IAEA
تسخير الذرة من أجل السلام

المؤتمـــر العـــام

GC(54)/INF/3
١٦ آب/أغسطس ٢٠١٠

توزيع عام
عربي
الأصل: انكليزي

الدورة العادية الرابعة والخمسون
البند ١٦ من جدول الأعمال المؤقت
(الوثيقة GC(54)/1)

استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠١٠

تقرير من المدير العام

موجز

- تلبية لطلبات الدول الأعضاء، تصدر الأمانة كل عام استعراضاً شاملاً للتكنولوجيا النووية. ويرد مرفقاً بهذه الوثيقة التقرير الخاص بالعام الجاري، والذي يسلّط الضوء على التطورات البارزة التي شهدها عام ٢٠٠٩.

- *ويتناول استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠١٠ المجالات* التالية: تطبيقات القوى، وتقنيات الانشطار والاندماج المتقدمة، والبيانات الذرية والنووية، وتطبيقات المعجلات ومفاعلات البحوث، والتقنيات النووية المستخدمة في ميدان الأغذية والزراعة، والصحة البشرية، والبيئة، والموارد المائية، وإنتاج النظائر المشعة والتكنولوجيا الإشعاعية. وهناك وثائق إضافية مرتبطة بوثيقة *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠١٠* متاحة باللغة الإنجليزية على الموقع الإلكتروني للوكالة [١]، وهي تتناول التطورات في مجال الطب النووي لمكافحة السرطان، والتقنيات النووية للتصدي للأمراض الحيوانية العابرة للحدود، والتقنيات النووية لرصد التلوّث البحري، وإخراج المرافق النووية من الخدمة، والموارد البشرية اللازمة لتوسّع القوى النووية، والبنية الأساسية اللازمة لبرامج القوى النووية الجديدة، وإنتاج وتوريد الموليبدنوم-٩٩.

- ويمكن الاطلاع أيضاً على معلومات عن أنشطة الوكالة المتعلقة بالعلوم والتكنولوجيا النووية في التقرير السنوي لعام ٢٠٠٩ (الوثيقة GC(54)/4)، خاصة في القسم الذي يتناول "التكنولوجيا"، وفي تقرير التعاون التقني لعام ٢٠٠٩ (الوثيقة GC(54)/INF/4)، الصادرين عن الوكالة.

- وقد تم تعديل الوثيقة بحيث تراعى، قدر المستطاع، تعليقات معينة أدلى بها مجلس المحافظين وتعليقات أخرى وردت من الدول الأعضاء.

---

[١] http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC54/Agenda/index.html

المحتويات

موجز جامع ١
ألف- تطبيقات القوى ٣
ألف-١- القوى النووية اليوم ٣
ألف-٢- النمو المتوقّع للقوى النووية ٦
ألف-٣- دورة الوقود ٧
ألف-٣- ١- موارد اليورانيوم وإنتاجه ٧
ألف-٣-٢- التحويل والإثراء وصنع الوقود ٩
ألف-٣-٣- المرحلة الختامية من دورة الوقود ١١
ألف-٤- العوامل الإضافية المؤثّرة في نمو القوى النووية ١١
ألف-٤-١- الجوانب الاقتصادية ١١
ألف-٤-٢- الأمان ١٣
ألف-٤-٣- تنمية الموارد البشرية ١٥
باء- الانشطار والاندماج المتقدّمان ١٧
باء-١- الانشطار المتقدم ١٧
باء-١-١- المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (إنبرو) والمحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات ١٧
باء-١-٢- الإطار الدولي للتعاون في مجال الطاقة النووية ١٨
باء-١-٣- مزيد من التطوير في مجال الانشطار المتقدّم ١٩
باء-٢- الاندماج ١٩
جيم- البيانات الذرّية والنووية ٢٠
دال- التطبيقات الخاصة بالمعجلات ومفاعلات البحوث ٢٠
دال-١- المُعجّلات ٢٠
دال-٢- مفاعلات البحوث ٢١
هاء- التكنولوجيات النووية في مجال الأغذية والزراعة ٢٣
هاء-١- تحسين إنتاجية الماشية والصحة البيطرية ٢٣
هاء-٢- مكافحة الآفات الحشرية ٢٤
هاء-٣- جودة الأغذية وأمانها ٢٦
هاء-٤- تحسين المحاصيل ٢٨
هاء-٥- الإدارة المستدامة للأراضي والمياه ٢٨
هاء-٥-١- تحسين إدارة المياه الزراعية باستخدام الوسائل النظيرية ٢٨
هاء-٥-٢- احتباس كربون التربة العضوي والتخفيف من شدة تغيّر المناخ ٢٩
واو- الصحة البشرية ٣٠
واو-١- مكافحة سوء التغذية بواسطة تقنيات نووية ٣٠
واو-٢- تقنيتان للتصوير الإشعاعي الهجين: "التصوير بالانبعاث الفوتوني المفرد المقـــــرون بالتصويـــــر المقطعي الحاسوبي" و"التصوير بالانبعاث البوزيتروني المقرون بالتصوير المقطعي الحاسوبي" ٣١

واو-٣- أوجه التقدّم في تطبيقات العلاج الإشعاعي للأورام ٣٣
واو-٤- أثر التكنولوجيا الرقمية على التصوير الإشعاعي بالأشعة السينية ٣٤
زاي- البيئة ٣٥
زاي-١- التقنيات النووية لقياس كميات المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر ٣٥
زاي-٢- فهم دورة الكربون: تطبيق التقنيات النووية في تقييم تدفقات الجسيمات من المحيط إلى قاع البحر ٣٦
حاء- الموارد المائيّة ٣٨
حاء-١- معرفة الوقائع قبل التصرف ٤٠
حاء-٢- استخدام النظائر المستقرة لفهم توافر المياه الجوفية وجودتها ٤٠
طاء- إنتاج النظائر المشعّة والتكنولوجيا الإشعاعية ٤٢
طاء-١- النظائر المشعة والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية ٤٢
طاء-١-١- منتجات النظائر المشعة وتوافرها ٤٢
طاء-١-٢- أمن إمدادات الموليبدينوم-٩٩ ..... ٤٣
طاء-٢- تطبيقات التكنولوجيا الإشعاعية ٤٤
طاء-٢-١- تعقيم مواد التغليف والحاويات المعقمة باستخدام حزم الإلكترونات ٤٤
طاء-٢-٢- التوليف الإشعاعي للبنى المجهرية القائمة على الكربون ٤٥

استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠١٠

تقرير من المدير العام

موجز جامع

١- في عام ٢٠٠٩، بدأت أعمال التشييد في اثني عشر مفاعلا جديدا من مفاعلات القوى النووية، وهو أكبر عدد تم تحقيقه منذ عام ١٩٨٥، وقد أعيد النظر في التوقعات فيما يخص نمو القوى النووية في المستقبل مرة أخرى في اتجاه تصاعدي. بيد أنه لم يُربط بالشبكات الكهربائية سوى مفاعلين جديدين، في حين سُحبت ثلاثة مفاعلات خلال السنة، وانخفضت قدرة القوى النووية الإجمالية عبر العالم انخفاضاً طفيفاً للعام الثاني على التوالي.

٢- وما زالت عمليات التوسع الراهنة، وكذلك احتمالات النمو في الأجلين القصير والطويل، تتركز في آسيا. وبدأت أعمال التشييد في عشرة مفاعلات من أصل اثني عشر مفاعلا جديدا في آسيا، وكان المفاعلان اللذان رُبطا بشبكات كهربائية في آسيا كذلك. ورغم أن الأزمة المالية العالمية التي بدأت في النصف الثاني من عام ٢٠٠٨ لم تُخفّف من التوقعات الإجمالية المتعلقة بالقوى النووية، فقد اعتُبرت عاملاً مساهماً في حالات التأخير أو التأجيل على المدى القريب أثرت في المشاريع النووية في بعض المناطق من العالم.

٣- وفي بعض البلدان الأوروبية التي كانت تُفرض فيها سابقاً قيود على استخدام القوى النووية في المستقبل، كان هناك ميول نحو إعادة النظر في هذه السياسات.

٤- ومازال الاهتمام ببدء برامج جديدة للقوى النووية اهتماماً عالياً. وأعرب ما يربو على ٦٠ دولة عضواً عن اهتمامها للوكالة بالتفكير في الأخذ بخيار القوى النووية، وفي عام ٢٠٠٩، أجرت الوكالة أولى بعثاتها الخاصة بالاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية في الأردن وإندونيسيا وفييت نام.

٥- وتزايدت التقديرات المتعلقة بموارد اليورانيوم التقليدية المعروفة (بتكلفة أقل من ١٣٠ دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم) تزايداً طفيفاً، وذلك بالأساس نتيجة للزيادات التي أفادت بها أستراليا وكندا وناميبيا. وانخفضت أسعار التسليم الفوري لليورانيوم، ومن المتوقع أن تُظهر البيانات النهائية لعام ٢٠٠٩ انخفاضاً لاحقاً في التنقيب عن اليورانيوم وتطويره.

٦- وأذن مجلس المحافظين للمدير العام للوكالة بالتوقيع على اتفاق مع الاتحاد الروسي يقضي بإنشاء احتياطي دولي من اليورانيوم الضعيف الإثراء. ومن شأن هذا الاحتياطي أن يتضمّن١٢٠ طناً من اليورانيوم الضعيف الإثراء الذي يمكن إتاحته لأي بلد متضرر من انقطاع غير تجاري في إمداداته من اليورانيوم الضعيف الإثراء. ووُقع الاتفاق بين الوكالة والاتحاد الروسي في آذار/مارس ٢٠١٠.

٧- واختارت الشركة السويدية للتصرف في الوقود النووي والنفايات النووية مدينة أوسثامار كموقع لمستودع جيولوجي نهائي خاص بالوقود المستهلك، بعد عملية اختيار دامت عشرين عاماً تقريباً. وفي الولايات

المتحدة الأمريكية، قرّرت الحكومة إنهاء أعمالها الخاصة باستحداث مستودع دائم للنفايات القوية الإشعاع في جبل يوكا، وفي الوقت نفسه مواصلة عملية منح الرخص. وهي تخطط لإنشاء لجنة تُعنى بتقييم البدائل.

٨- وفيما يتعلق بالاندماج النووي، استُكملت التحضيرات الموقعية للمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي، وتم التوقيع على ترتيبات المشتريات المتعلقة بالمرافق بما قيمته تقريباً ١,٥ بليون يورو، أي حوالي ثلث مجموع المشتريات المنتظرة. وقد استُكملت أعمال تشييد مرفق الإشعال الوطني في الولايات المتحدة الأمريكية.

٩- إن الأمن الغذائي والصحة البشرية، بما في ذلك الوقاية من الأمراض ومكافحتها، وحماية البيئة، وإدارة الموارد المائية، وكذلك استخدام النظائر المشعة والإشعاعات، هي جميعاً مجالات تؤدي فيها التقنيات النووية والنظيرية دوراً مُفيداً في دعم التنمية الاجتماعية والاقتصادية في عدة بلدان عبر العالم.

١٠- وفي مجال الأغذية والزراعة، تُستخدم التقنيات النووية، مع تقنيات تكميلية، للتصدي لتزايد عدد الآفات الحشرية التي تهدّد الإنتاج الزراعي وكذلك التجارة الدولية. وتحليل الموارد الوراثية للمواشي هو من الأولويات الدولية العالية لأن ذلك يوفّر خيارات جوهرية لاستدامة توسّع الإنتاج الحيواني. ويمكن أن تقدم التقنيات النووية المساعدة في هذه الجهود. ومع تزايد القلق إزاء انبعاثات الكربون، يتزايد الاهتمام بخيار خزن (احتجاز) الكربون في التربة. والأدوات النظيرية مفيدة لتحديد قدرة الاحتجاز في مساحات أراضي محددة.

١١- ومازال التصوير التشخيصي يعدّ أحد أهم المجالات الإبداعية في الطب المعاصر. ويتزايد دمج التقنيات النووية، كالتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني، والتصوير المقطعي بالانبعاث الفوتوني المفرد، والتصوير المقطعي الحاسوبي، في نظم التصوير الهجينة كالتصوير المقطعي بالانبعاث الفوتوني المفرد/التصوير المقطعي الحاسوبي، والتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني/التصوير المقطعي الحاسوبي. وتسمح نظم التصوير الهجينة هذه بفحص الهيكل العظمي للإنسان وكذلك وظيفة الأعضاء البشرية. وتتزايد أهمية هذا التصوير الهجين في مجالات طب القلب والسرطان. ومن شأن النتائج الأخيرة المستخلصة من تطبيق تقنيات النظائر المستقرّة لتقييم مدى التوافر الحيوي للحديد والفيتامين السليف ألف والأصباغ الجزرانية في فئات سكانية ضعيفة أن تقدم مساعدة لصناعي القرارات، والمهنيين في المجال الصحي، وغيرهم من أصحاب المصالح، في تحديد الخطوات المقبلة وخيارات التصدي.

١٢- وفي مجال إدارة الموارد الطبيعية، تُستَخدم التقنيات النووية لتقييم حجم المياه العذبة التي تصل إلى المناطق الساحلية عبر الطبقات الصخرية المائية الساحلية. وهذه مسألة هامة لأن تصريف المياه الجوفية تحت البحر على هذا النحو يمكن أن يكون مورداً هاماً للمياه العذبة، كما يمكنه أن يكون، في بعض الحالات، مصدراً للملوثات في المناطق الساحلية. ويتزايد استخدام النظائر المستقرة أكثر فأكثر لفهم التوزيع الفضائي لمختلف العمليات التي تؤثر في توافر المياه الجوفية وفي جودتها على الصعيدين المحلي والإقليمي على حد سواء. وقد تقدّم هذه المعلومات بيانات معيارية أساسية لتقييم أثر تغير المناخ وغيره من العوامل في موارد المياه الجوفية.

١٣- وحظي التزايد المطرد في الطلب على النظائر المشعة لأغراض التطبيقات الطبية والصناعية، وكذلك التقدم الحاصل في التكنولوجيات ذات الصلة، اهتماماً عالمياً في عام ٢٠٠٩ نظراً للتغطية الإعلامية الرفيعة المستوى التي حظي بها النقص الشديد في إمدادات النظائر الطبية، لا سيما في إمدادات الموليبدنوم-٩٩ المنتج بالانشطار. وما زال العمل يجري على تطوير تطبيقات جديدة للتكنولوجيا الإشعاعية، كما يشهد على ذلك استخدام منهجية جديدة للأشعة الإلكترونية تمنح خياراً خالياً من المواد الكيميائية لتعقيم أو تنظيف مواد التغليف أو الحاويات المعقمة.

ألف- تطبيقات القوى

ألف-١- القوى النووية اليوم

١٤- كان عام ٢٠٠٩، فيما يتعلق بالقوى النووية، العام الثاني على التوالي الذي يشهد عدداً مرتفعاً من عمليات تشييد مفاعلات جديدة وإجراء تنقيحات تصاعدية في توقعات نمو القوى النووية في المستقبل. ورغم أن عام ٢٠٠٨ كان مميّزاً باعتباره أول عام لم تربط فيه أي مفاعلات جديدة بالشبكات الكهربائية منذ عام ١٩٥٥، فإن عام ٢٠٠٩ شهد ربط مفاعلين جديدين بالشبكات الكهربائية، هما المفاعل توماري-٣ (٨٦٦ ميغاواط كهربائي) في اليابان، والمفاعل راجاستان-٥ (٢٠٢ ميغاواط كهربائي في الهند).

١٥- ومنذ ١ كانون الثاني/يناير ٢٠١٠، كان هناك ٤٣٧ مفاعلا للقوى النووية قيد التشغيل عبر العالم، بقدرة إجمالية تبلغ ٣٧١ غيغاواط كهربائي (انظر الجدول ألف-١). وهي قدرة أقل من القدرة التي سُجّلت في نهاية عام ٢٠٠٨ بنحو ١,٥ غيغاواط كهربائي، ويرجع ذلك جزئياً إلى سحب ثلاثة مفاعلات، هي هاماوكا-١ وهاماوكا-٢ في اليابان وإغنالينا-٢ في ليتوانيا، التي سُحبت في نهاية العام.

١٦- وكانت هناك اثنتي عشرة حالة من البدء في التشييد، هي: هونغيانهي-٣، وهونغيانهي-٤، وسانمين-١ وسانمين-٢، ويانغجيانغ-٢، وفوكينغ-٢، وفانغجياشان-٢، وهاييانغ-١، وتايشان-١ (القدرة الإجمالية ١٠٠٠ ميغاواط كهربائي) في الصين، وشين-كوري-٤ (١٣٤٠ ميغاواط كهربائي) في جمهورية كوريا، ونوفوفورونيتسه ٢-٢ (١٠٨٥ ميغاواط كهربائي) وروستوف-٣ (١٠١١ ميغاواط كهربائي) في الاتحاد الروسي. واستُؤنفت أعمال التشييد فعليا في المفاعلين موشوفتش-٣ وموشوفتش-٤ (القدرة الإجمالية ٤٠٥ ميغاواط كهربائي) في سلوفاكيا. ويُقارن ذلك ببدء العمل على تشييد عشرة مفاعلات في عام ٢٠٠٨، وثمانية مفاعلات في عام ٢٠٠٧ بالإضافة إلى استئناف أعمال التشييد الفعلي في مفاعل واحد.

١٧- وبالتالي كان العمل يجري على تشييد ما مجموعه ٥٦ مفاعلاً في نهاية العام، وهو أكبر عدد من المفاعلات منذ عام ١٩٩٢ .

١٨- وما زالت عمليات التوسع الراهنة، وكذلك احتمالات النمو في الأجلين القصير والطويل، تتركز في آسيا. فمن بين عمليات بدء التشييد التي تمت في المفاعلات الاثني عشر في عام ٢٠٠٩، كانت عشر عمليات توجد في آسيا. وكما هو مبين في الجدول ألف-١، يوجد في آسيا ٣٦ مفاعلاً من أصل ٥٦ مفاعلاً يجري تشييدها، كما كان يوجد في آسيا ٣٠ مفاعلاً من بين آخر المفاعلات الجديدة البالغ عددها ٤١ مفاعلا التي ربطت بالشبكة الكهربائية. وهدف الصين هو أن تبلغ قدرة القوى النووية في عام ٢٠٢٠ ما مقداره ٤٠ غيغاواط كهربائي، مقارنة بما مقداره ٨,٤ غيغاواط كهربائي من قدرتها اليوم. وقال رئيس الوزراء الهندي مانموهان سينغ، لدى افتتاح المؤتمر الدولي المعني بالاستخدامات السلمية للطاقة الذرية في نيودلهي في أيلول/سبتمبر، إن من المحتمل أن تنشئ الهند قدرة تبلغ ٤٧٠ غيغاواط كهربائي بحلول عام ٢٠٥٠.

١٩- وفي فنلندا، قدّمت الطلبات إلى الحكومة من أجل اتخاذ "قرارات من حيث المبدأ" بشأن تشييد مفاعلين نوويين جديدين. ولكن تشييد المفاعل أولكيليوتو-٣ قد تأخر عن موعده المحدد.

٢٠- واستمرت في عام ٢٠٠٩ الاتجاهات الحديثة المتعلقة برفع القدرات وتجديد الرخص أو تمديد أجلها بالنسبة لعدة مفاعلات قيد التشغيل. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، وافقت الهيئة الرقابية النووية على تجديد

ثماني رخص إضافية لمدة ٢٠ سنة (بحيث يصل إجمالي العمر المرخص به إلى ٦٠ سنة)؛ وبذلك يصل إجمالي عدد الرخص الموافق على تجديدها إلى ٥٩ رخصة. ووافقت هيئة التفتيش على المنشآت النووية التابعة للمملكة المتحدة على تجديد استعراضات الأمان الدورية بالنسبة لمفاعلين اثنين، فأتاحت بذلك تشغيلها لمدة عشر سنوات إضافية. وحصلت المحطة الإسبانية غارونا للقوى النووية على تمديد لرخصتها لفترة أربع سنوات، كما تم تجديد رخص التشغيل الخاصة بمحطتي القوى النووية بروس ألف وبروس باء لخمس سنوات إضافية.

٢١- وفي بعض البلدان الأوروبية التي كانت تُفرض فيها سابقاً قيود على استخدام القوى النووية في المستقبل، كان هناك ميول نحو إعادة النظر في هذه السياسات.

٢٢- ورغم أن الأزمة المالية العالمية التي بدأت في النصف الثاني من عام ٢٠٠٨ لم تُخفف من التوقعات الإجمالية المتعلقة بالقوى النووية (انظر القسم ألف-٢)، فقد اعتُبرت عاملاً مساهماً في عرقلة المشاريع النووية على المدى القريب أو في حالات التأجيل التي أثرت في هذه المشاريع في بعض المناطق من العالم. وأعلنت شركة فانتفال في حزيران/يونيه أنها أجّلت اتخاذ قرارات بشأن تشييد مفاعل جديد في المملكة المتحدة لمدة تتراوح بين ١٢ و١٨ شهراً، مبررة ذلك بالركود الاقتصادي ووضع السوق. ومن بين الأسباب المذكورة الصعوبات المالية المرتبطة بانسحاب مرافق شركة GDF SUEZ وشركة RWE من مشروع بيلين في بلغاريا. وأعلن الاتحاد الروسي أنه سيخفض بالنسبة لسنوات عديدة مقبلة وتيرة التوسّع في إنشاء المفاعلات المخطط لها من مفاعلين في السنة إلى مفاعل واحد، وذلك بسبب الأزمة المالية وانخفاض استخدام الكهرباء المتوقع. وعلقت أونتاريو، كندا، أنشطة المشتريات المتعلقة بمفاعلين جديدين للقوى النووية المقرر تشييدهما في الموقع الكندي بدارلينغتون بسبب تقلص الطلب على الكهرباء. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، أجّلت مؤسسة Exelon أعمال تشييد تمهيدية كبرى في محطة جديدة مقترحة للقوى النووية في تيكساس، مبررة ذلك بالشكوك التي تحوم حول الاقتصاد المحلي. وفي نهاية عام ٢٠٠٩، علق استعراض ٥ مفاعلات من أصل ٢٨ مفاعلا في ١٨ طلب ترخيص موحّد في الولايات المتحدة الأمريكية، وذلك بطلب من مقدّمي الطلبات. وفي جنوب أفريقيا، مدّدت شركة إسكوم جدولها الزمني بالنسبة لمفاعلها المقبل المخطط له لفترة سنتين حتى عام ٢٠١٨.

٢٣- وفيما يتعلق بالتوقعات المتصلة بالنمو في المستقبل (القسم ألف-٢)، ما زال الاهتمام بالشروع في برامج جديدة للقوى النووية عالياً بالرغم من ذلك. وأبدى أكثر من ٦٠ دولة عضواً إلى الوكالة اهتماماً بدراسة إمكانية الأخذ بخيار القوى النووية. وازداد عدد مشاريع التعاون التقني بشأن الأخذ بخيار القوى النووية بثلاثة أضعاف في عام ٢٠٠٩. وقد صدر في ٢٠٠٩ كُتيب عن خدمة جديدة للوكالة، بعنوان *بعثات الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية: إرشادات عن إعداد وإيفاد بعثات الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية*، وأجريت أول هذه البعثات في الأردن وإندونيسيا وفييت نام. وبعثات الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية هي استعراضات للنظراء تنسقها الوكالة وتجريها أفرقة مكونة من خبراء دوليين بالاستناد إلى *تقييم حالة تطوُّر البنية الأساسية النووية الوطنية*، الذي نشرته الوكالة في أواخر عام ٢٠٠٨. وتتم مواءمة أهداف ونطاق كل استعراض من تلك الاستعراضات وفقاً لاحتياجات الدول الأعضاء المهتمة. وعلى غرار التقييم الذاتي، تهدف البعثات المذكورة إلى مساعدة البلد على تحديد الفجوات القائمة بين المعالم البارزة والمستوى الراهن الذي بلغه في وضع برنامجه إلى جانب سد تلك الفجوات بفعالية.

