطيع والحد من انبعاثات غازات الدفيئة

٢٢٨- إن ارتفاع نسبة الحيوانات المنتِجة للحليب في قطعان الألبان يؤدي إلى خفض انبعاثات غازات الدفيئة لكل وحدة من الحليب المنتَج. ويجري استخدام البروجسترون الموسوم باليود-١٢٥ في القياس المناعي الإشعاعي لتحديد كمية البروجسترون في الدم والحليب وسوائل وفضلات الجسم الأخرى.[٣٣] والبروجسترون هرمون تناسلي، يساعد تحديده في تشخيص الحمل واختلالات الدورة النزوية والاضطرابات الإنجابية في الأبقار والجاموس على سبيل المثال. وتؤدي هذه العمليات التشخيصية إلى تحسين الكفاءة التناسلية وتعزيز معدلات الولادة لدى الحيوانات وزيادة كمية الحليب المنتَج في القطيع. كما تم تطوير القياس المناعي الإشعاعي لأغراض

[٣١] أنظر الحاشية ٢١ أعلاه.

[٣٢] فوتس وآخرون، ترتيب تسلسل الجيل القادم لتحديد التنوع البدائي النواة والفطري في كرش الأبقار، PLoS One، ٧ (٢٠١٢).

[٣٣] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، استخدام تقنيات القياس المناعي الإشعاعي والتقنيات ذات الصلة لتحسين برامج التلقيح الاصطناعي للماشية التي تُرَبّى في ظل ظروف استوائية وشبه استوائية، وثيقة الوكالة التقنية IAEA-TECDOC-1220، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠٠١).

التحاليل الخاصة بهرمونات تناسلية أخرى مثل الأويستروجين، والتستوستيرون، والهرمون المنبِّه للجريب، والهرمون المنبِّه للخلايا الخِلاليّة، وموجهة الغدد التناسلية المشيمية لدى الخيل والبشر.

٢٢٩- وقد تم تحديد العديد من الجزيئات التي يُعَدّ ظهورها في الدم وسوائل الجسم الأخرى دلالة يمكن أن تُستخدَم بغرض التشخيص المبكر للحمل، حيث يمكن استعمال التفاعل البوليمري المتسلسل والقياس المناعي الإشعاعي لكشف وجود مثل هذه الجزيئات. وتشمل هذه الجزيئات البروتين السكري المرتبط بالحمل، وعامل الحمل المبكر، والتاو المضاد للفيروسات (الإنترفيرون-تاو)، والجينات المحفَّزة بالإنترفيرون-تاو. ويُعدّ الإنترفيرون-تاو واعداً بصفة خاصة لأغراض التشخيص المبكر للحمل نظراً لسرعة ظهوره في دم الأم. ويشكل التشخيص المبكر للحمل أداة بالغة الأهمية لإدارة الإنتاجية على مستوى القطيع عن طريق تحديد الحيوانات التي ليست في حالة حمل ولكنها مؤهَّلة للتربية. ويمكن استخدام ذلك لخفض نسبة الحيوانات غير المنتِجة وزيادة إنتاجية القطيع.

دال-٢-٥- توصيف واختيار أنواع الكلأ الاستوائية وتطوير الهندسة الزراعية لهذه الأنواع

٢٣٠- يجري على نطاق واسع استخدام حث الطفرات لتحسين غلة وجودة المحاصيل العَلَفِيّة. وتشمل التحسينات النوعية زيادة القابلية للهضم (مثل انخفاض محتوى اللجنين)، ورفع المحتوى التغذوي (مثل تحسين تكوين البروتين)، وهذه التحسينات لا يمكن أن تتحقق دون التضحية بالغلة. كما ثبتت فعالية الاستيلاد الطفري النباتي في تطوير محاصيل عَلَفِيّة يتم تكييفها بشكل أفضل لمواجهة الظروف القاسية (مثل تحمُّل التشبُّع بالمياه والجفاف والملوحة ودرجات الحرارة القصوى). وبناءً على ذلك، تحسَّنت غلة هذه المحاصيل لأنه يمكن زراعتها في المناطق الهامشية.

٢٣١- ويهدف نظام الإنتاج المحصولي-الحيواني المختلط إلى تعظيم إنتاج الحيوانات والمحاصيل، بما في ذلك الحبوب لأغراض الاستهلاك البشري، مع التقليل من الحاجة إلى موارد معيّنة مثل الأسمدة والمياه والطاقة. ويمكن استخدام النظائر المستقرة لتقييم مثل هذه التحسينات. وتسهم الماشية بدرجة كبيرة في التكثيف المستدام للنظام الزراعي المختلط من خلال توفير السماد الذي يُستخدَم كمخصِّب للتربة، وباعتبارها حيوانات جرّ لأغراض الزراعة. وفي مثل هذه الأنظمة، يصبح مُخرَج عملية واحدة مُدخلاً لعملية أخرى، ويكون هناك حد أدنى لتسرب المغذيات إلى البيئة، في شكل انبعاثات غازات الدفيئة على سبيل المثال.

٢٣٢- والبقوليات وغير البقوليات عندما تُزرَع معاً تؤدي مهاماً تكميلية توفر نوعية وكمية أفضل من الكلأ. ويَستفيد العشب من النيتروجين الذي يترسخ في التربة عن طريق البقوليات لإنتاج كتلة حيوية أعلى ذات جودة أرقى. ولا يمكن أن يقاس بدقة تثبيت النيتروجين ونقل النيتروجين إلى المحاصيل الأخرى إلا باستخدام تقنية تخفيف النيتروجين-١٥، الأمر الذي يتطلب وضع علامات على التربة المحتوية على سماد النيتروجين-١٥ (على سبيل المثال كبريتات أمونيوم النيتروجين-١٥/يوريا النيتروجين-١٥). وبالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام السماد الموسوم بالفوسفور-٣٣ لتقدير كفاءة الاستفادة من الفوسفور في إنتاج أنواع الكلأ البقولية.

دال-٢-٦- تحسين إدارة المراعي لتحقيق الاستدامة الزراعية الحيوانية والبيئية

٢٣٣- توفر النظم الحرجية الرعوية التي تدمج الغابات مع الرعي الحيواني مزايا أكثر مقارنةً بنظم الإنتاج الرعوية-الحيوانية المنفردة[٣٤]. فالنظم الحرجية الرعوية لا تقلل فقط من انبعاثات غازات الدفيئة والتلوث الكيميائي للتربة والممرات المائية، ولكنها تحافظ أيضاً على التنوع البيولوجي عن طريق التقليل من استخدام المَركَبات والأسمدة ومبيدات الأعشاب (الشكل دال-٣). وبالإضافة إلى ذلك، فإن النظم المذكورة تساعد على توفير تربة سليمة مع احتباس الماء بشكل أفضل، كما توفر علفاً إضافياً في شكل أوراق غنية بالبروتين يمكن أن ترعى عليها حيوانات أكثر، فضلاً عما توفره من ظِلّ لجعل الحيوانات أكثر ارتياحاً في الطقس الحار، وهو ما يشجع بدوره على إطالة أمد الرعي وتحسين التغذية، ويؤدي بالتالي إلى زيادة إنتاج الحليب و/أو اللحوم في كل وحدة من مساحة الأرض بالمقارنة مع المراعي الخالصة منفردة. وتُستخدَم أساليب المياه المزدوجة الترقيم (الأكسجين-١٨ والهيدروجين-٢) لتقدير نفقات الطاقة الخاصة بحيوانات الرعي.

الشكل دال-٣- النظم الحرجية الرعوية للإنتاج الحيواني تخفف من انبعاثات غازات الدفيئة ومن التلوث الكيميائي للتربة والمجاري المائية وتحافظ على التنوع البيولوجي.

دال-٢-٧- إدارة السماد وإعادة تدويره من خلال تكنولوجيا الغاز الحيوي

٢٣٤- أثناء عمليتي التخزين والمعالجة، يتم تحويل المواد العضوية الموجودة في السماد إلى ميثان ونيتروجين مما يؤدي إلى انبعاثات أكسيد النيتروز. وتحدث زيادة الانبعاثات عندما يعالَج السماد في وسائط سائلة كما هو الحال في البحيرات العميقة أو خزانات الحفظ. ويمكن استخدام الفضلات الموسومة بالنيتروجين-١٥ المستقر من أجل مراقبة مصير النيتروجين المُفرَز في البيئة وإنتاج البيانات المتعلقة بانبعاثات غازات الدفيئة.

٢٣٥- والغاز الحيوي هو أحد مصادر الطاقة المتجددة التي يمكن توليدها من السماد عن طريق الهضم الميكروبي اللاهوائي لمحتواه العضوي. ويقلل إنتاجه من تلوث مياه الصرف العضوية التي كانت ستستهلك الأكسجين لولا ذلك، وهو ما من شأنه أن يسبب انخفاض مستويات الأكسجين في المياه السطحية. ودوافق الغاز الحيوي تحافظ أيضاً على النيتروجين والفوسفور في التربة كمغذيات لإنتاج المحاصيل. وبالإضافة إلى ذلك، يحتوي الغاز على الكربون الذي يجري تثبيته في النباتات من ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي، مما يجعل إنتاج الغاز الحيوي خالياً من الكربون دون أي مساهمات في انبعاثات غازات الدفيئة. وبالتالي فإن من

---

[٣٤] الموقع الشبكي: http://www.cam.ac.uk/research/news/sustainable-livestock-production-is-possible.

شأن الاستعاضة عن إنتاج الوقود الأحفوري بالغاز الحيوي أن تخفّض من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ووفقاً لمنظمة الأغذية والزراعة، فإنه إذا تم تحويل جميع السماد الطبيعي إلى غاز حيوي بدلاً من السماح بتحلله، يمكن تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة العالمية بنسبة ٤٪ أو ٩٩ مليون طن متري [٣٥].

دال-٣- الاستنتاجات

٢٣٦- يمكن تطبيق التقنيات النووية إلى جانب استخدام الأدوات الجزيئية في تطوير البحوث والتكنولوجيا المبتكرة لتحقيق زيادات مستدامة في الإنتاج الحيواني مع خفض انبعاثات غازات الدفيئة. وتزداد أهمية تحقيق هذين الهدفين في ظل الزيادة السكانية والتوسع في الطلب على المنتجات الحيوانية، على نحو بات معه التخفيف من حدة تغير المناخ ضرورياً أكثر من أي وقت مضى.

٢٣٧- ويشهد البرنامج المشترك بين الفاو والوكالة لاستخدام التقنيات النووية في مجال الأغذية والزراعة تطوراً مستمراً يشمل اعتماد صحة مجموعات من برامج المعلومات والتكنولوجيا لمعالجة التخفيف من غازات الدفيئة على نطاق عالمي. ومن شأن هذه البرامج أن تساعد على تعزيز الأمن الغذائي وتحسين سبل المعيشة وحماية كوكب الأرض. ولتعظيم تأثيرها، من الضروري أن يتم رفع مستوى الوعي بمدى توفر هذه التقنيات والممارسات المذكورة أعلاه، وإشراك أصحاب المصلحة على نطاق واسع (القطاع الخاص والمجتمع المدني والمنظمات الدولية والأوساط البحثية والأكاديمية) في معالجة هذه القضايا بصورة شاملة وفعالة على نطاق عالمي.

