IAEA
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

المؤتمـــر العـــام

GC(49)/INF/3
Date: 21 July 2005

General Distribution
Arabic
Original: English

الدورة العادية التاسعة والأربعون

البند ١٨ من جدول الأعمال المؤقت
(الوثيقة GC(49)/1)

استعراض التكنولوجيا النووية - الصيغة المحدثة لعام ٢٠٠٥

تقرير من المدير العام

موجز

- استجابة لطلبات الدول الأعضاء، تعد الأمانة كل عامين *استعراضاً* شاملاً *للتكنولوجيا النووية*، وتصدر صيغاً محدَّثة موجزة له في الأعوام الفاصلة. ويمثل هذا التقرير إحدى تلك الصيغ المحدثة، وهو يسلط الضوء على التطورات البارزة التي استجدت خلال عام ٢٠٠٤ في المقام الأول.

- *واستعراض التكنولوجيا النووية- الصيغة المحدثة لعام ٢٠٠٥* يفحص المجالات التالية: البيانات الذرية والنووية، وتطبيقات القوى، والتقنيات النووية في مجال الأغذية والزراعة، والصحة البشرية، والموارد المائية، والبيئتين البحرية والبرية، واستخدام مفاعلات البحوث، واستخدام المعجلات، ورصد العمليات الصناعية.

- ويمكن الاطلاع على معلومات عن أنشطة الوكالة المتعلقة بالعلوم والتكنولوجيا النووية في *التقرير السنوي لعام ٢٠٠٤* (الوثيقة GC(49)/5)، خاصة في القسم الذي يتناول "التكنولوجيا"، وفي *تقرير التعاون التقني لعام ٢٠٠٤* (الوثيقة GC(49)/INF/2)؛ الصادرين عن الوكالة.

- وقد تم تعديل الوثيقة بحيث تراعى، بقدر المستطاع، تعليقات معينة أدلي بها في المجلس وتعليقات أخرى وردت من الدول الأعضاء.

استعراض التكنولوجيا النووية ـ الصيغة المحدَّثة لعام ٢٠٠٥

تقرير من المدير العام

المحتويـــات

الدورة العادية التاسعة والأربعون ١
موجز جامع ١
ألف- البيانات الذرية والنووية ٣
باء- تطبيقات القوى ٤
باء-١- القوى النووية اليوم ٤
باء-٢- المستقبل ٨
باء-٢-١- توقعات الأجل المتوسط المستوفاة ٨
باء-٢-٢- التنمية المستدامة وتغير المناخ ١٠
باء-٢-٣- القضايا الراهنة ١١
باء-٢-٤- الموارد ١٥
باء-٢-٥- الانشطار والاندماج المتقدمان ١٦
جيم- التقنيات النووية في مجال الأغذية والزراعة ١٨
جيم-١- الادارة المستدامة للأراضي وكفاءة استخدام المياه ١٨
جيم-٢- تحسين المحاصيل ١٩
جيم-٣- وقاية المحاصيل ٢٠
جيم-٤- تحسين إنتاجية الحيوانات الزراعية وصحتها ٢١
جيم-٥- أمان الأغذية وأمان المنتجات النباتية والحيوانية ٢١
دال- الصحة البشرية ٢٢
دال-١- التغذية ٢٢
دال-٢- الطب النووي ٢٢
دال-٣- العلاج الإشعاعي ٢٣
دال-٤- قياس الجرعات والفيزياء الإشعاعية الطبية ٢٤
هاء- الموارد المائية ٢٥
واو- البيئتان البحرية والبرية ٢٦
واو-١- البيئة البحرية ٢٦
واو-١-١- الاقتفاء الإشعاعي للملوثات الموجودة في الأغذية البحرية ٢٦
واو-١-٢- الاقتفاء النظيري لظاهرة التذبذبات الجنوبية لتيارات النينو (اختصارا: ظاهرة إينسو) ٢٦
واو-١-٣- اختلال التوازن في اقتفاء بؤر امتصاص الكربون في باطن المحيطات باستخدام النويدات المشعة الطبيعية ٢٧
واو-٢- البيئة البرية ٢٧
واو-٢-١- الدراسات الإيكولوجية الإشعاعية ٢٧
زاي- استخدام مفاعلات البحوث ٢٩
حاء- استخدام المعجلات ٢٩
طاء- رصد العمليات الصناعية ٣٠
طاء-١ المعالجة الإشعاعية – التكنولوجيا النانومترية ٣٠

استعراض التكنولوجيا النووية - الصيغة المحدثة لعام ٢٠٠٥

تقرير من المدير العام

موجـــز جامـــع

١- شهد عام ٢٠٠٤ الذكرى السنوية الخمسين لبدء توليد القوى النووية المدنية. وفي حين أن الصورة الراهنة للطاقة النووية ما زالت ممتزجة الألوان فمن الواضح أن هناك شعورا بتنامي التطلعات. وقد عدلت كل من وكالة الطاقة النووية، التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، والوكالة الدولية للطاقة الذرية توقعاتهما المتوسطة الأجل فيما يخص القوى النووية تعديلاً صاعداً. وتشير إسقاطات الوكالة الآن إلى أن كمية القوى النووية المنشاة ستبلغ ما بين ٤٢٣ و ٥٩٢ غيغاواط كهربائي في عام ٢٠٣٠، مقارنة بـ ٣٦٦ غيغاواط كهربائي في نهاية عام ٢٠٠٤. وهذه الزيادة محفوزة بسجل أداء القوى النووية، وبازدياد الاحتياجات إلى الطاقة على نطاق العالم إلى جانب تزايد أسعار النفط والغاز الطبيعي، وبقيود بيئية جديدة من بينها بدء نفاذ بروتوكول كيوتو، وبالقلق بشأن أمن إمدادات الطاقة في عدد من البلدان، وبخطط التوسع الطموحة في عدة بلدان رئيسية.

٢- وكان يوجد في آسيا ١٨ مفاعلا من المفاعلات الـ ٢٦ التي كانت قيد التشييد في نهاية السنة، و٢٠ مفاعلا من آخر ٣٠ مفاعلا ربطت بالشبكة. وبدأت أعمال الحفر المتعلقة بمحطة القوى النووية أولكيليوتو-٣ في فنلندا، التي ستمثل أول منشأة نووية جديدة تبنى في أوروبا الغربية منذ عام ١٩٩١؛ واختارت هيئة كهرباء فرنسا موقعا في فلامانفيل من أجل مفاعل ماء مضغوط أوروبي إيضاحي من المتوقع الشروع في بنائه في عام ٢٠٠٧، ووافقت الهيئة الرقابية النووية للولايات المتحدة على تمديد ١١ ترخيصاً آخر كل منها لمدة ٢٠ سنة (بحيث يصل إجمالي العمر المرخص به لكل محطة من محطات القوى النووية إلى ٦٠ سنة). وكجزء من برنامج القوى النووية حتى عام ٢٠١٠ للبلد، تتقاسم وزارة الطاقة بالولايات المتحدة التكاليف مع اتحادين للمستثمرين يعدان طلبات لاختبار عملية ترخيص مبسطة جديدة.

٣- وقد استقرت حصة القوى النووية من توليد الكهرباء على نطاق العالم عند ١٦%، ما يدل على أن توليد القوى النووية استمر في التزايد للعام الثامن عشر على التوالي بنفس سرعة تزايد استخدام الكهرباء إجمالا في العالم. وكان عدد المحطات الجديدة التي ربطت بالشبكة، وهو خمس محطات، مساويا تماما لعدد المحطات التي سحبت من الخدمة، رغم أن القدرات المضافة بلغت ٤٧٨٥ ميغاواط حراري ولم تبلغ القدرات المسحوبة سوى ١٣٨٥ ميغاواط حراري. وعلاوة على ذلك، ربطت بالشبكة مجددا في كندا محطة كانت قد أخرجت من الخدمة الفعلية. بيد أنه لم يبدأ في عام ٢٠٠٤ سوى تشييد محطتين جديدتين، وتم في أيار/ مايو ٢٠٠٥، وفقا للسياسات الحالية للتخلي التدريجي عن الطاقة النووية، إغلاق المفاعل أوبريغهايم في ألمانيا والمفاعل بارسيبيك – ٢ في السويد.

٤- وواصلت أسعار اليورانيوم، التي كانت منخفضة ومستقرة طوال العقد ونصف العقد الماضيين، ارتفاعها – من ٢٥ دولارا للكيلوغرام في عام ٢٠٠٢ إلى ٧٥ دولارا للكيلوغرام في ٢٩ حزيران/ يونيه ٢٠٠٥. وقد كان إنتاج اليورانيوم أقل كثيرا من الاستهلاك لمدة نحو ١٥ سنة، والزيادة الحالية في الأسعار هي انعكاس للتصور المتزايد بأن المصادر الثانوية، التي غطت الفرق، بدأت في النضوب.

٥- وحتى نهاية عام ٢٠٠٤ كان قد تم إخراج ست محطات قوى نووية إخراجا كاملا من الخدمة، حيث أبيح استخدام مواقعها دون أية شروط. وتم تفكيك سبع عشرة محطة تفكيكا جزئيا وإغلاقها إغلاقا مأمونا؛ وبوشر العمل في تفكيك ٣٣ محطة تمهيدا لإباحة استخدام مواقعها في نهاية المطاف؛ وأخضعت ٣٠ محطة لقدر أدنى من التفكيك تمهيدا لإغلاقها إغلاقا طويل الأجل. وقد استحدثت في بعض البلدان فئة جديدة من النفايات المشعة – وهي النفايات الضعيفة الإشعاع جدا - وذلك للنفايات ذات النشاط الإشعاعي الشديد الانخفاض المتولدة عن الإخراج من الخدمة، والتي تحتاج إلى قدر من المعالجة الخاصة يقل عما تحتاجه النفايات الضعيفة الإشعاع التقليدية ومن ثم فإن تكلفة التخلص منها أقل بكثير. وهناك مستودع للنفايات الضعيفة الإشعاع جدا، افتتح في موريفيليه بفرنسا في عام ٢٠٠٣، دخل مرحلة التشغيل الكامل في عام ٢٠٠٤.