الجدول ألف-١- مفاعلات القوى النووية قيد التشغيل أو التشييد في العالم (حتى ٣١ كانون الثاني/يناير ٢٠١٠) [أ]

البلد	المفاعلات قيد التشغيل		المفاعلات قيد التشييد		إمدادات الكهرباء النووية في عام ٢٠٠٩		إجمالي الخبرة التشغيلية حتى نهاية عام ٢٠٠٩	
	عدد الوحدات	المجموع بالميغاواط (الكهربائي)	عدد الوحدات	المجموع بالميغاواط (الكهربائي)	تيراواط-ساعة	% من المجموع	الأعوام	الشهور
الاتحاد الروسي	٤٣	٢١ ٧٤٣	١٠	٨ ٠٠٧	١٥٢,٨	١٧,٨	٩٩٤	٧
الأرجنتين		٩٣٥	١	٦٩٢	٧,٦	٧,٠	٦٢	٧
أرمينيا		٣٧٥			٢,٣	٤٥,٠	٣٥	٨
أسبانيا		٧ ٤٥٠			٥٠,٦	١٧,٥	٢٦٩	٦
ألمانيا		٢٠ ٤٨٠			١٢٧,٧	٢٦,١	٧٥١	٥
أوكرانيا		١٣ ١٠٧	٢	١٩٠٠	٧٨,٠	٤٨,٦	٣٦٨	٦
إيران (جمهورية-الإسلامية)			١	٩١٥				
باكستان		٤٢٥	١	٣٠٠	٢,٦	٢,٧	٤٧	١٠
البرازيل		١ ٨٨٤			١٢,٢	٢,٩	٣٧	٣
بلجيكا		٥ ٩٠٢			٤٥,٠	٥١,٧	٢٣٣	٧
بلغاريا		١ ٩٠٦	٢	١ ٩٠٦	١٤,٢	٣٥,٩	١٤٧	٣
الجمهورية التشيكية		٣ ٦٧٨			٢٥,٧	٣٣,٨	١١٠	١٠
جمهورية كوريا		١٧ ٧٠٥	٦	٦ ٥٢٠	١٤١,١	٣٤,٨	٣٣٩	٧
جنوب أفريقيا		١ ٨٠٠			١١,٦	٤,٨	٥٠	٣
رومانيا		١ ٣٠٠			١٠,٨	٢٠,٦	١٥	١١
سلوفاكيا		١ ٧٦٢	٢	٧٨٢	١٣,١	٥٣,٥	١٣٢	٧
سلوفينيا		٦٦٦			٥,٥	٣٧,٨	٢٨	٣
السويد		٩ ٠٣٦			٥٠,٠	٣٧,٤	٣٧٢	٦
سويسرا		٣ ٢٣٨			٢٦,٣	٣٩,٥	١٧٣	١٠
الصين		٨ ٤٣٨	٢٠	١٩ ٩٢٠	٦٥,٧	١,٩	٩٩	٣
فرنسا		٦٣ ٢٦٠	١	١ ٦٠٠	٣٩١,٨	٧٥,٢	١ ٧٠٠	٢
فنلندا		٢ ٦٩٦	١	١ ٦٠٠	٢٢,٦	٣٢,٩	١٢٣	٤
كندا		١٢ ٥٦٩			٨٥,٣	١٤,٨	٥٨٢	٢
المكسيك		١ ٣٠٠			١٠,١	٤,٨	٣٥	١١
المملكة المتحدة		١٠ ١٣٧			٦٢,٩	١٧,٩	١ ٤٥٧	٨
الهند		٣ ٩٨٧	٥	٢ ٧٠٨	١٤,٨	٢,٢	٣١٨	٥
هنغاريا		١ ٨٨٩			١٤,٣	٤٣,٠	٩٨	٢
هولندا		٤٨٧			٤,٠	٣,٧	٦٥	٠
الولايات المتحدة الأمريكية	١٠	١٠٠ ٧٤٧	١	١ ١٦٥	٧٩٦,٩	٢٠,٢	٣ ٤٩٩	١١
اليابان		٤٦ ٨٢٣	١	١ ٣٢٥	٢٦٣,١	٢٩,٢	١ ٤٤٠	٨
المجموع [ب، ج]	٤٣	٣٧٠ ٧٠٥	٥٦	٥١ ٩٤٠	٢ ٥٥٨,٣	١٤٪	١٣ ٩١٣	٠

(أ) البيانات مأخوذة من نظام المعلومات عن مفاعلات القوى التابع للوكالة (http://www.iaea.org/pris).

(ب) ملحوظة: هذا المجموع يتضمن البيانات التالية المقدمة من ليتوانيا وتايوان، الصين:

ليتوانيا: ١٠,٠ تيراواط ساعة من الكهرباء المولدة نووياً، مما يمثل ٧٦,٢% من إجمالي حجم الكهرباء المولدة؛

تايوان، الصين: ٦ وحدات، ٤٩٨٠ ميغاواط (كهربائي) قيد التشغيل؛ ووحدتان، ٢٦٠٠ ميغاواط (كهربائي)، تحت الإنشاء؛

٣٩,٩ تيراواط ساعة من الكهرباء المولدة نووياً، مما يمثل ٢٠,٧% من إجمالي حجم الكهرباء المولدة؛

(ج) يشمل إجمالي الخبرة التشغيلية أيضاً المحطات المغلقة في إيطاليا (٨١ سنة) وكازاخستان (٢٥ سنة و١٠ شهور) وليتوانيا (٤٣ عاماً و٦ شهور)، وتايوان، الصين (١٧٠ عاماً وشهر واحد).

ألف-٢- النمو المتوقّع للقوى النووية

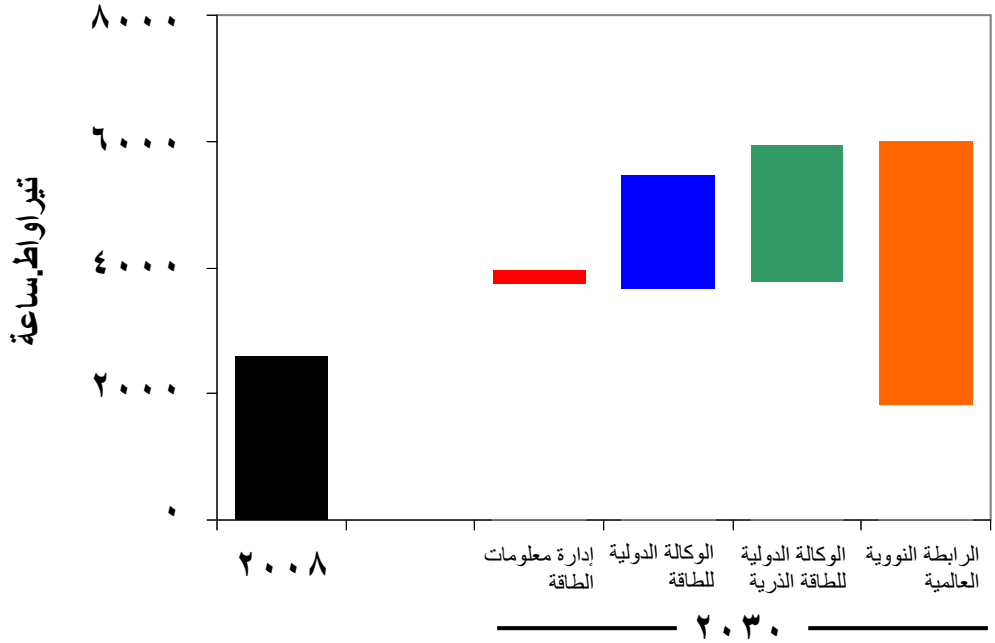
٢٤- تستوفي الوكالة سنوياً توقعاتها المنخفضة والمرتفعة بشأن النمو العالمي في مجال القوى النووية. وفي عام ٢٠٠٩، ورغم الأزمة المالية التي بدأت في أواخر عام ٢٠٠٨، نُقّح التوقع المنخفض والتوقع المرتفع كلاهما إلى الأعلى. وفي التوقع المنخفض المحدّث، تصل القدرة العالمية للقوى النووية إلى ٥١١ غيغاواط كهربائي في عام ٢٠٣٠، مقارنة بـ٣٧١ غيغاواط كهربائي في نهاية عام ٢٠٠٩. أما في التوقع المرتفع المحدّث، فإن هذه القدرة تبلغ ٨٠٧ غيغاواط كهربائي. وهذه التوَقعات المنقحة لعام ٢٠٣٠ هي أعلى بنسبة ٨% من التوقعات المعلن عنها في عام ٢٠٠٨.

٢٥- ويعتبر التحول التصاعدي في التوقعات أكبر بالنسبة للشرق الأقصى، وهي المنطقة التي تضم الصين واليابان وجمهورية كوريا. أما التحولات المنحدرة قليلاً في التوقعات فقد حدثت بالنسبة لأمريكا الشمالية وجنوب شرق آسيا والمحيط الهادئ.

٢٦- وقد أثرت الأزمة المالية التي بدأت في أواخر عام ٢٠٠٨ في آفاق بعض مشاريع القوى النووية، ولكن وقعها كان مختلفاً في مناطق مختلفة من العالم. ويجسّد النموذج الإقليمي للتنقيحات في التوقعات جزئياً الآثار المختلفة للأزمة المالية في مختلف المناطق. ويجسد التنقيح التصاعدي العام في التوقعات المنخفضة والمرتفعة تقدير الخبراء الذين جمعتهم الوكالة بأن العوامل المتوسطة والطويلة الأمد التي دفعت إلى تصاعد التوقعات بالنسبة للقوى النووية هي عوامل لم تتغير جوهرياً. وما زال أداء محطات القوى النووية وأمانها جيداً. وما زالت هناك أوجه قلق إزاء الاحترار العالمي، وأمن إمدادات الطاقة، وأسعار الوقود الأحفوري المرتفعة والمتقلبة. وما زالت جميع الدراسات تتوقع تنامي الطلب على الطاقة باستمرار في الأجل المتوسط والطويل.

٢٧- وتمثل التغيير الذي طرأ منذ التوقعات التي تمت في عام ٢٠٠٨ في أن التزامات الحكومات والمرافق والموردين بخططهم المعلن عنها، وبالاستثمارات التي قاموا بها بالفعل لتنفيذ هذه الخطط، أصبحت التزامات أمتن مع مرور الوقت. وهو ما عزز الثقة. وثمة تغيير آخر يتمثل في مسألة أن رفع القيود التي كان مورّدو المواد النووية يفرضونها في الماضي على التجارة النووية سيسمح للهند بأن تعجّل توسيعها المزمع للقوى النووية.

٢٨- ولم تكن توقعات الوكالة هي التوقعات النووية الوحيدة التي نُقحت في عام ٢٠٠٩. فقد قامت إدارة معلومات الطاقة التابعة للولايات المتحدة، والوكالة الدولية للطاقة التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، والرابطة النووية العالمية كذلك في عام ٢٠٠٩ بنشر صيغة محدّثة للتوقعات. وأصبح نطاق توقعات إدارة معلومات الطاقة أضيق قليلاً، وأصبح نطاق توقعات الرابطة النووية العالمية أوسع قليلاً، أما نطاق توقعات الوكالة الدولية للطاقة فقد انتقل إلى اتجاه تصاعدي قليلاً (إذ تزايدت كل من القيم المنخفضة والمرتفعة). ويقارن الشكل ألف-١ بين نطاقات التوقعات النووية لعام ٢٠٠٩ التي قدّمتها إدارة معلومات الطاقة، والوكالة الدولية للطاقة، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، والرابطة النووية العالمية.



الشكل ألف –١ - مقارنة توقعات القوى النووية التي قدّمتها إدارة معلومات الطاقة، والوكالة الدولية للطاقة، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، والرابطة النووية العالمية.

ألف-٣- دورة الوقود[٢]

ألف-٣-١- موارد اليورانيوم وإنتاجه[٣]

٢٩- في الوقت الراهن، تقدّر موارد اليورانيوم التقليدية المعروفة، الممكن استخلاصها بتكلفة أقل من ١٣٠ دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم، بحوالي ٥,٧ مليون طن من اليورانيوم. وهي زيادة بأكثر من ٠,٢ مليون طن من اليورانيوم، مقارنة بعام ٢٠٠٧، ويُعزى ذلك بالأساس إلى الزيادة التي أفادت بها أستراليا وكندا وناميبيا. وثمة ٠,٧ مليون طن إضافي من اليورانيوم من موارد تقليدية يمكن استخلاصها بتكلفة تتراوح بين ١٣٠ و٢٦٠ دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم. وكأساس مرجعي، كانت أسعار التسليم الفوري لليورانيوم في عام ٢٠٠٩ متقلّبة وتراوحت بين ١١٠ و١٣٥ دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم وعرفت تدريجياً اتجاهاً تنازلياً جداً.

٣٠- وتقدّر الموارد التقليدية غير المكتشَفة بنحو ٦,٣ مليون طن من اليورانيوم بتكلفة أقل من١٣٠ دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم، بالإضافة إلى ٠,٢ مليون طن من اليورانيوم بتكلفة تتراوح بين ١٣٠ و٢٦٠ دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم. ويشمل ذلك موارد يُتوقع ظهورها إما في مستودعات معروفة أو قريباً منها، وموارد تعتمد أكثر على التوقعات ويُعتقَد بوجودها في مناطق واعدة جيولوجياً، لكنها مناطق لم تُكتشَف بعد. كما توجد موارد أخرى تعتمد على التوقعات تقدَّر بنحو ٣,٦ مليون طن من اليورانيوم لم تُحدَّد تكاليف إنتاجها.

---

٢ ترد معلومات أكثر إسهاباً عن أنشطة الوكالة بشأن دورة الوقود في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي للوكالة (على الموقع http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html) والموقع http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/index.html.

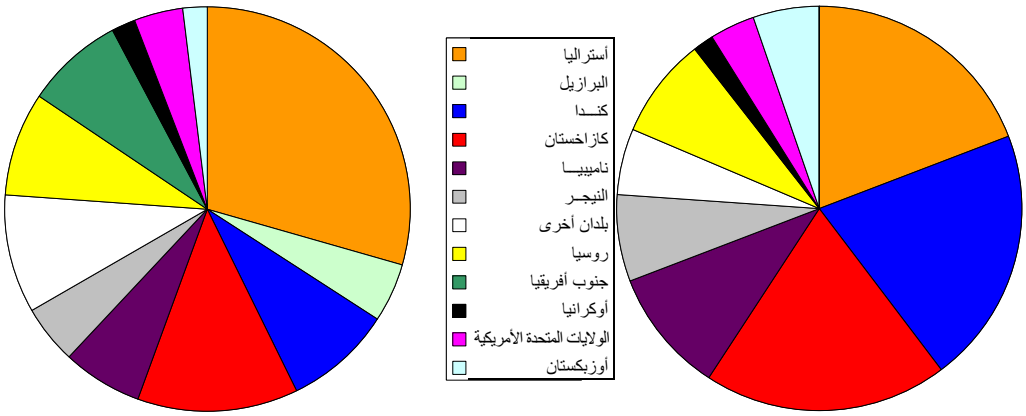
٣ يستند هذا القسم إلى الطبعة الوشيكة من 'الكتاب الأحمر' (الصادر عن وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي بالاشتراك مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية بعنوان، *اليورانيوم ٢٠٠٩: موارده وإنتاجه والطلب عليه*، منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، باريس (٢٠١٠)).

٣١- وتوسّع موارد اليورانيوم غير التقليدية والثوريوم أكثر قاعدة الموارد. وتشمل الموارد غير التقليدية اليورانيوم الموجود في مياه البحر والموارد التي لا يمكن استخلاص اليورانيوم منها إلا كمنتَج ثانوي غير هام. وقليلة جداً هي البلدان التي تُبلِّغ في الوقت الراهن عن الموارد غير التقليدية. وتبلغ الأرقام التقديرية السابقة لليورانيوم الممكن استخلاصه من أنواع الفوسفات والخامات غير الحديدية والكربوناتيت، والشست الأسود والليغنيت نحو ١٠ مليون طن من اليورانيوم. وتم إنتاج كميات كبيرة في الماضي استخلِصت من حمض الفوسفوريك في بلجيكا وكازاخستان والولايات المتحدة الأمريكية، ومع ارتفاع أسعار اليورانيوم في الآونة الأخيرة، يتجدّد الاهتمام بهذا المجال في الأردن وأستراليا والبرازيل وتونس وفرنسا والمغرب والهند والولايات المتحدة الأمريكية. وفي الصين، تجري دراسة استخلاص اليورانيوم من أكوام رماد الفحم الناجم عن إنتاج القوى الحرارية. أما الثوريوم، الذي يمكن استخدامه أيضاً كمورد للوقود النووي، فيتوافر بكثرة، موزعاً على نطاق واسع في الأماكن الطبيعية، وهو مورد يمكن استغلاله بسهولة في كثير من البلدان. ويقدَّر حجم الموارد العالمية بحوالي ٦ مليون طن من الثوريوم. ورغم استخدام اليورانيوم كوقود للأغراض الإيضاحية، فإن الطريق لا يزال طويلاً قبل أن يمكن النظر إليه على قدم المساواة مع اليورانيوم.

٣٢- وتحتوي مياه البحر على قرابة ٤٥٠٠ مليون طن من اليورانيوم، لكن نسبة التركيز فيها متدنية جداً، حيث لا تتجاوز ٣,٣ أجزاء في البليون. وهكذا فإنه يتعين معالجة ٣٣٠ ٠٠٠ طن من المياه لإنتاج كيلوغرام واحد من اليورانيوم. وهذا النوع من الإنتاج باهظ التكلفة في الوقت الراهن. وقد أُجريَت بحوث في كلٍّ من ألمانيا وإيطاليا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية واليابان خلال عقدي السبعينات والثمانينات. وتدل التجارب البحرية التطبيقية الجارية حالياً في اليابان على أن اليورانيوم يمكن استخلاصه من أدوات الامتراز المبرومة والموصولة بقاع البحر، بقدرة إنتاجية تبلغ ١٢٠٠ طن من اليورانيوم سنوياً وبتكلفة تُقدر بنحو ٣٠٠ دولار للكيلوغرام من اليورانيوم. وثمة كذلك بحوث مختبرية تجري في فرنسا والهند.

٣٣- ونظراً لانخفاض أسعار التسليم الفوري لليورانيوم مقارنة بعام ٢٠٠٨، من المتوقع أن تكشف البيانات النهائية لعام ٢٠٠٩، لدى توافرها، عن انخفاض في مجال التنقيب عن اليورانيوم وتطويره. ومن المتوقع أن تحدث هذه الزيادة في البلدان التي سبق لها التنقيب عن مكامن اليورانيوم وتطويرها في الماضي، وكذلك في البلدان الحديثة العهد بمجال التنقيب عن اليورانيوم.

٣٤- وفي عام ٢٠٠٨، بلغ إنتاج اليورانيوم في العالم أكثر من ٨٠٠ ٤٣ طن، أي ما يزيد بنسبة ٦% على كمية هذا الإنتاج في عام ٢٠٠٧ والتي بلغت ٣٠٠ ٤١ طن. ومن المتوقع أن يتزايد الإنتاج في عام ٢٠٠٩ ليصل إلى ٠٠٠ ٤٩ طن من اليورانيوم. وكما يبيّن الشكل ألف-٢، استأثرت كندا وكازاخستان وأستراليا بنحو ٦٠% من الإنتاج العالمي في عام ٢٠٠٨. واستأثرت هذه البلدان الثلاثة إلى جانب ناميبيا والنيجر والاتحاد الروسي وأوزبكستان والولايات المتحدة بنسبة ٩٣% من الإنتاج.



الشكل ألف-٢ - التوزيع الجغرافي لموارد اليورانيوم التقليدية المعروفة، الممكن استخلاصها بتكلفة أقل من ١٣٠ دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم (يساراً) ولإنتاج اليورانيوم في عام ٢٠٠٨ (يميناً)

٣٥- وكان من المنتظر أن يغطي إنتاج اليورانيوم المتوقع في عام ٢٠٠٩ حوالي ٧٥% فقط من احتياجات المفاعلات المقدّرة في العالم والبالغة ٤٠٠ ٦٥ طن من اليورانيوم. وتمت تغطية الكمية المتبقية بواسطة خمسة مصادر ثانوية، هي: مخزونات اليورانيوم الطبيعي، ومخزونات اليورانيوم المثرى، واليورانيوم الذي تعاد معالجته من الوقود المستهلك، ووقود موكس مع إحلال اليورانيوم-٢٣٥ جزئياً بالبلوتونيوم-٢٣٩ من الوقود المستهلك الذي تعاد معالجته، وإعادة إثراء مخلفات اليورانيوم المستنفد (اليورانيوم المستنفد يحتوي على أقل من ٠,٧% من اليورانيوم-٢٣٥). واستناداً إلى معدل الاستهلاك المقدّر لعام ٢٠٠٩، يبلغ العمر التشغيلي المتوقع للكمية ٥,٧ ملايين طن من اليورانيوم الممكن استخلاصه من موارد تقليدية معروفة بتكلفة أقل من ١٣٠ دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم حوالي ٩٠ عاماً. ويرجِّح ذلك كفَّة موارد اليورانيوم لدى مقارنتها بالاحتياطيات التي تتراوح أعمارها التشغيلية بين ٣٠ و٥٠ سنة فيما يتعلق بسلع أساسية أخرى (مثل النحاس والزنك والنفط والغاز الطبيعي).

ألف-٣-٢- التحويل والإثراء وصنع الوقود

٣٦- تبلغ القدرة التحويلية العالمية الإجمالية نحو ٧٦ ٠٠٠ طن من اليورانيوم الطبيعي في السنة فيما يخص سادس فلوريد اليورانيوم، و٤٥٠٠ طن من اليورانيوم في السنة فيما يخص ثاني أكسيد اليورانيوم. ويبلغ الطلب الحالي على تحويل سادس فلوريد اليورانيوم حوالي ٦٢ ٠٠٠ طن من اليورانيوم في السنة. وفي عام ٢٠٠٩، شرعت مجموعة شركات أريفا (AREVA) في تشييد مرفقها التحويلي الجديد كومورهيكس-الثاني (COMURHEX II) بغية الاستعاضة عن المرافق القديمة في مالفيسي (Malvési) وبييرلات (Pierrelatte) بفرنسا. وتبلغ القدرات التصميمية للمرفق كومورهيكس-الثاني فيما يخص تحويل رابع فلوريد اليورانيوم وسادس فلوريد اليورانيوم ١٥ ٠٠٠ طن من اليورانيوم كل سنة بحلول عام ٢٠١٢. وفي عام ٢٠٠٨، أعلنت شركة كاميكو وشركة كازاتومبروم إنشاء مشروع مشترك لاستحداث مرفق في كازاخستان لتحويل ١٢ ٠٠٠ طن من سادس فلوريد اليورانيوم.

٣٧- وتبلغ القدرة الإثرائية العالمية الإجمالية حالياً نحو ٦٠ مليون وحدة فصل في السنة، مقارنة بطلب إجمالي قدره نحو ٤٥ مليون وحدة فصل في السنة. ويجري تشييد ثلاثة مرافق إثراء جديدة ذات نطاق تجاري، وهي محطة

جورج بيس الثانية (Georges Besse II)، في فرنسا، ومحطة الطرد المركزي الأمريكية (ACP) ومرفق الإثراء الوطني (NEF)، في الولايات المتحدة الأمريكية وتستخدم كل هذه المرافق الإثراء بالطرد المركزي. وتهدف محطة جورج بيس الثانية ومحطة الطرد المركزي الأمريكية إلى إتاحة سحب المحطات الحالية للإثراء بالانتشار الغازي. وفي محطة جورج بيس الثانية بدأ دوران أول سلسلة تعاقبية للطرد المركزي في كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٩. وفي مرفق الإثراء الوطني تم تركيب أول طاردة مركزية في أيلول/سبتمبر ٢٠٠٩. وفي محطة الطرد المركزي الأمريكية، ما زالت الشكوك تحوم حول مدى استعداد التكنولوجيا.[٤] وقد بدأت الهيئة الرقابية النووية في الولايات المتحدة في إجراء استعراضات رسمية لمرفقين إضافيين هما، مرفق إيغيل روك للإثراء الذي تقترحه مجموعة شركات أريفا في إيداهو، ومرفق الإثراء بالليزر الذي تقترحه شركة الإثراء الشامل بالليزر في كارولينا الشمالية.

٣٨- وتتوقع الشركة اليابانية المحدودة للوقود النووي الشروع في العمليات التجارية للسلاسل التعاقبية للطرد المركزي المحسّنة في روكاشو-مورا في حدود عام ٢٠١١ وتوسيع قدرتها لتفوق ٠٠٠ ١٥٠ وحدة فصل تسجّلها اليوم وتبلغ ١,٥ مليون وحدة فصل بحلول عام ٢٠٢٠. وتبلغ قدرة الإثراء الحالية في الصين، باستخدام الطاردات المركزية الروسية، ١,٣ مليون وحدة فصل، وقد اتفقت روسيا والصين مؤخراً على إضافة ٠,٥ مليون وحدة فصل. وثمة في الأرجنتين وباكستان والبرازيل والهند مرافق إثراء محدودة للاستجابة للاحتياجات المحلية. وانضمت أوكرانيا إلى الاتحاد الروسي وأرمينيا وكازاخستان كأعضاء في المركز الدولي لإثراء اليورانيوم. وقد أنشئ المركز المذكور في عام ٢٠٠٧ في أنغارسك في الاتحاد الروسي.