هاء- التصوير الرقمي وممارسات الطب الإشعاعي عن بعد: التطورات والاتجاهات والتحديات الأخيرة

هاء-١- تكنولوجيا ومزايا التصوير الرقمي

٢٣٨- حتى نهاية القرن الماضي، كانت الغالبية العظمى من الفحوص التي تُجرى باستخدام التصوير الطبي تستخدم الفيلم كوسيلة لالتقاط الصور وعرضها وتخزينها. إلا أن ثورة الصور الرقمية في مجال التصوير التشخيصي الطبي بدأت في سبعينات القرن الماضي مع اختراع الماسح الضوئي للتصوير المقطعي الحاسوبي وتطوير ماسحات ضوئية عصرية للتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني. وأعقب تطوير هذه التقنيات الخاصة بالتصوير النووي في الثمانينات تقنية التصوير بالرنين المغناطيسي، وهي تقنية تصوير غير نووية، إلى جانب اختراع نظم للحصول على الأشعة السينية الرقمية (مثل التصوير الإشعاعي المحوسب والتصوير الإشعاعي الرقمي) في التسعينات. وتتولد عن تقنيات التصوير الطبي الحديثة مثل التصوير المقطعي الحاسوبي والتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني والتصوير بالرنين المغناطيسي كميات أكبر بشكل هائل من المعلومات التشخيصية قياساً على التقنيات السابقة لها، مما أبرز الحاجة إلى إدارة هذه المعلومات بفعالية وكفاءة. وقد دفعت هذه الحاجة المتزايدة إلى الاعتماد الواسع النطاق لتكنولوجيات إدارة الصور الرقمية، التي باتت الآن الطريقة المفضلة لالتقاط الصور وعرضها وتخزينها نظراً لقدرتها على جعل تقنيات التصوير النووية وغير النووية الحديثة أكثر فعاليةً من حيث التكلفة وأيسر في الوصول إليها.

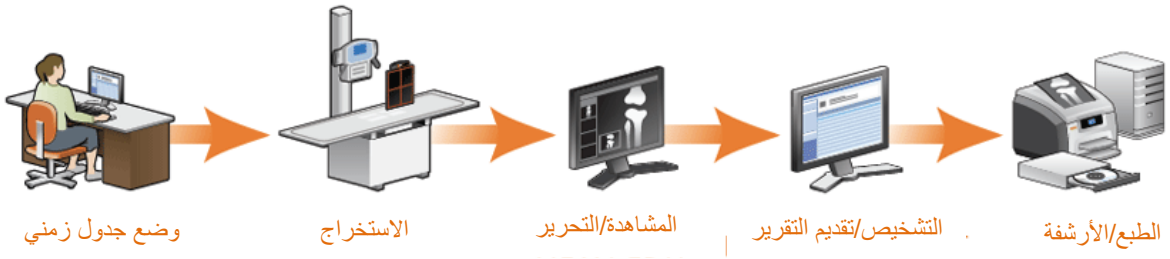
---

[٣٥] غربر وآخرون، معالجة تغير المناخ من خلال الثروة الحيوانية – تقييم عالمي للانبعاثات وفرص تخفيفها، منظمة الأغذية والزراعة، روما (٢٠١٣).

٢٣٩- وهناك عدد من أوجه الكفاءة الكامنة في الالتقاط والتخزين والعرض رقمياً بالمقارنة مع البدائل التي تنطوي على الفيلم، بما يتيح تحقيق هذه الفوائد (الجدول ١). وعلى الرغم من أن التكلفة الأولية للمعدات الرقمية أعلى من النظم التقليدية، ففي المدى الطويل تجلب التكنولوجيا الرقمية وفورات إجمالية في التكلفة من خلال خفض تكاليف التشغيل بما أنها لا تتطلب مواد كيميائية ولا أفلام ولا معالجة وتخزين لتلك الأفلام. وعلى الرغم من هذه المزايا، فإن تنفيذ نظم رقمية بالكامل للتصوير الطبي، بما في ذلك إعداد التقارير والأرشَفة وتوزيع الصور (الشكل هاء-١)، هو عملية معقدة. وهذه الأنظمة ليست حلاً تكنولوجياً جاهزاً بحجم واحد يناسب الجميع، بل يجب تكييفها لتناسب شتى أنشطة التشخيص ومختلف المستخدمين النهائيين ويتطلب تشغيلها قدراً كبيراً من التدريب.

الجدول هاء-١- مزايا الطب الإشعاعي الرقمي مقارنةً بالطب الإشعاعي التقليدي القائم على الأفلام[٣٦]

١	نشر المعلومات بكفاءة وزيادة إمكانية الوصول إلى الصور
٢	مجموعة ديناميكية أفضل بكثير من أنظمة استخراج الصور الرقمية لالتقاط عدد أكبر وأكثر تنوعاً من الهياكل التشريحية في الصور الفردية
٣	تحسين الموثوقية، واسترجاع الصور على نحو خالٍ من الأخطاء دون فقدان المعلومات التشخيصية
٤	سهولة الاستخدام
٥	إمكانية التصوير المركّب بطرق متعددة
٦	حفظ المعلومات التشخيصية الديناميكية على شكل سلسلة من الصور الرقمية
٧	البث المتزامن وعرض الصور بمناطق جغرافية متعددة
٨	معالجة وتجهيز الصور واستخلاص وتعزيز السمات المميزة
٩	سهولة التفاعل بين المتخصصين، كتفاعل الاختصاصيين بالطب الإشعاعي مع الأطباء على سبيل المثال
١٠	يمكن نشر الخبرات في مجال التخصصات الفرعية للتصوير التشخيصي على نطاق واسع
١١	تتاح الدراسات للأشخاص المأذون لهم بمشاهدتها بعد استخراج الصور مباشرةً
١٢	يمكن تحديد تسلسل الفحوص وتكييف وإدماج البيانات التشخيصية
١٣	القضاء على المشاكل البيئية، كالأفلام المهمَلة والنفايات الكيميائية على سبيل المثال



الشكل هاء-١ - سير العمل النموذجي لسلسلة التصوير الرقمي (المصدر: www.carestream.com).

[٣٦] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، تطبيق التصوير الرقمي في مجال الطب الإشعاعي على الصعيد العالمي، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (قيد الإعداد).

هاء-٢- الانتقال من النظم التماثلية إلى النظم الرقمية

هاء-٢-١- التحديات العامة

٢٤٠- على الرغم من أن التأثير الكلي للتصوير الرقمي إيجابي جداً بشكل عام، فإن التحول من الطب الإشعاعي التقليدي (الشاشة-الفيلم) إلى التصوير الرقمي يمثل تغييراً رئيسياً يجب أن يدار بشكل جيد ليتم تنفيذه على نحو فعال. ولن يكون من السهل التخلي عن الطرق التقليدية التي ظلت تُستخدَم طوال قرن، فالضغط الذي يمارَس من أجل القيام بذلك على وجه السرعة لصالح التكنولوجيا الرقمية يشكل تحديات بالنسبة لبعض المستخدمين. ولتسهيل الانتقال، من المهم إبلاغ جميع الأطراف المعنية في الوقت المناسب مع شرح واضح للقضايا القائمة بما يسمح للجهات صاحبة المصلحة بالإعداد للتغيير. ووضع استراتيجيات للاتصال إلى جانب فهم مبادئ إدارة التغيير أمر ضروري في هذا المجال.[٣٧] ووضع استراتيجيات للاتصال إلى جانب فهم مبادئ إدارة التغيير أمر ضروري في هذا المجال. ويمثل ذلك تحدياً على نحو خاص بالنظر إلى الاختلاف الشاسع في المدى الزمني وحجم الاستثمارات المطلوبة لتنفيذ مثل هذه التحولات وتأثرهما بشدة من جراء الظروف الموجودة في بداية هذه العملية.

٢٤١- وعلى الرغم من أن تلك الخطوات يمكن أن تقلل من الصعوبات الناجمة عن هذه التغيرات، فإنه غالباً ما ستكون هناك فترة للتكيف قد يكون خلالها التحول مربكاً أو مدمراً أو حتى مختلاً. ومع ذلك، وعلى نطاق يكاد يكون عالمياً، فإنه بعد الفترة الأولية لاستعمال التصوير الرقمي، أدرك المستخدمون وقدَّروا مزايا التصوير الرقمي مقارنةً بالتصوير القائم على الأفلام.

هاء-٢-٢- التنفيذ والتحديات المحددة التي تواجه أفراد الطواقم الطبية

٢٤٢- ينبغي أن يكون الموظفون في المجال الإشعاعي (العاملون المختصون بالطب الإشعاعي والتصوير الإشعاعي والفيزياء الطبية والفئة المعاونة) في قلب أي مشروع لتنفيذ التصوير الرقمي، ويجب أن يكونوا ممثَّلين بشكل كافٍ في اللجنة التوجيهية للمشروع. والوضع الأمثل هو ضرورة أن يكونوا أيضاً جزءاً من فريق استشاري أوسع من الموظفين يوفر الدراية الموضوعية للمشروع. فمن شأن ذلك أن يتيح لجميع الموظفين المختصين بالطب الإشعاعي الفرصة للتعليق على الخطط والرسومات الجاري وضعها والمساهمة فيها. وينبغي أن يكون التخطيط وتوفير التدريب الجديد بالشكل اللازم، بما في ذلك الإلمام بالقواعد الحاسوبية الأساسية، جزءاً من خطة التنفيذ. وبما أن السرعة القصوى لأي تحول تعتمد على قدرة الموظفين على تبني التغيير، فإن وضع برنامج فعال ومستمر لتنمية قدرات الموظفين وتدريبهم هو واحد من أهم مكونات مشاريع التصوير الرقمي.

٢٤٣- والمستخدمون النهائيون لأيٍّ من خدمات الطب الإشعاعي هم الأطباء الذين يحيلون المرضى. وغياب الفيلم قد يعطل عمل بعض الأطباء، وبالتالي فإن إدخال التصوير الرقمي قد يؤثر في البداية على تأديتهم للخدمات الإكلينيكية. ويحتاج الأطباء إلى تدريبهم على استخدام الأنظمة الحاسوبية بغرض توزيع الصور، وسوف يكونون بمثابة مصدر قيِّم لردود الفعل، سواء كانت إيجابية أم سلبية، على فعالية التوزيع فيما يخص

---

[٣٧] الكلية الأمريكية للطب الإشعاعي، الرابطة الأمريكية للفيزيائيين المتخصصين في مجال الطب، جمعية المعلوماتية في مجال التصوير الطبي، ACR-AAPM-SIIM المعيار التقني للممارسة الإلكترونية للتصوير الطبي، ريستون، فرجينيا، الولايات المتحدة الأمريكية (٢٠١٢).
http://www.acr.org/~/media/ACR/Documents/PGTS/standards/ElectronicPracticeMedImg.pdf

التصوير الرقمي خارج مجال الطب الإشعاعي. وفي مرحلة التخطيط للمشروع، ينبغي أن يكون واضحاً كيف سيتم تقديم الخدمات للمستخدمين الحاليين أثناء وبعد التحول إلى التصوير الرقمي. كما يتعين أن يتناول التخطيط تحديد مجموعات الأطباء والإدارات التي ستكون لها متطلبات خاصة بشأن خدمة التصوير الطبي (على سبيل المثال، أمراض القلب وجراحة العظام). والتفاعل الوثيق بين هؤلاء الأفراد والفريق التنفيذي المعني بالتصوير الرقمي أمر ضروري. ومن الأهمية بمكان توضيح أنه يجري تطوير هذه الخدمة من أجل توفير أكبر قدر من الفائدة لهم كمستخدمين لخدمات الطب الإشعاعي.