٦- وأحرز في فنلندا والسويد والولايات المتحدة الأمريكية معظم التقدم بشأن مرافق التخلص الخاصة بالنفايات القوية الإشعاع. وفي فنلندا بدأت في عام ٢٠٠٤ أعمال تشييد مرفق لتحديد الخصائص سيقام تحت سطح الأرض من أجل المستودع النهائي في "أولكيلووتو". وتسير سيرا سريعا الاستقصاءات الجيولوجية التفصيلية، التي بدأت في السويد في عام ٢٠٠٢ في موقعين مرشحين، وكذلك المشاورات مع الجمهور. وقطعت الأعمال التحضيرية الجارية في الولايات المتحدة بشأن طلب ترخيص شوطا طويلا.

٧- وتستمر البحوث الوطنية بشأن تصميمات المفاعلات المتقدمة لجميع فئات المفاعلات – المبردة بالماء والمبردة بالغاز والمبردة بالفلز السائل، وللنظم الهجينة. وفي شباط/ فبراير ٢٠٠٥ وقع خمسة من أعضاء المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات، الذي تأسس بمبادرة من الولايات المتحدة، على اتفاق إطاري بشأن التعاون الدولي في البحوث التطويرية المتعلقة بالجيل الرابع من نظم الطاقة النووية. وازدادت عضوية المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود النووي الابتكارية (إنبرو)، التابع للوكالة، إلى ٢٣ عضوا. وأكمل المشروع سلسلة من دراسات الحالات هدفت إلى اختبار منهجية المشروع التقييمية، ونشر في كانون الأول/ديسمبر التقرير الختامي عن منهجية إنبرو المحدَّثة.

٨- وأصبح المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي أقرب إلى التحقق بعد أن أصدر أطراف هذا المشروع – أي الاتحاد الأوروبي والاتحاد الروسي وجمهورية كوريا والصين والولايات المتحدة الأمريكية واليابان- إعلاناً في ٢٨ حزيران/يونيه ٢٠٠٥ جاء فيه أن موقع المفاعل سيكون في كاداراش بفرنسا. والهدف من هذا المفاعل هو إثبات الجدوى العلمية والتكنولوجية للطاقة الاندماجية عن طريق بناء محطة قوى اندماجية تؤدي الوظيفة التي بنيت من أجلها. ويتوقع أن يستغرق بناء هذا المفاعل نحو ٨ سنوات، وبعدها سيعمل لمدة عشرين سنة أخرى. وسيكون أول جهاز في العالم يقوم فيه تفاعل اندماجي نووي محكوم بتوليد كمية من الكهرباء لا تقل عن خمسة أمثال كمية الكهرباء التي يستهلكها. وبذلك فإن هذا المفاعل سيفتح آفاقاً جديدة أمام العلوم والتكنولوجيا النووية المتعلقة بتطبيقات الطاقة، علما بأن من المتوقع أن يعود بمنافع في مجالات كثيرة أخرى.

٩- وتطورات التكنولوجيا النووية سريعة وتشمل مجالات تطبيق عديدة. ولا يمكن تناول تلك المجالات كلها في هذه الصيغة المستكملة للاستعراض، ولكن الاستعراض يتناول مجالات واتجاهات رئيسية معينة حيثما يعتبر أنها ذات أهمية خاصة للدول الأعضاء في الوكالة وأنها ذات صلة بالأهداف الإنمائية للألفية ولها دور في المساعدة على بلوغها وأنها تتصدى لقضايا WEHAB (المياه والتصحاح، والطاقة، والصحة، والزراعة، والتنوع البيولوجي) التي حددت في مؤتمر القمة العالمي المعني بالتنمية المستدامة المعقود في جوهانسبرغ في عام ٢٠٠٢.

١٠- وبما أن الزراعة تشكل ٧٠% من استهلاك المياه في العالم فإن استخدام النظائر المستقرة المتعددة لتقدير كفاءة استخدام المياه في مجموعة من نظم زراعة المحاصيل والري المائي، بما في ذلك مثلا بحث أثر الجداول الزمنية للري المائي على كفاءة استخدام الأسمدة، ينطوي على فائدة مزدوجة في توفير كل من الأغذية والمياه. والاستيلاد بأسلوب حث الطفرات من أجل تحديد سلالات محسَّنة من المحاصيل تتميز بالكفاءة في استخدام المياه وبالقابلية للتكيف للنمو في البيئات القاسية يسهم في زيادة كفاءة استخدام الموارد المائية النذرة. كما يتزايد تركيز إدارة الموارد المائية على إدارة المياه الجوفية العابرة للحدود باستخدام الأدوات النظيرية من أجل التعرف على حركة المياه وعمرها وتحديد مصادر تلوثها.

١١- وفي مجال الصحة البشرية، تساعد النويدات المشعة القصيرة العمر الأطباء الإكلينيكيين على دراسة العمليات الأيضية. ومن أسرع التقنيات نموا التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني، باستخدام نظائر مشعة قصيرة العمر للغاية ملحقة بواسمات بيولوجية، الذي يوفر، عند دمجه مع التصوير الحاسوبي بالأشعة السينية، أداة أقوى لرصد الحالة الصحية وإجراء التشخيصات. وتنبثق تحديات جديدة في مجال العلاج الإشعاعي، باستحداث تقنيات العلاج الإشعاعي الموجّة تصويرياً المتّسمة بالقدرة على تعقّب الحزم الإشعاعية والمحافظة على دقتها عقب حدوث تغيّرات في حالة الورم وحالة المريض.

١٢- وفي مجال البيئة البحرية يتوقع التوصل، عن طريق البحوث التي تستخدم الدراسات النظيرية لدراسة ظاهرة التذبذبات الجنوبية لتيارات النينيو، على أفكار جديدة عن تغير المناخ. ويتزايد الاعتراف بقدرة المحيطات على امتصاص ثاني أكسيد الكربون، ومن ثم بتأثيرها على المناخ. والدراسات التي تستخدم الثوريوم-٢٣٤، الذي ينتج طبيعيا من اليورانيوم - ٢٣٨ الموجود في مياه البحر، تساعد علماء المحيطات على تحسين فهم دور المحيطات في هذا الميدان. وتساعد الأجهزة النووية أيضا على فهم الإيكولوجيا الإشعاعية للبيئة الأرضية، وذلك مثلا من خلال التطورات التي تحدث في مجال الاستشعار عن بعد باستخدام المسح بأشعة جاما بواسطة أجهزة محمولة جوا.

١٣- وما زالت تستحدث استخدامات جديدة لمفاعلات ومعجلات البحوث. فالنظائر المشعة الصادرة عن مفاعلات البحوث تستخدم على نطاق واسع في الطب والصناعة، وتوفر الحزم النيوترونية الصادرة عن مفاعلات البحوث أدوات قوية لدراسة طائفة من التطبيقات التي تستخدم تقنيات التشتت النيوتروني والتصوير الإشعاعي. وتبدو التقنيات النووية القائمة على المعجلات مبشرة في استحداث المواد الجديدة، في حين أن القياس الطيفي الكتلي باستخدام المُعجّلات يثير الاهتمام بتقنيات تحديد العمر بواسطة الكربون-١٤ وبحوث العقاقير ورصد البيئة.

ألف- البيانات الذرية والنووية

١٤- ما زالت البيانات الذرية والنووية تشكل الأساس الجوهري الذي يستند إليه تخطيط المفاعلات وتصميمها، وعمليات تشغيل المحطات ورفع مستوى الأمان بها، فضلاً عن تيسير الاضطلاع بأنشطة الإخراج من الخدمة في المرافق النووية. ومن بين التطورات التكنولوجية المهمة خدمات العملاء التي تقدمها الوكالة في إطار قاعدة البيانات النووية، وإعداد قواعد بيانات أفضل في مجال الفيزياء النظرية والنووية. وتظل الصلات القائمة مع مراكز شبكات البيانات الرئيسية الأخرى، مثل المركز الوطني للبيانات النووية بالولايات المتحدة ووكالة الطاقة النووية، تؤتي ثمارها إلى أبعد حد. كما يزداد الاستعداد لتلبية الاحتياجات الدولية إلى الاطلاع على

بيانات نووية جيدة بشكل سلس وموثوق ومستقل عن البرامج، ويرجع الفضل في ذلك بصفة خاصة إلى استحداث شبكة الإنترنت وأدوات تكنولوجيا المعلومات.

١٥- وقد ارتئي أن تحويل قواعد البيانات النووية والخدمات التي تقدمها الوكالة بهذا الصدد إلى برامج اتصال أخرى قد نتجت عنه فوائد جمة. فقد أفضى هذا الجهد المشترك المضطلع به بالاقتران مع المركز الوطني للبيانات النووية إلى اكتمال المرحلة الأولى الموسعة في منتصف عام ٢٠٠٤. كما أُجريت اختبارات على تكنولوجيات البرامج والأجهزة الحاسوبية الحديثة وتم تركيبها بما يتيح الأخذ بنُهُج تحديث جديدة وطموحة بدرجة أكبر، وأسفر ذلك عن استحداث نظم بيانات نووية متعددة البرامج ذات مستوى أعلى من حيث سهولة الاطلاع والتعويل عليها من جانب المستفيدين النهائيين. وقد تم تحديد المزيد من التحسينات ويُقترَح تنفيذها في عام ٢٠٠٥.