٣٩- وفي تشرين الثاني/نوفمبر، أذن مجلس المحافظين لمدير عام الوكالة بالتوقيع على اتفاق مع الاتحاد الروسي يقضي بإنشاء احتياطي دولي من اليورانيوم الضعيف الإثراء. ومن شأن هذا الاحتياطي أن يتضمّن ١٢٠ طناً من اليورانيوم الضعيف الإثراء الذي يمكن إتاحته لأي بلد يعاني من انقطاع غير تجاري في إمداداته من اليورانيوم الضعيف الإثراء. ويتمتع المدير العام بالسلطة الوحيدة القادرة على تحرير اليورانيوم الضعيف الإثراء من الاحتياطي، وفقاً لمعايير الاتفاق المبرم مع الاتحاد الروسي. ومن شأن الاتحاد الروسي أن يلتزم بإصدار جميع الأذونات والرخص اللازمة لتصدير اليورانيوم الضعيف الإثراء، ومن شأن البلد الذي يتلقى هذا اليورانيوم أن يُسدّد سعر السوق السائد في وقت الإمداد. ووُقع الاتفاق بين الوكالة والاتحاد الروسي في آذار/مارس ٢٠١٠.

٤٠- وتبلغ القدرة العالمية الإجمالية على صنع الوقود حالياً زهاء ٠٠٠ ١٣ طن من اليورانيوم في السنة (اليورانيوم المثرى) لوقود مفاعلات الماء الخفيف، وزهاء ٤٠٠٠ طن من اليورانيوم في السنة (اليورانيوم الطبيعي) لمفاعلات الماء الثقيل المضغوط. ويبلغ الطلب الإجمالي نحو ٤٠٠ ١٠ طن من اليورانيوم سنوياً. ويجري بعض التوسيع للمرافق الحالية، وذلك مثلا في جمهورية كوريا والصين والولايات المتحدة الأمريكية. وتبلغ القدرة الحالية على صنع وقود موكس حوالي ٢٥٠ طناً من المعادن الثقيلة، ويتمركز ذلك بالأساس في فرنسا والهند والمملكة المتحدة مع وجود بعض المرافق الأصغر حجماً في الاتحاد الروسي واليابان. ويجري إنشاء قدرة إضافية لصنع وقود موكس في الولايات المتحدة الأمريكية (لاستخدام الفائض من البلوتونيوم الصالح الاستعمال في صنع الأسلحة). وبدأ المفاعل جينكاي-٣، في اليابان، يعمل بوقود موكس في تشرين

---

٤ أجلت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية استعراضها لطلب بضمان قروض من أجل إتاحة الوقت للنظر في القضايا ذات الصلة بمدى استعداد تكنولوجيا الإثراء في محطة الطرد المركزي الأمريكية.

الثاني/نوفمبر، وهو ما يجعله أول مفاعل ياباني يستخدم وقود موكس. وثمة حالياً ٣١ مفاعلاً حرارياً عبر العالم تستخدم وقود موكس.

ألف-٣-٣- المرحلة الختامية من دورة الوقود

٤١- وتبلغ الكمية الإجمالية من الوقود المستهلك التي تم التخلّص منها عالمياً نحو ٣٢٠ ٠٠٠ طن من المعادن الثقيلة. ومن هذه الكمية، تمت بالفعل إعادة معالجة حوالي ٩٥ ٠٠٠ طن من المعادن الثقيلة، وتم تخزين حوالي ٢٢٥ ٠٠٠ طن من المعادن الثقيلة في أحواض خزن الوقود المستهلك في المفاعلات أو في مرافق خزن بعيدة عن المفاعلات. ويجري توسيع مرافق الخزن البعيدة عن المفاعلات بانتظام بإضافة وحدات نمطية إلى مرافق الخزن الجاف الحالية وببناء مرافق جديدة. وتبلغ قدرة إعادة المعالجة العالمية نحو ٥٠٠٠ طن من المعادن الثقيلة سنوياً. وتأجل استكمال محطة روكاشو الجديدة لإعادة المعالجة في اليابان إلى غاية عام ٢٠١٠.

٤٢- واختارت الشركة السويدية للتصرف في الوقود النووي والنفايات النووية مدينة أوسثامار كموقع لمستودع جيولوجي نهائي خاص بالوقود المستهلك، بعد عملية اختيار دامت عشرين عاماً تقريباً، مما جعل قائمة المواقع مقدّمة الطلب قائمة أصغر تضم موقعين في عام ٢٠٠٢. وخلصت الاستقصاءات الموقعية اللاحقة إلى أن صخور الأساس في أوسثامار كانت أكثر استقراراً وتحتوي على مياه أقل من تلك الموجودة في أوسكارشامن، وهو الموقع المحتمل الآخر. وتخطط الشركة السويدية للتصرف في الوقود النووي والنفايات النووية لطلب رخصة للتشييد في عام ٢٠١٠، مستهدفة عام ٢٠٢٣ موعداً لبدء التشغيل.

٤٣- واستمرت الاستقصاءات الموقعية المتعلقة بالمستودعات في أولكيليوتو في فنلندا منطقة وبير في فرنسا حسب الجدول الزمني المحدد، مع استهداف عام ٢٠٢٠ وعام ٢٠٢٥ على التوالي موعدين لبدء التشغيل.

٤٤- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، قرّرت الحكومة إنهاء أعمالها الخاصة باستحداث مستودع دائم للنفايات القوية الإشعاع في جبل يوكا، وفي الوقت نفسه مواصلة عملية منح الرخص. وهي تخطط لإنشاء لجنة تُعنى بتقييم البدائل.

٤٥- وفي المملكة المتحدة، استُهلت عملية طوعية لتحديد المواقع. وأعربت منطقتان من المناطق المجاورة لسيلافيلد عن اهتمامهما بهذه العملية.

٤٦- وفي عام ٢٠٠٩، وبعد استكمال عملية إخراج مفاعل القوى النووية في رانشو سيكو في كاليفورنيا، الولايات المتحدة الأمريكية، من الخدمة، أصبح عدد مفاعلات القوى التي فُكّكت تماماً عبر العالم ١٥ مفاعلاً. وكانت العمليات جارية لتفكيك ٥١ مفاعلاً مغلقاً، وتم وضع ٤٨ مفاعلاً في حالة تطويق مأمون، وتم إقبار ٣ مفاعلات، ولم تكن استراتيجيات الإخراج من الخدمة قد حُدّدت بعدُ بالنسبة لستة مفاعلات إضافية.

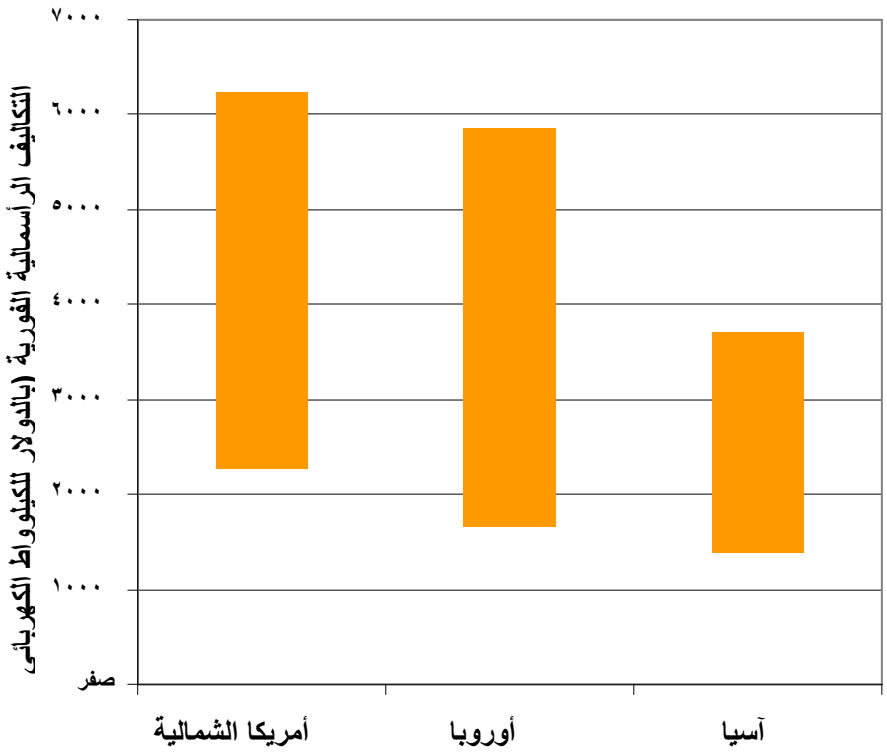
ألف-٤- العوامل الإضافية المؤثّرة في نمو القوى النووية

ألف-٤-١- الجوانب الاقتصادية

٤٧- أفاد *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٩* بأن نطاق تقديرات تكاليف محطات القوى النووية الجديدة قد ارتفع إلى حده الأكبر مقارنة بنطاق تقديرات التكاليف المذكورة الذي تراوح بين ١٢٠٠ و٢٥٠٠ دولار لكل كيلوواط كهربائي والذي أفاد به *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٦*. وظلّت تقديرات التكاليف

عالية في السنة الماضية. ويبيّن الشكل ألف-٣ تقديرات التكاليف الفورية الحديثة التي جمّعتها الوكالة والمرتّبة بحسب المناطق. [٥]

٤٨- ويتسق النموذج العام الوارد في الشكل مع ملاحظة أن الخبرة تقلّص عدم التيقن من التكاليف. ورغم وجود عدة أسباب تبرّر انخفاض التكاليف في آسيا (أي تكاليف المدخلات التي تكون عادة أقل من التكاليف في المناطق الأخرى وأسعار التكاليف التي تضم أحياناً مكوّنات مستوردة فقط)، فهي أيضاً المنطقة التي لديها أحدث خبرة في تشييد مفاعلات جديدة. والمنطقة ذات الخبرة الأبعد عهداً، أي أمريكا الشمالية، هي التي توجد فيها أعلى التقديرات وأكبر قدر من عدم اليقين.



الشكل ألف-٣- نطاقات تقديرات التكاليف الفورية بحسب المناطق، منذ ٢٠٠٧-٢٠٠٩ (بالدولار في عام ٢٠٠٨). [٦]

٤٩- ونظراً للإفادة بتقديرات أكثر لتكاليف مشاريع محددة للقوى النووية، كتلك التي جمّعت في الشكل ألف-٣، فإن التقديرات الأكاديمية المتعلقة بتكاليف القوى النووية التي نُشرت كانت أقل. ولكن القليل من هذه الدراسات نُشر في عام ٢٠٠٩.

---

٥ البيانات مأخوذة من دراسات للتكاليف ومن عروض أسعار صناعية متاحة للجمهور. وتنطبق جميع المحاذير المذكورة في *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٩* . وقد تعبّر الاختلافات في تقديرات التكاليف عن مختلف تعاريف التكاليف الفورية، سواء تعلّقت التقديرات بموقع بكر أو موقع توجد فيه مفاعلات، وسواء كان الموقع يوجد بمنطقة نشطة زلزالياً، وقد تعبّر عن التغيرات في تكاليف العمالة والمواد، والمتطلبات المختلفة لتحديد الموقع، والنسب المئوية المختلفة لمكوّنات المحطات المصنعة أو التي تم شراؤها محليا، والإعانات والضمانات المالية المختلفة، والاختلافات في المتطلبات الرقابية والقدرة على التنبؤ بها، والترتيبات التعاقدية المختلفة، وأسعار الصرف المختلفة والتوقعات المختلفة بشأن التضخم، والتكنولوجيات المختلفة.

٦ يعبّر الرسم البياني عن ٨٥ من تقديرات التكاليف الفورية، منها ٢٦ من التقديرات بشأن أمريكا الشمالية، و٣٢ من التقديرات بشأن أوروبا، و٢٧ منها بشأن آسيا.

٥٠- وأصدر معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا صيغة حديثة من دراسة للتكاليف في الولايات المتحدة الأمريكية أجريت في عام ٢٠٠٣،[٧] وتقترب الصيغة الحديثة لتقديرات التكاليف الفورية الواردة في هذه الدراسة والبالغة ٤٠٠٠ دولار للكيلوواط الكهربائي كثيراً من متوسّط التقديرات الخاصة بأمريكا الشمالية والواردة في الشكل ألف-٣. وخلصت الصيغة الحديثة من هذه الدراسة إلى أن تكاليف رؤوس الأموال في الولايات المتحدة الأمريكية ستكون فيما يتعلق بالقوى النووية أعلى منها فيما يتعلق بالقوى التي تعمل بالفحم وبالغاز الطبيعي بسبب الافتقار إلى خبرة حديثة في هذا المجال وما يترتب على ذلك من عدم اليقين في صفوف المستثمرين. وبدون هذا "القسط من المخاطر"، قد تكون التكلفة المعيارية المقدّرة لتوليد الكهرباء بالقوى النووية مطابقة للتكلفة المعيارية لتوليد الكهرباء بالقوى التي تعمل بالفحم والغاز، وذلك حتى بدون فرض رسوم أو ضرائب على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، بل وحتى بتكاليف فورية قدرها ٤٠٠٠ دولار للكيلوواط الكهربائي. وتضع السياسة الأمريكية حالياً ترتيبات لتقديم ضمانات قروض ومنح إعفاء ضريبي للإنتاج لفائدة عدد محدود من محطات القوى النووية الجديدة، وذلك للتعويض عن قسط المخاطر. ولكن الدراسة تستنتج بأن توسّع القوى النووية على المدى الطويل في الولايات المتحدة سيستدعي القضاء دائماً على قسط المخاطر، ولا يمكن القيام بذلك إلا بأداء ناجح مُثبت.

٥١- وثمة دراسة ثانية أجرتها مجموعة سيتيغروب للبحوث الاستثمارية، قدّرت التكاليف الفورية بالنسبة للمفاعلات النووية الجديدة العامة في المملكة المتحدة بما يتراوح بين ٣٧٠٠ و٥٢٠٠ دولار للكيلوواط الكهربائي. ويندرج ذلك ضمن نطاق تقديرات تكاليف مشاريع أوروبية محددة ترد في الشكل ألف-٣. ويتضمن الشكل ألف-٣ أيضا تقديرات التكاليف الواردة في الدراسة التي نشرتها مؤخرا وكالة الطاقة الدولية ووكالة الطاقة النووية التابعتين لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، والمعنونة: *التكاليف المتوقعة لتوليد الكهرباء: ٢٠١٠*. وخلصت الدراسة إلى أن تقديرات التكاليف الفورية تختلف كثيرا من بلد إلى آخر بسبب اختلافات الظروف المالية والتقنية والرقابية. أفادت معلومات من آسيا بتقديرات تكاليف أدنى، وعلى الأخص ١٥٥٦ دولارا للكيلوواط الكهربائي في جمهورية كوريا التي ربطت أربعة مفاعلات جديدة بالشبكة منذ عام ٢٠٠٠ والتي تقوم في الوقت الراهن بتشييد ستة مفاعلات.

ألف-٤-٢- الأمان[٨]

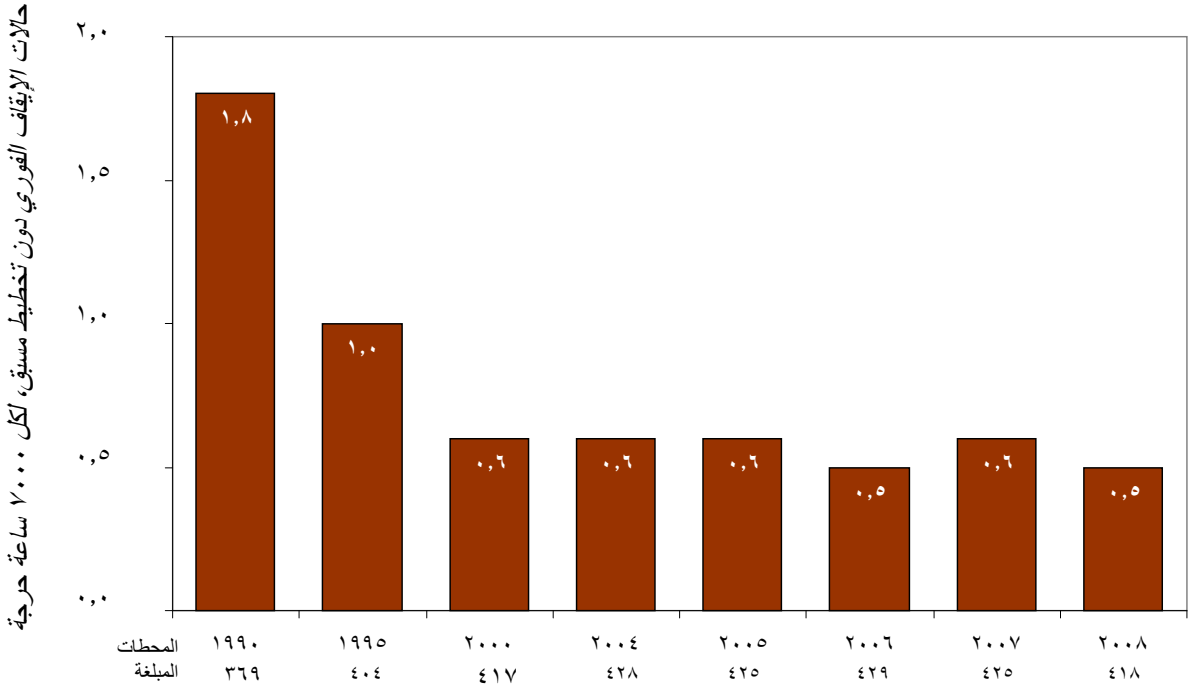
٥٢- خلال عقد التسعينات، طرأ تحسُّن ملحوظ على مؤشرات الأمان، كتلك التي تنشرها الرابطة العالمية للمشغلين النوويين وترد مستنسخة في الشكلين ألف-٤ وألف-٥. وفي الأعوام الأخيرة، استقر الوضع في بعض المجالات. بيد أن الفجوة ما زالت واسعة بين الأفضل أداءً والأسوأ أداءً، بما يتيح متّسعاً ضخماً لمواصلة التحسين.

٥٣- وترد في استعراض الأمان النووي لعام ٢٠٠٨، الصادر عن الوكالة (الوثيقة GC(54)/INF/2) معلومات أكثر إسهاباً عن الأمان وعن التطورات الأخيرة المتعلقة بجميع التطبيقات النووية.

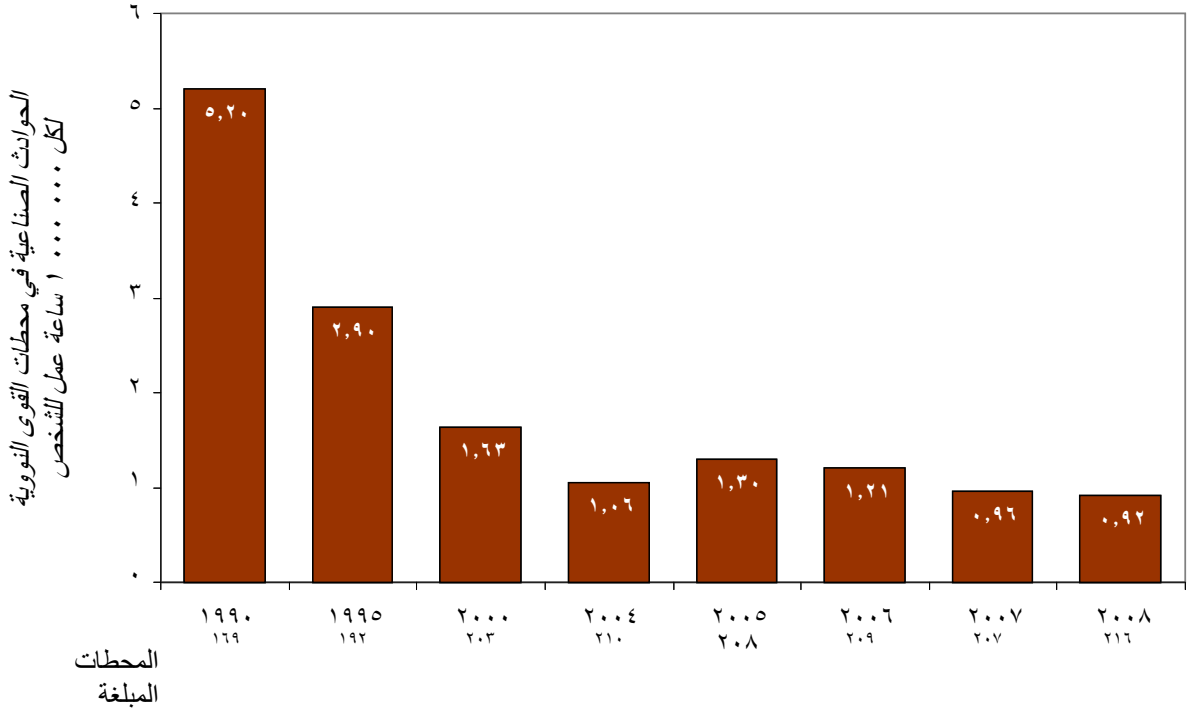
---

٧ معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، *مستقبل القوى النووية: دراسة متعددة التخصصات صادرة عن معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (٢٠٠٣)*. (Massachusetts Institute of Technology, *The Future of Nuclear Power: An Interdisciplinary MIT Study* (2003)) مُتاحة على الموقع الإلكتروني: http://web.mit.edu/nuclearpower/

٨ ترد معلومات أكثر إسهاباً عن أنشطة الوكالة بشأن الأمان النووي في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html) وعلى الموقع http://www-ns.iaea.org/.



الشكل ألف-٤- حالات الإيقاف الفوري دون تخطيط مسبق، لكل ٧٠٠٠ ساعة حرجة (المصدر: مؤشرات أداء الرابطة العالمية للمُشغّلين النوويين لعام ٢٠٠٨).



الشكل ألف-٥- الحوادث الصناعية في محطات القوى النووية لكل ١ ٠٠٠ ٠٠٠ ساعة عمل للشخص (المصدر: مؤشرات أداء الرابطة العالمية للمُشغّلين النوويين لعام ٢٠٠٨).

ألف-٤-٣- تنمية الموارد البشرية

٥٤- لا تتوفر بسهولة تقديرات للمتطلبات من الموارد البشرية المرتبطة بأي من التوقعات التي يناقشها القسم ألف-٢، كما أن البيانات شحيحة عن عدد الأشخاص الذين لديهم اليوم المهارات المختلفة اللازمة في الصناعة النووية وعن عددهم في البرامج التعليمية والتدريبية ذات الصلة. ومع تزايد الاهتمام بالقوى النووية، أعرب عن شواغل إزاء احتمال وجود حالات عجز في عدد الأشخاص الذين لديهم المهارات التي تحتاجها صناعة القوى النووية، رغم الاعتراف كذلك بأن الوضع يختلف من بلد إلى آخر بسبب عوامل مختلفة، أهمها قوة برامج كل بلد للقوى النووية.

٥٥- وأدى القلق إزاء إمكانية وجود عجز إلى اتخاذ الحكومات والصناعة مبادرات لاستقطاب الطلاب إلى التعليم والتدريب في الميادين ذات الصلة بالمجال النووي والتوسع في ذلك التعليم والتدريب. وحيثما تتوافر البيانات، يتضّح أن هذه المبادرات ناجحة. فعلى سبيل المثال، عيّنت هيئة كهرباء فرنسا (EDF) في عام ٢٠٠٨ من المهنيين أكثر مما عينته في عام ٢٠٠٦ بأربعة أضعاف، وهي تتوقع أن تحافظ على هذا المستوى العالي من التعيينات لعدة سنوات قادمة، وتستند في ذلك جزئياً إلى مشروع داخلي بشأن "تجديد المهارات". وعيّنت مجموعة شركات أريفا ٨٠٠٠ مهندس في عام ٢٠٠٩، وهي تخطط لتعيين بضعة آلاف من المهندسين الإضافيين في السنوات القادمة. وستستفيد الشركتان معاً من لجنة فرنسية استهلها الرئيس لتنسيق التدريب في العلوم والتكنولوجيا النووية، وهي لجنة أنشئت في عام ٢٠٠٨. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، تزايد الالتحاق بمجال الهندسة النووية بنسبة ٤٦% في السنوات الخمس الماضية، وذلك بمساعدة من تمويل حكومي وبفضل إجراء دراسات استقصائية كل سنتين لاحتياجات الموارد البشرية، مما زاد من مكانة المهن المتصلة بالمجال النووي. وتعمل الصين على صوغ خطة خماسية السنوات لتعيين ٢٠ ٠٠٠ مهندس جديد للعمل في برنامجها للقوى النووية بحلول عام ٢٠٢٠، وتقوم الشركة الهندية للقوى النووية بتوسيع برامجها القائمة الخاصة بالتعيين لكي تضاعف من قوتها العاملة المكوّنة من المهندسين بحلول عام ٢٠١٧.