٢٤٤- وإذا كان المرفق يضم إحدى الإدارات أو أحد الأقسام الداخلية أو المحلية المختصة بتكنولوجيا المعلومات، ينبغي إشراك تلك الفئة مبكراً في الإعداد للتحول إلى التصوير الرقمي. ومع ذلك، من المهم أن تدرك المجموعة المختصة بتكنولوجيا المعلومات أن الحلول يجب أن تمتثل للمعايير والممارسات التي تم تعريفها بشكل جيد على الصعيد العالمي داخل نطاق مجتمع التصوير الرقمي. وقد يتطلب هذا وضع مذكرة تفاهم بين اللجنة التوجيهية للمشروع ومجموعة تكنولوجيا المعلومات لتحديد المدخلات المطلوبة. وإذا أصبحت البرمجيات الحرة والأجهزة الحاسوبية الجاهزة للاستخدام جزءاً من الحل، ينبغي أن تقوم المجموعة المحلية المختصة بتكنولوجيا المعلومات المحلية بإعداد تلك المكونات في وقت مبكر قبل التركيب المزمع للمعدات المستخدمة في استخراج الصور.

هاء-٣- ممارسات الطب الإشعاعي عن بعد

٢٤٥- إن إحدى المزايا الرئيسية لتكنولوجيا التصوير الرقمي هي أنها تتسم، عبر تطبيقات الطب الإشعاعي، بالقدرة على جعل الرأي التشخيصي للخبراء متاحاً بغض النظر عن المسافة بين المكان الذي تُستخرَج فيه الصورة وموقع الخبير. ويمكن تعريف ممارسات الطب الإشعاعي عن بعد بطرق كثيرة، ولكن بشكل عام يمكن تعريفها بأنها نقل مجموعة من الصور الكاملة الاستبانة والسلامة إلى مركز بعيد عن المكان الذي استُخرِجت منه الصور، لأغراض التفسير التشخيصي الأولي و/أو التماس مشورة ثانوية من خبير. ويجري بالفعل استخدام هذه التكنولوجيات على نطاق واسع في البلدان المتقدمة، وفي حين أن بعض البلدان النامية تستخدم أيضاً ممارسات الطب الإشعاعي عن بعد، فإن تطبيقها في هذه البلدان لا يزال محدوداً[٣٨].

٢٤٦- ويمكن استخدام ممارسات الطب الإشعاعي عن بعد محلياً (في نفس المرفق على سبيل المثال)، وفيما بين المباني الواقعة داخل مجمَّع مشترك أو مدينة واحدة، أو فيما بين المرافق الصحية بأي مكان في العالم. وهي توفر بدائل لنهوج التفسير التصويري التقليدي، التي تتطلب موظفين في الموقع قادرين على التفسير الطبي الإشعاعي. وممارسات الطب الإشعاعي عن بعد يمكنها:

- تحسين سبل الحصول على رأي طبي من الخبراء، إما بغرض التفسير الأولي أو الثانوي؛
- توفير فرص حصول المراكز المتدنية خَدَميّاً على التقارير الخاصة بالصور الطبية؛
- دعم استشارات المرضى والإبلاغ عن قرارات علاجهم؛
- توفير سبل الوصول إلى تفسير الصور للمناطق النائية؛
- وتحويل التقارير لتقديم تفسير في الوقت المناسب بعد ساعات العمل العادية؛

---

[٣٨] حالة الهند، معامَلات معهد الهندسة الكهربائية والإلكترونية بشأن استخدام تكنولوجيا المعلومات في مجال الطب الحيوي ٩ (٢٠٠٥) ٥٩-٦٥؛ زينارو، ف. وآخرون، استخدام الطب الإشعاعي الرقمي لتحسين جودة الرعاية في البلدان ذات الموارد المحدودة: دراسة جدوى من أنغولا، PLoS One، ٨ (٢٠١٣).

- وتحقيق توازن في الإبلاغ عن أعباء العمل فيما بين المراكز ذات المستويات المتفاوتة من الموظفين لضمان معالجة التقارير في الوقت المناسب.

هاء-٣-١- التكنولوجيا

٢٤٧- تشهد ممارسات الطب الإشعاعي عن بعد تطوراً نحو تبني تكنولوجيا حديثة وتوفير استخدامات مختلفة.[٣٩] وعند استعمال ممارسات الطب الإشعاعي مع نظام لأرشفة ونقل الصور يمكن الوصول إليه عن بعد، أو أرشيف مركزي، فإنه لا يمكن تمييزها عن أي شكل آخر من أشكال الوصول عن بعد. وعادةً ما تُستخدم بشكل نموذجي تكنولوجيا العملاء الخفيفة القائمة على الإنترنت والشبكة العنكبوتية (حيث يلزم توصيل الحواسيب بوحدة الخدمة لتؤدي وظائفها كاملةً). ومن بين حالات الاستخدام الإضافية التي باتت ممكنة الآن بسبب هذه التطورات العمل التفسيري بدوام جزئي أو كامل من المنزل، وتحقيق التوازن في أعباء العمل التفسيري بين المواقع المختلفة، بما في ذلك عبر المناطق الزمنية، والإسناد الخارجي لعمل تفسيري طارئ و/ أو نهائي إلى أطراف ثالثة يمكنها أن توفر خبرات إضافية.

٢٤٨- ومن الناحية التقنية، فإنه لا توجد مشكلة في نقل أي صورة إلى معظم الأماكن في جميع أنحاء العالم، ولكن إيجاد حلول فعالة لممارسات الطب الإشعاعي عن بعد يتطلب أيضاً تسيير العمل بشكل سليم للتعامل مع الأعداد الكبيرة من حالات الممارسات الطبية الإشعاعية عن بعد بطريقة فعالة. وتتسع أحجام الصور ما بين بضع إلى مئات من وحدات الميغابايت، وقد يكون نقل مجموعات كبيرة من الصور بطيئاً للغاية وغير عملي بالتالي. ومن ثم فإن الشبكة المتاحة هي أحد المكونات الحاسمة لتطبيقات الطب الإشعاعي عن بعد التي تتطلب تخطيطاً وموارد مناسبة، والتي يمكن أن تكون عائقا أمام اعتماد هذه التكنولوجيا.

٢٤٩- ويعتمد نوع الشبكة على الإتاحة المحلية، كما أن عرض النطاق الترددي اللازم يتوقف على حجم ومقدار الصور المراد نقلها. ومع ذلك، فإن تمديد الأنظمة المحلية لتوفير إمكانية الوصول عن بعد قد يكون محدوداً جراء مشكلات أداء الشبكة، وخصوصاً في المناطق الريفية، وكذلك في المناطق ذات القضايا الأمنية، لا سيما بسبب الحاجة إلى تزويد المستخدمين الخارجيين بأوراق اعتماد مصادق عليها ومراقبة وصولهم.

٢٥٠- والمعدات الخاصة بممارسات الطب الإشعاعي عن بعد، بما في ذلك جميع معدات استخراج الصور، ينبغي أن تكون متوافقة مع المعايير المقابِلة المحددة من قِبَل المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس بشأن التصوير الرقمي والاتصالات في مجال الطب فيما يخص التواصل مع محطات العمل وأجهزة الاتصالات السلكية واللاسلكية وتخزين الصور. وبعض المواقع لا تملك وسيلة (أو خططاً) للتواصل مع الأطباء القائمين بالإحالة أو خدمات القراءة لممارسات الطب الإشعاعي عن بعد، في حين يمكن لمواقع أخرى الاستفادة من الشبكات الداخلية والخارجية كجزء من سلسلة التصوير الطبي.

٢٥١- وأخيراً، بما أن المسافة قد تتباعد الآن بصورة شاسعة بين المكان الذي تُنتَج فيه الصور الإكلينيكية وذلك الذي تتم فيه مراجعة هذه الصور وتقديم التقارير عنها، فمن المهم أن يتيسر لكلٍّ من الموقعين فهم واضح واتفاق على المسؤوليات والسياسات الواجب اتباعها بشأن امتيازات الوصول لضمان الحفاظ على سرية بيانات المرضى.

---

[٣٩] جونسون، ن.د.، ممارسات الطب الإشعاعي ٢٠١٠: القضايا التقنية والتنظيمية، طب الأطفال الإشعاعي، ٤٠ (٢٠١٠) ١٠٥٢-١٠٥٥.

هاء-٣-٢- أمثلة للتنفيذ

٢٥٢- تختلف ممارسات التصوير الإشعاعي عن بعد بالمقارنة مع بث عدد قليل من الصور ذات الجودة المحدودة التي يتم إرسالها بصفة أولية لأغراض المناقشة أو الإيضاح. ومن الأمثلة على ذلك النوع الأخير استخدام تكنولوجيات الاتصالات غير الطبية مثل الهواتف النقالة أو البريد الإلكتروني. وتتسم معظم الهواتف المحمولة وغيرها من أشكال الحواسيب المحمولة المستخدمة حالياً بالمحدودية من حيث حجم الذاكرة والتواصل الشبكي وسرعة المعالجة، وبالتالي فمن غير المحتمل أن تُستخدَم لأغراض التفسير التشخيصي الأولي وإعداد التقارير. ومع ذلك، فإن هذا الوضع يتغير بسرعة، ويمكن توقع اكتساب هذه الأجهزة أهمية متزايدة في المستقبل القريب فيما يتعلق بإرسال واستعراض الصور الطبية (الشكل هاء-٢).

الشكل هاء-٢- عرض صورة مقطعية حاسوبية على حاسوب لوحي (المصدر: www.carestream.com).

٢٥٣- وينطوي أحد الأمثلة الأكثر شيوعاً لتنفيذ ممارسات الطب الإشعاعي عن بعد على ربط المستشفيات الطرفية في بلد أو منطقة ما بمؤسسة مركزية. ويتيح ذلك الفرصة للأطباء في المناطق الريفية، الذين قد لا تتوفر لديهم خبرة في تفسير الصور، للحصول على دعم في التفسير التشخيصي الأولي من الأطباء المتخصصين في المستشفيات الأكاديمية أو المتخصصة الكبرى. ويمكن القيام بذلك لتوفير تشخيص دقيق وبالتالي علاج أكثر فعالية محلياً أو، إذا لزم الأمر، لتحديد مدى الحاجة لنقل المرضى إلى أحد مرافق الرعاية ذات المستوى الأعلى. والمستفيدون المباشرون من هذه المشاريع المتصلة بممارسات التصوير الإشعاعي عن بعد هم العاملون ذوو الصلة في المستشفيات، والأهم من ذلك المرضى الذين تخضع صورهم لقراءة متخصصة من قِبَل اختصاصي بالتصوير الإشعاعي.[٤٠]

٢٥٤- وقد ثبت أن التصوير الإشعاعي للثدي أداة قوية للكشف المبكر عن سرطان الثدي. وبرهنت دراسات عديدة على حدوث زيادة في معدل اكتشاف سرطان الثدي مع اعتماد أسلوب القراءة المزدوجة (الذي يوفر قراءتين متخصصتين لضمان تشخيص أكثر موثوقية)، وبفضل خبرة القُرّاء التراكمية في استعراض الصور[٤١]. وفي إطار الممارسات المنظمة للطب الإشعاعي عن بعد (التصوير الإشعاعي للثدي عن بعد)، يمكن للمراكز التي تشارك في برنامج الفحص أن تستفيد بشكل كبير إذا تم إجراء القراءة الثانية المستقلة لصور الثدي بالأشعة

---

[٤٠] زينارو، ف. وآخرون، استخدام الطب الإشعاعي الرقمي لتحسين جودة الرعاية في البلدان ذات الموارد المحدودة: دراسة جدوى من أنغولا، PLoS One، ٨ (٢٠١٣).