١٦- ولا توفر التحسينات المستمرة في تجميع البيانات الذرية والجزيئية وتقييمها دعماً لمشروع المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي فحسب، بل تدعم كذلك سائر المساعي البحثية والتكنولوجية الخاصة باحتواء الاندماج بالقصور الذاتي. كما إن النطاق المتاح لتوثيق التعاون واستعراض الاحتياجات الخاصة بالبيانات دعماً لبحوث الاندماج النووي يستحق الاهتمام على الصعيد العالمي.

١٧- وتتنامى التطبيقات الإشعاعية الطبية، حيث يتسم بأهمية حاسمة توافر بيانات موثوقة من أجل تخطيط العلاج بشكل ناجع ومأمون معاً فضلاً عن وضع تصاميم أفضل للمرافق ذاتها، وذلك بما يكفل فعالية تكلفة تلك التطبيقات وتوافرها على نطاق واسع. والمعرفة السليمة بهذه البيانات ضرورية من أجل تحسين إنتاج نظائر مشعة معينة مثل الفلورين-١٨ والسترونشيوم-٨٢ واليود-١٢٣ بالنقاء المطلوب للتطبيقات الطبية المأمونة. وتقتضي معدلات الإصابة بالسرطان في الوقت الحاضر والزيادة المنذرة بالخطر التي يُتوقع أن تشهدها الأعوام المقبلة تضافراً في الجهود والاستراتيجيات الهادفة إلى معالجة ذلك المرض، ويسعى علماء الأورام الإشعاعية والفيزيائيون الطبيون بشدة إلى الحصول على بيانات ذرية ونووية داعمة على نحو ملائم بما يساعد على تحسين الأساليب العلاجية التي تبشر بالنجاح.

باء- تطبيقات القوى

باء-١- القوى النووية اليوم[١]

١٨- في نهاية عام ٢٠٠٤، كانت هناك ٤٤٠ محطة قوى نووية تعمل على نطاق العالم. وخلال السنة، بلغت نسبة إمدادات القوى النووية ١ر١٦% من إمدادات الكهرباء المولدة عالمياً. وظلت هذه النسبة ثابتة تقريباً منذ عام ١٩٨٦، بما يشير إلى أن القوى النووية تتنامى بذات معدل إجمالي الكهرباء المولدة عالمياً على مدى ١٨ عاماً.

---

١ تحتفظ الوكالة ببيانات عن المفاعلات العاملة والمغلقة، وعن المفاعلات الجاري بناؤها، حسبما جاء وصفه في التقرير السنوي الأخير (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NENP/NPES/index.html. أنظر بوجه خاص "نظام المعلومات عن مفاعلات القوى" (http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html).

١٩- وقد ارتفع معامأأل توافر الطاقة المولدة عالمياً من محطات القوى النووية إلى نحو ٨٣% في عام ٢٠٠٤، بعد أن كان ٨١% في عام ٢٠٠٣. ولأغراض المقارنة، فإن معامل توافر الطاقة المولدة عالمياً من محطات القوى النووية كان يبلغ ٧٦% منذ عقد، أي في عام ١٩٩٤.

٢٠- ويلخص الجدول باء-١ حالة القوى النووية في أنحاء العالم حتى ٣١ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٤.

٢١- وقد تم ربط خمس محطات قوى نووية جديدة بالشبكة في عام ٢٠٠٤ (اثنتان منها في أوكرانيا، وواحدة في كل من الاتحاد الروسي والصين واليابان)، وأعيد في كندا ربط محطة كانت قد أُخرجت من الخدمة الفعلية. ويقابل ذلك عمليتا ربط جديدتان بالشبكة (وعمليتا إعادة ربط في كندا) في عام ٢٠٠٣ وست عمليات ربط جديدة بالشبكة في عام ٢٠٠٢.

٢٢- وسحبت من الخدمة في عام ٢٠٠٤ خمس مفاعلات - أربعة في المملكة المتحدة تبلغ قدرة كل منها ٥٠ ميغاواط كهربائي، ومحطة إيغنالينا١- في ليتوانيا التي تبلغ قدرتها ١١٨٥ ميغاواط كهربائي. ويقابل ذلك ست عمليات سحب من الخدمة في عام ٢٠٠٣ وأربع عمليات في عام ٢٠٠٢.

٢٣- وباستخدام التعريف الذي وضعته الوكالة بأن البناء يبدأ بأول صبة خرسانية، يكون قد بدأ البناء في محطتي قوى نووية في عام ٢٠٠٤، وهي المفاعل النموذجي السريع التوليد في الهند الذي تبلغ قدرته ٥٠٠ ميغاواط كهربائي ومفاعل الماء المضغوط توماري-٣ الذي تبلغ قدرته ٨٦٦ ميغاواط كهربائي في اليابان. وفضلا عن ذلك، استؤنف البناء النشط في محطتي قوى نووية في الاتحاد الروسي، وهما كالينين-٤ وبالاكوفو-٥، اللتين كانتا مصنفتان سابقا في فئة "البناء معلّق". كم بدأ تجهيز الموقع في فنلندا بالنسبة لمحطة "أولكيلووتو-٣" البالغة قدرتها ١٦٠٠ ميغاواط (كهربائي). وقد بدأت عملية بناء في عام ٢٠٠٣ وسبع عمليات في عام ٢٠٠٢.

٢٤- ويتركز التوسع الراهن واحتمالات النمو في الأجل القصير والطويل في آسيا . وكما هو مبين في الجدول باء-١ فإن ١٧ مفاعلاً، من أصل ٢٦ مفاعلاً كان يجري بناؤها في العالم[٢] حتى نهاية عام٢٠٠٤، كانت موجودة إما في الصين، أو جمهورية كوريا، أو اليابان، أو الهند. ومن بين آخر مفاعلات جرى ربطها بالشبكة الكهربائية، وعددها الإجمالي ٣٠ مفاعلاً، كان يوجد عشرون مفاعلاً في الشرق الأقصى وجنوب آسيا.

٢٥- وعلى نطاق آسيا، تبلغ القدرة أقصاها في اليابان، حيث يوجد ٥٤ مفاعلاً جارٍ تشغيلها وثلاث مفاعلات جارٍ بناؤها. وبنهاية عام ٢٠٠٤، كانت شركة الطاقة الكهربائية في طوكيو قد أعادت إلى الخدمة ١٦ مفاعلاً من أصل ١٧ مفاعلاً أُغلِقت في عام ٢٠٠٢. ورفع ذلك حصة القوى النووية من الكهرباء اليابانية في عام ٢٠٠٤ إلى ٢٩,٣% كما هو مبين في الجدول باء-١، بعد أن كانت ٢٥% في عام ٢٠٠٣، ولكنها ما زالت أقل من الحصة البالغة ٣٤% التي شكلتها في عامي ٢٠٠٢ و٢٠٠١.

٢٦- وفي جمهورية كوريا، مثلت القوى النووية ٣٨% من إجمالي حجم الكهرباء في عام ٢٠٠٤، حيث كان يجري تشغيل ١٩ مفاعلاً وبناء مفاعل واحد.

---

٢ يشمل المجموع أيضاً تايوان، الصين.

الجدول باء-١- مفاعلات القوى النووية الجاري تشغيلها أو بناؤها في العالم (حتى ٣١ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٤)[أ]

البلد	المفاعلات الجاري تشغيلها		المفاعلات الجاري بناؤها		إمدادات الكهرباء النووية في عام ٢٠٠٤		الخبرة التشغيلية الإجمالية	
	عدد الوحدات	المجموع بالميغاواط (الكهربائي)	عدد الوحدات	المجموع بالميغاواط (الكهربائي)	تيراواط-ساعة	% من المجموع	السنوات	الشهور
الاتحاد الروسي	٣١	٢١ ٧٤٣	٤	٣ ٧٧٥	١٣٣ر٠	١٥ر٦	٧٩١	٥
الأرجنتين	٢	٩٣٥	١	٦٩٢	٧ر٣	٨ر٢	٥٢	٧
أرمينيا	١	٣٧٦			٢ر٢	٣٨ر٨	٣٧	٣
أسبانيا	٩	٧ ٥٨٥			٦٠ر٩	٢٢ر٩	٢٢٨	٢
ألمانيا	١٨	٢٠ ٦٧٩			١٥٨ر٤	٣١ر٨	٦٦٦	٠
أوكرانيا	١٥	١٣ ١٠٧	٢	١ ٩٠٠	٨١ر١	٥١ر١	٢٩٣	٦
إيران (جمهورية-الاسلامية)			١	٩١٥				
باكستان	٢	٤٢٥			١ر٩	٢ر٤	٣٧	١٠
البرازيل	٢	١ ٩٠١			١١ر٥	٣ر٠	٢٧	٢
بلجيكا	٧	٥ ٨٠١			٤٤ر٩	٥٥ر١	١٩٨	٧
بلغاريا	٤	٢ ٧٢٢			١٥ر٦	٤١ر٦	١٣٣	٢
الجمهورية التشيكية	٦	٣ ٥٤٨			٢٦ر٣	٣١ر٢	٨٠	١٠
جمهورية كوريا	١٩	١٥ ٨٥٠	١	٩٦٠	١٢٤ر٠	٣٨ر٠	٢٣٩	٨
جنوب إفريقيا	٢	١ ٨٠٠			١٤ر٣	٦ر٦	٤٠	٣
رومانيا	١	٦٥٥	١	٦٥٥	٥ر١	١٠ر١	٨	٦
سلوفاكيا	٦	٢ ٤٤٢			١٥ر٦	٥٥ر٢	١٠٦	٦
سلوفينيا	١	٦٥٦			٥ر٢	٣٨ر٩	٢٣	٣
السويد	١١	٩ ٤٦٩			٧٥ر٠	٥١ر٨	٣٢٢	١
سويسرا	٥	٣ ٢٢٠			٢٥ر٤	٤٠ر٠	١٤٨	١٠
الصين	٩	٦ ٦٠٢	٢	٢ ٠٠٠	٤٧ر٨	٢ر٢	٤٧	١١
فرنسا	٥٩	٦٣ ٣٦٣			٤٢٦ر٨	٧٨ر١	١ ٤٠٥	٢
فنلندا	٤	٢ ٦٥٦			٢١ر٨	٢٦ر٦	١٠٣	٤
كندا	١٧	١٢ ١١٣			٨٥ر٣	١٥ر٠	٥٠٩	٧
ليتوانيا	١	١ ١٨٥			١٣ر٩	٧٢ر١	٣٨	٦
المكسيك	٢	١ ٣١٠			١٠ر٦	٥ر٢	٢٥	١١
المملكة المتحدة	٢٣	١١ ٨٥٢			٧٣ر٧	١٩ر٤	١ ٣٥٤	٨
الهند	١٤	٢ ٥٥٠	٩	٤ ٠٩٢	١٥ر٠	٢ر٨	٢٣٧	٥
هنغاريا	٤	١ ٧٥٥			١١ر٢	٣٣ر٨	٧٨	٢
هولندا	١	٤٤٩			٣ر٦	٣ر٨	٦٠	٠
الولايات المتحدة الأمريكية	١٠٤	٩٩ ٢١٠			٧٨٨ر٦	٢٠ر٠	٢ ٩٧٥	٨
اليابان	٥٤	٤٥ ٤٦٨	٣	٣ ٢٣٧	٢٧٣ر٨	٢٩ر٣	١ ١٧٦	٤
المجموع [ب]	٤٤٠	٣٦٦ ٣١١	٢٦	٢٠ ٨٢٦	٢٦١٨ر٦	١٦ %	١١ ٥٨٨	٦