٥٦- وإذا تحققت التوقعات الأعلى للقوى النووية، المبينة في القسم ألف-٢، فسينبغي أن تكون هذه الجهود ناجحة وأن تتكرّر عدة مرات. وسيكون ذلك التحدي كبيراً. وعلى سبيل المثال، سيتطلب توقع الوكالة المرتفع إدخال ٢٢ مفاعلاً جديداً في الخدمة كل سنة حتى عام ٢٠٣٠. وهو توقع أعلى بكثير من المتوسط المتمثل في ٣ مفاعلات جديدة تُربط بالشبكة الكهربائية كل سنة منذ عام ٢٠٠٠ وإلى غاية عام ٢٠٠٩، بل وهو أعلى بالثلث من المتوسط المتمثل في ١٦ مفاعلا جديدا كل سنة خلال عقد السبعينات. ورغم ذلك، فإن قدرة القوى النووية، وحتى في التوقعات المرتفعة، تنمو بسرعة لا تزيد عن ٠,٥% من القدرة الإجمالية لتوليد الكهرباء. ويعني ذلك أن احتياجات الموارد البشرية من القوى النووية لا تتزايد سوى بوتيرة أسرع قليلاً من وتيرة احتياجات الموارد البشرية من توليد الكهرباء بالفحم والغاز الطبيعي ومصادر الطاقة المتجددة. والتحدي الذي تواجهه القوى النووية ليس استثنائيا .

٥٧- وللتصدي لهذا التحدي، من الضروري، مع ذلك، تقديم أرقام أفضل فيما يتعلق بما يلي:

- تقدير متطلبات القوى العاملة في مختلف البلدان في مجالات تصميم محطات القوى النووية وتنظيمها وتصنيعها وتشييدها وتشغيلها ودعمها؛
- وتقدير قدرة البرامج القائمة على الاستجابة لتلك المتطلبات؛

- وتقدير الاستثمارات والفترات الزمنية اللازمة لتوسيع البرامج التعليمية والتدريبية القائمة من أجل سد أي ثغرات متوقعة في القوى العاملة.

٥٨- وتُبذل في الوقت الراهن جهود من طرف وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي لجمع المعلومات عن متطلبات الموارد البشرية، وتركز على اتجاهات المنظمة المذكورة بعد تقريرها في عام ٢٠٠٠، المعنون: *التعليم والتدريب في المجال النووي: هل هو مدعاة للقلق*؟، ومن طرف المنتدى الأوروبي للطاقة النووية. ولكن جمع وتحليل المعلومات للحصول على استنتاجات أشمل بشأن مسألة الموارد البشرية المخصصة للقوى النووية على الصعيد العالمي عملية تقتضي جهوداً دولية منسقة. لذلك أعلنت الوكالة، في آذار/مارس ٢٠١٠ في المؤتمر الدولي المعني بتنمية الموارد البشرية اللازمة لإطلاق وتوسيع برامج القوى النووية، الذي عُقد في أبوظبي، عن استهلال مبادرة دولية جديدة، بالتعاون مع وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، والرابطة العالمية للمشغلين النوويين، والرابطة النووية العالمية، ومعهد الطاقة النووية، ومختبر لوس ألاموس الوطني في الولايات المتحدة الأمريكية، والوكالة اليابانية للطاقة الذرية، ومجلس تعزيز المهارات القوية في المملكة المتحدة، وبتعاون مع مؤسسات أخرى. ونتيجة لهذه المبادرة، من المخطط الاضطلاع بالأنشطة التالية على الصعيد العالمي: استقصاء الموارد البشرية في محطات القوى النووية القائمة، بما في ذلك استقصاء مشغّلي هذه المحطات ومورّديها؛ واستقصاء الطلب والعرض من الموارد البشرية فيما يتعلق بالهيئات الرقابية النووية؛ واستقصاء المنظمات والبرامج التعليمية التي تدعم القوى النووية؛ ووضع أدوات لتخطيط القوى العاملة لفائدة البلدان التي تفكّر في وضع برامج للقوى النووية أو التي تستحدث برامج جديدة من هذا النوع؛ ودمج ما سبق ذكره في قاعدة بيانات يسهل الوصول إليها ويمكن استخدامها لتخطيط العرض والطلب من الموارد البشرية على الصعيدين العالمي أو الوطني.

باء- الانشطار والاندماج المتقدّمان

باء-١- الانشطار المتقدّم[٩]

باء-١-١ المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (إنبرو) والمحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات

٥٩- يوفّر المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (مشروع إنبرو) التابع للوكالة محفلاً تنظر من خلاله الجهات الحائزة للتكنولوجيا والجهات المستخدمة للتكنولوجيا معاً في نظم الطاقة النووية الابتكارية. ومنذ إنشاء مشروع إنبرو في عام ٢٠٠١، ازداد عدد أعضائه ليبلغ ٣١ عضواً يمثّلون ٧٥% من الناتج المحلي الإجمالي و٦٥% من سكان العالم. وفي عام ٢٠٠٩، تم توحيد أنشطة مشروع إنبرو في خمسة مجالات محورية جديدة، هي: تقييمات نظم الطاقة النووية باستخدام منهجية إنبرو؛ ووجهات النظر والرؤى والمسارات العالمية إزاء التنمية النووية المستدامة؛ والابتكارات في مجال التكنولوجيا النووية؛ والابتكارات في الترتيبات المؤسسية؛ ومحفل إنبرو للتحاور بشأن الابتكارات في مجال الطاقة النووية.

٦٠- وفي عام ٢٠٠٩، شرعت بيلاروس في إجراء تقييم جديد لنظم الطاقة النووية. وقد نُشر دليل للمستفيدين من تسعة مجلّدات بشأن منهجية مشروع إنبرو، واستحدث المشروع 'توليفة لدعم تقييمات نظم الطاقة النووية' تشمل التدريب، وبعثات الدعم والمساعدة في تطبيق النتائج وتحليلها وتقييمها. وصدر كذلك منشوران بشأن *أدوات الوكالة ومنهجياتها الخاصة بتخطيط نظم الطاقة وتقييمات نظم الطاقة النووية* وبشأن *الاعتبارات المشتركة الخاصة بالمستخدمين التي تنظر فيها البلدان النامية من أجل وضع نظم الطاقة النووية في المستقبل*. وأجرى مشروع إنبرو دراسات بشأن الرؤى العالمية والاتجاهات الإقليمية في تنمية الطاقة النووية في القرن الحادي والعشرين، وبشأن القضايا القانونية والمؤسسية لمحطات القوى النووية القابلة للنقل.

٦١- وينسّق المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات (محفل الجيل الرابع)، من خلال نظام قائم على عقود واتفاقات، أنشطة البحوث بشأن النظم الستة للطاقة النووية من الجيل المقبل التي اختيرت في عام ٢٠٠٢ وهي مبينة في *خارطة الطريق لتكنولوجيا الجيل الرابع من نظم الطاقة النووية*: أي المفاعلات السريعة المبرّدة بالغاز،

---

٩ ترد معلومات أكثر تفصيلاً عن أنشطة الوكالة بشأن المفاعلات الانشطارية المتقدّمة متاحة في الأقسام ذات الصلة من التقرير السنوي للوكالة لعام ٢٠٠٩ وذلك على الموقع (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html). يرجى أيضاً الإطلاع على الوثائق، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، "*المصطلحات المستخدمة لوصف محطات القوى النووية الجديدة المتقدّمة*" (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (١٩٩٧)، IAEA-TECDOC-936)؛ و"*حالة تكنولوجيا المفاعلات السريعة المبرّدة بالفلز السائل*" (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (١٩٩٩)، IAEA-TECDOC-1083)؛ و"*الحالة الراهنة لتكنولوجيا المفاعلات المعيارية المرتفعة الحرارة المبرّدة بالغاز وتطويرها المستقبلي*" (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (٢٠٠١)، IAEA-TECDOC-1198)؛ و"*مفاعلات الماء الثقيل: الحالة والتطوير المتوقع*"، (سلسلة التقارير التقنية رقم ٤٠٧ (٢٠٠٢))؛ و"*استعراض البرامج الوطنية للنظم التي تعمل بواسطة المعجلات من أجل التجزئة والتحويل النووي*" (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (٢٠٠٣)، IAEA-TECDOC-1365)؛ و"*حالة تصاميم مفاعلات الماء الخفيف المتقدّمة*: (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة في عام (٢٠٠٤)، IAEA-TECDOC-1391)؛ و"*حالة التصميمات الابتكارية للمفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم: (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة في عام (٢٠٠٥)*، IAEA-TECDOC-1485)؛ و"*حالة تصاميم المفاعلات الصغيرة التي لا يُعاد تزويدها بالوقود في الموقع*" (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (٢٠٠٧)، IAEA-TECDOC-1536)؛ و"*المفاعلات المبرّدة بالمعدن السائل: الخبرة المكتسبة في التصميم والتشغيل*" (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة(٢٠٠٧)، IAEA-TECDOC-1569)؛ و"*التطبيقات المتقدّمة لمحطات القوى النووية المبرّدة بالماء*" (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (٢٠٠٨) IAEA-TECDOC-1584).

والمفاعلات السريعة المبرّدة بالرصاص، ومفاعلات الملح المصهور، والمفاعلات السريعة المبرّدة بالصوديوم، والمفاعلات فوق الحرجة المبرّدة بالماء، والمفاعلات الفائقة الحرارة. ولكن معظم الأعمال التصميمية الجارية بشأن فرادى النظم ليست جزءاً من برنامج المحفل الدولي المذكور. ويضم هذا المحفل في الوقت الراهن ١٣ عضواً.[١٠]

٦٢- ومع نهاية عام ٢٠٠٩، وقعت تسعة أعضاء من أعضاء محفل الجيل الرابع على *الاتفاق الإطاري بشأن التعاون الدولي في البحوث التطويرية المتعلقة بالجيل الرابع من نظم الطاقة النووية*: وهي جمهورية كوريا وجنوب أفريقيا وسويسرا والصين وفرنسا وكندا والولايات المتحدة الأمريكية واليابان اليوراتوم. ويحدّد الاتفاق الإطاري آليات محفل الجيل الرابع فيما يتعلق بالتعاون، أي ترتيبات النظام وترتيبات المشروع. وقد وُضعت ترتيبات النظام بالنسبة لأربعة نظم من بين النظم الستة المختارة: وهي المفاعلات السريعة المبرّدة بالغاز، والمفاعلات المبرّدة بالماء فوق الحرج، والمفاعلات السريعة المبرّدة بالصوديوم، والمفاعلات الفائقة الحرارة. وفي عام ٢٠٠٩، انضمت وزارة العلوم والتكنولوجيا الصينية إلى ترتيبات النظام بالنسبة للمفاعلات السريعة المبرّدة بالصوديوم، ودخل حيز النفاذ ترتيب رابع من ترتيبات المشاريع بالنسبة للمفاعلات السريعة المبرّدة بالصوديوم بشأن الأمان والتشغيل.

٦٣- وتتعاون الوكالة والمحفل الدولي على تفادي ازدواجية الجهود واستحداث أوجه للتآزر. ويشمل هذا التعاون قيام الوكالة باستخدام نموذج التقييم الاقتصادي (ECONS) الخاص بالمحفل الدولي لتقييم تكاليف المفاعلات المبرّدة بالغاز، وقيام المحفل المذكور باستخدام نموذج الوكالة للتقييم الاقتصادي المتعلق بالهيدروجين المولّد نووياً (HEEP). ويتعاون محفل الجيل الرابع أيضاً في مشروع الوكالة البحثي المنسّق حول سلوك انتقال الحرارة واختبار شفرات الهيدروليات الحرارية للمفاعلات فوق الحرجة المبردة بالماء.

باء-١-٢- الإطار الدولي للتعاون في مجال الطاقة النووية

٦٤- الولايات المتحدة الأمريكية هي من أطلق في البداية الإطار الدولي للتعاون في مجال الطاقة النووية في عام ٢٠٠٦ باعتباره الشراكة العالمية في مجال الطاقة النووية. وانطوى ذلك على (أ) جهد تعاوني يبذله اليوم ٢٥ بلداً يوافق على ضرورة توسيع الطاقة النووية في جميع أنحاء العالم، (ب) ووضع الولايات المتحدة برنامجاً محلياً يرمي إلى نشر تكنولوجيات إعادة التدوير وصنع الوقود وتكنولوجيات المفاعلات للقضاء على المواد المشعة الطويلة العمر في الوقود المستهلك. ورغم توقف برنامج الولايات المتحدة المحلي في عام ٢٠٠٩، فإن الجهود التعاونية الدولية لم تتوقف، إذ نظم الفريقان العاملان التابعان للبرنامج اجتماعين بشأن خدمات الوقود الموثوقة وبشأن إرساء البنى الأساسية، إلى جانب اجتماع فريقه التوجيهي في نيسان واجتماع لجنته التنفيذية على المستوى الوزاري في تشرين الأول/أكتوبر في الصين. وقد تغيّرت تسمية الجهد التعاوني الدولي في حزيران/يونيه ٢٠١٠ كجزء من عملية تحويل ترمي إلى توفير نطاق أوسع بمشاركة أوسع.

---

١٠ الاتحاد الروسي والأرجنتين والبرازيل وجمهورية كوريا وجنوب أفريقيا وسويسرا والصين وفرنسا وكندا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية واليابان واليوراتوم.

باء-١-٣- مزيد من التطوير في مجال الانشطار المتقدّم

٦٥- إلى جانب مشروع إنبرو ومحفل الجيل الرابع والإطار الدولي للتعاون في مجال الطاقة النووية، يدأب عدد من البلدان والشركات والشراكات على إجراء البحوث بشأن المفاعلات الانشطارية المتقدّمة وعلى تطويرها ونشرها. وتشكّل هذه الجهود معظم الأعمال التي تجري حول العالم بشأن المفاعلات الانشطارية المتقدّمة وتشمل المفاعلات المرتفعة الحرارة، ونظم المفاعلات السريعة، ومفاعلات الماء الخفيف المتطورّة التي تشكّل مجموعة من الأحجام والتطبيقات. وقد كانت التطورات التي طرأت في عام ٢٠٠٩ استمراراً للتقدّم الذي يرد موجز له في *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٩* [١١]، وستتناوله بتفصيل أكثر الصيغة المحدّثة القادمة لعام ٢٠١٠ من *حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي*.

باء-٢- الاندماج

٦٦- تقدّمت الأطراف السبعة المشاركة في المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي (وهي الاتحاد الأوروبي والاتحاد الروسي وجمهورية كوريا والصين والهند والولايات المتحدة الأمريكية واليابان) في عملها بشأن إرساء البنية الأساسية وتحضير موقع المفاعل المذكور بحسب المخطط. واستُكملت تحضيرات الموقع في آذار/مارس. وتم التوقيع على ترتيبات المشتريات المتعلقة بالمرافق بما قيمته ١,٥ بليون يورو تقريباً، أي حوالي ثلث مجموع المشتريات المتظرة.

٦٧- وشرعت الوكالة والمنظمة المعنية بالمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي، من خلال الاتفاق التعاوني الرسمي الذي يجمعهما[١٢]، في تخطيط التعاون الدولي بشأن التدريب وتبادل الموظفين والمؤتمرات والمنشورات بشأن مكوّنات الاندماج ومنشآته. واستمر إشراك شباب من الفيزيائيين المختصين في مجال الاندماج والبلازما، بدعم من الوكالة، في تجارب مشتركة (وفي منشورات لاحقة) بشأن الاندماج في المرافق القائمة، إلى جانب قيام أوساط مفاعلات توكاماك البرازيلية بتنظيم تجارب في أيار/مايو بشأن ظاهرة الاضطراب في بلازما مفاعلات توكاماك التي تدهور احتواء الطاقة.

٦٨- واستكملت أعمال تشييد مرفق الإشعال الوطني في مختبرات لاورنس ليفيرمور في الولايات المتحدة الأمريكية، ودُشّن هذا المرفق في أيار/مايو. ويضم المرفق ١٩٢ ليزرا بطاقة إجمالية تبلغ حوالي ١,٥ ميغاجول لإنتاج إشعاعات في "جسم أسود" لإشعال الإدماج في أقراص الديوتيريوم-التريتيوم. ووردت في أيلول/سبتمبر، خلال المؤتمر الدولي المعني بعلوم وتطبيقات الاندماج بالقصور الذاتي، معلومات عن النتائج الأولية لتفاعلات الحزم داخل الجسم الأسود وأوضحت استعداد مرفق الإشعال الوطني للشروع في أداء تجارب فيزيائية ذات أهمية بالنسبة لإنتاج الطاقة المحتمل باستخدام الاندماج بالقصور الذاتي وكذلك لكسب فهم أفضل لطبيعة الكون ولتطوّره.

---

١١ انظر الموقع *http://www.iaea.org/Publications/Reports/ntr2009.*pdf.

١٢ يرد مستنسخاً في الوثيقة INFCIRC/25/Add.8 ويُتاح على موقع الوكالة الإلكتروني http://www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/2009/infcirc25a8.pdf.

جيم- البيانات الذرّية والنووية

٦٩- يجري باستمرار تحسين قواعد البيانات النووية الرئيسية التي تضعها الشبكة الدولية لمراكز بيانات المفاعلات النووية والشبكة الدولية لمقيّمي بيانات التكوين والاضمحلال النوويين، والتي تنسّقها الوكالة، وذلك فيما يتعلق بجودة البيانات واكتمالها، وعرضها البصري وتوزيعها العالمي. ومن الجدير بالملاحظة في عام ٢٠٠٩ التعاون الدولي بشأن قاعدة البيانات التجريبية الأساسية المتعلقة بالتفاعلات النووية. وقد أتيحت مكتبات بيانات جديدة فيما يتعلق بالتطبيقات في حسابات المفاعلات السريعة وقياس الجرعات النيوترونية وتحليل المواد بحزم الأيونات. وارتفع عدد عمليات استرجاع المستفيدين للبيانات من أجهزة الخدمة الشبكية الخاصة بالمراكز المتعاونة بنسبة ١٠ في المائة سنوياً خلال السنتين الماضيتين.

٧٠- ويعتمد تخطيط العلاج المتقدّم وقياس الجرعات المادي باستخدام حزم البروتونات والأيونات على نماذج محسوبة (تقنيات مونتي كارلو) تستخدم بيانات نووية كمدخلات مهمة. وبدأ في ألمانيا واليابان في عام ٢٠٠٩ تشغيل مرفقين جديدين لحزم الأيونات. وثمة أكثر من عشرة مراكز للعلاج الإشعاعي في مراحل متقدّمة من إنشائها. وخلال المؤتمر الدولي لعام ٢٠٠٩ بشأن التحليل بحزم الأيونات، قُدّمت معلومات عن استخدامات جديدة لحزم الأيونات فيما يتعلق بالتصوير الجزيئي ودراسة الجزيئات النانومترية وأجهزة النطاق النانومتري في المسح السطحي المجهري بالأشعة السينية، وفيما يتعلق بالتحليل بحزم الأيونات على سطح المريخ.

٧١- وفيما يتعلق بالقوى النووية، ركّزت الجهود التي بُذلت داخل الصناعة النووية الأوروبية على إقرار الصيغة الجديدة ٣-١-١ للمكتبة المشتركة لبيانات الانشطار والاندماج المقيّمة (JEFF-3.1.1) بغية اعتمادها فيما يتعلق بتحليلات الأمان والتخطيط التشغيلي لمجموعة المفاعلات الحالية وفيما يتعلق بتحليل تصميمات مفاعلات الجيل الرابع. وفيما يتعلق بالاندماج، نُشر "*كتيّب بيانات التنشيط المحسوبة باستخدام النظام الأوروبي لحساب التنشيط لعام ٢٠٠٧*" *(EASY-2007)*، ويلخّص الكتيّب أكثر من عشرين عاماً من الدراسات الخاصة ببيانات التفاعل النووي فيما يتصل بأجهزة الاندماج. ويجري تجميع البيانات الذرية والجزيئية ذات الأهمية الحاسمة بالنسبة لمشروع المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي ووضعها في قواعد بيانات على الصعيد العالمي، لا سيما فيما يتعلق بعمليات إدراج عناصر خفيفة في منطقتي بلازما محرّف المفاعل وبلازما محيط المفاعل. وتضم قواعد البيانات الجديدة هذه بيانات عن عمليات الإثارة والتأيّن وتكرار التوليف وتصادم الجسيمات.

دال- التطبيقات الخاصة بالمعجلات ومفاعلات البحوث

دال-١- المُعجّلات

٧٢- ثمة ما يقارب ١٦٣ معجلاً إلكتروستاتياً منخفض الطاقة يوجد في ٥٠ دولة عضواً، و٩ مصادر لنيوترونات التشظي موزعة في ٥ دول أعضاء، و٥٠ مصدراً من المصادر الضوئية السينكروترونية يوجد في ٢٠ دولة عضواً. ويحافظ عدد المعجلات الإلكتروستاتية المنخفضة الطاقة على معدلاته الثابتة بشكل عام، إذ أن سحب معجّلات في البلدان المتقدّمة يقابله زيادة في عدد المعجلات الجديدة المقامة في البلدان النامية لأغراض

خدمات التحليل النووي. وتتزايد أعداد مصادر نيوترونات التشظّي والمصادر الضوئية السينكروترونية بمعدّل بضع آلات في كل عقد من الزمن.

٧٣- وتستخدم المعجّلات الحديثة في مجالات فيزياء الطب الإشعاعي، وعلم الأحياء الإشعاعي، والفيزياء النووية الاختبارية، والزراعة، وعمليات التعقيم، وبحوث المواد، ودراسة المصنوعات التراثية، وحماية البيئة. ونظراً للتحديات التي تواجهها العلوم والتكنولوجيا النووية في ميدان الموارد البشرية (أنظر القسم ألف-٤-٣)، يتم بشكل مطرّد إدماج معجلات صغيرة ضمن المناهج الأكاديمية للعلوم والتكنولوجيا النووية بغية المساعدة على تطوير مهارات الطلاب العامة وتلك المتعلقة بمواضيع معيّنة. ففي عام ٢٠٠٩ مثلاً، أنشأت غانا المرفق الوطني للمعجلات بغية مواصلة تعزيز القدرات المؤسساتية لدعم البحوث وتطوير الموارد البشرية. وبالأخص، تتيح المعجّلات الصغيرة فرص اكتساب المعارف والخبرات العملية، وهي فرص لا تتوافر عادةً في المرافق الأكبر حجماً.

٧٤- أمّا أهداف مصادر نيوترونات التشظّي المستخدمة على المعجلات العالية الطاقة فتوفّر معلومات مفيدة بشأن الأضرار الإشعاعية في النظم المدفوعة بالمعجلات، بما فيها تلك المنوي استخدامها في تحويل النفايات النووية وتوليد الطاقة. وفي عام ٢٠٠٩، بدأ تفكيك هدف المعدن السائل في مرفق "ميغاواط التجريبي لاختبار الأهداف" القائم ضمن مصدر نيوترونات التشظّي السويسري، والذي جرى تشعيعه عند معدّل طاقة بلغ ٠,٨ ميغاواط طوال خمسة أشهر في عام ٢٠٠٦. ويجري فصل المواد الهيكلية المكوّنة للهدف وتشريحها إلى عيّنات لاختبار خصائص المواد المشعة بواسطة الشركاء الدوليين في المرفق المذكور. وستساعد المعلومات المكتسبة على القيام مستقبلاً بتصميم أهداف عالية القوة وطويلة العمر داخل النظم المدفوعة بالمعجّلات.

دال-٢- مفاعلات البحوث

٧٥- يمكن أن يكون لمفاعلات البحوث استخدامات متعددة مثل: التدريب في ميدان العلوم النووية، والبحوث النووية، واختبار المواد، وإنتاج النظائر المشعة للأغراض الصناعية والطبية، والخدمات التجارية مثل إشابة السيليكون، والتحليل بالتنشيط النيوتروني، وتحسين نوعية الأحجار الكريمة، والاختبارات غير المتلفة. ويمكنها أن تشكل خطوة في برنامج وطني يهدف إلى الأخذ بالقوى النووية. ومع تنامي الاهتمام بالطاقة النووية، تفكّر أكثر من ٢٠ دولة عضوا في الوقت الراهن في تشييد مفاعلات بحوث جديدة. وفي عام ٢٠٠٩، أطلق "ائتلاف مبادرة أوروبا الشرقية بشأن مفاعلات البحوث"، بدعم من الوكالة، دورة تدريبية جماعية لحاملي المنح الدراسية ترمي إلى مساعدة الدول الأعضاء المهتمة باستهلال مشروع أول في ميدان مفاعلات البحوث. وتوفّر الدورة التدريب في مجالات التخطيط لمفاعلات البحوث وتقييمها وتطويرها وبنائها وبدء تشغيلها واستخدامها وتشغيلها وصيانتها.