[٤١] ليدر، ج.ك. وآخرون، نظام متعدد المواقع للتصوير الإشعاعي للثدي عن بعد بغرض الإدارة عن بعد لعملية الفحص بتصوير الثدي بالأشعة: تقييم للقضايا التقنية والتشغيلية والإكلينيكية، مجلة التصوير الرقمي، ١٩ (٢٠٠٦) ٢١٦-٢٢٥.

بواسطة خبراء اختصاصيين بالطب الإشعاعي في وحدة الثدي المركزية (الشكل هاء-٣). ويمكن أن يكتسب هؤلاء القراء، لضخامة عدد ما يقرأونه من صور، مهارات وخبرات متقدمة في قراءة الصور الإشعاعية للثدي، بما يمكِّنهم من تحسين فعالية برنامج الفحص.

الشكل هاء-٣- محطة عمل مختصة بالتصوير الرقمي للثدي (المصدر: www.healthcare.siemens.co.uk).

هاء-٤- الاستنتاجات

٢٥٥- نظراً للمزايا والإمكانيات التي يتيحها التصوير الرقمي، يتزايد الاتجاه للتحرك بعيداً عن الفحوص القائمة على الأفلام لصالح الاستخراج والتجهيز والعرض بصورة رقمية، بما من شأنه أن يزيد من كفاءة وسهولة الوصول إلى تقنيات مهمة في مجال التصوير النووي وغير النووي. ويبرز هذا التحول بشكل أوضح حالياً في العالم المتقدم، على الرغم من أن البلدان النامية أيضاً بدأت في الاستفادة من تلك التقنيات ويمكنها أن تزيد من تلك الاستفادة من خلال تبني التكنولوجيا الرقمية على نطاق أوسع لأغراض الفحوص الإشعاعية.

٢٥٦- ويمكن لممارسات الطب الإشعاعي عن بعد أن تصبح وسيلة عملية وفعالة لمعالجة التوزيع الجغرافي غير المتكافئ وحالات النقص المحلي للمتخصصين في التصوير. وربما ساعد تزايد دور التكنولوجيا على التخفيف من حدة النقص في الموظفين، لكن سيكون من الضروري الاضطلاع بأدوار جديدة في دعم البنية التحتية التقنية. والتحدي القائم بالنسبة للبلدان النامية هو العثور على منهجية مناسبة لاحتياجاتها وظروفها من أجل الانتقال بشكل فعال من تجهيز وتخزين الأفلام بالصورة التقليدية إلى الاستخراج والعرض بالشكل الرقمي.

واو- استخدام تكنولوجيا الإشعاع لمعالجة مياه الصرف الصحي والمواد البيولوجية الصلبة: حلول لحماية البيئة

واو-١- دور تكنولوجيا الإشعاع في حماية البيئة

٢٥٧- إن استمرار التوسع العمراني والتصنيع في المجتمعات على نطاق العالم هو عامل رئيسي في تلوث إمدادات المياه العذبة التي نضبت بالفعل وتوليد كميات هائلة من حمأة الصرف الصحي على الصعيد المحلي. وقد أدى ظهور ملوثات عضوية مثل المستحضرات الصيدلانية وأصباغ المنسوجات والمبيدات الحشرية وعوامل اختلال الغدد الصماء في مياه الصرف الصحي والحمأة إلى زيادة تفاقم المشكلة، فهذه المواد الكيميائية،

حتى بمستويات ضئيلة، قد تؤثر تأثيراً عميقاً على الحياة المائية والحيوانات البرية والبشر. ومن شأن معالجة دوافق المخلفات الصناعية ومياه الصرف الصحي والحمأة أن تساعد على حفظ الموارد المائية وتحسين ظروف التربة.

٢٥٨- ويضمن التقدم المستمر في تكنولوجيا معالجة مياه الصرف الصحي، إلى جانب فرض متطلبات صارمة بشكل متزايد على تصريف مياه الصرف الصحي، أن تكون دوافق مياه الصرف الصحي الأكثر معالجةً ذات جودة عالية دائماً لتصريفها بصورة مأمونة. ومع ذلك، فإن المعالجة غير كافية لإتاحة إعادة استخدام المياه أو استخدام الحمأة، وبالتالي فإن هناك حاجة إلى مزيد من المعالجة باستخدام عمليات مناسبة لتلبية الاحتياجات المطلوبة. وقد تم بنجاح نشر تقنيات إشعاعية تُستخدَم فيها تكنولوجيات أشعة غاما والحزم الإشعاعية الإلكترونية لوصف معالجة مياه الصرف الصحي الصناعي لصبغات المنسوجات وتطهير حمأة المجاري لأغراض التطبيقات الزراعية.

٢٥٩- ولم يتم بعد اعتماد تكنولوجيا الإشعاع بغرض معالجة الملوثات العضوية المختلفة على نطاق واسع لاستخدامها على نطاق كامل، إلا أنه ثبتت جدواها وكفاءتها على مختلف مستويات التشغيل، وتتمتع هذه التكنولوجيا بإمكانات ضخمة تتيح لها التعامل مع التحديات الناشئة لمعالجة مياه الصرف والحمأة. وبما أنه لا يتم عموماً خلط الدوافق والنفايات الصناعية بل مطلوب معالجتهما عند المصدر، فهذه التكنولوجيات تخدم مجموعة متنوعة من الأغراض، ويمكن تهيئتها لتتناسب مع الاحتياجات المختلفة لمعالجة النفايات.

واو-٢- القضايا الراهنة فيما يتعلق بمعالجة مياه الصرف الصحي والحمأة لإعادة استخدامهما

٢٦٠- في ظل كثافة حالات نقص المياه، زاد الاهتمام في جميع أنحاء العالم بإعادة استخدام المياه. وفي ذات الوقت مع ذلك، أصبحت احتمالات التلوث الميكروبي والكيميائي للمياه، وخاصةً من جراء الملوثات النزرة المستجدة، تشكل مصدراً متنامياً للقلق. وبالتالي فإن تطوير تكنولوجيات فعالة من حيث التكلفة وموثوق بها لاستصلاح المياه أمر حيوي للنجاح في تنفيذ مشاريع إعادة استخدام المياه.

٢٦١- ويجري حالياً اختبار تقنيات معالجة متقدمة، مثل التكنولوجيات الإشعاعية وتوليفاتها المدمجة مع عمليات تقليدية، لإنتاج مياه ذات جودة عالية يعاد استخدامها لأغراض الشرب بصورة غير مباشرة، أي مياه معاد تدويرها تعالَج بطرق خاصة قبل إخضاعها للمعالجة التقليدية للمياه بغرض استخدامها في الشرب. ومن المتوقع أن تصبح هذه التكنولوجيات هي تكنولوجيات المعالجة الغالِبة في المستقبل القريب.

٢٦٢- والاتجاه المتزايد نحو تبني معايير صارمة على نحو متزايد لتصريف مياه الصرف الصحي مفيد للبيئة، ولكن هذه المعايير أدت أيضاً إلى زيادة في توليد حمأة المجاري. ويتوفر حالياً عدد من الخيارات للتخلص من حمأة المجاري، بما في ذلك حرقها أو التخلص منها في مقالب القمامة أو استخدامها كسماد أو مغذيات للتربة، على الرغم من أن تكوين الحمأة يمكن أن يحدّ من هذه الخيارات.

٢٦٣- وفي المستقبل، من المتوقع أن يكون إنشاء محطات لمعالجة مياه الصرف الصحي استثمارات عالية القيمة لاسترداد الموارد بدلاً من تخصيص مواقع لمعالجة النفايات المحلية والتخلص منها لاحقاً. إلا أنه لكي يصبح ذلك حقيقة واقعة، من الأهمية بمكان تحديد التكنولوجيات التي يمكن من خلالها تطهير وتثبيت المخلفات الصلبة المحلية بصورة فعالة من حيث التكلفة. وفي هذا الصدد، يجري تكريس مزيد من الاهتمام لإنتاج مخلفات صلبة عالية الجودة لا تمثل تهديداً للصحة العامة أو البيئة ويمكن استخدامها بشكل مفيد.

واو-٣- الوضع الحالي لتطبيقات التكنولوجيا الإشعاعية في معالجة مياه الصرف الصحي والحمأة

واو-٣-١- معالجة مياه الصرف الصحي الناتجة عن صباغة المنسوجات بالشعاع الإلكتروني

٢٦٤- تستأثر صناعة صبغ المنسوجات وإنتاج الأصباغ بما يقرب من ٢٠٪ من حجم التلوث العالمي للمياه المستخدمة في الأغراض الصناعية. ويتم إنتاج أكثر من ٧٠٠ مليون طن من الأصباغ في جميع أنحاء العالم كل عام، علماً بأن عمليات الصباغة كثيفة للغاية في استخدام المياه، حيث تتطلب ما يقرب من ٨٠ ٠٠٠ متر مكعب من المياه لكل طن من المنسوجات الجاهزة. والمياه المتدفقة من هذه الصناعة تتطلب قدراً عالياً من الأكسجين الكيميائي، مما يدل على وجود تركيزات عالية من الملوثات العضوية وانخفاض القابلية للتحلل البيولوجي بسبب الملوحة ووجود مجموعة واسعة من المواد الكيميائية.

٢٦٥- وعملية المعالجة البيولوجية التقليدية لمعالجة مياه صرف الأصباغ، إضافةً إلى كونها تتطلب وقتاً طويلاً للمعالجة، لا يمكن من خلالها تحلل الصبغات الاصطناعية بسبب بناها الكيميائية المعقدة. وقد ثبت أن الإلكترونات ذات الطاقة العالية من معجلات شعاع الإلكترون تؤدي إلى تحلل هذه الأصباغ المعقدة على نحو فعال إلى جزيئات أبسط لتسهيل تحللها البيولوجي لاحقاً. وهذه العملية من السهل إدماجها مع عملية المعالجة البيولوجية القائمة. وقد تبين أن وجود جزيئات صلبة تصل إلى ٣٪ من الطين ليس له أي تأثيرات سلبية على تدمير المواد الكيميائية. والمحاليل التي تحتوي على مركّبات امتصاص خفيفة بشدة لا تقلل من فعالية العملية، علماً بأنه لا حاجة إلى أي مواد كيميائية إضافية لهذه العملية. ومستوى التحلل المحقق يجعل المنتجات الجانبية عرضة لعمليات معالجة بيولوجية لاحقة، ويقلل بالتالي من تكاليف المعالجة. وقد ثبت أن المعجلات التي تستخدم ما يصل إلى ٤٠٠ كيلو واط من الكهرباء تكون موثوقة وقوية البنية للغاية وتقترب من نسبة توفر تشغيلي ≥ ٩٩٪. وتعمل المعجلات بصورة آلية تماماً لأغراض التشغيل في الموقع أو التشغيل بعيداً عن الموقع، حيث يتجاوز عمرها الافتراضي ٣٠ سنة.