(أ) البيانات مأخوذة من نظام المعلومات عن مفاعلات القوى التابع للوكالة (http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html).

(ب) ملحوظة: هذا المجموع يتضمن البيانات التالية المتعلقة بتايوان، الصين:

--- ٦ وحدات، ٤٨٨٤ ميغاواط (كهربائي)، جارٍ تشغيلها؛ ووحدتان، ٢٦٠٠ ميغاواط (كهربائي)، جارٍ بناؤهما؛

--- ٩ر٣٧ تيراواط ساعة من الكهرباء المولدة نووياً، بما يمثل ٩ر٢٠% من إجمالي حجم الكهرباء المولدة في عام ٢٠٠٤؛

--- خبرة تشغيلية اجمالية مجموعها ١٤٠ سنة وشهر واحد.

٢٧- وفي مناطق آسيوية أخرى، نجد أن مساهمات القوى النووية المطلقة والنسبية أقل، وإن كانت الصين والهند بصفة خاصة تعتزمان إجراء توسعات كبيرة. فالهند، التي يوجد لديها ١٤ مفاعلاً جارٍ تشغيلها، حصلت على ٢ر٨% من حجم الكهرباء بها من القوى النووية. بيد أنه كان يجري بناء تسعة مفاعلات أخرى، بما فيها المفاعل النموذجي السريع التوليد البالغة قدرته ٥٠٠ ميغاواط (كهربائي) الذي بدأ بناؤه في عام ٢٠٠٤ في "كالباكام"، ويتمثل هدف الهند الراهن في سد احتياجاتها الكهربائية من القوى النووية بنسبة ٢٥% بحلول عام ٢٠٥٠.

٢٨- أما الصين، التي كانت توجد لديها تسعة مفاعلات جارٍ تشغيلها في نهاية عام ٢٠٠٤، ومفاعلان جارٍ بناؤهما، وكانت نسبة القوى النووية من حجم الكهرباء بها تبلغ ٢ر٢%، تعتزم التوسع إلى ما يتراوح بين ٣٢ و٤٠ غيغاواط (كهربائي) بحلول عام ٢٠٢٠ لتصل إلى نسبة ٤ إلى ٥% من حجم الإمدادات الكهربائية. وفي عام ٢٠٠٤ أقر المجلس الحكومي الصيني رسمياً قدرة جديدة تتجاوز ما يجري بناؤه بالفعل بمقدار ٧غيغاواط (كهربائي) على الأقل.

٢٩- وبعد ربط محطة كالينين-٣ بالشبكة في كانون الأول/ ديسمبر ٢٠٠٤ واستئناف البناء النشط في كالينين-٤ وبالاكوفو-٥، كان لدى الاتحاد الروسي ٣١ مفاعلاً جارٍ تشغيلها في نهاية السنة و٤ مفاعلات أخرى جارٍ بناؤها. وبعد ربط محطتي "خميلنيتسكي-٢" و"روفنو-٤" بالشبكة ، أصبح لدى أوكرانيا ١٥ مفاعلاً جارٍ تشغيلها ومفاعلان جارٍ بناؤهما. وفيما عدا ذلك، فإن عملية البناء الراهنة الوحيدة في أوروبا الشرقية هي محطة "تشرنافودا-٢" في رومانيا. وكما ورد ذكره آنفاً، فإن محطة "إغنالينا-١" في ليتوانيا سحبت من الخدمة في نهاية عام ٢٠٠٤.

٣٠- وكانت توجد لدى أوروبا الغربية ١٣٧ محطة قوى نووية جار تشغيلها في نهاية عام ٢٠٠٤، بما يقل عن العدد البالغ ١٤٨ محطة في عام ٢٠٠١، وذلك أساساً بسبب سحب عشر وحدات صغيرة من الخدمة في المملكة المتحدة، وهي وحدات يرجع عمرها إلى الخمسينات والستينات (ثماني وحدات تبلغ قدرتها ٥٠ ميغاواط (كهربائي) ووحدتان قدرة كلٍّ منهما ١٢٣ ميغاواط (كهربائي)). ولا يجري في الوقت الراهن بناء أية محطات قوى نووية في أوروبا الغربية، لكن أعمال الحفر بدأت في عام ٢٠٠٤ بالنسبة لمحطة "أولكيلووتو-٣" في فنلندا. كما إنه عقب اعتماد البرلمان الفرنسي للتشريع الضروري، اختارت شركة الكهرباء الفرنسية "إيليكتريسيتيه دي فرانس" موقعاً لإقامة مفاعل أوروبي إيضاحي يعمل بالماء المضغوط، يُتوقع أن يبدأ بناؤه في عام ٢٠٠٧. وستكون هاتان المحطتان أول مفاعلين أوربيين يعملان بالماء المضغوط يجري بناؤهما. وقد بدأت فرنسا تسلك طريق 'إحلال المحطات النووية بأخرى نووية'، وذلك بالنسبة لمحطات القوى النووية المتقادمة التي بُنِيَت في السبعينات والثمانينات. أما فيما يخص المملكة المتحدة، فإن الورقة البيضاء التي صدرت في عام ٢٠٠٣ بشأن سياسة الطاقة لا تقترح إقامة محطات قوى نووية جديدة، حيث تنوه إلى تكاليف تلك المحطات وما يرتبط بها من قضايا غير محسومة تتعلق بالنفايات، لكنها تترك باب الخيار النووي مفتوحاً فيما لو أصبح استحداث قدرة نووية جديدة ضرورياً في مرحلة معينة.

٣١- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، وافقت الهيئة الرقابية النووية على تمديد تسعة تراخيص كل منها لمدة ٢٠ سنة (بحيث يصل إجمالي العمر المرخص به لكل محطة من محطات القوى النووية إلى ٦٠ سنة)، وبذلك وصل إجمالي عدد التراخيص التي ووفِقَ على تمديدها إلى ٣٠ ترخيصاً بنهاية العام. وحصل نحو ثلاثة أرباع محطات القوى النووية بالولايات المتحدة الأمريكية، البالغ عددها ١٠٤ محطات، على تمديدات من هذا القبيل لتراخيصها أو قدمت طلبات لهذا الغرض أو أعلنت عزمها القيام بذلك. وأقرت وزارة الطاقة في الولايات

المتحدة تقديم مساعدات مالية إلى اثنتين من المؤسسات الصناعية الكبرى من أجل إقامة مشاريع إيضاحية عن منح التراخيص لمحطات القوى النووية مع الاستفادة من الرخصة المجمعة الجديدة التي استحدثتها الهيئة الرقابية النووية. وتشكل مثل هذه المساعدات جزءاً من برنامج عام ٢٠١٠ المختص بالقوى النووية في الولايات المتحدة الأمريكية والهادف إلى نشر قدرات نووية جديدة بحلول عام ٢٠١٠.

٣٢- وفي كندا، يتخذ التوسع في توليد القوى النووية في المدى القريب شكل إعادة تشغيل بعض أو كل الوحدات النووية الثماني (من مجموع ٢٢ وحدة كندية) التي تم إغلاقها في السنوات الأخيرة. وقد تمت أول عمليتين لإعادة التشغيل من هذا القبيل في عام ٢٠٠٣. وجرت عملية ثالثة، في محطة "بروس ألف-٣"، في عام ٢٠٠٤، كما أقرت سلطات مقاطعة "أونتاريو" خطة توليد القوى في "أونتاريو" الخاصة بإعادة تشغيل محطة "بيكرينغ ألف-١".

٣٣- وفي أمريكا اللاتينية، توجد محطتان جارٍ تشغيلهما في كلٍّ من الأرجنتين والبرازيل والمكسيك، بالإضافة إلى محطة جارٍ بناؤها في الأرجنتين.

٣٤- وهناك محطتان جارٍ تشغيلهما في جنوب أفريقيا.