٧٦- وثمة أكثر من ٢٤٠ مفاعل بحوث يتم تشغيله في كافة أنحاء العالم. ولم تدخل أية مفاعلات بحوث جديدة في الخدمة في عام ٢٠٠٩. ونظراً للاستعاضة عن المفاعلات القديمة المغلقة بعدد أقل من المفاعلات ذات الأغراض الأكثر تعدداً، فمن المتوقع أن ينخفض عدد مفاعلات البحوث المشغّلة إلى ما يتراوح بين ١٠٠ و١٥٠ مفاعلاً بحلول عام ٢٠٢٠. وستبرز الحاجة إلى قدر أعظم من التعاون الدولي لضمان الاستفادة الواسعة من هذه المرافق واستخدامها على نحو فعال. وستساعد الشبكات التعاونية أيضاً في الارتقاء بالمرافق القائمة وتطوير مرافق جديدة. وتواصل في عام ٢٠٠٩ إحراز التقدم في إرساء هذا النوع من الشراكات (في مناطق

المتوسط، وأوروبا الشرقية، والكاريبي، وآسيا الوسطى، بالإضافة إلى شبكة مواضيعية بشأن تحليل الإجهاد المتخلّف والقوام)، ولكن سيلزم مع ذلك بذل جهود إضافية موسّعة.

٧٧- وتوفر مبادرة الولايات المتحدة العالمية لتقليص التهديدات الإطار لبذل أحد الجهود الرئيسية الرامية إلى تحويل وقود مفاعلات البحوث والكبسولات المستهدفة المستخدمة في مرافق إنتاج النظائر، من وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء. وقد شهد عام ٢٠٠٩ توسيع نطاق البرنامج ليشمل ٢٠٠ مفاعل بحوث بدلاً من ١٢٩ مفاعلاً فقط. ومع نهاية نيسان/أبريل ٢٠١٠، كان ٧٢ مفاعل بحوث عبر العالم من المفاعلات التي تستخدم وقود اليورانيوم الشديد الإثراء قد تحوّل إلى استخدام وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء أو أغلِق قبل التحويل، كما تم تحديد ٣٣ مفاعلاً آخر يُحتمل أن يكون التحويل فيها مُجدياً إلى استخدام أنواع الوقود المؤهلة الموجودة. وستحتاج مفاعلات البحوث العالية الأداء إلى وقود عالي الكثافة الجاري تطويره لتحويله (انظر الفقرة ٧٩ أدناه). وفيما يخص تحويل الكبسولات المستهدفة المستخدمة في إنتاج الموليبدينوم-٩٩ من وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء، فقد أصبحت جنوب أفريقيا، التي حوّلت بالكامل مفاعل سفاري-١ إلى استخدام وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء في عام ٢٠٠٩، أول منتج للموليبدينوم-٩٩ على نطاق واسع يعلن إحراز تقدم ملموس أيضاً في تحويل الكبسولات المستهدفة إلى اليورانيوم الضعيف الإثراء.

٧٨- وقد أحرز برنامج إعادة وقود مفاعلات البحوث الروسي التابع للمبادرة العالمية لتقليص التهديدات تقدما باهرا في عام ٢٠٠٩. فقد أعيدت شحنة تزن تقريباً ٢٧٠ كغم من وقود اليورانيوم الشديد الإثراء النووي المستهلك و٤٩ كغم من وقود اليورانيوم الشديد الإثراء النووي الطازج إلى الاتحاد الروسي قادمة من هنغاريا وكازاخستان وليبيا وبولندا ورومانيا. ونجح البرنامج، منذ إنشائه، في إعادة حوالي ١٣٥٠ كغم من اليورانيوم الشديد الإثراء، بما في ذلك الوقود النووي الطازج والمستهلك، إلى الاتحاد الروسي.

٧٩- ولتحويل تدفقات عالية ومفاعلات بحوث عالية الأداء، يلزم توفير أنواع متقدمة فائقة الكثافة من وقود اليورانيوم-الموليبدينوم التي يجري تطويرها في الوقت الراهن. وفي هذا الصدد، أحرز تقدم هائل في السنوات الماضية القليلة. ويجري حالياً بحث سلوك وأداء وقود اليورانيوم- الموليبدينوم في إطار تعاوني من طرف فريق عامل دولي معني بتطوير الوقود مكوّن من الاتحاد الروسي والأرجنتين وألمانيا وبلجيكا وشيلي وفرنسا وكندا وجمهورية كوريا والولايات المتحدة الأمريكية. وفي الولايات المتحدة، تُركّز الجهود على تطوير وقود اليورانيوم-الموليبدينوم الأحادي الكتلة لاستخدامه في مفاعلات بحوث عالية الفيض. وقد أحرز تقدم هائل مع نضوج تكنولوجيا التصنيع. وفي عام ٢٠٠٩، تم توحيد مبادرة أوروبية جديدة لتأهيل وقود اليورانيوم-الموليبدينوم المشتت والمحتوي على يورانيوم ضعيف الإثراء ذي كثافة عالية جداً، لتحويله إلى يورانيوم ضعيف الإثراء في المفاعلات الأوروبية العالية الفيض.

٨٠- وعلى الرغم من التقدّم الملموس المحرز في ميدان تطوير وتأهيل وقود اليورانيوم-الموليبدينوم في عام ٢٠٠٩، يلزم إحراز مزيد من التقدّم وإجراء قدر هائل من الاختبارات للتوصل إلى تحقيق وفرة تجارية وفي الوقت المناسب من وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء ذي الكثافة العالية جدا.

هاء- التكنولوجيات النووية في مجال الأغذية والزراعة

هاء-١- تحسين إنتاجية الماشية والصحة البيطرية[١٣]

٨١- اعتبرت منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) والمنظمة العالمية لصحة الحيوان أن تحليل الموارد الجينية الحيوانية يشكل مجالاً ذا أولوية عالية نظراً لما يوفّره من خيارات حيوية بالنسبة لتنمية إنتاج المواشي على نحو مستدام ولتعزيز الأمن الغذائي. وبدعم من الوكالة، أحرز تقدم ملموس في ميدان تحليل التنوع الجيني في أجناس الأبقار والأغنام والماعز، وذلك لتحسين اختيار الحيوانات المنشودة لقدر أعلى من الإنتاجية نظراً لكون قدرتها على مقاومة الأوبئة المستوطنة أو البيئات القاسية ترتبط، في العديد من الحالات، بتكوينها الوراثي. وتتسم البيانات والنتائج المستخلصة من هذه التحاليل الجينية بالأهمية لضمان استدامة برامج تحسين السلالات الحيوانية مستقبلاً، وقدرتها على اختيار الحيوانات التي تحمل السمات الوراثية المناسبة. بيد أن ثغرات هائلة تشوب القدرة على استخدام البيانات الوراثية المستفادة من تلك التحاليل في برامج تحسين السلالات الحيوانية، لا سيما في البلدان النامية. وفي هذا الصدد، جرى تطوير واجهة بينية لنظام شبكة حاسوبية من أجل إتاحة البيانات الوراثية لجميع الدول الأعضاء، ولتسهيل الوصول إلى البروتوكولات المختبرية، والإجراءات التشغيلية المعيارية للتحليل الجيني، وأدوات البحث عن الجينوم، وقاعدة بيانات خاصة بالواسمات الجزيئية للمواشي[١٤]. وقد جمعت البيانات المتعلقة بالخصائص الجينية والسمات الظاهرة من أكثر من ٤٠٠٠ رأس غنم وماعز من ٨٩ سلالة. وستستخدم هذه البيانات لتعيين الجينات المشتركة التي قد يمكن استغلالها لتحسين الإنتاج الحيواني.

٨٢- وقد ساهمت المسابر المنطوية على نويدات مفردة مرقومة إشعاعياً في التوصل إلى تحديد تسلسل الجينوم البقري بكامله[١٥]. وتوفّر هذه الأدوات وسيلة لاختيار الحيوانات الأقل هدراً للطاقة وذات البصمة البيئية الأصغر، ولا سيما الحيوانات التي تنتج قدراً أدنى من انبعاثات غازات الدفيئة. وقد يتيح هذا الاكتشاف تحسين كفاءة إنتاج اللحوم والألبان، وهو يوفّر معلومات جديدة بشأن تطوّر الثدييات وبشأن النواحي البيولوجية الخاصة بالأبقار. كما أنه يحدد أيضاً وجهة البحوث التي من شأنها أن تؤدي إلى تحسين استدامة إنتاج الأغذية في العالم الرازح تحت وطأة النمو السكاني العالمي.

٨٣- ويتسم التشخيص المبكر والسريع للأوبئة البيطرية باستخدام التقنيات النووية مقرونة بالتكنولوجيا الأحيائية الحديثة بأهمية قصوى في إطار الجهود الرامية إلى الحد من الآثار اللاحقة بالحيوانات والبشر على حد سواء وإلى تحسين الأمن الغذائي أيضاً. ويمكن الربط بين استخدام التكنولوجيات النووية العالية الحساسية والخصوصية واستخدام التكنولوجيات الأحيائية الحديثة للكشف المتخصص عن العوامل المُمْرضة المسببة للأوبئة الحيوانية قبل أن تتسبب في حصول مرض، ولتحديد البصمات الجينية لحيوان ما، وأيضاً لتحديد سمات الكائنات المجهرية التي تؤثر على صحة الحيوانات والبشر. وعلى سبيل المثال، تتيح التكنولوجيات الجزيئية

---

١٣ ترد معلومات إضافة في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (على الموقع http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html) أو على الموقع http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC54/Agenda/index.html.

١٤ *تطوير قاعدة بيانات آنية للسمات الكمية/الجينات/متواليات الحمض النووي وتحديد الخصائص الجينية في الحيوانات المجترة الصغيرة* (http://www.intl-pag.org/16/abstracts/PAG16_P08a_852.html)

١٥ اتحاد تحديد تسلسل الجينوم البقري وتحليله، كريستين ج. إلسيك وروس ل. تيلام، وكيم سي. وورلي. تحديد متواليات الجينوم لدى الأبقار: نافذة إلى بيولوجيا الحيوانات المجترّة وتطورّها، ٢٤ نيسان/أبريل ٢٠٠٩، ٣٢٤: ٥٢٢-٥٢٨.

النووية تشخيصاً مؤكّداً لانفلونزا الطيور وانفلونزا الخنازير في غضون يوم واحد، فيما قد يستغرق التشخيص التقليدي لهذين المرضين أسبوعاً كاملاً.

الشكل هاء-١ . جنس محلي من الماعز في ميانمار، قادر على مقاومة الأوبئة الطفيلية ومتكيّف بشكل جيد مع البيئة المحلية، وقد استخدمت هذه الحيوانات ضمن إطار تمرين لتحديد التسلسل الجينومي باستخدام التكنولوجيات النووية.

هاء-٢- مكافحة الآفات الحشرية

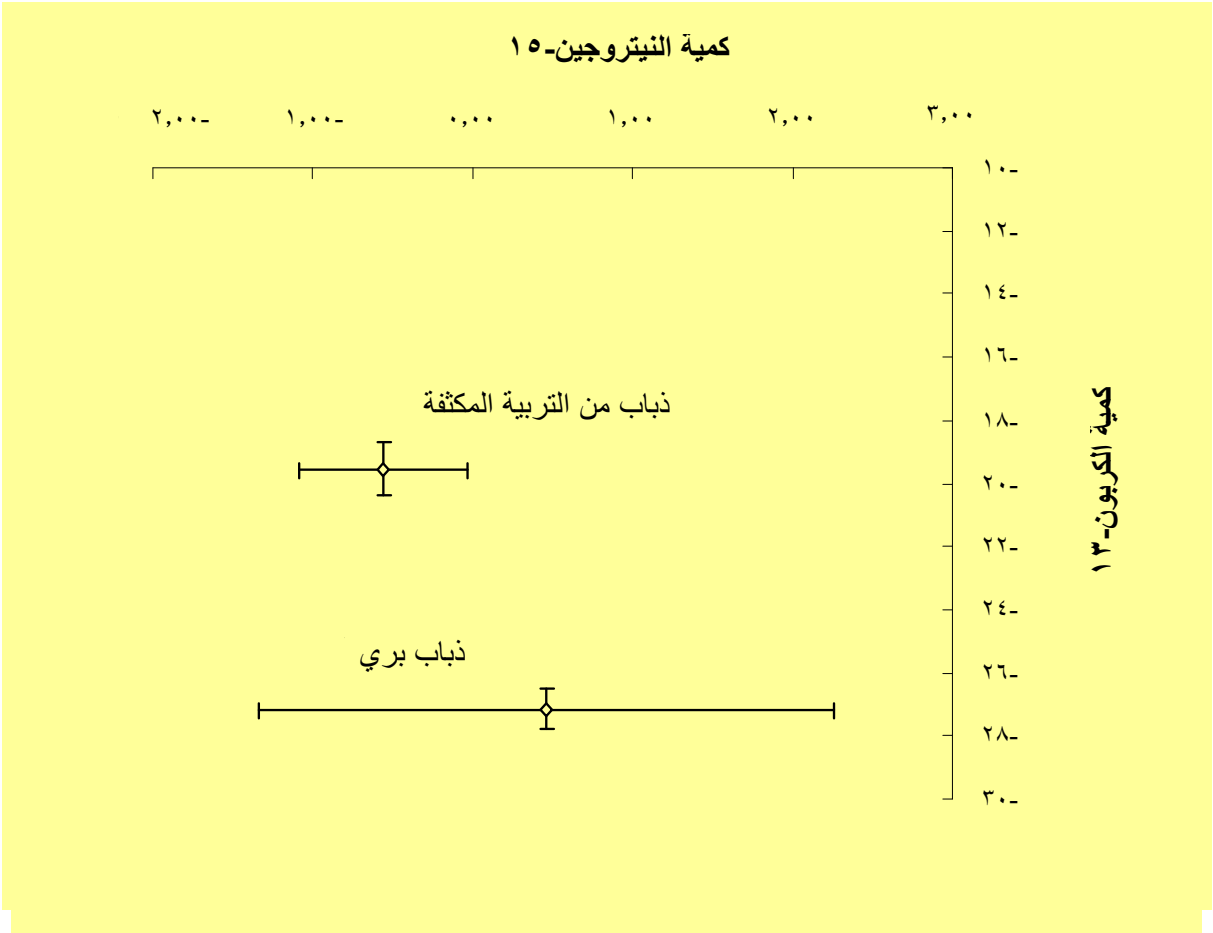
٨٤- في مجال مكافحة الآفات الحشرية، لا يقتصر استخدام التقنيات النووية على تطبيق التشعيع بالأشعة الجيمية لتعقيم الحشرات كجزء من تطبيق تقنية الحشرة العقيمة على صعيد المنطقة ككل ووسائل التحكم الجيني المرتبطة بذلك، بل تشمل أيضاً استخدام النظائر المشعة في دراسات بيولوجيا الحشرات، وسلوكها وكيميائها الحيوية وإيكولوجيتها وفيزيولوجيتها. وشاركت الوكالة أيضاً في استخدام النويدات المشعة لإجراء بحوث على الحشرات بما يساعد على التصدّي لمشاكل الآفات الحشرية. ويشكل *دليل التدريب المخبري على استخدام التقنيات النووية في بحوث الحشرات ومكافحتها*، الذي أعادت الوكالة تنقيحه ونشره في عام ١٩٩٢، مساهمة كبرى من جانب الوكالة في هذا المجال. وقد شهدت البيئة العلمية والاجتماعية العالمية، منذ أواسط تسعينات القرن العشرين، تغييرات جذرية. فمن وجهة النظر البيئية، لم يعد مقبولاً إطلاق النويدات المشعة مع الحشرات في الميدان. وإلى ذلك، فإن كلفة استخدام النويدات المشعة في المختبر تتزايد نتيجة لاعتبارات متعلقة بالأمان.

٨٥- وقد باتت الوسائل المنطوية على نظائر مستقرة تحل محل العديد من تلك المنطوية على نويدات مشعة. فهذه النظائر غير مشعة، وهي منتشرة دائماً وبشكل طبيعي في البيئة، كما أن الموظفين لا يواجهون أية مخاطر مضرّة بالصحة عند استخدامها. ونظراً لضآلة عدد اعتبارات الأمان الواجب مواجهتها، فلا حاجة لأية لوائح متخصصة فيما يتعلق بالمباني والمعدات. وهذه العوامل كلها تساعد على تخفيض التكاليف وتيسير استخدام النظائر المستقرة، كما تتيح الإطلاق المأمون لحشرات مرقومة بهذه النظائر في البيئة.

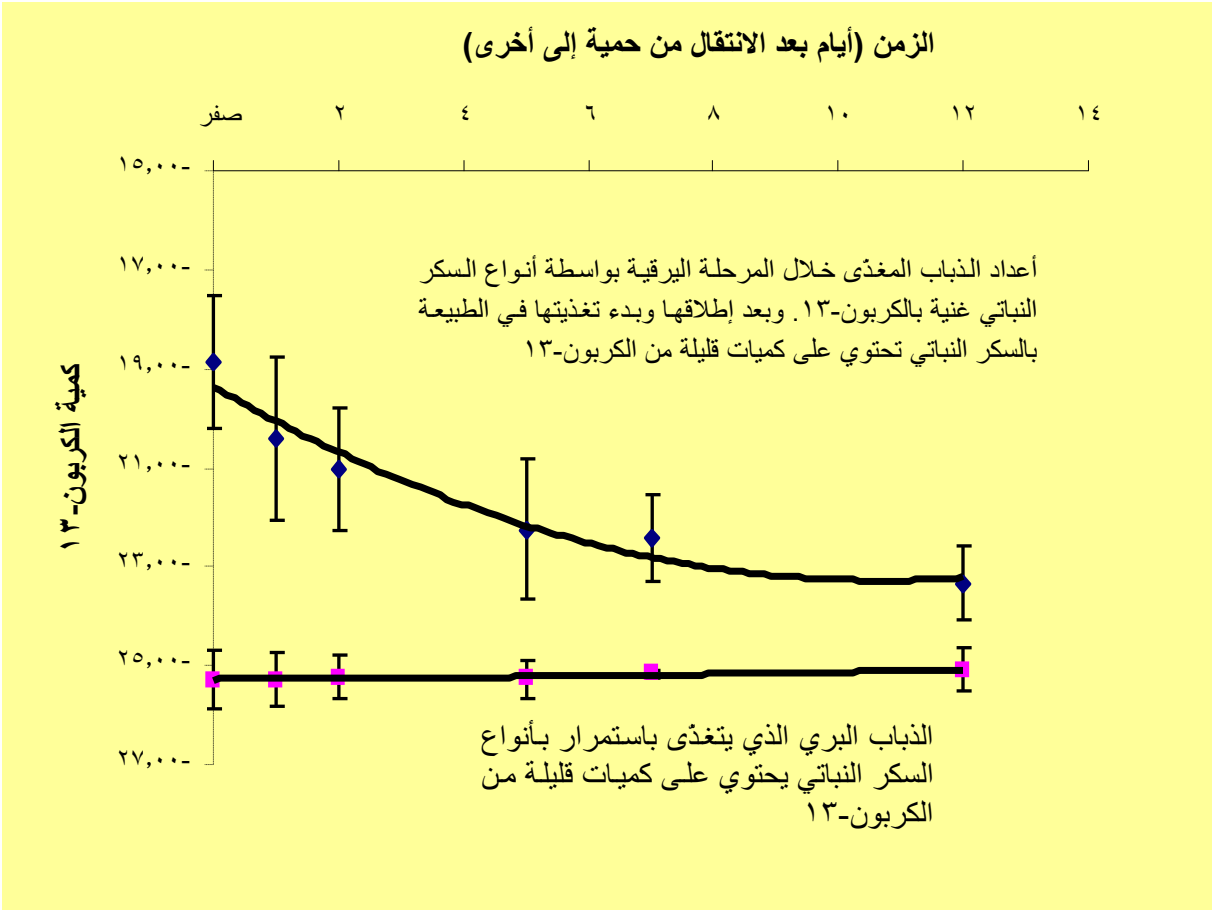
٨٦- وفي عام ٢٠٠٩، نشرت الوكالة والفاو *دليل استخدام النظائر المستقرة في علم الحشرات*، ويعرض هذا الدليل المبادئ الأساسية والتقنيات الخاصة بعلوم النظائر المستقرة، كما يستعرض استخدام النظائر المشعة في

بحوث متصلة بعلم الحشرات. وقد أتاحت أوجه التقدم المحرزة في تقنيات قياس الطيف الكتلي النسبي النظيري، من حيث الكشف والدقة والأتمتة، توسيع الإمكانيات التجريبية بشكل هائل على مدى السنوات الخمس والعشرين الفائتة. وتؤدي العمليات الطبيعية الجارية ضمن المحيط الحيوي إلى إصدار إشارات نظيرية مميّزة ويمكن بالتالي أن تعود النظائر المستقرة بفوائد جمة في مجال بحوث الحشرات للإجابة عن العديد من الأسئلة البيولوجية والإيكولوجية، مثل اقتفاء تحركات الحشرات، وأنماط التغذية داخل السلسلة الغذائية، وعمليات انتقال المغذّيات والحيوانات المنوية، فضلاً عن الإجابة عن أسئلة معيّنة بشأن استغلال الموارد.

٨٧- ومن جهة أخرى، فإن إحدى أهم النواحي السلبية لاستخدام النظائر المستقرة تكمن في الكلفة الرأسمالية المرتبطة بأجهزة قياس الطيف الكتلي لتحديد نسبة النظائر. وإلى ذلك، فإن المعدّات تتطلب بيئة يتم فيها التحكم بدرجة الحرارة بالإضافة إلى موظفين مهرة لصيانة الأجهزة الحساسة وإصلاحها. ويمكن تجاوز هذه المسائل من خلال التعاقد على خدمات تحليل النظائر مع مختبرات تحليل تجارية. ويتوافر حالياً العديد من المختبرات التي تقدم خدمات تحليل النظائر على أساس الدفع عن كل عيّنة على حدة، كما أن شحن عينات النظائر المستقرة عبر العالم يتسم بالبساطة والأمان وضآلة الكلفة.



الشكل هاء-٢ . يمكن استعمال العلامات المميزة التي تخلفها النظائر المستقرة للتمييز بين الذباب الناتج عن مختبرات التربية المكثفة الذي يتم إطلاقه وبين الذباب البري لأغراض رصد أعداد الحشرات الضارة كجزء من برامج تطبيق تقنية الحشرة العقيمة. ويظهر هذا الشكل متوسط العلامات النظيرية المميزة التي تخلفها ذكور ذبابة الفاكهة المتوسطية Ceratitis capitata *الآتية من الميدان وتلك المنبثقة عن مرفق التربية المكثفة؛ ويمثل الخطان معدل الانحراف الإيجابي/السلبي عن القيم الوسطية.*



الشكل هاء-٣ . العلامة المميزة النظيرية التي يخلفها الذباب الناتج عن مرافق التربية المكثفة تستمر طوال حياة هذه الحشرات، حتى عندما يتم إطلاق الذباب في اليوم "صفر"، أي عندما تنتقل الحشرات من حمية يرقية تحتوي على نسب عالية من الكربون-١٣ إلى حمية حشرات ناضجة تنطوي على نسبة منخفضة من الكربون-١٣، مقلّدة بذلك ممارسات تقنية الحشرة العقيمة. ومن الممكن التمييز بين الذباب العقيم والذباب البري بقدر من الموثوقية يفوق ٩٩%.

هاء-٣- جودة الأغذية وأمانها

٨٨- يشكل تعقيم الأغذية تقنية قيّمة لمكافحة الكائنات المجهرية، بما فيها تلك التي تسبب مجموعة من الأمراض المتناقلة في الأغذية. وترتبط حالات تفشي الأمراض المتناقلة في الأغذية بجميع أنواع الأغذية، ويمكن نقل العوامل الممرضة إلى الأغذية عن طريق مصادر تلوّث مختلفة تنشأ عن مناولة المنتجات ومعالجتها وإعدادها.

٨٩- وبما أن التسخين المطوّل ليس طريقة ملائمة لمعالجة جميع المواد الغذائية، فإن تشعيع الأغذية يشكل نهجاً بديلاً لإعداد الأغذية ومعالجتها. وتكمن إحدى المزايا الإيجابية الرئيسية التي تتسم بها تكنولوجيا التشعيع في أنها تقضي على الكائنات المجهرية من دون إحداث زيادة ملموسة في الحرارة. ويمكن استخدام التشعيع لمعالجة الخضار الطازجة والفواكه والأغذية المجلّدة من دون التسبب بأية تغييرات ملموسة في مذاقها أو قوامها. ويمكن أيضاً استخدام التشعيع لمعالجة الأغذية المطهية بالطرق التقليدية والمغلّفة على شكل أطباق جاهزة للتوزيع على

المستهلكين. وتكمن إحدى المزايا الأخرى للتشعيع في أنه يقضي على الكائنات المسببة للتلف، مما يساعد في الحفاظ على اللحوم والدواجن والمأكولات البحرية طازجة لمدة أطول.