٢٦٦- وقد أثبت مرفق الشعاع الإلكتروني في مجمع دايغو الصناعي للصباغة بجمهورية كوريا فعالية تكنولوجيا الشعاع الإلكتروني في معالجة ما يصل إلى ١٠ ٠٠٠ متر مكعب من المياه المستعملة في صباغة المنسوجات يومياً، بجرعة تبلغ ١ كيلو غراى وبتكلفة اقتصادية قدرها ٠,٣٠ دولاراً لكل متر مكعب.[٤٢] وتقدّر تكلفة مثل هذا المعجل الذي يعمل بطاقة عالية بحوالي ٢ مليون دولار للمعجل وتركيبه، في حين تكلف توصيلات الأنابيب وغيرها من المعدات والأعمال الإنشائية ما يقرب من ١ مليون دولار. وفي الوقت الحاضر، يعدّ هذا هو المرفق الوحيد من نوعه في العالم، وتشكّل التكاليف الأولية المعلنة عائقاً أمام إنشاء مرافق إضافية. ويدفع تزايد تكاليف القوانين البيئية والاستصلاح في بعض البلدان العديد من الشركات الرائدة في مجال صباغة المنسوجات للانتقال إلى بلدان تكون فيها القوانين البيئية أقل صرامة، الأمر الذي يسلط الضوء على الحاجة إلى زيادة قدرات وفعالية تكلفة مثل هذه التكنولوجيات لتشجيع تطبيقها على نطاق أوسع.

---

[٤٢] هان بومسو وآخرون، تشغيل محطة لمعالجة مياه الصرف الصحي بشعاع الإلكترون على نطاق صناعي، الفيزياء والكيمياء الإشعاعية، ٨١ (٢٠١٢) ١٤٧٥-١٤٧٨.

الشكل واو-١ - معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام معجل شعاع إلكتروني (الصورة من: شركة EB Tech، جمهورية كوريا).

واو-٣-٢- معالجة الحمأة باستخدام إشعاع عالي الطاقة

٢٦٧- الإشعاع العالي الطاقة هو وسيلة ذات فعالية وكفاءة لإبطال مفعول البكتيريا المسبِّبة للأمراض، وتُستخدم هذه التكنولوجيا بالفعل على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم لتعقيم المعدات الطبية. واستناداً إلى مفهوم مماثل، يجري استقصاء استخدام تكنولوجيا الإشعاع لتطهير حمأة المجاري في العديد من البلدان. وقد وُجِد أن الحمأة المطهَّرة حامل فعال لبعض أنواع البكتيريا المفيدة مثل الريزوبيوم، مما يساعد على تثبيت النتروجين في التربة، وثبت أنها سماد مخصب ممتاز في تجارب أُجريت على نطاق واسع.[٤٣] ومن ثم فإن المخلفات الصلبة يمكن أن تحل محل الأسمدة الكيميائية الأقل صداقةً للبيئة.

٢٦٨- وقد أظهر التشغيل الناجح والمستمر منذ عام ١٩٩٢ للمرفق الخاص بجهاز التشعيع البحثي لاستصحاح الحمأة في فادودارا بالهند أن تشعيع حمأة المجاري، التي تتضمَّن نحو ٥٪ من المحتويات الصلبة، باستخدام شعاع غاما الكوبالت-٦٠ مع جرعة قدرها ٣ كيلو غراى يمكن أن يبطل مفعول ٩٩,٩٩٪ من البكتيريا المسبِّبة للأمراض. ومن السهل إدماج هذه التكنولوجيا مع محطات معالجة المجارير القائمة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن السماد العضوي الذي هو ناتج ثانوي يتأتَّى من تشغيل مرفق جهاز التشعيع البحثي لاستصحاح الحمأة يُستخدم بفعّالية من قِبل المزارعين وعمال البستنة الذي أثبتوا تعزُّز إنتاجيتهم. بيد أن ارتفاع تكاليف المُدخلات اللازمة لعملية المعالجة والحاجة إلى تجديد الإمداد الدوري من الكوبالت-٦٠ بكميات كبيرة جداً قد حدّ من انتشار هذه التكنولوجيا التي يُحتمل أن تكون مفيدة.

٢٦٩- وفي السنوات الأخيرة، تبيّن أن تكنولوجيا الشعاع الإلكتروني العالية الطاقة فعالة بشدة كتكنولوجيا للتعقيم، مما أدى إلى تقليص كبير لمجموعة متنوعة من مسبِّبات الأمراض البكتيرية والفيروسية المستهدفة. وتشير النتائج إلى أن الجرعات التي تراوحت بين ٨ و١٥ كيلو غراى دمرت أعداداً كبيرة من مسبِّبات الأمراض

---

[٤٣] غوتام س. وآخرون، تشعيع الحمأة المحلية بأشعة غاما لأغراض التخلص المأمون والاستخدام الزراعي، البحوث البيئية المائية، ٧٧ (٢٠٠٥) ٤٧٢-٤٧٩.

البكتيرية والفيروسية والأولية. وقد وُضِعت المواصفات الهندسية لنظام معالجة بالشعاع الإلكتروني العالي الطاقة قادر على تقديم الجرعات المطلوبة، وتمت نمذجتها والتحقق من صحتها تجريبياً. وأكدت عمليات محاكاة مونت كارلو (تقنية محوسبة متخصصة بالرياضيات تساعد على درء الخطر في التحليل الكمي واتخاذ القرار) والاختبارات التجريبية أنه يمكن من الناحية التقنية وبصورة فعالة من حيث التكلفة إيصال جرعات منتظمة الشكل من الشعاع الإلكتروني إلى تدفقات المواد الصلبة الأحيائية المتفاوتة من حيث تركيزات المواد الصلبة ونوعية المياه بمعدل يقارب ١٥٠٠ متر مكعب في اليوم.[٤٤] وبالإضافة إلى الجدوى التقنية، فإن تحليلات التقديرات الأولية للتكاليف تشير إلى أن التطهير العالي الطاقة القائم على الشعاع الإلكتروني يمكن أن يكون فعالاً للغاية من حيث التكلفة بالمقارنة مع بعض المعالجات المعاصرة مثل الاهتضام بواسطة البكتيريا الحرارية لأغراض التجفيف بالحرارة والتسميد وتثبيت الجير.

٢٧٠- وعلاوةً على ذلك، يجري تحقيق التطهير التآزري لمسبِّبات الأمراض عندما يقترن التشعيع بالشعاع الإلكتروني مع بعض المؤكسِدات الكيميائية مثل ثاني أكسيد الكلور وملح الحامض الحديدي. وقد تبيَّن مدى فعالية الجمع بين التشعيع بالشعاع الإلكتروني والمعالجة بملح الحامض الحديدي في تعقيم مسبِّبات الأمراض الميكروبية، وتدمير نشاط هرمون الاستروجين، وتثبيت المواد الصلبة الأحيائية. وتقدَّر تكلفة الجمع بين جهاز للتشعيع بالشعاع الإلكتروني مع ملح الحامض الحديدي لإنتاج مواد صلبة أحيائية عالية الجودة بحوالي ٧٠ دولاراً للطن الجاف، وهي أقل بكثير من غيرها من التكنولوجيات المعاصرة. والقدرة على تعقيم وتثبيت المواد الصلبة الأحيائية المحلية من خلال الجمع بين التشعيع بالشعاع الإلكتروني مع المؤكسدات الكيميائية تفتح الباب أمام عدد من الفرص المتاحة لإعادة استخدام المواد الصلبة الأحيائية ولاستخلاص الموارد.

واو-٤- استخدام التكنولوجيا الإشعاعية لمعالجة ملوثات المياه الناشئة

٢٧١- في مجال معالجة المياه، هناك قلق متزايد بشأن المواد الكيميائية المعروفة باسم عوامل اختلال الغدد الصماء (مواد كيميائية يمكن أن تسبب المرض عن طريق التداخل مع نظم الهرمونات)، وكذلك منتجات العناية الشخصية والمستحضرات الصيدلانية، حيث إنه لا يمكن إزالتها أو إتلافها تماماً بواسطة عمليات المعالجة التقليدية. ومن الصعب معالجة الكميات الضئيلة من هذه المواد الكيميائية، التي تشكل خطراً على الحيوانات المائية عند مستوى ng/dm3، بالأساليب القائمة. وعلاوةً على ذلك، فقد زادت تدريجياً تركيزاتها في بيئات المياه العذبة التي تميل إلى تلقّي تصريف مياه الصرف الصحي بسبب النمو السكاني وتنوع المستحضرات الصيدلانية المستخدمة حالياً في جميع أنحاء العالم.

٢٧٢- ويمكن معالجة هذه المركّبات باستخدام التقنيات الناشئة التي تنطوي على جذور حرة في عمليات الأكسدة المتقدمة. وبحسب ما يرد في التقارير، فإن طرق الإشعاع المؤيّن فعالة في تحلل الملوثات العضوية الثابتة مثل الديوكسين وثنائي الفينيل المتعدد الكلور ومسبِّبات اختلال الغدد الصماء[٤٥]. وقد تبيّن أن التشعيع بأشعة غاما يثبّط مسببات اختلال الغدد الصماء ونواتج تشعيعها في مياه الصرف الصحي بجرعة قدرها ٢٠٠ غراي. وتبلغ التكلفة التقديرية لمحطة معالجة يُستخدَم فيها جهاز تشعيع بالشعاع الإلكتروني لهذا الغرض ٠,١٧ دولار للمتر المكعب. كما أظهرت التجارب التي أُجرِيت على المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية أن بعض العقاقير

---

[٤٤] بيلاي س.، تكساس أ و م بحوث الحياة الزراعية، التواصل الشخصي (٢٠١٣).

[٤٥] كيمورا أ. وآخرون، تحلل المستحضرات الصيدلانية الثابتة في مياه الصرف الصحي عن طريق الإشعاعات المؤينة، الفيزياء والكيمياء الإشعاعية ٨١ (٢٠١٢) ١٥٠٨-١٥١٢ والمراجع الواردة في هذه المطبوعة.

مثل ديكلوفيناك التي ثبت أنها ضارة بالأنواع التي تعيش في المياه العذبة يمكن إزالتها بكفاءة من المياه باستخدام تكنولوجيا التشعيع[٤٦].