باء-٢- المستقبل

باء-٢-١- توقعات الأجل المتوسط المستوفاة[٣]

٣٥- تقوم الوكالة سنوياً بنشر توقعات (إسقاطات) مستوفاة عن الطاقة النووية في الأجل المتوسط. ويبيِّن الشكل باء-١ الاستيفاءات الخاصة بعام ٢٠٠٤، إلى جانب سيناريو مرجعي مستوفى أُخِذ من وثيقة وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي المعنونة *استشراف الطاقة العالمية في عام ٢٠٠٤*. وفي هذا الشكل، يمثل الخط الأيسر في كل وحدة ثلاثية توقع الوكالة المنخفض، الذي يفترض عدم بناء محطات قوى نووية جديدة بخلاف ما يجري تشييده أو ما يُزمَع إنشاؤه بصورة مؤكدة طبقاً للخطط الموضوعة حالياً، بالإضافة إلى سحب محطات القوى النووية القديمة من الخدمة في الموعد المحدد. ويُرمز إلى التوقع المنخفض بالحرف 'L'، وهو يبيِّن تصنيف الإنتاج النووي حسب المناطق.

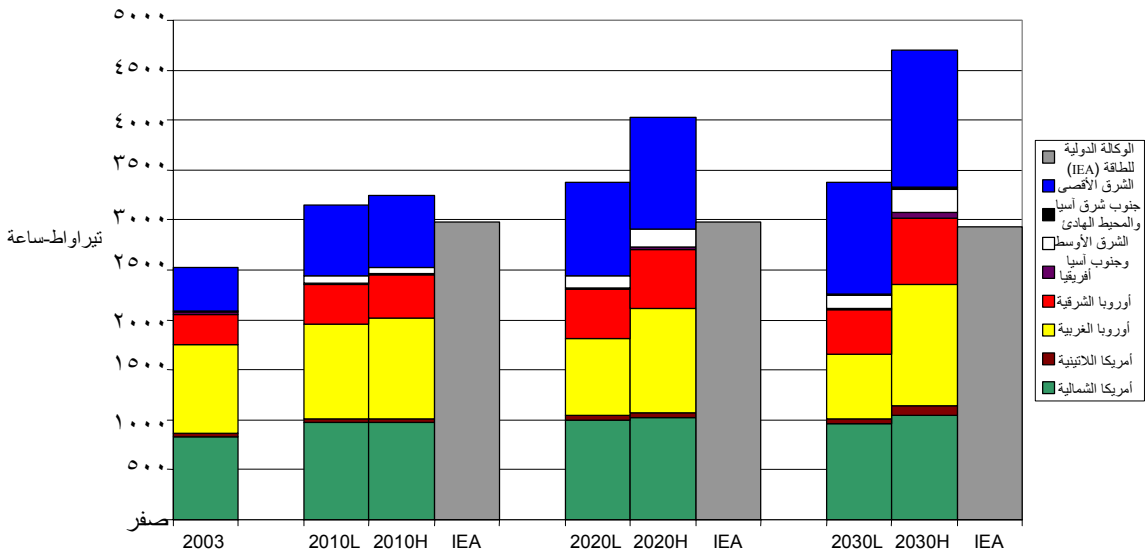
٣٦- أما الخط الأوسط في كل وحدة ثلاثية فهو توقع الوكالة المرتفع، ويشمل مشاريع نووية إضافية معقولة يُزمَع ويُقترَح القيام بها علاوة على تلك التي على وشك أن تُسَلَّم نهائياً بالفعل. ويُرمَز إلى الخطوط الدالة على التوقع المرتفع بالحرف 'H'، وهي تبيِّن التصنيف حسب المناطق كذلك.

٣٧- ولأغراض المقارنة، يبيِّن الخط الأيمن في كل وحدة ثلاثية التصور المرجعي المستوفى بوثيقة الوكالة المعنونة *استشراف الطاقة العالمية في عام ٢٠٠٤*. ويعد التصور المرجعي الذي وضعته الوكالة، والذي يتم استيفاؤه كل سنتين، نقطة مرجعية معروفة وكثيراً ما يُستشهد بها في المداولات الدولية التي تُجرى بشأن سياسات الطاقة وأسواقها. وهو مبني بصورة أساسية على ذات النهج الذي يقوم عليه توقع الوكالة المنخفض.

---

٣ يمكن الاطلاع على المزيد من التفاصيل عن إسقاطات الوكالة الأحدث في الموقع http://nesisda2/rds-1/. ويرد بيان لأنشطة الوكالة الحالية والمقبلة المتعلقة بجمع البيانات، وتقييم الخبراء للإسقاطات المتوسطة الأجل، في آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/.

والشق الأكبر من الفوارق الكمية بين الاثنين في الشكل باء-١ مصدره توقعات الوكالة الأدنى فيما يخص أوروبا الشرقية.



الشكل باء-١- توليد الطاقة العالمية من القوى النووية في عام ٢٠٠٣ وفيما يخص التوقعات الثلاثة حتى عام ٢٠٣٠ (NA: أمريكا الشمالية؛ LA: أمريكا اللاتينية؛ WE: أوروبا الغربية؛ EE: أوروبا الشرقية؛ ME/SA: الشرق الأوسط/جنوب آسيا؛ SEA/Pac: جنوب شرق آسيا/المحيط الهادئ).

٣٨- وطبقاً لتوقع الوكالة المنخفض، فإن معدل توليد القوى النووية في عام ٢٠٣٠ سيبلغ ٣٣٧٩ تيراواط/ساعة، بزيادة نسبتها ٣٤% في إنتاج القوى النووية قياساً على عام ٢٠٠٣. هذا وقد أُجري تنقيح تصاعدي سنوياً لتوقعات الوكالة المنخفضة منذ عام ٢٠٠٠. ويزيد المعدل البالغ ٣٣٧٨ تيراواط/ساعة المبيَّن في الشكل باء-١ فيما يخص عام ٢٠٢٠ بنسبة ٦٠% عن قيمة عام ٢٠٢٠ التي توقعتها الوكالة في عام ٢٠٠٠. (اقتصرت توقعات الوكالة في عام ٢٠٠٠ على استشراف فترة أقصاها عام ٢٠٢٠).

٣٩- ويبين توقع الوكالة المرتفع زيادة نسبتها ٨٦% في إنتاج الكهرباء النووية فيما بين عامي ٢٠٠٣ و٢٠٣٠. وقد كان حجم ما طرأ من تغيرات أقل، كما كان نمط التغيير أقل اتساقاً، في التوقعات المرتفعة عاماً بعد عام. وإذا ما أُخِذ التطور الذي شهدته التوقعات في مجمله لوجدناه ذا مغزى بالنسبة لصناعة تشير الدلائل بدرجة معقولة إلى أنها تنطوي على إمكانيات جيدة، لكنها لا تنمو بشكل محسوس. وتتسم قائمة المشاريع المعقولة في الأمد المتوسط عند الحد المرتفع بالثبات إلى حد ما، ويزداد عاماً بعد عام عدد ما يتم ترقيته منها من تصنيفها كتوقعات مبشرة إلى مشاريع فعلية على وشك التسليم.

٤٠- ويبين الشكل باء-١ وجود فوارق مهمة فيما بين مناطق العالم المختلفة. وكما أشير آنفاً، فإن التوسع يتركز في الشرق الأقصى، حيث يبلغ معدل النمو أقصاه في جميع التوقعات. وتشهد أوروبا الشرقية توسعاً ملموساً طبقاً لتوقعي الوكالة المرتفع والمنخفض، لكن معدل النمو متواضع جداً في أمريكا الشمالية. أما أوروبا الغربية فتشهد انكماشاً وفقاً للتوقع المنخفض حيث تفوق عمليات سحب محطات القوى النووية من الخدمة

معدلات بناء محطات جديدة، وإن كان يقابله توسع كبير وفقاً للتوقع المرتفع. وترتفع معدلات النمو في الشرق الأوسط وجنوب آسيا وفقاً لتوقعي الوكالة، رغم انطلاق المنطقة من قاعدة محدودة في عام ٢٠٠٣.

٤١- ورغم أن الشكل باء-١ لا يبيِّن التصنيف الإقليمي لسيناريو الوكالة المرجعي، الذي تُستخدم فيه مناطق مختلفة بشكل طفيف عما تستخدمه الوكالة، فإن النمط الأساسي لا يختلف كثيراً عما نجده في توقع الوكالة الأدنى – فثمة توسع في الشرق الأقصى وجنوب آسيا، وانكماش في أوروبا الغربية وثبات في أمريكا الشمالية.

باء-٢-٢- التنمية المستدامة وتغير المناخ[٤]

٤٢- سوف يعتمد مستقبل القوى النووية في المدى الأطول، ضمن ما يعتمد، على مدى نجاحها في تلبية احتياجات الطاقة العالمية وتخفيف الأعباء البيئية المرتبطة باستخدام الطاقة. وفيما يخص احتياجات الطاقة العالمية المتنامية، لم تُجر مداولات دولية رئيسية في عام ٢٠٠٤ بشأن احتياجات الطاقة المتعلقة بالتنمية المستدامة. وسوف تتناول لجنة الأمم المتحدة المعنية بالتنمية المستدامة موضوع الطاقة قريباً، وذلك خلال دورتيها الرابعة عشرة والخامسة عشرة اللتين ستُعقَّدان في عامي ٢٠٠٦ و٢٠٠٧.

٤٣- أما فيما يتعلق بحماية البيئة، فإن التطور العالمي الرئيسي في عام ٢٠٠٤ حدث في تشرين الأول/نوفمبر بتصديق الاتحاد الروسي على بروتوكول كيوتو الملحق باتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ. ونتج عن ذلك أن بلدان المرفق الأول[٥] التي صدقت على البروتوكول كانت مسؤولة إجمالاً عن أكثر من ٥٥% من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الخاصة بالمرفق الأول في عام ١٩٩٠، وبدأ نفاذ البروتوكول بعد ٩٠ يوما من ذلك، أي في ١٦ شباط/فبراير ٢٠٠٥.