٩٠- وقد ركزت غالبية أنشطة البحوث والتطوير السابقة في ميدان تشعيع الأغذية على معالجة سلع بسيطة معدّة للاستهلاك بواسطة عامة الجمهور. بيد أن التطورات الأخيرة تشير إلى احتمال لزوم اعتماد تطبيقات تشعيع الأغذية من أجل تحقيق مستويات استثنائية من الأمان في ميدان الأحياء المجهرية لمجموعات مستهدفة معيّنة من المستهلكين الذين يعانون من حساسية مفرطة إزاء تواجد هذه الكائنات المجهرية في حميتهم، وتتطلب بالتالي إمداداً مضموناً بأغذية مأمونة وصحية. وعلى سبيل المثال، فإن الأشخاص ذوي نظم المناعة الضعيفة يعانون بشكل خاص من حساسية تجاه البكتيريا المتناقلة في الأغذية، ممّا يحد في غالب الأحيان من أنواع الأغذية التي يمكنهم تناولها. واستجابة لمتطلبات المجتمع الطبي الصارمة، يمكن الاضطلاع بأعمال البحث والتطوير اللازمة على مجموعة من الأغذية المشععة المعدّة لأغراض حميوية خاصة من خلال استخدام التشعيع.

الشكل هاء-٤. وافق مكتب مراقبة الأغذية والعقاقير الأمريكي مؤخراً على تشعيع السبانخ نتيجة لتفشّي البكتيريا.

٩١- وتشمل الخطوات المقبلة، في مجال مواصلة تطبيق تقنيات تشعيع الأغذية، تطويرَ وتحسينَ تقنيات التشعيع بالتزامن مع غيرها من تكنولوجيات معالجة الأغذية الملائمة لتشكيلة واسعة من الأغذية. وعلى وجه الخصوص، يجب أن تكون هذه الأغذية ملائمة لاستهلاك مجموعات مستهدفة معيّنة تحتاج إلى مستويات استثنائية من النظافة الغذائية. وسيتواصل استخدام تطبيقات التشعيع، إمّا وحدها أو بالاقتران مع تكنولوجيات غذائية أخرى، لإعداد أغذية مأمونة لاختبارات التغذية والميكروبيولوجيا والمقبولية، فتساهم بالتالي في تحسين الصحة البشرية.

هاء-٤- تحسين المحاصيل

٩٢- ثمة نهضة في ميدان استخدام الحث الطفري لتحسين المحاصيل ولدعم البحوث الأساسية. ويجري العمل على تطوير تقنيتين ابتكاريتين هما زرع حزم الأيونات الذي يتيح لأحد النظائر أن يضمحل *داخل* الخلية، وتحسين السلالات الفضائية (أي خارج الغلاف الجوي للأرض) حيث تتدفق الأشعة الكونية *عبر* الخلية، وتكمّل هاتين التقنيتين التقنيات الأخرى المستخدمة في تحسين السلالات النباتية بالطفر. وعلى صعيد العالم، تشهد الأنواع الطافرة المطلقة رسمياً للإنتاج التجاري، والمنبثقة من ١٧٠ نوعاً مختلفاً من النباتات، تزايداً مطّرداً في عددها الذي بات يقارب ٣١٠٠ نوعاً[١٦]. وفي غضون ذلك، يجري تشييد مرافق جديدة للمعالجة بالطفر الجيني، مثل مرافق زرع الحزم الأيونية ومختبرات البيئة النباتية الجيمية والدفيئات الجيمية، كما يجري تطبيقها في مجال تحسين السلالات بالطفر في عدد من البلدان الآسيوية.

٩٣- وفي موازاة ذلك، يتم تجاوز آفاق جديدة في تطوير التكنولوجيات الابتكارية لاكتشاف أنواع مختلفة من الحث الطفري بشكل سريع وعلى نطاق واسع. وعلى الصعيد الجزيئي، يبرز توجه نحو تطوير حزم تكنولوجية تجمع ما بين البيوتكنولوجيا الحديثة، مثل تكنولوجيات التحري الغزير الإنتاجية، وبين الجيل الجديد من وسائل تحديد التسلسلات الجينية مع الحث الطفري. ويمكن للتقنيات المنهجية والغزيرة الإنتاجية الرامية إلى تحري الخصائص الجينية استناداً إلى الأدوات المؤتمتة لتحليل الصور والمرافق الآلية (الروبوتية) — كما يجري حالياً في مركز التقصي العالي الاستبانة للخصائص الجينية النباتية، بأستراليا — أن تعالج مجموعة ضخمة جداً من الأنواع الطافرة (أي ما بين عشرة آلاف ومئة ألف نبتة تم تحديد خصائصها الجينية بالكامل)، وتسدّ بالتالي ما يعرف باسم 'الثغرة بين الخصائص الجينية والأنواع الجينية'. ويتسم هذا النوع من التحريات بأهمية حيوية لأنه يتيح لأخصائيي تحسين السلالات النباتية أن يعيّنوا خطاً طافراً قيّماً يتمتع بالمزايا التي تتيح له مزيداً من الإنتاجية، حتى في ظل ظروف سلبية. ومن الجوهري إيجاد طريقة لسد الفجوة بين الموارد الطافرة المتاحة وبين المجموعة الكاملة من الأنواع الجينية النباتية، وذلك لأجل الاستفادة من كامل قدرات التنوع الحيوي النباتي، بما في ذلك المحاصيل الرئيسية قيد الاستقصاء. ويمكن لعمليات تعزيز الكفاءة من خلال تحسين السلالات بالطفر القائم على الجينات أن تساعد على تحسين جودة الأنواع المختلفة من المحاصيل وتوافرها على حد سواء، ممّا يؤدي إلى زيادة الإمدادات الغذائية لإتاحة تخفيض ضروري جداً في أسعار الأغذية. وقد بات من الممكن الآن تحديد المتواليات الوراثية للجينومات بكلفة اقتصادية تقع في متناول البلدان ذات الدخل المنخفض.

هاء-٥- الإدارة المستدامة للأراضي والمياه

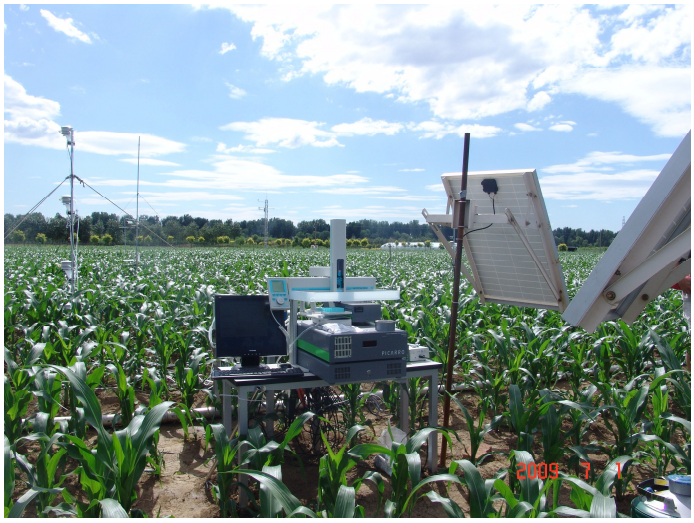
هاء-٥-١- تحسين إدارة المياه الزراعية باستخدام الوسائل النظيرية

٩٤- تتوقف مياه التربة المتوافرة لنمو المحاصيل على مدى فقدان المياه من التربة الجرداء (أي التبخّر) وعلى مدى تعرّق أوراق النباتات. ولتحسين كفاءة استخدام مياه الري، من المهم التوصل إلى تحديد كمي لهذين العاملين المؤدّيين إلى فقدان المياه. بيد أنه من الصعب قياس التبخّر والتعرّق بدقة على نطاق ميداني، نظراً للتفاعلات المعقدة مع عوامل أخرى مثل غزارة هطول الأمطار، وحالة مياه التربة، وعمق جذور النباتات، والغطاء البري. ويمكن استخدام النظيرين المائيين المستقرين (الأكسجين-١٨ والهيدروجين-٢) بفعالية للكشف عن هذه التفاعلات نظراً لكونهما عنصرين يتيحان الاقتفاء الطبيعي لحركة المياه داخل سلسلة 'التربة – النباتات – الغلاف الجوي'. فتبخّر المياه من التربة يؤدي إلى إثراء التكوين النظيري لمياه التربة بعنصري الأكسجين-١٨

---

١٦ أنظر قاعدة بيانات السلالات الطافرة والمخزون الوراثي في الموقع الإلكتروني: http://mvgs.iaea.org/

والهيدروجين-٢. أمّا في المقابل، فإن تعرّق النباتات لا يؤثر على التكوين النظيري لمياه التربة. وقد نجحت بحوث أجريت مؤخراً في مساحات عشبية شبه قاحلة وغابات صنوبرية ونظمٍ لزراعة المحاصيل في التوصل إلى تحديد كمي للتبخر والتعرّق باستخدام تقنيات قائمة على النظائر المائية المستقرة. وستستخدم المعلومات المستقاة في تطوير حزم ونماذج تكنولوجية ترمي إلى تحسين إدارة التربة والمياه في بيئات مختلفة.



الشكل هاء-٥. قياس التبخّر من التربة وتعرّق النباتات في حقل ذرة باستخدام التقنيات التقليدية والنظيرية (تقدمة البروفسور تشورونغ ماي).

هاء-٥-٢- احتباس كربون التربة العضوي والتخفيف من شدة تغيّر المناخ

٩٥- يملك احتباس كربون التربة العضوي القدرة على التقليل من تزايد مستويات ثاني أكسيد الكربون في الجو وبالتالي تخفيف آثار تغيّر المناخ. ومن خلال التمثيل الضوئي، تستخدم النباتات ثاني أكسيد الكربون لتنمو. وحينما تموت النباتات وتتحلّل، يُحتبس جزء من الكربون الموجود فيها داخل التربة على شكل كربون تربة عضوي. وعلى وجه الخصوص، فالترابط غير محدد بشكل واضح بين احتباس كربون التربة العضوي وبين توافر النيتروجين والفوسفور الموجودين في التربة. ومن خلال استخدام نظائر الكربون المشعة (الكربون-١٤) والمستقرة (الكربون-١٣) بالترابط مع تقنية تجزئة كربون التربة وتقنية العالم الأوسط (عناصر التربة الأحادية الكتلة)، تم التوصل إلى الاستنتاج بأن توافر النيتروجين والفوسفور يؤدي دوراً حاسماً في تحديد مدى القدرة على احتباس كربون التربة العضوي وفي تجزئة كربون التربة العضوي إلى أحواض مختلفة من التربة تتسم بقدرات مختلفة على الامتصاص. ولأجل تحسين النماذج الضرورية جداً لاحتباس كربون التربة العضوي كأداة للتخفيف من آثار تغيّر المناخ، يلزم تقييم احتباس كربون التربة العضوي رداً على تغيّرات النيتروجين والفوسفور في النظم الإيكولوجية الزراعية حيث يؤدي استصلاح الأراضي دوراً متزايد الأهمية في ميدان الإنتاج المستدام للأغذية. وتتسم هذه المعلومات بقدر هائل من الأهمية بحيث يجري النظر في الزراعة ضمن إطار المخططات المستقبلية لتبادل الكربون ومن أجل تخفيض انبعاثات الكربون[١٧،١٨].

---

١٧ انظر أيضاً س. تومبور، ٢٠٠٩، *ديناميات الكربون المشع وكربون التربة*. الاستعراض السنوي لعلوم الأرض والكواكب ٣٧، الصفحات ٤٧ إلى ٦٦.

١٨ م. برادفورد، ن. فيرر، ر. جاكسون، ت. مادوكس، ج. رينولدز، ٢٠٠٨، *الاحتباس غير الخطي للكربون المشتق من الجذور عبر تدرّج من ترسّبات النيتروجين والفوسفور في عوالم وسطية اختبارية*. بيولوجيا التغيرات الشاملة، ١٤، الصفحات ١١١٣ إلى ١١٢٤.

واو- الصحة البشرية

واو-١- مكافحة سوء التغذية بواسطة تقنيات نووية

٩٦- يؤثر نقص المغذّيات الدقيقة، أي 'الجوع المستتر'، على جزء كبير من سكان العالم، ولا سيما الرضع والصغار والنساء في سن الحمل في البلدان النامية. وتشكل حالات نقص الفيتامين ألف والزنك والحديد شواغل رئيسية في ميدان الصحة العامة نظراً لمساهمتها في ضعف النمو وضعف التطور الذهني خلال المراحل الأولى من الحياة وفي سوء صحة الأطفال الصغار.

٩٧- وثمة حاجة ماسة إلى وضع استراتيجيات فعالة ومستدامة قائمة على الأغذية لمكافحة حالات نقص المغذيات الدقيقة. وتشمل الاستراتيجيات القائمة على الأغذية تدخّلات تقليدية مثل تقوية الأغذية وتعديل الحميات، كما أنها تتضمن نُهُجاً أكثر ابتكاراً مثل الأغذية الأساسية ذات التركيبة التغذوية المحسّنة — أي 'التدعيم الحيوي'. ولتقييم التوافر الحيوي للمغذيات الدقيقة، تستخدم التقنيات النووية كجزء لا يتجزّأ من عملية إعداد وتقييم التدخّلات التغذوية الرامية إلى مكافحة حالات نقص المغذيات الدقيقة.

٩٨- ومن شأن نتائج التطبيقات الأخيرة لتقنيات النظائر المستقرّة، المستخدمة في تقييم مدى التوافر الحيوي للحديد والفيتامين السليف ألف والأصباغ الجزرانية في فئات سكانية ضعيفة، أن تساعد صانعي القرارات، والمهنيين في المجال الصحي، وغيرهم من أصحاب المصلحة، بما يشمل الصناعة الغذائية وأخصائيي تحسين السلالات النباتية، على تحديد المسار للمضي قدماً. وعلى سبيل المثال، فإن الأثر الشامل لاستراتيجيات تعزيز الأغذية لمكافحة نقص الحديد سيتوقف على التوافر الحيوي للمركبات الحديدية، وكذلك على تواجد مثبطات ومعززات امتصاص الحديد في الحمية، كما جرى التشديد عليه في المبادئ الإرشادية الأخيرة الصادرة عن منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة[١٩].

---

١٩ منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، *المبادئ الإرشادية بشأن تعزيز الأغذية بالمغذيات الدقيقة*. ل. آلن، ب. دو بونوا، ع. داري، ر.ف. هوريل، ناشرون. http://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/9241594012/en/index.html

الشكل واو-١ . الرضع والأطفال الصغار والنساء في سن الحمل في البلدان النامية يشكلون أضعف فئات سكانية معرّضة لخطر 'الجوع المستتر' (تقدمة ستيفاني غود، إثيوبيا).

٩٩- وتستخدم حالياً تقنيات النظائر المستقرة لتقييم إجمالي كميات الفيتامين ألف بغية توفير معلومات جديدة حول القيمة البيولوجية للبطاطا الحلوة ذات اللبّ البرتقالي اللون، الغنية بالأصباغ الجزرانية للفيتامين السليف 'ألف'.[٢٠] وتعمل الوكالة على نحو وثيق مع شركائها الدوليين مثل مؤسسة "هارفست بلاس" في هذا المجال، بالإضافة إلى تقييم المحاصيل الثابتة المعززة حيوياً الأخرى مثل القمح ذي المحتوى العالي من الزنك.[٢١]

١٠٠- وقد برزت أهمية هذه الجهود في التقرير الصادر مؤخراً بعنوان "توافق آراء كوبنهاغن لعام ٢٠٠٨"[٢٢]. فقد قامت لجنة مكوّنة من أبرز ثمانية علماء اقتصاد على صعيد العالم بتصنيف الحلول المقترحة للتحديات العالمية استناداً إلى كلفتها الاقتصادية ومزاياها. وحلّت الحلول الرامية إلى مكافحة نقص المغذّيات الدقيقة، مثل استعمال المكمّلات الغذائية وتعزيز الأغذية والتعزيز الحيوي، في المراتب الأولى والثالثة والخامسة من بين ٣٠ حلاً ترمي إلى مواجهة عشرة تحديات مختلفة وضعها أخصائيو التغذية.

واو-٢- تقنيتان للتصوير الإشعاعي الهجين: "التصوير بالانبعاث الفوتوني المفرد المقرون بالتصوير المقطعي الحاسوبي" و"التصوير بالانبعاث البوزيتروني المقرون بالتصوير المقطعي الحاسوبي"[٢٣]

١٠١- يعدّ التصوير التشخيصي أحد أهم المجالات الإبداعية في الطب المعاصر. ويمكن تقسيمه إلى فئتين عريضتين هما: الطرائق التي تحدد التفاصيل التشريحية بقدر كبير من الدقة، والطرائق التي تنتج صوراً وظيفية أو جزيئية. وفي إطار الفئة الأولى، تشمل الأمثلة التصوير المقطعي الحاسوبي والتصوير بالرنين المغناطيسي، اللذين يعيّنان التغيّرات البنيوية بدقة تصل إلى ميليمتر واحد. أمّا التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني

---

٢٠ انظر الموقع الإلكتروني التالي: http://www.harvestplus.org/content/biofortified-foods-offer-protection-vitamin-deficiency

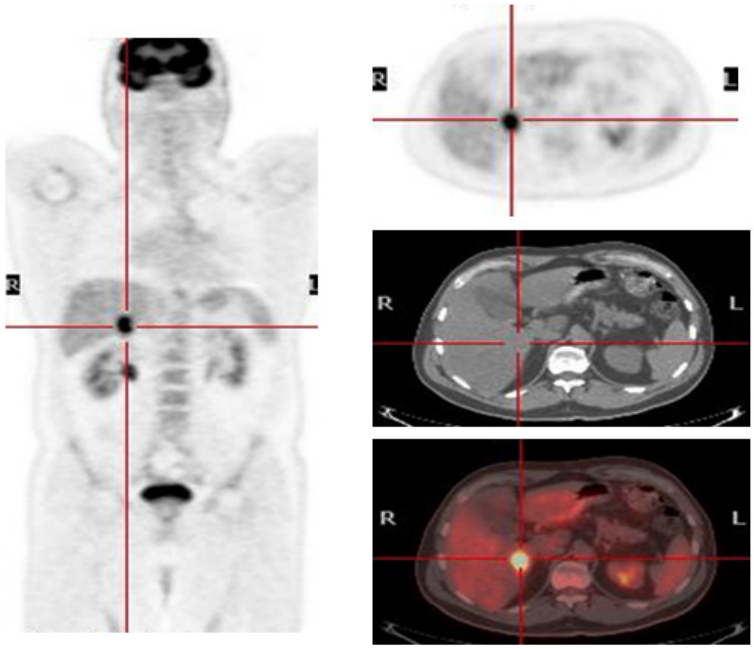
٢١ انظر الموقع الإلكتروني التالي: http://www.harvestplus.org/content/study-shows-women-absorb-more-zinc-biofortified-wheat

٢٢ انظر الموقع الإلكتروني التالي: http://www.copenhagenconsensus.com/The%2010%20challenges-1.aspx

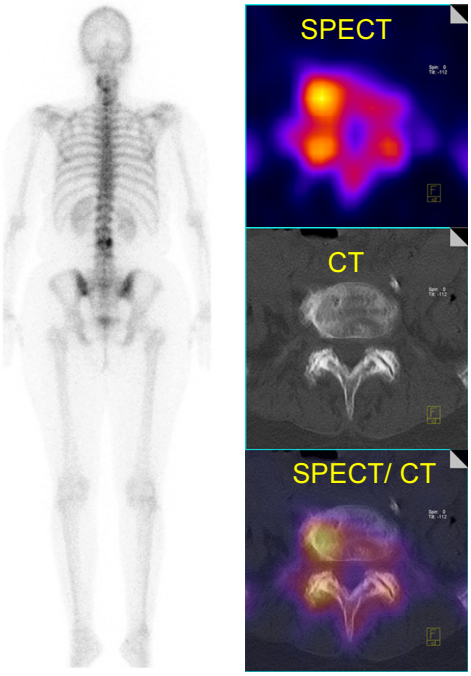
٢٣ ترد معلومات إضافية في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (على الموقع http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html) أو على الموقع http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC54/Agenda/index.html.

والتصوير المقطعي الحاسوبي بالانبعاث الفوتوني المفرد، فهما مثالان عن الفئة الثانية التي تستقصي حالة الأمراض على المستوى الجزيئي.

١٠٢- وعلى مدى العقد المنصرم، أتاحت التكنولوجيا دمج الطرائق التشريحية والوظيفية ضمن نظم هجينة للتصوير مثل "التصوير بالانبعاث الفوتوني المفرد المقرون بالتصوير المقطعي الحاسوبي" و"التصوير بالانبعاث البوزيتروني المقرون بالتصوير المقطعي الحاسوبي". وتتيح نظم التصوير الهجينة هذه استقصاءً يجمع بين تشريح أعضاء الجسم البشري ووظائفها. والمزايا السريرية عديدة وتشمل قدرة أفضل على تعيين الإصابات وتحديد مواضعها، مقرونة بقدرة أفضل على تحديد سمات التغيّرات البنيوية والأيضية الحاصلة ضمن الإصابات المعيّنة. ونتيجة لذلك، يتم الكشف عن الأمراض في المرحلة الأكثر إبكاراً بقدر عالٍ من الدقة، ممّا يتيح الإبكار في بدء العلاج وتحقيق أفضل الفرص للتعافي الكامل والسريع. وقد تم بنجاح تطبيق تقنيات التصوير الهجين في مجالي طب القلب والسرطان. وتستخدم تقنية "التصوير بالانبعاث البوزيتروني المقرون بالتصوير المقطعي الحاسوبي" لتقييم العوامل المعيقة لتدفق الدم في حالات انسداد الشريان التاجي، ممّا قد يؤدي إلى تنخّر الأنسجة. وفي علاج الأورام، تتيح تقنيات التصوير الهجين الكشف المبكر عن السرطان، عن طريق إيضاح التغييرات الحاصلة على مستوى الخلايا قبل وقت طويل من ظهور التغيّرات التشريحية. أمّا في ميدان جراحة العظام، فتعدُّ تقنيتا "التصوير بالانبعاث الفوتوني المفرد المقرون بالتصوير المقطعي الحاسوبي" و"التصوير بالانبعاث البوزيتروني المقرون بالتصوير المقطعي الحاسوبي" أفضل الطرائق التصويرية لتقصّي أسباب آلام أسفل الظهر، ويجوز أيضاً استخدامهما في مراحل ما بعد الجراحة وما بعد الإصابة. وتشمل مجالات تطبيق التصوير الهجين الأخرى تقييم الأمراض غير الخبيثة التي تؤثر في الدماغ والغدة الدرقية والغدة المجاورة للدرقية وغيرها من أعضاء الجسم البشري الأخرى.



الشكل واو-٢ . الصور – مثل الصورة أعلاه التي تظهر الأعضاء الداخلية لرجل في الخمسين من عمره عانى في الماضي من ورم سرطاني في القولون جرى استئصاله جراحياً – أساسية لرصد أية تطورات في المرض. وتظهر المناطق الباهتة ارتفاعاً في واسمات الورم نتيجة لاحتمال عودة هذا الأخير. أمّا التصوير بالانبعاث البوزيتروني المقرون بالتصوير المقطعي الحاسوبي، فيظهر نقيلة كبدية واحدة من دون أية إصابات أخرى، ممّا يشير إلى إمكانية استئصالها بواسطة جراحة إضافية (تقدمة س. فانتي).



الشكل واو-٣ . تظهر إحدى دراسات التصوير بالانبعاث الفوتوني المفرد زيادة في أيض العظام في الجزئين القطني والعنقي من العمود الفقري لهذه المرأة البالغة من العمر ٦٥ عاماً والتي عانت في الماضي من ورم ميلانيني. الصور المشتركة بين التصوير بالانبعاث الفوتوني المفرد والتصوير المقطعي الحاسوبي تظهر تغييرات عظمية ضخمة في التشريح مرتبطة بعمليات تنكسية. وقد أتاحت الصور استبعاد الإصابة بانبثاثات عظمية.

واو-٣- أوجه التقدّم في تطبيقات العلاج الإشعاعي للأورام

١٠٣- خلال عام ٢٠٠٩، برزت تطوّرات تكنولوجية جديدة عديدة في ميدان العلاج الإشعاعي للأورام. وقد سُلّط الضوء على هذه التطورات في نيسان/أبريل ٢٠٠٩ خلال المؤتمر الدولي المعني بأوجه التقدم المحرز في العلاج الإشعاعي للأورام[٢٤].

١٠٤- وتتعلق المسألة الهامة الأولى بالجهود الرامية إلى تخمين القيمة المقارنة لوحدات الكوبالت مقابل المعجلات الخطية، ذات الأهمية الخاصة بالنسبة إلى البلدان ذات الدخل المنخفض والمتوسط. وخلال المؤتمر المذكور، وبعده في إطار تقويم مقارن أجرته الوكالة للتكنولوجيات النووية في ميدان الصحة البشرية، اتفق الخبراء على أن الخيار بين هاتين الطريقتين العلاجيتين سيتوقف على عدة عوامل تشمل توافر الخطط الوطنية لمكافحة السرطان، وتوافر عدد حيوي مطلوب من الموظفين العلميين والطبيين ذوي الكفاءة، فضلاً عن توافر البنى الأساسية الملائمة.