٢٧٣- وفي عام ٢٠١٠، قام المعهد الكوري لبحوث الطاقة الذرية بتطوير معجل إشعاع إلكتروني نقّال استُخدِم لإجراء دراسة ميدانية عن معالجة العديد من هذه المواد الكيميائية التي تحويها دوافق المجارير. وقد تحللت المضادات الحيوية ومسببات اختلال الغدد الصماء الرئيسية التي تبلغ تركيزاتها الأولية ٠,٥ مليغرام في اللتر تماماً بجرعة تشعيع أقل من ١,٥ كيلو غراى، وتم أيضاً تعقيم البكتيريا القولونية والكائنات الدقيقة الأخرى بجرعة التشعيع ذاتها. وأظهرت الدراسة أنه تم تقليص السمية الناتجة عن المضادات الحيوية في الطحالب بتعريضها للتشعيع. وقد تم تصميم معجل الشعاع الإلكتروني المحمول ليكون بمثابة جهاز إيضاحي يمكن بسهولة أخذه إلى مجموعة متنوعة من المنشآت الصناعية للتدليل على إمكانات تلك المعجلات في المعالجة الفعالة من حيث التكلفة للأنواع المختلفة من مياه الصرف الصحي، وذلك بهدف تشجيع اعتماد هذه التكنولوجيا بدرجة أكبر. وأدت النتائج المتحصّل عليها من هذه الدراسة دوراً مهماً في استحقاق تصديق على تكنولوجيا ممتازة جديدة من وزارة البيئة الكورية بشأن المعالجة المتقدمة لدوافق المجارير عن طريق الإشعاع.[٤٧]

الشكل واو-٢ - منظر لمعجل شعاع إلكتروني محمول تم تركيبه في محطة معالجة مياه المجارير. (الصورة من: المعهد الكوري لبحوث الطاقة الذرية)

واو-٥- الاحتياجات والتحديات البحثية في المستقبل

٢٧٤- في حين أن العمليات المتصلة بتطبيقات تكنولوجيات الإشعاع لأغراض معالجة مياه الصرف الصحي والحمأة والملوثات الأخرى مفهومة جيداً وراسخة إلى حد ما، فإن التحديات الناشئة التي يُحتمَل أن تؤثر على

---

[٤٦] هوملوك ر. وآخرون، إزالة عقار ديكلوفيناك من المياه باستخدام تكنولوجيا التشعيع، المجال الكيميائي، ٨٥ (٢٠١١) ٦٠٣-٨.

[٤٧] لي م.ج. وآخرون، التحلل المستحث إشعاعياً للملوثات العضوية الناشئة في دوافق المجارير وثنائي الفينيل المتعدد الكلور في مختلف المصفوفات، ورقة بحث قُدِّمت في الاجتماع التقني الوكالة بشأن المعالجة الإشعاعية للملوثات ومياه الصرف الصحي والحمأة، ٤-٨ آذار/مارس ٢٠١٣، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا.

الصناعة في السنوات المقبلة، والفوائد المحتملة للاستفادة من التطبيقات الجديدة في التصدي لهذه التحديات، تشير إلى ضرورة الاضطلاع بالمزيد من العمل في سبيل تطوير هذه التطبيقات. وهذه التحديات الناشئة تمثل فرصاً مستقبلية تدعم تنامي تطبيقات تكنولوجيا الإشعاع لإصلاح البيئة في مجال الأنشطة الصناعية.

٢٧٥- ويتمثل أحد هذه التحديات في وجود مواد كيميائية ناشئة تثير القلق في مياه الصرف الصحي والحمأة، مما يتطلب تحليلاً شاملاً وثابتاً في محطات معالجة مياه الصرف الصحي المحلية. وهناك حاجة إلى هذه القدرات من أجل تقدير ما إذا كانت توجد مركبات عضوية سامة في مياه الصرف الصحي والحمأة بتركيزات تشكل خطراً على صحة الإنسان والحيوان والبيئة، وبعد ذلك تقييم الوضع وضمان فعالية التشعيع في معالجة مياه الصرف الصحي.

٢٧٦- ويمثل تشعيع دوافق القطاع الثالث لضمان أقصى قدر من جودة تلك الدوافق قبل تصريفها في البيئة تحدياً آخر، وهو ما يتطلب بيانات تجريبية عن مستويات التطهير عقب معالجة كميات كبيرة من مياه الصرف الصحي باستخدام معجلات الشعاع الإلكتروني. كما أن توفر معجلات شعاع إلكتروني محمولة يتيح فرصاً جديدة من أجل توفير مياه مطهرة نظيفة لغير أغراض الشرب في حالة وقوع كوارث طبيعية أو حالات طوارئ مماثلة يمكن أن تؤثر على خدمات المياه، ولكن هناك حاجة لمزيد من الدراسات فيما يخص مثل هذه التطبيقات. ويمكن أن يكون ذلك ذا أهمية خاصة في سياق تزايد تواتر وشدة الكوارث الطبيعية المرتبطة بتغير المناخ.

واو-٦- الاستنتاجات

٢٧٧- يمكن للتقنيات الإشعاعية أن تعالج مجموعة متنوعة من الاحتياجات والتحديات المتعلقة بالبيئة والصحة العامة والموارد عند استخدامها في معالجة مياه الصرف الصحي وحمأة المجارير. وقد أثبتت هذه التقنيات بنجاح فعاليتها في معالجة مياه الصرف الصحي الناتجة عن صباغة المنسوجات الصناعية، وفي تنظيف حمأة المجارير من أجل توفير موارد إضافية للتطبيقات الزراعية. وقد أظهرت الدراسات الحديثة إمكانية البدء إشعاعياً في إحداث تحلل للمركبات العضوية الناشئة التي تثير القلق من أجل تحويلها إلى مواد أقل ضرراً أو تقليل تركيزاتها إلى حد يندرج ضمن النطاقات المباحة. وقد ثبتت بشكل كافٍ جدوى وكفاءة تكنولوجيا الإشعاع في معالجة مجموعة متنوعة من الملوثات العضوية عند مستويات مختلفة من التشغيل.

٢٧٨- وقد أتاح تطوير مرافق شعاع إلكتروني نقّالة للتكنولوجيين المختصين بالأشعة وصف مثل هذه العمليات للمستخدمين النهائيين في ظل ظروف العمل الفعلية، كما يمكن استخدام المرافق النقّالة في التصدي للكوارث الطبيعية وحالات الطوارئ الأخرى. وعلاوةً على ذلك، فإنه يمكن لبعض التطبيقات مثل تلك المذكورة أعلاه أن تدعم إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة للري في المناطق الحضرية وللأغراض الصناعية، وهو ما من شأنه أن يساعد على التصدي لزيادة ندرة المياه في جميع أنحاء العالم بسبب الطلب البشري المتزايد وتغير المناخ. ومع مزيد من البحث والتطوير، يمكن لتكنولوجيات إشعاعية كهذه أن ترسّخ مكانتها باعتبارها ذات قيمة عظيمة للبشرية.

زاي- معالجة تكاثر الطحالب الضارة في بيئة بحرية متغيرة

زاي-١- استخدام التكنولوجيات النووية لتتبّع السموم الأحيائية البحرية في المأكولات البحرية والبيئة

زاي-١-١- تأثير السموم الناتجة عن تكاثر الطحالب الضارة على تجارة المأكولات البحرية

٢٧٩- إن منتجات الحيوانات المائية ضرورية للبلدان النامية كمصدر للإمداد بالبروتين الحيواني وكسلعة للتجارة. ويتزايد الطلب العالمي على المأكولات البحرية، مما يؤدي إلى ازدهار الواردات والإنتاج المحلي على حد سواء. ونتيجة ركود أنواع الأسماك في المصايد الطبيعية، تساهم تربية الأحياء المائية الآن بأكثر من ٥٠٪ من إجمالي إمدادات الأغذية البحرية في جميع أنحاء العالم. والمأكولات البحرية هي السلعة الغذائية الأعلى تداولاً على الصعيد الدولي، حيث تتجاوز صادرات المأكولات البحرية من البلدان النامية القيمة الإجمالية لصادرات البن والكاكاو والشاي والتبغ واللحوم والأرز مجتمعة. وبالإضافة إلى ذلك، تمثل البلدان النامية ما يقرب من ٥٠٪ من الصادرات العالمية للمأكولات البحرية [٤٨]. وبالإضافة إلى ذلك، تمثل البلدان النامية ما يقرب من ٥٠٪ من الصادرات العالمية للمأكولات البحرية.[٤٩]

٢٨٠- وقد أصبحت قدرة المصدِّرين على الالتزام بالمتطلبات الرقابية للبلدان المستورِدة عائقاً رئيسياً أمام الوصول إلى الأسواق في قطاع مصايد الأسماك.[٥٠] وتخضع واردات بعض المأكولات البحرية مثل المحار والبطلينوس وسرطان البحر وبلح البحر لعمليات وضع العلامات والتتبُّع واستصدار شهادة رسمية لضمان الجودة والسلامة. وينصبّ تركيز السلطات الرقابية المحلية بصفة خاصة على وضع وإنفاذ حدود ومعايير التنظيم الرقابي للسموم الأحيائية البحرية.

٢٨١- ويتم إنتاج السموم الأحيائية البحرية بواسطة بعض الطحالب البحرية المجهرية التي يمكنها، في ظروف معينة، أن تتكاثر وتصل إلى درجات كثافة عالية، فتشكّل تكاثراً طحلبياً ضاراً، يشار إليه أيضاً باسم "المدّ الأحمر". ومن خلال التغذية، قد تتراكم هذه السموم الأحيائية في الأسماك والمحار وتصبح خطرة للاستهلاك البشري. وبالتالي يمكن أن تكون المأكولات البحرية مميتة حتى لو كانت المياه رائقة بوضوح وخالية على ما يبدو من تكاثر الطحالب الضارة. والمأكولات البحرية السامة وغير السامة لها ذات الطعم والشكل، ولا يتم القضاء على السموم الناتجة عن تكاثر الطحالب الضارة عن طريق الطهي أو تجميد.

٢٨٢- والسموم الناتجة عن تكاثر الطحالب الضارة مسؤولة عن الخسائر الاقتصادية الهائلة لصناعة المحار من خلال فرض إغلاق مرافق الحصاد عندما تتجاوز السموم الموجودة في المحار حد المستويات الرقابية. وفي حالة عدم وضع برنامج رقابي، فإن انعدام وجود ضوابط لمراقبة السموم في المأكولات البحرية يمثل خطراً على المستهلكين وعائقاً أمام الصادرات. كما يمكن أن تتسبب حالات تفشي السميات في إحداث قلق اجتماعي (بما في ذلك التأثيرات لأوسع نطاقاً للمستهلكين الذين يجهلون حقيقة الأمر فيتجنبون كل المأكولات البحرية)، مما يؤثر سلباً على صناعة السياحة ويشجع واردات الأسماك من المناطق المراقَبة على حساب مصائد الأسماك المحلية.

---

[٤٨] الفاو. توقعات الأغذية: التقرير نصف السنوي عن الأسواق العالمية للأغذية، منظمة الأغذية والزراعة، روما (٢٠١٣).

[٤٩] تاكون أ.غ.ج.، ميتيان م.، المسائل المتعلقة بالأسماك: أهمية الأطعمة المائية في التغذية البشرية والإمدادات الغذائية العالمية، مراجعات في علم مصايد الأسماك، ٢١ (٢٠١٣) ٢٢-٣٨.