٤٤- ويرجَّح ألا يكون لبدء نفاذ بروتوكول كيوتو تأثير يُذكر على التوسع النووي بصورة مباشرة. فالبروتوكول لا يغطي سوى فترة الالتزام الأول، ٢٠٠٨-٢٠١٢، كما إن السياسات المعتمدة من جانب البلدان للوفاء بحدودها القصوى وفقاً لبروتوكول كيوتو تختلف باختلاف تلك البلدان. وهذه السياسات لا تصب جميعها في مصلحة القوى النووية، رغم أن انبعاثاتها من غازات الدفيئة قليلة جداً– حيث لا تتجاوز ما يتراوح بين ٢ و٦ غرامات من الكربون لكل كيلوواط-ساعة بالنسبة لسلسلة الوقود النووي بأكملها، وهو ما يماثل تقريباً الانبعاثات الناتجة عن قوى الرياح والقوى الشمسية. لكن التوقع في المدى الأطول هو أن التقدم المحرز نحو اقتصاد 'مقيد الكربون' سوف يجعل القوى النووية جذابة بشكل متزايد دون شك. ولقد كانت ميزة تدني انبعاثاتها من غازات الدفيئة غير واضحة للمستثمرين من قبل، حيث كان معنى انعدام فرض قيود أو ضرائب على تلك الانبعاثات هو أن تجنبها لا ينطوي على أية قيمة اقتصادية. ويعد بروتوكول كيوتو هو السبيل العملي الوحيد في الوقت الراهن نحو فرض قيود منسقة على نطاق واسع على انبعاثات غازات الدفيئة، وهو بالتالي خطوة مهمة صوب إضفاء قيمة اقتصادية ملموسة على تجنب القوى النووية لتلك الانبعاثات.

---

٤ ترد معلومات أكثر إسهابا عن أنشطة الوكالة المتعلقة بالجوانب ذات الصلة بالطاقة من التنمية المستدامة وتغير المناخ في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/climate.shtml.

٥ بلدان المرفق الأول هي البلدان الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي في عام ١٩٩٢ بالإضافة إلى البلدان التي كانت اقتصاداتها تمر بمرحلة تحول آنذاك.

باء-٢-٣- القضايا الراهنة

الاقتصاديات

٤٥- ما زالت محطات القوى النووية القائمة التي تدار بشكل جيد مصدراً تنافسياً مربحاً بوجه عام لتوليد الكهرباء، كما يدل على ذلك استمرار معدل تمديدات التراخيص في الولايات المتحدة الأمريكية ومناطق أخرى، وإن كانت تمديدات التراخيص خارج الولايات المتحدة الأمريكية تتم لفترات أقصر وبتواتر أكبر عموماً، أو تتخذ شكل 'تمديدات ممتدة'.

٤٦- أما فيما يخص بناء محطات جديدة، فإن القدرة التنافسية تعتمد، ضمن ما تعتمد، على تكاليف البدائل التي يجب عليها التنافس معها، بالإضافة إلى وجهات نظر المستثمرين، وأسواق الطاقة والكهرباء التي ستعمل فيها. وكما هو مبيَّن في الجدول باء-٢، فإن التقديرات الأخيرة لتكاليف محطات القوى النووية الجديدة والمتنافسين الرئيسيين بشأنها تُظهر نطاقات تعكس تبايناً في التكنولوجيات وأوضاع الموارد الوطنية ووجهات نظر المستثمرين. ويمتد نطاق الجدول باء-٢ بين تقديرين أفيد بهما مؤخراً يعكسان الخبرة الراهنة. وطبقاً لهيئة الطاقة الذرية الكندية المحدودة، فإن تكاليف استكمال محطتي "كينشان ٣-١" و"كينشان ٣-٢" في "زهيجيانغ" بالصين، تقدَّر بنحو ١٥٠٠ دولار لكل كيلوواط (كهربائي) (أو ١١٦٣ يورو لكل كيلوواط (كهربائي) على أساس سعر الصرف المستخدم في الجدول باء-٢)، كما إن السعر المفاد به بالنسبة لمفاعل "أولكيلووتو-٣" الأوروبي الذي يعمل بالماء المضغوط هو ١٩٢٠ يورو لكل كيلوواط (كهربائي).

٤٧- وثمة اتجاهان مستمران مهمان شهدتهما أسواق الكهرباء في عام ٢٠٠٤ صوب زيادة تحرير تلك الأسواق، مع فرض قيود أكثر صرامة على انبعاثات غازات الدفيئة. وعلى سبيل المثال، فُتِح سوق الكهرباء تماماً في الدول الخمس عشرة الأعضاء في الاتحاد الأوروبي (قبل توسيع ذلك الاتحاد في عام ٢٠٠٤)، أمام العملاء غير المنزليين في عام ٢٠٠٤، وفي اليابان فُتِحت نسبة ٤٠% من سوق القوى بأكمله خلال عام ٢٠٠٤ (تُزمع زيادتها إلى ٦٠% في عام ٢٠٠٥). كذلك، وبمقتضى توجيه أصدره الاتحاد الأوروبي في تشرين الأول/أكتوبر ٢٠٠٣، وُضع مخطط تبادل الانبعاثات داخل الاتحاد الأوروبي، وهو المخطط الخاص بانبعاثات ثاني أكسيد الكربون ويبدأ نفاذه اعتباراً من ١ كانون الثاني/يناير ٢٠٠٥، بالإضافة إلى خطط توزيع وطنية من أجل تحديد أنصبة أولية للانبعاثات الخاصة بالمنشآت في غضون عام ٢٠٠٤وبنهاية عام ٢٠٠٤، استكملت المفوضية الأوروبية تقييمات تخص ٢١ خطة توزيع وطنية. وقد وافقت المفوضية دون قيد أو شرط على ١٥ من خطط التوزيع الوطنية، ووافقت على ٣ أخرى موافقة مشروطة، ورفضت الثلاثة الباقية 'رفضا جزئيا'.

الجدول باء-٢- تقديرات تكاليف مقارنة مأخوذة من دراسات حديثة

	معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا[أ]	جامعة شيكاغو[ب]	أكاديمية الهندسة الملكية[ج]	الهيئة الإدارية الوطنية العامة للطاقة والمواد الخام- فرنسا[د]	وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة- اليابان[هـ]	المعهد الكندي لبحوث الطاقة كندا[و]	وكالة الطاقة النووية/الوكالة الدولية للطاقة[ز]
التكلفة المعيارية [ح]	*يورو سنت/كيلوواط-ساعة [ط]*	*يورو سنت/كيلوواط-ساعة*	*يورو سنت/كيلوواط-ساعة*	*يورو سنت/كيلوواط-ساعة*	*يورو سنت/كيلوواط-ساعة*	*يورو سنت/كيلوواط-ساعة*	*يورو سنت/كيلوواط-ساعة*
القوى النووية	٢ر٥	٢ر٣-٥ر٥	٣ر٣	٢ر٨	٣ر٨	٤ر٣-٨ر٥	٦ر١-٣ر٥
الفحم	٣ر٣	٦ر٢-٢ر٣	٦ر٣-٥ر٠	٢ر٣-٤ر٣	٤ر١	١ر٣-٨ر٣	٢ر١-٣ر٥
الغاز الطبيعي	٩ر٢-٣ر٤	٧ر٢-٥ر٣	١ر٣-٤ر٠	٥ر٣	٥ر٤	٧ر٤-٩ر٤	٩ر٢-٠ر٥
النفط					٧ر٨		
القوى الكهربائية المائية							١ر٣-٨ر١٨
فضلات الدواجن			٩ر٧				
الرياح الساحلية			٣ر٥-٧ر٧				٤ر٢-٢ر١١
الرياح غير الساحلية			٩ر٧-١٠ر٣				٠ر٤-٥ر٩
الأمواج/البحرية			٩ر٤				
الفولطائية الضوئية الشمسية							٤ر٩-٤ر١٤٥
تكلفة سعر الإقفال[ي]	*يورو/كيلوواط (كهربائي)*	*يورو/كيلوواط (كهربائي)*	*يورو/كيلوواط (كهربائي)*	*يورو/كيلوواط (كهربائي)*	*يورو/كيلوواط (كهربائي)*	*يورو/كيلوواط (كهربائي)*	*يورو/كيلوواط (كهربائي)*
القوى النووية	١٥٥٠	٩٣٠-١٣٩٥	١٦٤٢	١٤١٣	٢٠٢٦	١٥٢٥-١٩٣١	٨٣٢-١٩٤٥
الفحم	١٠٠٨	٩١٦-١١٣٢	١٠٤٢-١١٧١	١٠٠٠-١١٠٠	١٩٧٥	١٠٤٠	٥٥٧-١٨١٩
الغاز الطبيعي	٣٨٨	٣٨٨-٥٤٣	٤٢٨	٥٠٥	١١٩١	٤٦٢	٣٢٩-١٠٠١
النفط					١٩٥٣		
القوى الكهربائية المائية							١١٩٤-٥٤١٣
فضلات الدواجن			٢٦٢٨				
الرياح الساحلية			١٠٥٧				٧٥٦-١٢٦٦
الرياح غير الساحلية			١٣١٤				١٢٦٩-٢٠٣٢
الأمواج/البحرية			١٩٩٩				
الفولطائية الضوئية الشمسية							٢٦٠٦-٧٨٧٧

(أ) معهد "ماساتشوستس" للتكنولوجيا، *مستقبل القوى النووية*، معهد "ماساتشوستس" للتكنولوجيا، "كامبريدج"، "ماساتشوستس"، الولايات المتحدة الأمريكية (٢٠٠٣)

(ب) جامعة "شيكاغو"، *مستقبل القوى النووية اقتصادياً*، جامعة "شيكاغو"، "شيكاغو"، "إيلينوي"، الولايات المتحدة الأمريكية (٢٠٠٤)

(ج) أكاديمية الهندسة الملكية، *تكلفة توليد الكهرباء، لندن، المملكة المتحدة (٢٠٠٤)*

(د) الهيئة الإدارية العامة للطاقة والمواد الخام (DGEMP)، وزارة الاقتصاد والمالية والصناعة الفرنسية، باريس، فرنسا (٢٠٠٣)

(هـ) وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة، طوكيو، اليابان (٢٠٠٤)

(و) "مات أيريس" و"مورغان ماكراي" و"ميلاني ستوغران"، *مقارنة لتكلفة توليد الكهرباء مقدرة بالوحدات المعيارية في التكنولوجيات البديلة المختصة بتوليد الأحمال الأساسية في "أونتاريو"*، المعهد الكندي لبحوث الطاقة، "كالغاري"، "ألبيرتا"، كندا (٢٠٠٤)

(ز) وكالة الطاقة النووية والوكالة الدولية للطاقة، *التكاليف المتوقعة لتوليد الكهرباء: صيغة محدثة لعام ٢٠٠٥*، منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، باريس، ٢٠٠٥.