١٠٥- وثانياً، فإن مسائل عدم التيقّن والدقة في ميدان العلاج الإشعاعي للأورام ترتدي قدراً أكبر من الأهمية على الصعيد العالمي مع تزايد تعقيد التقنيات العلاجية، نتيجة لاستخدام جرعات أكبر بغية تحسين معدلات الشفاء

---

٢٤ لمزيد من المعلومات: انظر الموقع الإلكتروني التالي:
http://www-pub.iaea.org/MTCD/Meetings/Announcements.asp?ConfID=35265

من السرطان. ويتزايد التقدير بأن أنشطة ضمان الجودة والتوثيق الدقيق مطلوبة في كل خطوة من خطوات مسار إدارة شؤون المرضى. ويُشجَّع إعداد مبادئ إرشادية وبروتوكولات سريرية قائمة على أساس البراهين.

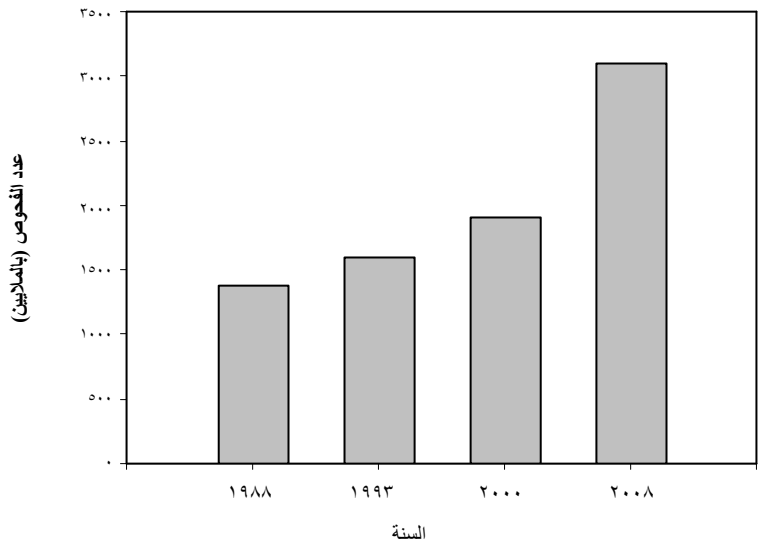
١٠٦- وتخضع التكنولوجيات الجديدة، مثل العلاج الإشعاعي المعدّل الكثافة والعلاج الإشعاعي الموجّه تصويرياً واستخدام البروتونات والجسيمات المشحونة، لقدر متزايد من التدقيق بغية التحقق من أن الممارسة السريرية تعتمد على براهين علمية سليمة. ويتسم ذلك بالأهمية، ليس بالنسبة للبلدان ذات الدخل المنخفض والمتوسط فحسب، بل وبالنسبة إلى البلدان ذات الدخل المرتفع، نظراً لمحدودية الموارد ولتزايد أهمية تدابير تحسين كفاءة التكاليف.

١٠٧- كما يشهد استخدام 'الجداول العلاجية ذات التجزئة المتدنية' نهضة جديدة نتيجة للجهود المبذولة في سبيل تخفيض الكلفة وكذلك نتيجة لتحسين دقة إيصال الجرعات الإشعاعية المرتفعة باستخدام معدات متقدمة من الناحية التقنية.

واو-٤- أثر التكنولوجيا الرقمية على التصوير الإشعاعي بالأشعة السينية

١٠٨- أتاح التقدّم المحرز في ميدان التكنولوجيا الرقمية زيادةً في تطبيق التصوير المقطعي الحاسوبي. فاستخدام التصوير المقطعي الحاسوبي السريع لمناطق واسعة باعتماد شرائح متعددة، على سبيل المثال، أتاح توسيع استخدام التصوير المقطعي الحاسوبي ليشمل مجموعة تطبيقات واسعة، من طب القلب إلى الفحوص في ميدان طب الأطفال. وتنطوي هذه التكنولوجيات الجديدة على استخدام جرعات إشعاعية متزايدة وتقوّض ممارساتنا القائمة في ميدان تحديد الجرعات. ويشكل التشخيص الإشعاعي مجالاً طبياً حيوياً لضمان فعالية الرعاية الصحية. وفي المتوسط، يخضع كل شخص من أصل شخصين في العالم لفحص إشعاعي كل سنة. ويبرز الشكل واو-٤ أن عدد الفحوصات الإشعاعية ارتفع بمعدل يفوق الضعف على مدى السنوات العشرين الفائتة (استناداً إلى بيانات جمعتها لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري). وهناك انعدام ملحوظ في توازن التوزيع الجغرافي للخدمات — ففي الواقع، لا تشهد البلدان ذات الدخل المنخفض سوى أقل من ٢% من إجمالي الفحوصات المنفّذة على صعيد العالم. وإحدى الخاصيّات الحالية الأخرى التي يتميّز بها علم الأشعة تتمثل في سرعة التغيّرات التكنولوجية، التي تبرز مثلاً في الانتقال الملحوظ من الصور التماثلية، كالأفلام، إلى تقنيات التصوير الرقمي.

١٠٩- وبالنسبة إلى البلدان ذات الدخل المنخفض، تجلب التكنولوجيات الرقمية معها فرصاً وتحدّيات غير متوقّعة. فلسوء الحظ، ما زال العديد من الدول النامية يعتمد بشكل يكاد يكون كاملاً على التحميض اليدوي للأفلام بغية إنتاج الصور اللازمة للتشخيص. وتثير هذه المنهجية تحديات تقنية تؤدّي في الغالب إلى إنتاج صور رديئة النوعية. كما أنها مضرّة بالبيئة. بيد أن الأمر الذي يكتسي أهمية خاصة هي الطريقة التي يمكن بها لهذه المعالجة أن تحدّ من فعالية توفير الخدمات، حيثما تكون المعدّات الإشعاعية واليد العاملة المؤهلة نادرة. فالصور الطبية الرقمية يمكن إرسالها إلكترونياً إلى أماكن بعيدة، ممّا يتيح للمواقع النائية أو ذات الموارد المحدودة أن تستفيد من مراكز الامتياز للحصول على تشخيصات الخبراء وللمساعدة في ميدان التدريب المهني. ومع نضوج تكنولوجيا التصوير الرقمي وتواصل التخفيضات في تكاليفها، فإن جدواها المالية تتزايد بالنسبة للبلدان النامية. ويعد استمرار التحسينات في التكنولوجيا الرقمية بتوفير بديل مستقبلي لتحميض الأفلام يدوياً، فيتزايد بالتالي الأمل في التوصل إلى استخدام الخدمات الإشعاعية على نحو أكفأ وعلى نطاق أوسع.



الشكل واو-٤- التوجهات العالمية في ميدان الفحوص الإشعاعية بالأشعة السينية (السجلات الرسمية للجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري، ٢٠٠٨)

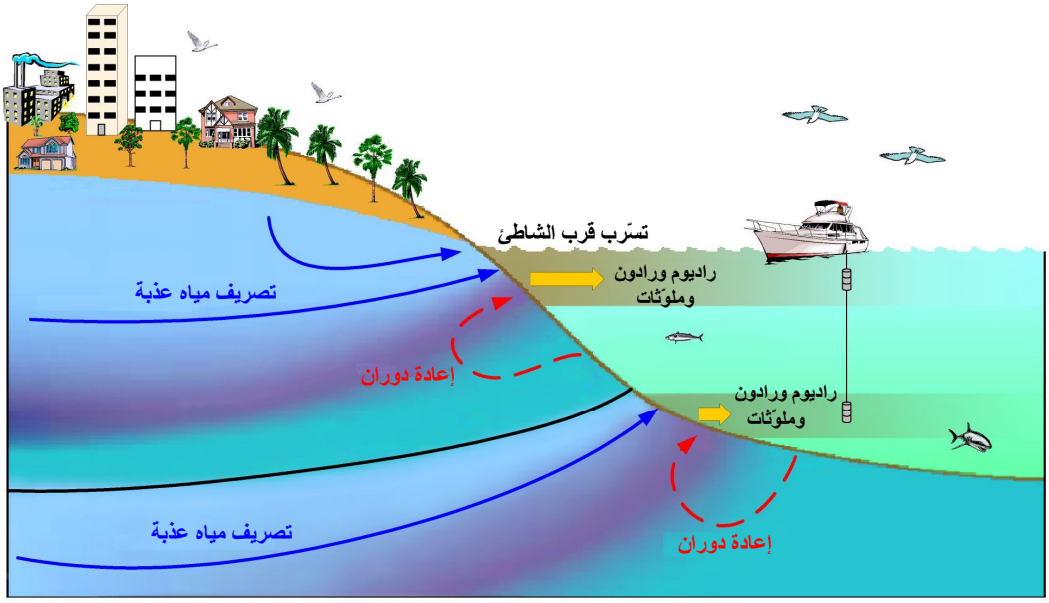
زاي- البيئة

زاي-١- التقنيات النووية لقياس كميات المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر[٢٥]

١١٠- تتدفق المياه من القارات إلى البحار عبر الأنهر والمستجمعات الجوفية على حد سواء. وعندما تتقاطع المستجمعات الجوفية مع الخط الساحلي، فإنها تطلق مياهاً عذبة نحو المحيطات. وتتراوح تقديرات كميات المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر بشكل ملموس بين ٦% و١٠٠% من المياه العذبة المصرّفة نحو المياه الساحلية، ويعزى ذلك بشكل كبير إلى التقلبات التي تشهدها هذه الكميات نتيجة عوامل إقليمية وزمنية. وقد حظيت كميات المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر مؤخراً بقدر كبير من الاهتمام في ميدان الإدارة الساحلية نتيجة لإمكانية الاستفادة منها على شكل موارد للمياه العذبة في المناطق التي تعاني من حالات نقص في المياه. وإلى ذلك، فإذا كانت المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر مكوّنة من مياه قليلة الملوحة، يمكن عندئذ استعمالها في محطات التحلية. ومن جهة أخرى، يمكن أيضاً لهذه المياه الجوفية أن تحتوي على معدلات عالية من الملوّثات (من مغذّيات ومعادن ومبيدات) فتؤثر بالتالي سلباً على النظم الإيكولوجية الساحلية. ويمكن لذلك أن يؤدي إلى تفشّي تكاثر الطحالب الضارة وتلوّث المناطق الساحلية. وأخيراً، فإن معرفة حجم المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر تساعد، عند استعمالها كأداة للإدارة، على تفادي الاستغلال المفرط للمستجمعات المائية الساحلية وتجنّب دخول المياه المالحة إليها.

---

٢٥ ترد معلومات إضافة في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (على الموقع http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html) أو على الموقع http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC54/Agenda/index.html.



الشكل زاي-١ . صورة تفسّر مفهوم المياه الجوفية تحت سطح البحر: درجة الانسياب المائي يؤدي إلى تصريف المياه العذبة في البحر. وتساهم إعادة دوران مياه البحر، بواسطة حركتي المد والجزر مثلاً، في تصريف المياه الجوفية تحت سطح البحر.

١١١- وجرى تطوير تقنيات قياس يستخدم فيها الراديوم والرادون للكشف عن حالات تصريف المياه الجوفية تحت سطح البحر وقياس كمياتها في المناطق الساحلية؛[٢٦] وتحتوي المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر على كميات أكبر من كلا النويدتين المشعّتين مقارنة بما تحويه مياه البحر. ويمكن الكشف عن مصادر المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر عن طريق قياس التوزيع المكاني لنويدات الراديوم والرادون في المياه الساحلية. وتتيح التغيّرات الزمنية في معدلات تركيز هذه النويدات — بالأخص نتيجة تمازج المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر مع مياه البحر نتيجة لحركات المد والجزر — قياس حجم المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر. وفضلاً عن ذلك، فإن تحديد أربعة من نظائر الراديوم (الراديوم-٢٢٣، والراديوم-٢٢٤، والراديوم-٢٢٦، والراديوم-٢٢٨) يساعد على فهم المقاييس الزمنية لتشتت المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر في المياه الساحلية وتمازجها معها. ونظراً لسهولة استخدام نظائر الرادون والراديوم لاقتفاء المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر، فمن المتوقع أن يزداد استخدامها في المناطق الساحلية التي تعاني بيئتها من الضغوط.

زاي-٢- فهم دورة الكربون: تطبيق التقنيات النووية في تقييم تدفقات الجسيمات من المحيط إلى قاع البحر

١١٢- تنطوي الكيمياء الجيولوجية الحيوية على مسألة أساسية عالقة ألا وهي فهم آليات التحكم بتدفق المواد من سطح المحيطات إلى قاعها أو إلى أعماقها، وتعزيز هذا التدفق. وتُمثل المحيطات حوضا كبيرا للكربون، كما أن احتباسها لكميات متزايدة من ثاني أكسيد الكربون يؤدي إلى تحمّضها. و'الجسيمات الغارقة' تشكل الآلية النهائية للتخلص من الكربون وغيره من العناصر، فضلاً عن الملوّثات، من الطبقات العليا للمحيطات. ويشمل ذلك الكربون الجوي – الذي يُحوّل من ثاني أكسيد الكربون إلى كتلة حيوية ويحتبس في الأعماق نتيجة لآلية غرق الجسيمات – والملوّثات والعناصر المشعة. ومن خلال تحليل عينات المواد الجسيمية المعلّقة المأخوذة من

٢٦ *انظر أيضاً الوثيقة المعنونة التقنيات النووية والنظيرية لتحديد سمات المياه الجوفية المصرّفة تحت سطح البحر في المناطق الساحلية* (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة IAEA-TECDOC-1595, 2008).

أعماق مختلفة من المحيط، يمكن تقييم العوامل المتنوّعة التي تتحكّم بانتقال الكربون من السطح إلى أعماق المحيطات.

١١٣- وهذه الجسيمات الغارقة هي الآلية الرئيسية لانتقال الكربون من السطح إلى قاع المحيط. وخلال هبوط هذه الجسيمات إلى قاع المحيط، يتعدّن الكربون العضوي الموجود داخلها ليأخذ شكلاً غير عضوي يكون من الأسهل بكثير تحريره وإعادة توزيعه في مياه المحيطات عند أعماق مختلفة. ويحدد مدى إعادة التوزيع هذه كمياتَ ثاني أكسيد الكربون التي يمكن للمحيطات امتصاصها من الجو. وقد تزايد، خلال السنوات الأخيرة الماضية، استخدام النظير المشع الطبيعي الثوريوم-٢٣٤ لقياس تدفقات الجسيمات وكميات الكربون المنتقل من الطبقات العليا للمحيط، سواء في المحيطات المفتوحة أو في البيئات الساحلية. والثوريوم-٢٣٤ هو نظير يتفاعل من الجسيمات يتولّد في مياه البحر نتيجة الاضمحلال المشع للمادة الحافظة الأصلية الذائبة، أي اليورانيوم-٢٣٨. ويستخدم انعدام التوازن بين اليورانيوم-٢٣٨ ونشاط الثوريوم-٢٣٤ الإجمالي المقاس ليعكس المعدل الصافي لانتقال الجسيمات من سطح المحيطات وفق مقاييس زمنية قائمة على أساس أيام أو أسابيع.

١١٤- وجرى تطبيق هذه التقنية مؤخراً ضمن إطار مشروع دولي نفّذ في المناطق الساحلية من البحر المتجمد الشمالي لتقييم أثر ذوبان "الجليد السرمدي" Permafrost نتيجة الاحترار المناخي، والارتفاع الناشئ عن ذلك في تدفق المواد العضوية عبر الأنهر، من السواحل إلى المياه المفتوحة.

الشكل زاي-٢ . تركيب مضخة موقعية كبيرة الحجم لجمع المواد الجسيمية المستخدمة لقياس النويدات المشعة في مياه البحر المتجمد الشمالي.

حاء- الموارد المائيّة

١١٥- سلّط كل من تقرير الأمم المتحدة الثالث عن تنمية المياه في العالم[٢٧] والمنتدى العالمي الخامس للمياه، الذي عقد في اسطنبول خلال عام ٢٠٠٩، الضوء على مجالات حرجة ذات صلة بالمياه في عالم يشهد تغيّرات. ولما كانت التهديدات المحدقة بالموارد المائية نتيجة لتغيّر المناخ وارتفاع تكاليف الأغذية والطاقة والأزمة الاقتصادية العالمية تشكل عاملاً أساسياً يؤثر على المجتمع البشري وعلى استدامة النظم الإيكولوجية، فإنها بالتالي تزيد من الطابع الطارئ الذي يتسم به التصدّي لمشاكل المياه.

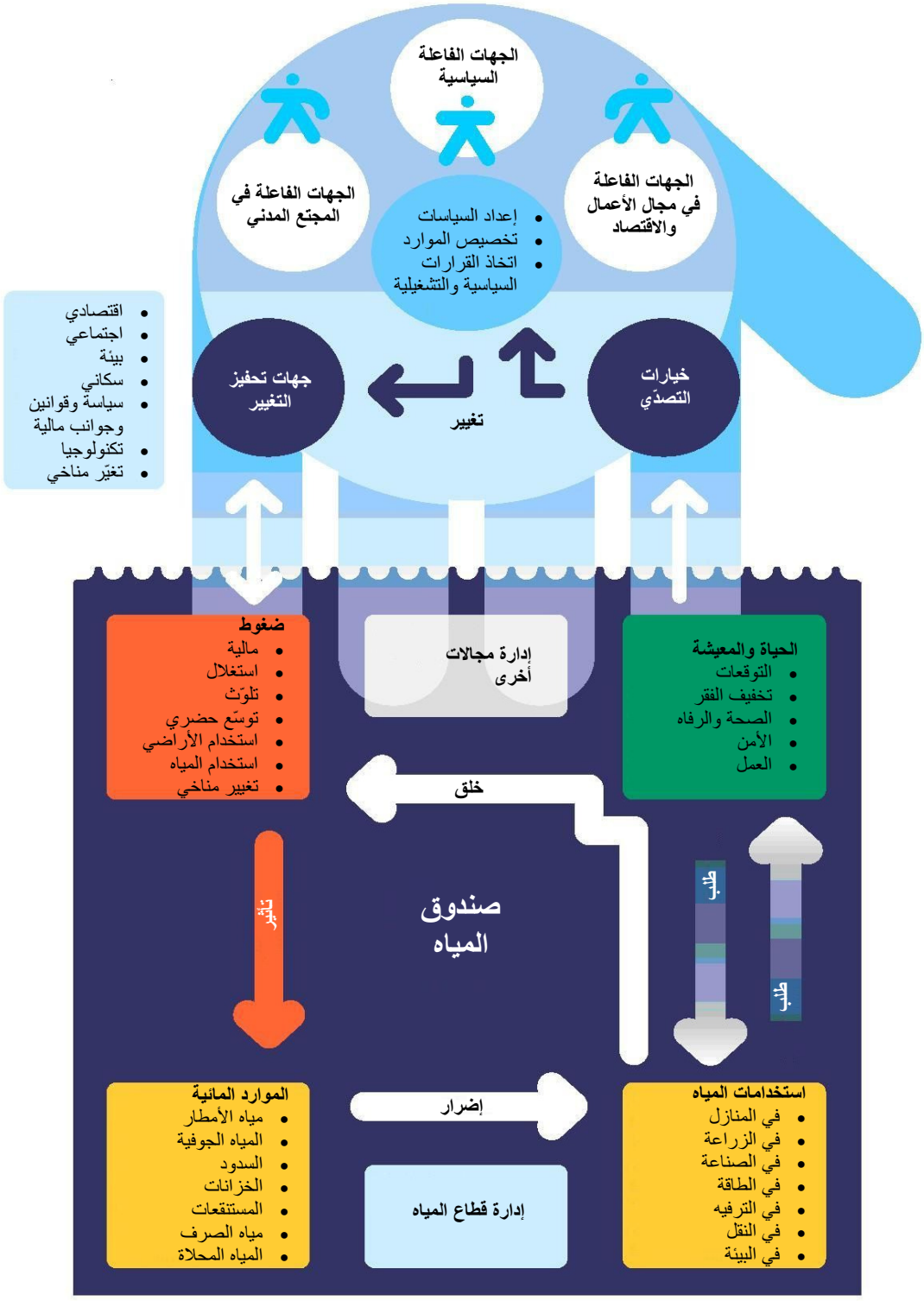
١١٦- وبالتالي، فإن تعزيز التعاون بين الوكالات في مختلف أنحاء العالم ضروري جداً لدراسة الصلات التي تربط بين المياه وغيرها من العوامل. وتتصدّى الوكالة لهذه الصلات من خلال برنامجها المعني بالموارد المائية. وتوفّر الهيدرولوجيا النظيرية أدوات فريدة تتيح معالجة مشاكل مائية معقدة، كما تساعد المديرين وصانعي السياسات في فهم الصلة الوثيقة بين الطاقة وإنتاج الأغذية من جهة واستخدام الموارد المائية من جهة أخرى. ولكل من الأغذية والطاقة أثر هائل على استدامة الموارد المائية، كما سيكون لتوافر المياه أثر هائل على حسن تلبية الطلب المتزايد على الأغذية والطاقة. وتؤثر عوامل متعددة على الموارد المائية أو نقص هذه الموارد كما أنها تتأثر بهما، والصلات بين الماء وبين العوامل والضغوط السياسية والاقتصادية والاجتماعية والبيئية المشار إليها في الشكل حاء-١ تشير إلى وجود حاجة إلى الإدارة المتكاملة للموارد المائية وإلى التخطيط المتكامل.

١١٧- وغالبا جدا ما يؤدي نقص فهم النظم الهيدرولوجية ودوران المياه على الصعيدين المحلي والوطني إلى إعاقة إدارة المياه على نحو فعّال ومستدام . وتساعد النُهُج النووية، ضمن إطار الهيدرولوجيا النظيرية، في معالجة هذا القصور، ويمكن أن تشكّل وسيلة أسرع بكثير للحصول على معلومات أساسية أكثر من نُهُج الرصد الهيدرولوجي التقليدية.

١١٨- وتصبح التقنيات النظيرية لتقييم الموارد المائية متاحة أكثر بفضل توسّع استخدام أجهزة التحليل المطوّرة مؤخراً لتنظير الطيف بالليزر في قياس النظائر المائية. وأدّت الوكالة الدولية للطاقة الذرية دوراً أساسياً في تقييم أداء هذه التكنولوجيا، وهي الآن تساعد الدول الأعضاء في الحصول على أجهزة التحليل اللازمة، كما توفّر التدريب للتقنيين. وهذه الأجهزة أرخص ثمناً وأسهل استخداماً من المطيافات الكتلية لتحديد نسبة النظائر التي شاع استخدامها منذ أربعينات القرن العشرين. لذا، فإن هذه التكنولوجيا تتيح لعدد متزايد من الجهات المعنية بالموارد المائية، بما فيها الخبراء والمجموعات، الوصول إلى أدوات نظيرية لتقييم الموارد المائية. ومن المتوقع أن يشهد استخدام تكنولوجيا الليزر هذه تزايداً سريعاً على مدى العقد المقبل.

---

٢٧ التقرير الثالث عن تنمية المياه في العالم (اليونسكو، ٢٠٠٩) انظر الموقع الإلكتروني: http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/index.shtml



الشكل حاء-١ . العناصر والعمليات الاجتماعية والسياسية والاقتصادية التي تؤثر على استدامة الموارد المائية (المصدر: تقرير الأمم المتحدة الثالث عن تنمية المياه في العالم، ٢٠٠٩).