[٥٠] الفاو. توقعات الأغذية: التقرير نصف السنوي عن الأسواق العالمية للأغذية، منظمة الأغذية والزراعة، روما (٢٠١٣).

ويمكن استخدام التقنيات النووية في تحديد وقياس حجم السموم الناجمة عن تكاثر الطحالب الضارة في المأكولات البحرية، ودراسة تأثير التغيرات البيئية والمناخية على هيمنة أنواع تكاثر الطحالب الضارة، وأنماط توزيعها، والتواتر المحتمل لحالات التفشي في المستقبل.

٢٨٣- واستجابةً للطلبات المقدَّمة من الدول الأعضاء من أجل التصدي لتأثير حالات التكاثر الطحلبي الضار، تعكف الوكالة من خلال برنامج التعاون التقني على تطوير وتعزيز الطاقات والقدرات الوطنية والإقليمية في مجال الكشف عن السموم الطحلبية في المأكولات البحرية، ومعالجة تكاثر الطحالب الضارة، وتعزيز استدامة إمدادات المأكولات البحرية المأمونة.

الشكل زاي-١ - قد تتراكم السموم الناتجة عن تكاثر الطحالب الضارة في بعض الكائنات البحرية الصالحة للأكل مثل بلح البحر أو الأسماك. منتجات متداولة من المأكولات البحرية في تشيلي (يساراً)، وسوق للأسماك في بوليفيا (يميناً).

زاي-١-٢- طريقة قائمة على الأساليب النووية تم التحقق من صحتها حديثاً لتحليل سموم الطحالب

٢٨٤- إن اختبارات ربط أجهزة الاستقبال القائمة على أساس نووي هي طريقة محددة وحساسة طُوِّرَت لتحليل السموم الطحلبية المرتبطة بالتسمم الشَلَلي المحاري، والتسمم بالإسهال المحاري، والتسمم العصبي المحاري، والتسمم بسمكة سيغاتيرا.[٥١] وتستند اختبارات ربط أجهزة الاستقبال إلى قدرة السم الذي يوجد في عينة مستخلصة على التنافس مع سم أحيائي موسوم إشعاعياً بالتريتيوم-٣ (مثل ساكسيتوكسين التريتيوم-٣ أو بريفيتوكسين التريتيوم-٣) للارتباط بالبروتينات الصيدلانية المستهدفة فيها (أي المستقبِلات). ويمكن إجراء تحديد كمي للربط باستخدام عداد قياس الوميض بالسوائل، الذي يقيس إشعاع بيتا المنبعث من النظائر المشعة، إما في قنينات تقليدية، أو باستخدام قارئ للصفائح الميكروسكوبية.

٢٨٥- واختبارات ربط أجهزة الاستقبال هي أحد التطبيقات الأساسية للتكنولوجيات النووية التي يمكنها التحايل على المشاكل المتصلة بالطريقة التقليدية المستخدمة على نطاق واسع للكشف عن السموم، وهي الاختبار

---

[٥١] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، اختبارات ربط الجينات المشعة-أجهزة الاستقبال: دليل منهجي، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (قيد الإعداد)؛ بوتين ديخراوي م.ي. تييديكين ج.، بيرساد ر وآخرون، استخدام اثنتين من طرق الكشف للتمييز بين السيكواتوكسين والبريفيتوكسين: التطبيق على سمك البَرَّكُودة الضخم من فلوريدا كيز، Toxicon، ٤٦ (٢٠٠٥) ٢٦١-٧٠.

الأحيائي للفئران. وتوفر الاختبارات المذكورة تقديراً لسمية العينة ككل، وهي محددة بدرجة عالية، وتتسم بحد اكتشاف منخفض للغاية يمكن من خلاله لهذه التقنية تزويد السلطات الرقابية والمنتجين بمعلومات مهمة للإنذار المبكر فيما يتعلق بتكاثر الطحالب الضارة.

٢٨٦- والخرج العالي لبنية الصفيحة الميكروسكوبية (الشكل زاي-٢) يقلل من استخدام الكواشف ومن إنتاج النفايات المشعة. كما أن المواد المشعة المستخدمة فيما يخص هذه الطريقة هي بكميات معفاة (على سبيل المثال التوكسين الموسوم إشعاعياً بالتريتيوم، بما يقرب من ٥-٣٧ كيلو بكريل لكل صفيحة)، وتُعتبَر مأمونة بدرجة كافية لأغراض النقل وبرامج الحماية من الإشعاعات المختبرية والتخلص من النفايات. ومن السهل اتِّباع التعليمات المتعلقة باستخدام اختبارات ربط أجهزة الاستقبال، وتتناول وثيقة الوكالة التقنية IAEA-TECDOC-1729 الإجراءات ذات الصلة بالتفصيل.[٥٢] وقد صدرت تلك الوثيقة بالتعاون مع كلٍّ من الإدارة الوطنية لدراسة المحيطات والغلاف الجوي في الولايات المتحدة واللجنة الأوقيانوغرافية الحكومية الدولية التابعة لليونسكو كتكملة للعدد ٥٩ من سلسلة الكتيبات والأدلة الصادرة عن اللجنة بشأن تكاثر الطحالب الضارة.[٥٣]

٢٨٧- وبدعم من الوكالة، أحيلت هذه الطريقة من قِبَل الإدارة الوطنية لدراسة المحيطات والغلاف الجوي إلى رابطة الهيئات التحليلية الدولية التي تضع معايير عالمية للتحليل الكيميائي. واختبارات ربط أجهزة الاستقبال معترَف بها الآن باعتبارها إحدى الطرق الرسمية الإجرائية الأولى لقياس التسمم الشَلَلي المحاري في المحار.[٥٤] وقد شاركت تسعة مختبرات من ٦ دول أعضاء (أستراليا، وشيلي، وإيطاليا، ونيوزيلندا، والفلبين، وتايلاند، والولايات المتحدة الأمريكية)، بما في ذلك معهد البحوث النووية الفلبيني وهو أحد المراكز المتعاونة مع الوكالة، في تدريبات المقارنة بين المختبرات التي أدت إلى هذا الاعتراف. وتماشياً مع هذا الإنجاز، تُبذَل جهود من قِبَل الوكالة والدول الأعضاء فيها لإعداد تدريبات مماثلة بين المختبرات فيما يتعلق بسموم أخرى، مثل تلك المسؤولة عن التسمم بالإسهال المحاري والتسمم العصبي المحاري والتسمم بسمكة سيغاتيرا، يمكن الكشف عنها بفعالية وكفاءة باستخدام اختبارات ربط أجهزة الاستقبال.

٢٨٨- ويجري اتخاذ المزيد من الإجراءات على الصعيدين الوطني والدولي لتعزيز تنفيذ اختبارات ربط أجهزة الاستقبال من قِبَل الهيئات الرقابية. وعلى سبيل المثال، أحيلت الاختبارات المذكورة إلى اللجنة المعنية بمراجعة الطرق المختبرية المنبثقة عن المؤتمر المشترك بين الدول بشأن المرافق الصحية المتعلقة بالمحاريات في الولايات المتحدة، والتي تعمل على تعزيز تلك المرافق من خلال التعاون بين الأجهزة الرقابية الحكومية والاتحادية، وصناعة المحاريات، والأوساط الأكاديمية. وهي حالياً قيد النظر باعتبارها طريقة للاستخدام المحدود معتمدة من قِبَل البرنامج الوطني للخدمات الصحية المتعلقة بالمحاريات في الولايات المتحدة. وبالإضافة إلى ذلك، بناءً على التوصية الصادرة من اللجنة الاستشارية المعنية بتكاثر الطحالب الضارة التابعة للوكالة بشأن

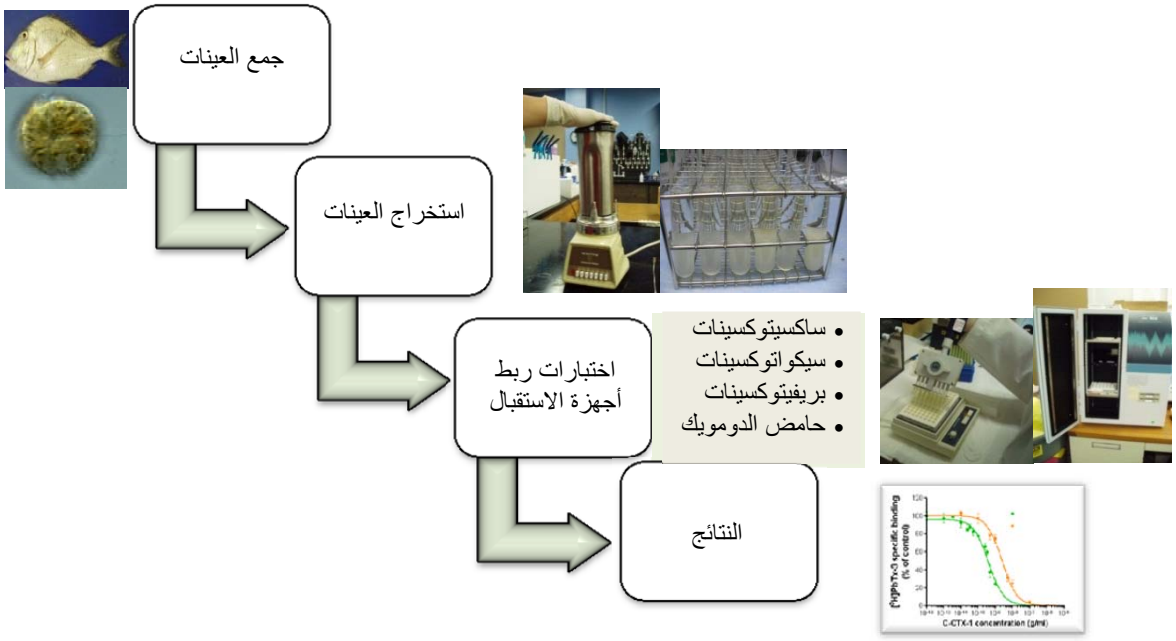
---

[٥٢] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، اختبارات ربط الجينات المشعة-أجهزة الاستقبال: دليل منهجي، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (قيد الإعداد).

[٥٣] ريغويرا ب، ألونسو ر، موريرا أ، منديز س. Guía para el diseño y puesta en marcha de un plan de seguimiento de microalgas productoras de toxinas، اللجنة الأوقيانوغرافية الحكومية الدولية (٢٠١١).

[٥٤] فان دولاه ف.م.، فاير س.أ.، ليغفيلد ت.أ.، ميكولسكي ك.م.، دوسيت غ.ج.، تحديد السموم المسبِّبة للشلل المحاري في المحار عن طريق اختبارات ربط أجهزة الاستقبال: دراسة تعاونية، مجلة رابطة الهيئات التحليلية الدولية، ٩٥ (٢٠١٢) ٧٩٥-٨١٢.

مشروع التعاون التقني الأقاليمي INT7017، يجري النظر في إجراء اختبار للكفاءة عن طريق المختبر المرجعي للسموم الأحيائية البحرية التابع للاتحاد الأوروبي وفقاً لأنظمة الاتحاد.