(ح) التكلفة المعيارية لتوليد الكهرباء هي السعر عند الموصل العمومي على النحو اللازم لتغطية تكاليف التشغيل مضافاً إليها التكاليف الرأسمالية السنوية لمحطات القوى.

(ط) تُحوَّل العملات الوطنية المستخدمة في الدراسات المختلفة إلى اليورو باستخدام أسعار الصرف المعطاة في ١١ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٤.

(ي) تكلفة سعر الإقفال هي المبلغ المستحق دفعه إذا ما تزامن حدوث جميع النفقات الاستثمارية في وقت واحد. وهي لا تشمل رسوم الفوائد.

الأمان[٦]

٤٨- يعد تبادل الخبرات المكتسبة من تشغيل محطات القوى النووية على الصعيد الدولي، وبالأخص نشر 'الدروس المستفادة' على نطاق واسع، جوانب أساسية من أجل مواصلة التشغيل المأمون لمحطات القوى النووية وتعزيزه. كما إن تجميع الخبرة التشغيلية وتقاسمها وتحليلها، كلها عناصر حيوية لإدارة الأمان، وثمة أدلة تجريبية واضحة على أن التعلم من خبرة تشغيل محطات القوى النووية قد أفضى، ولا يزال يفضي، إلى تحسينات في أمان المحطات. وتمثل الاجتماعات التي تُعقَد بصورة دورية في إطار شبكة التبليغ عن الحوادث المشتركة بين الوكالة الدولية للطاقة الذرية ووكالة الطاقة النووية جزءاً من عملية التبادل العالمي هذه، حيث يتم تناول الحوادث التي وقعت مؤخراً بالمناقشة والتحليل على نحو تفصيلي.

٤٩- ويرجع الفضل إلى تبادل المعلومات وتحليلها على هذا النحو، ضمن أسباب أخرى، في التحسن المستمر الذي يشهده السجل العام لأمان الصناعة النووية. وتشير إحصاءات الرابطة العالمية للمشغلين النوويين الخاصة بعام ٢٠٠٣ إلى معدل ثابت منخفض لحالات الإيقاف التلقائي غير المخطط له بما يقرب من ثلث المستوى الذي كان سائدا في مطلع التسعينات، فضلاً عن انخفاض مستمر في معدل الحوادث الصناعية المنخفض بالفعل.

٥٠- وترد في *استعراض الأمان النووي* الذي تصدره الوكالة سنوياً معلومات أكثر تفصيلا عن الأمان وعن التطورات الأخيرة المتعلقة بجميع التطبيقات النووية.

الإخراج من الخدمة والوقود المستهلك والنفايات[٧]

٥١- فيما يخص الإخراج من الخدمة، ما زال الاتجاه إلى التفكيك الفوري مستمراً. ومن أسباب ذلك، في الولايات المتحدة، الاستفادة من المواقع الموجودة الخاصة بالتخلص من النفايات وهي لا تزال مفتوحة وقبل أن تزداد التكاليف. ومن محطات القوى النووية التي اقتربت من نهاية العملية محطة "يانكي روي" ومحطة "مين يانكي" (في كلٍّ منهما اكتمل الإخراج من الخدمة بنسبة ٩٠% في نهاية عام ٢٠٠٤ ويُعتزَم إجراء 'التصريف غير المقيد' في عام ٢٠٠٥) ومحطة "بيغ روك بوينت" (اكتمل بنسبة ٨٥% ويُعتزَم إجراء التصريف غير المقيد في عام ٢٠٠٥ أيضاً) و"تروجان" (اكتمل بنسبة ٩٥% ويُعتزَم إنهاء الترخيص في عام ٢٠٠٥) و"كونيكتيكت يانكي" (يُعتزَم إجراء التصريف غير المقيد في عام ٢٠٠٧). والاستثناءات من استراتيجية التفكيك الفوري تشمل أساساً المواقع المتعددة الوحدات التي يُعتزَم تفكيكها عندما تصل جميع الوحدات إلى نهاية أعمارها التشغيلية.

٥٢- وحتى إذا ما تماثلت الاستراتيجيات، كثيراً ما تتباين الأسباب بالنسبة لمحطات قوى نووية معينة. ففي ألمانيا مثلاً، حيث يبدو أن التفكيك الفوري هو النهج المفضل أيضاً، أسهم مشروع التفكيك الفوري على نطاق واسع في موقع "غرايفزفالد" في ألمانيا الشرقية (خمسة مفاعلات عاملة أصلاً، وواحد اقترب تشغيله، واثنان يجري بناؤهما) إلى حد كبير في تيسير استبقاء الموظفين الرئيسيين وإعادة توظيف عدد كبير جداً من موظفي التشغيل.

---

٦ ترد معلومات أكثر إسهابا عن أنشطة الوكالة المتعلقة بالأمان النووي في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني http://www-ns.iaea.org/.

٧ ترد معلومات أكثر إسهابا عن أنشطة الوكالة المتعلقة بالإخراج من الخدمة والوقود المستهلك والنفايات في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/index.html و http://www-ns.iaea.org/home/rtws.asp.

٥٣- وثمة تطور مهم حدث مؤخراً وهو استحداث فئة جديدة من النفايات المشعة في بعض البلدان - وهي فئة النفايات الضعيفة الإشعاع جداً. وقد افتُتح مستودع للنفايات الضعيفة الإشعاع جداً في "مورفييه"، بفرنسا، في عام ٢٠٠٣، ووصل إلى مرحلة التشغيل الكامل في عام ٢٠٠٤. وتنظر أسبانيا أيضاً في إنشاء مستودع لهذه النفايات. والمقصود من فئة النفايات الضعيفة الإشعاع جداً هو استيعاب معظم النفايات الناتجة عن الإخراج من الخدمة بتكلفة تخلص أقل كثيراً من تكلفة التخلص من النفايات الضعيفة الإشعاع التقليدية.

٥٤- وبشأن الوقود المستهلك، ما زالت الأرصدة تتزايد. غير أن الوقود المستهلك يُخزَّن بأمان منذ عقود في المفاعلات وفي مواقع التخزين المؤقت، ويمكن مع بعض التوسع المتواضع في التخزين، أن توفر هذه المرافق الموقعية والمؤقتة التخزين اللازم لسنوات عديدة.

٥٥- وفيما يخص النفايات القوية الإشعاع، أُحرز معظم التقدم بشأن مرافق التخلص في فنلندا والسويد والولايات المتحدة الأمريكية. ففي فنلندا بدأت في عام ٢٠٠٤ أعمال تشييد المختبر الذي سيقام تحت سطح الأرض في "أولكيلووتو" والذي سيُستخدم لتحديد خصائص الجيولوجيا المحلية ويمكن أن يُدمج لاحقاً في المستودع النهائي. ويُفترَض أن يبدأ تشييد المستودع في عام ٢٠١١ وأن يبدأ تشغيله في عام ٢٠٢٠. وقد بدأت السويد في إجراء إستقصاءات جيولوجية تفصيلية في موقعين مرشحين. وتأمل الشركة السويدية للتصرف في الوقود والنفايات النووية (SKB) أن تتقدم باقتراح نهائي بشأن الموقع بحلول عام ٢٠٠٨ تقريباً. وفي الولايات المتحدة الأمريكية بدأت المحطة التجريبية لعزل النفايات، في "نيو مكسيكو"، في قبول نفايات ما وراء اليورانيوم العسكرية في عام ١٩٩٩ بغرض التخلص منها بصورة دائمة، وفي عام ٢٠٠٢، قررت حكومة الولايات المتحدة المضي قُدُماً بصدد موقع التخلص في جبل "يوكا". ومن المزمع أن تبدأ العمليات في جبل "يوكا" في عام ٢٠١٠. وكان التطور الرئيسي في عام ٢٠٠٤ هو صدور حكم محكمة بأن اللائحة التنظيمية التي وضعتها للموقع وكالة حماية البيئة أقل تشدداً مما يستوجبه القانون. وإذا ما ظل هذا القرار قائماً فيُحتمَل أن يستلزم إجراء تغييرات إما في تصميم المرفق، أو في القانون.

٥٦- ويحدد قانون نفايات الوقود النووي الكندي لعام ٢٠٠٢ شهر تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٥ موعداً نهائياً يتعين على الهيئة الكندية للتصرف في النفايات النووية أن توصي قبل حلوله بنهج للتصرف في الوقود النووي المستعمل. وفي أيار/مايو ٢٠٠٥ نشرت الهيئة المذكورة مسودة توصيات، التماسا للتعليق عليها واستعراضها، اقترحت فيها نهجاً ' مرحليا متكيفا' يشتمل على ثلاث مراحل. فأولاً يتم خزن الوقود المستهلك داخل مواقع المفاعلات لمدة ٣٠ سنة تقريبا. وأثناء هذه الفترة سيتم اختيار موقع لإقامة مستودع مركزي، وسيبنى مختبر بحثي تحت سطح الأرض. وستدوم المرحلة الثانية، هي الأخرى، ٣٠ سنة تقريبا. وتبعاً "التوجه المجتمعي" يمكن نقل الوقود المستعمل إلى موقع مركزي من أجل خزنه خزنا مؤقتا طوال تلك المرحلة. أما في المرحلة الثالثة فسيوضع الوقود المستعمل داخل المستودع. وسيكون على الأجيال اللاحقة أن تبت أثناء المرحلة الثالثة في مدى ضرورة إغلاق المستودع وتوقيت هذا الإغلاق، وفي نوعية ما سيلزم من رصد سابق على هذا الإغلاق.