حاء-١- معرفة الوقائع قبل التصرف

١١٩- شدّد المنتدى العالمي الخامس للمياه على جملة أفكار رئيسية منها فكرة 'معرفة الوقائع قبل التصرف' عبر الموضوع الذي أثاره تحت عنوان "سد الهوة في ميدان المياه" (أي أن المطلوب أولاً هو تحقيق فهم ملائم لكيفية عمل أحد النظم الهيدرولوجية المعيّنة، بغية التمكن من اتخاذ الإجراءات الإدارية الصحيحة لاحقاً). وللتكيّف مع آثار تغيّر المناخ أو التخفيف منها، من الضروري أولاً فهم حالة مورد مائي معيّن وكيفية عمله في ظل الظروف الحالية. وأصدر المنتدى العالمي الخامس للمياه[٢٨] ثلاث توصيات رئيسية ذات صلة بتطبيق التكنولوجيات النووية:

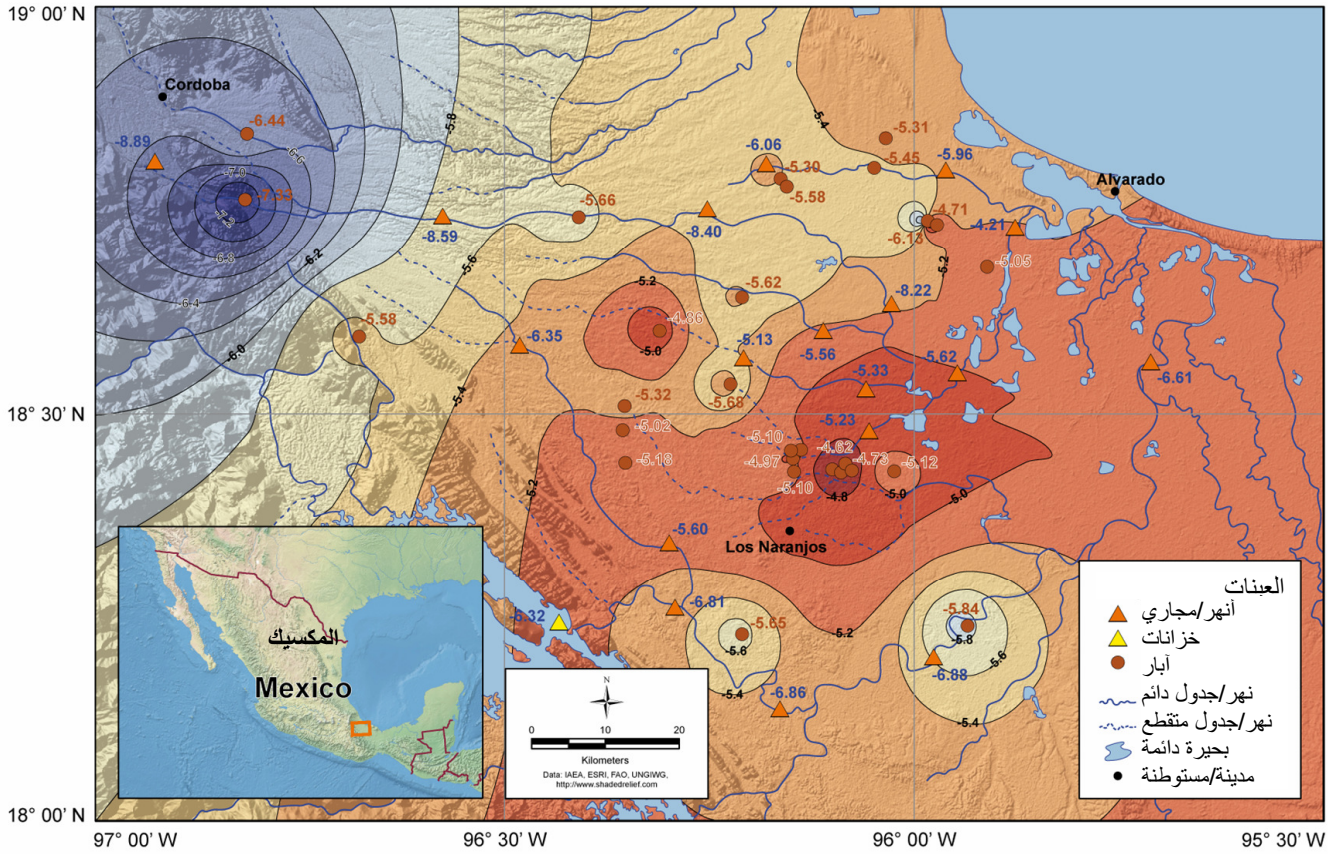
- ✓ فهم أفضل لآثار التغيّرات العالمية على الموارد المائية والعمليات الهيدرولوجية الطبيعية والنظم الإيكولوجية؛
- ✓ من المطلوب إعداد الخطط والبرامج عبر الوطنية و/أو الوطنية و/أو دون الوطنية وتنفيذها وتعزيزها لاستباق الآثار الممكنة الناتجة عن التغيّرات العالمية والتصدي لها؛
- ✓ يلزم توفير دعم أكبر للبحوث في ميدان المياه لضمان استخدامها وإدارتها المستدامين، كما ينبغي الترويج للتعاون بين الوكالات الدولية.

حاء-٢- استخدام النظائر المستقرة لفهم توافر المياه الجوفية وجودتها

١٢٠- يتزايد أكثر فأكثر استخدام نُهُج النظائر المستقرة لفهم التوزيع المكاني لمختلف العمليات التي تؤثر في توافر المياه الجوفية وفي جودتها على الصعيدين المحلي والعالمي على حد سواء. ويرد إيضاح هذا النهج في الشكل حاء-٢، حيث تتيح خريطة قيم نظائر الأكسجين-١٨ الجوفية من منطقة لوس نارانخوس في المكسيك أهمية إعادة الشحن في المرتفعات العالية في المنطقة الشمالية الغربية من منطقة الدراسة (باللون الأزرق) وآثار تسرّب المياه السطحية في المرتفعات الأكثر انخفاضاً في باقي المنطقة (باللونين الأحمر والبرتقالي). وتقدّم هذه المعلومات بيانات معيارية أساسية لتقييم أثر تغير المناخ وغيره من العوامل في موارد المياه الجوفية المحلية.

---

٢٨ انظر الموقع الإلكتروني التالي: http://www.worldwaterforum5.org/



الشكل حاء-٢ . استيفاء داخلي لقيم الأكسجين-١٨ في المياه الجوفية ضمن منطقة لوس نارانخوس في المكسيك. وتشير قيم النظائر الأكثر سلبية (باللون الأزرق في الزاوية العليا اليسرى) إلى إعادة شحن في المرتفعات العالية. ويشير اللونان الأحمر والبرتقالي إلى مساهمات إعادة الشحن والمزج في المرتفعات الأكثر انخفاضاً.

١٢١- ولما كانت الهيدرولوجيا النظيرية تساعد على تحسين تقييم الموارد المائية، فإنها تؤدي أيضاً دوراً في عملية التخطيط للطاقة. ويتعاون موظفون من برنامج الوكالة الخاصة بالموارد المائية، ومن قسم إدارة التربة والمياه وتغذية المحاصيل التابع للشعبة المشتركة بين الفاو والوكالة لاستخدام التقنيات النووية في الأغذية والزراعة، ومن قسم التخطيط والدراسات الاقتصادية التابع لإدارة الطاقة النووية، فيما بينهم ضمن إطار مبادرة مرتبطة بالتخطيط للمناخ والأراضي والطاقة والمياه. وفي حال النجاح في إعداد نهج ما وعند الانتهاء من إعداده، يجري استخدامه لمساعدة الدول الأعضاء على تقييم الآثار المقترنة لمجموعة واسعة من القضايا، بما فيها القضايا الاقتصادية والاجتماعية والبيئية والسكانية والسياسية والقانونية والمالية والتكنولوجية وقضايا تغير المناخ. ومن شأن التخطيط للمناخ والأراضي والطاقة والمياه أيضاً أن ييسّر التعاون بين مختلف الوزارات والوكالات لوضع حلول متكاملة تكفل تنمية مستدامة للمياه والطاقة.

طاء- إنتاج النظائر المشعّة والتكنولوجيا الإشعاعية

طاء-١- النظائر المشعة والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية

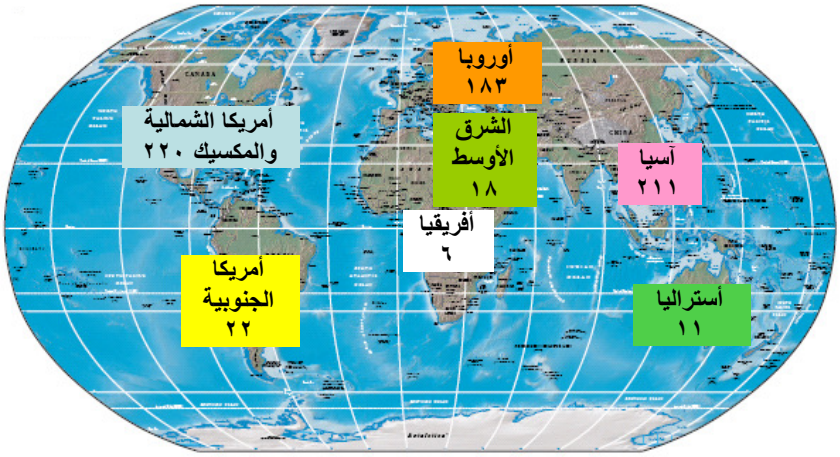
طاء-١-١- منتجات النظائر المشعة وتوافرها

١٢٢- حظي التزايد المطرد في الطلب على النظائر المشعة لأغراض التطبيقات الطبية والصناعية، وكذلك التقدم الحاصل في التكنولوجيات ذات الصلة، اهتماماً عالمياً في عام ٢٠٠٩ نظراً لأوجه النقص الشديد في إمدادات النظائر الطبية، لا سيما في إمدادات الموليبدينوم-٩٩ المنتج بالانشطار. ولا تزال النظائر المشعة المنتجة بواسطة المفاعلات تشكل العمود الفقري للتطبيقات الطبية والصناعية، فيما يتواصل أيضاً ارتفاع القدرات الإنتاجية من السيكلوترونات، ويعزى هذا الارتفاع بشكل رئيسي إلى استحداث مراكز إقليمية تنتج النظائر المشعة ذات الأعمار النصفية القصيرة جداً لاستخدامها في التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني. وقد شهد عام ٢٠٠٩ انعقاد ثلاثة اجتماعات دولية رئيسية[٢٩] تطرّقت لمسألة هذا التقدّم وغيره من أوجه التقدّم المحرزة مؤخراً في ميدان تطوير المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية.

١٢٣- ويبرز بوضوح الاهتمام المتزايد في استخدام التصوير الإشعاعي بالانبعاث البوزيتروني والتصوير المقطعي الحاسوبي المقرون بالتصوير الإشعاعي بالانبعاث البوزيتروني من خلال عدد السيكلوترونات المقامة حصراً لإنتاج مقتفيات التصوير بالانبعاث البوزيتروني. ويقدّر حالياً أن عدد السيكلوترونات قيد التشغيل يبلغ ٦٥٠ سيكلوتروناً وأن عدد نظم التصوير الإشعاعي بالانبعاث البوزيتروني يبلغ ٢٢٠٠ نظاماً منتشرة في كافة أنحاء العالم. وما زالت تطبيقات الغلوكوز المنزوع الفلور المرقوم بالفلور-١٨ هي الأشيع استخداماً في الميدان السريري لعلاج مرضى السرطان، فيما يتزايد التركيز أيضاً على التصدّي للتحديات والمتطلبات الخاصة بتطوير واستخدام مستحضرات صيدلانية إشعاعية أخرى لاستخدامها في التصوير الإشعاعي بالانبعاث البوزيتروني. أمّا التحسّن الملاحظ في توافر مولّدات الجرمانيوم-٦٨ والغاليوم-٦٨ والتزايد المشهود في عدد مراكز التصوير الإشعاعي بالانبعاث البوزيتروني، فقد عزّزا أعمال تطوير المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية القائمة على استخدام الغاليوم-٦٨، بما يشمل وحدات التوليف النمطية المؤتمتة المرتبطة بها. كما أن فكرة استخدام نظائر مشعة ذات عمر أطول نسبياً في تطبيقات التصوير بالانبعاث البوزيتروني في بعض الفحوص الخاصة بعمليات بيولوجية والتوزيع المنطوي على فترات زمنية مطوّلة دفعا العديد من المراكز التي تنظر في إمكانية إنتاج هذا النوع من مقتفيات التصوير بالانبعاث البوزيتروني، كمنتجات النحاس-٦٤ والإيود-١٢٤ مثلاً، إلى الاستفادة من أوقات الفراغ التشغيلي للسيكلوترونات الطبية القائمة. ومن الأسباب الأخرى وراء الاهتمام بهذه المنتجات دورُها بصفة أدوات دقيقة لتوفير بيانات قياس الجرعات للتطبيقات العلاجية التي تستخدم فيها نظائر مشعة علاجية مماثلة.

---

٢٩ الاجتماع السنوي لجمعية الطب النووي في تورونتو بكندا، وللرابطة الأوروبية للطب النووي في برشلونه بإسبانيا؛ والندوة الدولية التي تعقد مرة كل سنتين بشأن علوم المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية في إدمنتون بكندا.



الشكل طاء-١ . توزيع السيكلوترونات المستخدمة لإنتاج مقتفيات التصوير الإشعاعي بالانبعاث البوزيتروني.
(المصدر: الدكتور د. شلاير، مختبر بروكهيفن الوطني، الولايات المتحدة الأمريكية، استناداً إلى مدخلات وردت من أربعة من كبار صانعي السيكلوترونات)

١٢٤- وقد كان التقدّم المحرز في نُهُج العلاج بالنويدات المشعة، كعلاج أورام الأعصاب والغدد الصمّاء باستخدام الببتيدات المرقومة باللوتشيوم-١٧٧ أو اليتريوم-٩٠ مثلاً، هو الحافز وراء تطوير وحدات توليفية مؤتمتة وأجهزة تدريع لتحضير المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية موقعياً وعلى نطاق ضيق، ممّا يتطلب مناولة كميات أكبر نسبياً من النظائر المشعة، فضلاً عن نظرائها المستخدمة في التصوير الإشعاعي بالانبعاث البوزيتروني لأغراض دراسات قياس الجرعات. وعلى نحو مماثل، فإن الاهتمام باستخدام النظائر المشعة الباعثة لأشعة ألفا في علاج السرطان أدى إلى مواصلة تحسين وسائل إنتاج المواد الباعثة لأشعة ألفا القصيرة العمر، مثل البزموث-٢١٣.

طاء-١-٢- أمن إمدادات الموليبدينوم-٩٩[٣٠]

١٢٥- تواصل الأثر السلبي لحالات النقص الشديد في إمدادات الموليبدينوم-٩٩ المنتج بالانشطار وفي مولّدات التكنتيوم-٩٩م على تطبيقات التشخيصات الطبية للمرضى في غالبية مناطق العالم. وتم إغلاق المفاعل العالي الفيض في بيتن بهولندا منذ شباط/فبراير ٢٠١٠ للقيام بعمليات الصيانة والتحسينات اللازمة ومن المتوقع إعادة تشغيله في آب/أغسطس ٢٠١٠. وبالإضافة إلى ذلك، أغلق في أيار/مايو ٢٠٠٩ مفاعل البحوث الوطنية الشامل في كندا لإجراء تصليحات كبرى نتيجة حصول تسربات، ولا يتوقع استئناف تشغيله قبل نهاية شهر تموز/يوليه ٢٠١٠ كأقل تقدير .

١٢٦- وللتعويض جزئياً عن حالات النقص، تمت زيادة الإنتاج في مفاعل BR2 القائم في مول ببلجيكا، وفي مفاعل سفاري-١ القائم في جنوب أفريقيا إلى أقصى حد ممكن. ويستخدم مرفق كوفيدين لإنتاج النظائر في بيتن بهولندا مفاعل MARIA في بولندا لتشعيع كبسولات مستهدفة موجودة من اليورانيوم الشديد الإثراء لإنتاج الموليبدنوم-٩٩ من أجل زيادة توريد الموليبدنوم-٩٩. وبالمثل، يستخدم مرفق الإنتاج التابع لمعهد العناصر

٣٠ ترد معلومات إضافية في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (على الموقع http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2009/index.html) أو على الموقع http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC54/Agenda/index.html.

الإشعاعية في فلوريس ببلجيكا المفاعل نفسه في ريز بالجمهورية التشيكية لتشعيع كبسولات مستهدفة من اليورانيوم الشديد الإثراء. واستكملت المنظمة الأسترالية للعلم والتكنولوجيا النوويين مرحلة الإدخال في الخدمة بالحالة الساخنة لما يخص مرفقها الإنتاجي الجديد الذي يستخدم تشعيع كبسولات مستهدفة من اليورانيوم الضعيف الإثراء في مفاعل الماء الخفيف الأسترالي المفتوح الحوض، وقد حصلت على الموافقة الرقابية لبدء الإنتاج العادي الواسع النطاق، ممّا سيمكّنها من إنتاج نسبة تصل إلى ١٠% من الطلب العالمي على الصادرات. وتوشك الجهة الرقابية على الانتهاء من عمليات الاستعراض التقني الجارية على مرفق إنتاجي آخر يستخدم اليورانيوم الضعيف الإثراء تم تشييده في مصر (بناء على تكنولوجيا أرجنتينية) على مقربة من مفاعل البحوث ETRR-2، ومن المقرر أن يحصل المرفق على إذن بالدخول في الخدمة بالحالة الساخنة في منتصف عام ٢٠١٠.

١٢٧- وقد توالت الدعوات إلى إرساء أواصر التعاون الدولي وإلى توفير الدعم الحكومي من جانب مختلف أصحاب المصلحة، بما فيهم الهيئات الطبية المهنية. وبناء على طلب حكومة كندا، قامت وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي بتشكيل الفريق الرفيع المستوى المعني بأمن إمدادات النظائر المشعة الطبية [٣١] ليتصدّى للمسائل ذات الصلة من أجل تعزيز موثوقية إمدادات الموليبدينوم-٩٩. [٣٢] وفضلاً عن ذلك، فقد كثفت رابطة المنتجين ومورّدي المعدات في ميدان التصوير دورها في ميدان التنسيق ونشر المعلومات المتعلقة بجداول تشغيل المفاعلات وفترات إغلاقها. وبهذا الصدد، فقد أدى دعم الوكالة لتيسير تشكيل ائتلافات مفاعلات البحوث إلى قيام مبادرة مشاريع ضمت أربعة مفاعلات في آسيا الوسطى وأوروبا ومرفق معالجة في هنغاريا. كما شكلت الحكومة الكندية فريق خبراء مؤلف من أربعة أعضاء لإصدار توصيات بشأن التدابير اللازمة لكفالة إمدادات النظائر المشعة للاستخدامات الطبية وقد صدر تقرير هذا الفريق في كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٩[٣٣].

طاء-٢- تطبيقات التكنولوجيا الإشعاعية

طاء-٢-١- تعقيم مواد التغليف والحاويات المعقمة باستخدام حزم الإلكترونات

١٢٨- تُستخدم الأشعة الجيمية منذ أكثر من ٥٠ عاماً كوسيلة مأمونة وفعّالة التكلفة لتعقيم منتجات الرعاية الصحية الأحادية الاستخدام ومكوّناتها وغلافاتها. وقد باتت إشعاعات حزم الإيونات مقبولة الاستخدام في ميدان التعقيم منذ حوالى ٣٠ عاماً، نتيجة لتوافر معجّلات إلكترونات محسّنة من حيث الفعالية والموثوقية، وفي الوقت الحالي، تشكل هذه الطريقة الخيار الأمثل لمعالجة المنتجات الكثيرة العدد/المنخفضة القيمة (كالمحاقن) وأيضاً المنتجات القليلة العدد/العالية القيمة (كالأجهزة المستخدمة في جراحة القلب والصدر).

١٢٩- وفي الآونة الأخيرة، باتت تتوفر منهجية جديدة تستخدم الحزم الإلكترونية – مطوّرة في الولايات المتحدة الأمريكية– وهي توفّر خياراً لا ينطوي على استخدام المواد الكيميائية لتعقيم أو تنظيف مواد التغليف والحاويات المعقمة. وتشكل المواد المعقمة لحفظ عصائر الفواكه والمشروبات اللبنية وغيرها من المشروبات أحد أكثر جوانب صناعة معالجة الأغذية نمواً، ولذا فإنها تظهر اهتماماً كبيراً في تكنولوجيات بديلة لتعقيم الغلافات

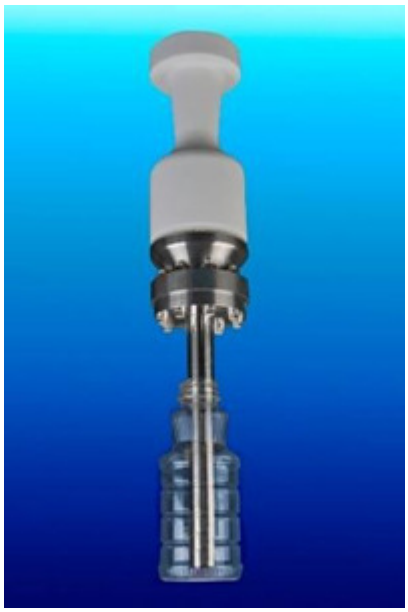
---

٣١ http://www.nea.fr/html/ndd/med-radio/

٣٢ تتمثّل الوكالة في الفريق الرفيع المستوى المعني بأمن إمدادات النظائر المشعة الطبية بصفة مراقب.

٣٣ أنظر الموقع الإلكتروني التالي: http://nrcan.gc.ca/eneene/sources/uranuc/pdf/panrep-rapexp-eng.pdf

تتيح تخفيض استهلاك الطاقة والمياه مع الالتزام بالمتطلبات الخاصة بالأداء. وثمة ٢٧ وحدة حزم إلكترونات من هذا النوع قائمة أو قيد التشييد في مختلف أنحاء العالم. وأحدث التطوّرات في هذا المجال يستخدم بواعث حزم إلكترونية منخفضة الطاقة مصممة لتعقيم الحيز الداخلي لزجاجات المشروبات (أنظر الشكل طاء-٢). ويمكن لبواعث الحزم الإلكترونية أن تقرن فيما بينها وتركّب وفق أنساق مختلفة، كما يمكن تركيبها ضمن خطوط الإنتاج، ممّا يتيح تعقيم الزجاجات والسدادات والأكياس والعلب. ووفقا للنسق المختار، يمكن تشعيع السطح الداخلي أو الخارجي أو كلاهما في ثوان. وبهذه الطريقة، يتم الاستغناء عن المعالجة بالحرارة العالية وعن استخدام المواد الكيميائية، فضلاً عن الشطف بالماء بعد المعالجة الكيميائية، ممّا يتيح توفير الطاقة والماء على حد سواء، وبالتالي تخفيض التكاليف وتبسيط الجوانب اللوجستية.



الشكل طاء-٢ . باعث حزم إلكترونات يعقّم الحيز الداخلي لزجاجة معدّة لحفظ المشروبات (أنظر الموقع الإلكتروني: http://www.aeb.com/).

طاء-٢-٢- التوليف الإشعاعي للبنى المجهرية القائمة على الكربون

١٣٠- أتاحت البنى المجهرية القائمة على الكربون، مثل الأنابيب المجهرية الكربونية، إمكانيات مثيرة في ميدان تطبيقات التكنولوجيا المجهرية، ولا سيما التحوّل من الإلكترونيات الدقيقة القائمة على استخدام السيليكون إلى الأحجام المجهرية. والطرائق القائمة على استخدام الحزم الإلكترونية هي الوحيدة الملائمة للقيام بمهام مثل تلحيم الأنابيب المجهرية الكربونية، وتحديد أنساق البنى المحتوية على أنابيب مجهرية كربونية بواسطة الطباعة الحجرية بحزم الإلكترونات، وتوليف الأسلاك المعدنية المحتجزة ضمن الأنابيب المجهرية، وتوجيه الأيونات لتطبيقات محتملة في نظم إعطاء العقاقير للمرضى وفي صناعة الإلكترونيات. وفي العام الماضي، أفاد فريق من الباحثين من الصين واليابان بأن تسليط حزمة إلكترونات تبلغ شدتها ١٢٠ كيلوإلكترون فولت على رقاقة مجهرية من الغرافيت يتيح تحويل الغرافيت إلى غرافين، ومن ثم إلى شريط مجهري من الغرافين. ومواصلة التشعيع يؤدي في النهاية إلى ضفيرة كربونية وحيدة يمكنها أن تشكل سلكاً جزيئياً مثالياً. وبهذه الطريقة، تساعد تكنولوجيا

حزم الإلكترونات في تصنيع غالبية البنى المجهرية القائمة على الكربون التي تتسم بقدرة هائلة على أن تصبح المكوّنات الأساسية الفائقة للأجهزة الجزيئية المستخدمة في الميدان الطبي وميدان الإلكترونيات.

١٣١- ولتيسير التفاعل بين فرق البحوث المختلفة، وتسهيل نقل الحلول العلمية إلى الصناعة وإيصال المنتجات إلى المستخدمين النهائيين[٣٤]، أقيم اتحاد EUMINAfab، وهو يضم منشآت وجامعات أوروبية ومختبرات وطنية تعمل في مجال التصنيع الدقيق والمجهري. ويدمج الاتحاد بين التكنولوجيات والمنشآت والخبرات، كما يتيح مجاناً إمكانية استخدام ٣٦ منشأة لديها ما يلزم من موظفي الدعم التقني في مجال رسم الأنساق الدقيقة والمجهرية، ولصق الأغشية الرقيقة، والنسخ، وتحديد الخصائص.

٣٤ تم التصدّي لنطاق مماثل من الأعمال ضمن إطار حلقة عمل عقدتها الوكالة في رومانيا حول موضوع "توجهات العلوم المجهرية: الجوانب النظرية والاختبارية والتكنولوجية"، وقد تناولت حلقة العمل دور التقنيات الإشعاعية في ميدان التكنولوجيا المجهرية. وقد جرى تنظيمها بالتعاون بين مركز عبد السلام الدولي للفيزياء النظرية، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، ومعهد هورية هولوبي الوطني للفيزياء والهندسة النووية.