الشكل زاي-٢ - يتم إخضاع عينات المأكولات البحرية لإجراء استخلاص كيميائي ويُختَبر مستوى السموم فيها باستخدام اختبارات القياس بالربط الإشعاعي (صيغة معدلة مأخوذة من ريغويرا وآخرين، ٢٠١٣).[٥٥]

زاي-٢- استخدام التكنولوجيات النووية لدراسة تكاثر الطحالب الضارة من حيث علاقته بالتغيرات البيئية والمناخية في الماضي والحاضر

٢٨٩- تتأثر عوامل النمو والسمية والتوزيعات الجغرافية لأنواع تكاثر الطحالب الضارة بالتغيرات المناخية والبيئية على الصعيدين المحلي والعالمي. والإغناء الزائد بالمغذيات، المعروف أيضاً باسم التتريف، فيما يتعلق بالمياه الساحلية والداخلية هو نتيجة مباشرة لإنتاج الغذاء والطاقة، وما يصاحب ذلك من إنتاج النفايات ومياه المجارير، في ظل العدد المتنامي من السكان. وترسب النيتروجين في الغلاف الجوي (على شكل أكسيد النيتروجين في الأمطار الحمضية) هو أيضاً أحد مصادر الإغناء الزائد بالمغذيات.

٢٩٠- وغالباً ما يؤدي فيض تحميل المغذيات العضوية و/أو تغيير نسب المغذيات في النظم الإيكولوجية البحرية إلى زيادة الكتلة الحيوية للطحالب في المسطحات المائية، ويرتبط ذلك بالعديد من حالات تكاثر البكتيريا

---

[٥٥] ريغويرا ب.، بواسون ف.، داريوس هـ.ت.، ديشاوي بوتين م.ي. "تكاثر الطحالب الدقيقة السامة: ما الذي يمكن أن توفره التقنيات النووية لمعالجتها "، استخدام النظائر في مجال الهيدرولوجيا، النظم البيئية البحرية ودراسات تغير المناخ: وقائع الندوة الدولية التي عُقِدت في موناكو، ٢٧ آذار/مارس- ١ نيسان/أبريل ٢٠١١، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١١) ٤٨٣-٩١.

الزرقاء والسوطيات الدوامية.[٥٦] ويُعتبَر الإتخام بالمغذيات الآن واحدة من أكبر مشاكل التلوث العالمي.[٥٧] وفي هذا السياق، يمكن استخدام النويدات المشعة والنظائر المستقرة لزيادة فهم دورة الكربون والنيتروجين، وبشكل أعم فهم تأثير الأنشطة البشرية المنشأ في الأماكن التي تحدث فيها حالات تكاثر الطحالب الضارة.

٢٩١- وبعض السوطيات الدوامية الأكثر ضرراً المنتجة للسموم (مثل *الجيمنوديniوم* و*البايرودينيوم*) يمكن أن تنتج حويصلات تصبح مدفونة في الرواسب البحرية؛ في طور سكون قد يتحجر. ويمكن استخدام التقنيات النووية لاستخراج معلومات قيِّمة من نُوِيّ الرواسب التي تحتوي على مثل هذه الحفريات للكشف عن تأثير التغيرات البيئية والمناخية على هيمنة وتوزّع أنواع تكاثر الطحالب الضارة. وتشمل هذه التقنيات تطبيق معدلات الترسيب المشتقة من الرصاص-٢١٠/البولونيوم-٢١٠ وتأريخها. ومن الممكن أيضاً إعادة تشكيل الظروف المناخية القديمة، وفي هذه الحالة تُستخدَم نسب النظائر المستقرة كقيم تقريبية، وهو ما يسمح بفهم أفضل للظروف البيئية التي كانت سائدة عندما تم إنتاج الحويصلات.

٢٩٢- وتشمل أدوات النظائر المستقرة، على سبيل المثال، تحديد نسب الكربون-١٢/الكربون-١٣ أو الأكسجين-١٦/الأكسجين-١٨ أو النيتروجين-١٤/النيتروجين-١٥. وكثيراً ما تُستخدَم النسبة الأخيرة باعتبارها مسجِّلاً للتغيرات في الإنتاجية، ولمستويات المغذيات في عمود الماء وأصل مركّبات النيتروجين. وتسهم العلاقة بين هذه العوامل وحدوث ووفرة الحويصلات داخل الرواسب في فهم دور المعالم غير الحيوية في حدوث حالات التكاثر الطحلبي الضار.

٢٩٣- وهذه الأنماط من مجموعات البيانات ليست متاحة بسهولة ولكنها ضرورية لتحديد ما إذا كان قد تم استحداث أحد أنواع التكاثر الطحلبي الضار مؤخراً في منطقة جديدة، وما إذا كانت حالات التكاثر الطحلبي الضار لنوع معين تتزايد من حيث وتيرتها وشدتها وامتدادها الجغرافي، أم أنها تجتاز مجرد تقلبات عِقديّة عادية. وهذه المعلومات مهمة من أجل فهم أي تغيرات متصورة في أحداث التكاثر الطحلبي الضار، واستخدام الأدوات التحليلية الملائمة للكشف عن السموم بفعالية وكفاءة في مرحلة مبكرة، وتكييف الاستراتيجيات الخاصة بإدارة خدمات النظم الإيكولوجية وسلامة الأغذية البحرية.

٢٩٤- وعلى مدى العقد الماضي، ترتّب على تغير المناخ والإتخام بالمغذيات أيضاً ارتفاع سمية التكاثر الطحلبي الضار في موائل المياه العذبة، بما في ذلك البحيرات ومصبات الأنهار. وتنشأ الطحالب بشكل طبيعي في المياه العذبة حيث يمكنها، في ظل ظروف مواتية، أن تتكاثر بسرعة تعادل نظائرها البحرية. ومن بين أنواع الطحالب التي تنمو في المياه العذبة ويمكن العثور عليها في البحيرات أو مصبات الأنهار، تنتج البكتيريا الزرقاء سموماً قوية تهدد الكائنات المائية وصحة النظام الإيكولوجي وسلامة مياه الشرب الخاصة بالإنسان والمواشي (الشكل دال-٣). ومن المعروف أن هذه السموم تسبّبت في القضاء على مئات من رؤوس الماشية في وقت ما. ويلاحَظ وجود أجناس من البكتيريا الزرقاء التي تنتج الساكسيتوكسين في العديد من البحيرات بجميع أنحاء العالم، وقد تم اكتشاف هذا السم بمستويات منخفضة في المياه المتدفقة داخل محطات معالجة المياه وطوال

---

[٥٦] أندرسون د.م.، غليبيرت ب.م.، بيركهولدر ج.م.، تكاثر الطحالب الضارة والإتخام بالمغذيات: مصادر المغذيات وتكوينها وعواقبها، المَصَبّات والسواحل **٢٥** (٢٠٠٢) ٧٠٤-٢٦.

[٥٧] هوارث ر.و.، راماكريشنا ك.، تشوي أ. وآخرون، "معالجة المغذيات، وتقييم الاستجابات"، النظم الإيكولوجية ورفاهية الإنسان، آيلاند برس، واشنطن العاصمة (٢٠٠٥) ٢٩٥-٣١١.

مراحل عمليات معالجة المياه في نيوزيلندا[٥٨]. وكما هو الحال في السموم الناتجة عن تكاثر الطحالب الضارة البحرية، تبدو اختبارات ربط أجهزة الاستقبال كأداة واعدة يمكن تكييفها بسهولة لرصد سموم التكاثر الطحلبي الضار في المياه العذبة. ويعدّ هذا أحد المجالات المحتملة في المستقبل لتطبيق اختبارات ربط أجهزة الاستقبال.

الشكل دال-٣- حيوانات برية ومائية أصيبت بتسمم جراء حالات التكاثر الطحلبي الضار في المياه العذبة. (الصور من: مؤسسة وودز هول لعلوم المحيطات، بالولايات المتحدة الأمريكية)

زاي-٣- الاستنتاجات

٢٩٥- من المتوقع أن تزداد مستقبلاً شدة تداعيات التكاثر الطحلبي الضار على النظم الإيكولوجية البحرية وما توفره من مصادر حيوية للغذاء. وسوف تصبح هذه التداعيات محسوسة بالأخص في العالم النامي، كما ستشمل عدداً من الدول الجُزُرية الصغيرة النامية التي تعتمد بشدة على المأكولات البحرية كمصدر أساسي للبروتين. وتشكل بعض التقنيات النووية مثل اختبارات ربط أجهزة الاستقبال أدوات مؤكدة لرصد السموم الطحلبية في المأكولات البحرية والبيئة بكفاءة، ولتحسين المعرفة بشأن تأثير التقلبات المناخية على حالات التكاثر الطحلبي الضار والنظام البيئي البحري.

٢٩٦- ومن الضروري أن يتم وضع نُهُج إقليمية وأقاليمية من أجل معالجة الطابع العابر للحدود فيما يخص هذا التحدي البيئي الرئيسي الذي يؤثر على البيئة والصحة العامة والرفاهية الاجتماعية والاقتصادية، فضلاً عن تعزيز التعاون المتعدد الجنسيات على النحو المطلوب لتحسين كفاءة إدارة حالات التكاثر الطحلبي الضار في سياق التغيرات المناخية والبيئية العالمية. ويجري العمل في الوكالة الدولية للطاقة الذرية، جنباً إلى جنب مع كلٍّ من اللجنة الأوقيانوغرافية الحكومية الدولية وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة في إطار الشراكة العالمية لإدارة المغذيات المنبثقة عن برنامج البيئة العالمية وعلوم المحيطات بشأن حالات التكاثر الطحلبي الضار الذي وضعته اللجنة المذكورة، والفريق الحكومي الدولي المعني بحالات التكاثر الطحلبي الضار والتابع للجنة، على تطوير نظام للإنذار المبكر وتحسين التنبؤات والتقييمات المتعلقة بالتداعيات البيئية والعالمية على حالات التكاثر الطحلبي الضار. وهذه التدابير كلها ضرورية لضمان الإدارة المستدامة لخدمات النظم الإيكولوجية البحرية وسلامة الأغذية البحرية.

---

[٥٨] كوزمينوف أ.، روك ج.، وود س.أ.، نهج نيوزيلاندا لإدارة المخاطر الناجمة عن البكتيريا الزرقاء السامة في مياه الشرب، مجلة الصحة العامة الأسترالية والنيوزيلندية، ٣١ (٢٠٠٧) ٢٧٥-٨١.

٢٩٧- واستجابةً للاهتمام المتزايد الذي أبدته الدول الأعضاء في تخفيف وإدارة الأحداث المتعلقة بتكاثر الطحالب الضارة والآثار الناتجة عنها، قامت الوكالة بتوسيع وتعجيل أنشطتها الرامية لمعالجة تداعيات حالات التكاثر الطحلبي الضار على البيئة وعلى سلامة الأغذية البحرية. وقد تم نقل التكنولوجيا والخبرة المتصلة باختبارات ربط أجهزة الاستقبال إلى العديد من الدول الأعضاء من مناطق أمريكا اللاتينية وآسيا والمحيط الهادئ وأفريقيا، وسيتم تعزيز هذه الجهود بشكل أكبر في السنوات القادمة.