التكنولوجيا النووية وعدم انتشار الأسلحة النووية[٨]

٥٧- أدت عدة تطورات حدثت في عامي ٢٠٠٣ و٢٠٠٤ إلى ازدياد الوعي الدولي بخطر انتشار الأسلحة النووية المرتبط بالأجزاء الحساسة من دورة الوقود النووي. وأبرز عدد من الاكتشافات المتعلقة بأنشطة غير معلنة لإثراء اليورانيوم وإعادة معالجة الوقود المستهلك، وكذلك اكتشاف وجود سوق غير مشروعة دولية في التكنولوجيات النووية الحساسة، الحاجة إلى تحسين الضوابط المفروضة على هذه الأجزاء من دورة الوقود النووي. ورداً على ذلك، وُضِع عدد من الاقتراحات، من بينها تلك التي وضعها المدير العام للوكالة، بهدف تعزيز نظام عدم الانتشار النووي عن طريق اتخاذ تدابير تتعلق بتقوية الضمانات وتحسين الحماية المادية للمواد والمرافق النووية وكذلك دعم نظام ضوابط الصادرات النووية الراهن. وعلاوة على ذلك، استمر العمل في إطار المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية ومبادرة الجيل الرابع من المفاعلات فيما يتعلق بتطوير تكنولوجيات للقوى النووية قادرة على مقاومة الانتشار في المستقبل.

باء-٢-٤- الموارد[٩]

٥٨- استمرت في عام ٢٠٠٤ الزيادات الهائلة في أسعار اليورانيوم بالدولار بدءاً من عام ٢٠٠٣، كما هو مبين في الشكل باء-٢. ومن العوامل التي ساهمت في ذلك حالات توقف الإنتاج في العديد من مناجم اليورانيوم، وضعف الدولار، وانخفاض كميات الأرصدة والإمدادات الثانوية. وفي منتصف عام ٢٠٠٥ بلغ سعر الدفع الفوري ٧٥ دولارا لكل كغم مقارنة بـ ٤٠ دولارا لكل كغم في بداية عام ٢٠٠٤. وفي الأجل المتوسط، يتوقع أن تؤدي الزيادات في الطلب إلى الضغط على الأسعار، في توقعي الوكالة المرتفع والمنخفض على السواء (القسم باء-٢-١)، وحتى نهاية عام ٢٠١٠ على الأقل في السيناريو المرجعي للوكالة.

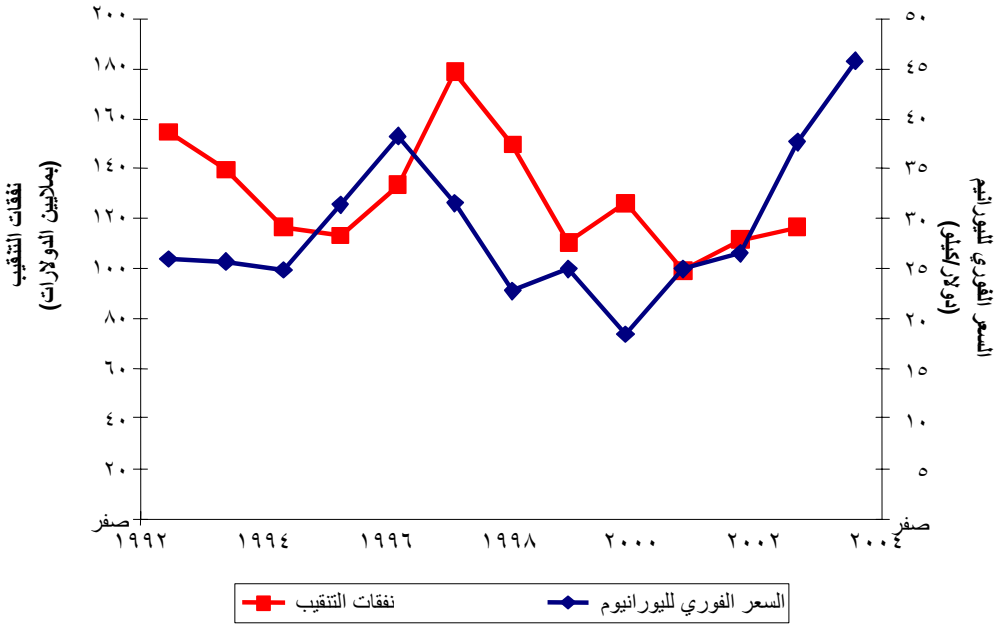
٥٩- وتفيد أحدث صيغة مستوفاة من 'الكتاب الأحمر' الذي تصدره الوكالة ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي كل عامين، المسمى *اليورانيوم في عام ٢٠٠٣: الموارد والإنتاج والطلب*، والذي نُشِر في عام ٢٠٠٤، بأن إنتاج اليورانيوم بلغ ٠٤٢ ٣٦ طناً من اليورانيوم في عام ٢٠٠٢، بانخفاض إلى حدٍ ما عن الكمية البالغة ٠٢٠ ٣٧ طناً من اليورانيوم التي أُنتِجت في عام ٢٠٠١. وفي عام ٢٠٠٢ لبى الإنتاج نحو ٥٤% من احتياجات المفاعلات في العالم (البالغة ٨١٥ ٦٦ طناً من اليورانيوم)، في حين تم استيفاء بقية الاحتياجات عن طريق مصادر ثانوية، بما في ذلك المخزونات المدنية والعسكرية من اليورانيوم، وإعادة معالجة اليورانيوم، وإعادة إثراء اليورانيوم المستنفد.

٦٠- ولا يرجع ضعف إنتاج اليورانيوم منذ أوائل التسعينات إلى انخفاض الأسعار وحده. فقد أسهم في ذلك أيضاً تشديد اللوائح التنظيمية وتزايد الاهتمام بالشواغل البيئية. وعلى سبيل المثال، كانت الفترات الزمنية اللازمة من الاكتشاف إلى الإنتاج في كندا في الأربعينات والخمسينات تتراوح عادة بين ٣ إلى ١٠ سنوات. وفي الستينات والسبعينات، كان المعدل يتراوح بين ١١ و١٦ سنة، ويشير الكتاب الأحمر لعام ٢٠٠٣ إلى أن الفترات الزمنية التي تتراوح بين ١٠ سنوات و٢٠ سنة أصبحت شائعة في بلدان كثيرة منذ الثمانينات.

---

٨ ترد معلومات أكثر إسهابا عن أنشطة الوكالة المتعلقة بمقاومة الانتشار وبالضمانات في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/index.html.

٩ ترد معلومات أكثر إسهابا عن أنشطة الوكالة المتعلقة بالموارد النووية في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/nfcms_home.html.



الشكل باء-٢- سعر اليورانيوم في السوق ونفقات التنقيب، ١٩٩٢-٢٠٠٤

٦١- وتاريخياً كانت حالات ارتفاع الأسعار تُتبع عادة بازدياد التنقيب عن اليورانيوم بعد سنة أو نحوها، كما هو مبين في الشكل باء-٢. وتشير الدلائل إلى أن هذه الاتجاهات ستستمر، وسيكون خط نفقات التنقيب أعلى بصورة ملحوظة في عام ٢٠٠٤، عندما ترد كل البيانات.

باء-٢-٥- الانشطار والاندماج المتقدمان[١٠]

٦٢- استجابة للتحديات التي تواجهها القوى النووية في الوقت الراهن حسبما هو مبيَّن في القسم باء- ٢-٣، يعكف كثير من البلدان على العمل لتحسين الجوانب الاقتصادية والأمان والتصرف في النفايات ومقاومة الانتشار في نظم المفاعلات ـ دورات الوقود المتقدمة. وفيما يخص تصاميم محطات القوى النووية المتقدمة، تنصَبُّ الجهود على تبسيط عملية تشغيل المحطات والتفتيش عليها وصيانتها وإصلاحها. ومن المرجح، في المدى القصير، أن تستند معظم محطات القوى النووية الجديدة إلى تصاميم مطورة على أساس نظم ثبتت جدواها مع الاستفادة بأوجه التقدم التكنولوجي ووفورات الحجم في كثير من الأحيان. أما في المدى الأطول، فإن التركيز ينصبُّ على التصاميم الابتكارية، والعديد منها يقع في مدى الحجم الذي يتراوح بين الصغير والمتوسط (حتى ٧٠٠ ميغاواط (كهربائي)). والمتصور في هذه التصاميم أن يتم البناء باستخدام مكونات مصنَّعة، تشمل وحدات نمطية كاملة يمكن تركيبها بسرعة في الموقع، ويمكن أن تحقق وفورات نتيجة للإنتاج المتسلسل بدلاً من وفورات الحجم. وبعض المحطات يجري تصميمه لكي يتم تشغيله دون إعادة تزويد بالوقود في الموقع. أما المزايا الأخرى المتوقعة فيما يخص الوحدات الأصغر حجماً فهي سهولة في التمويل، وملاءمة أكبر للشبكات

١٠ ترد معلومات أكثر إسهابا بشأن أنشطة الوكالة المتعلقة بالانشطار المتقدم في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NENP/NPTDS.html. كما ترد معلومات عن أنشطة الوكالة المتعلقة بالاندماج في آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2004/index.html).

الكهربائية الصغيرة أو للأماكن النائية، وإمكان استخدامها بغرض تدفئة الأحياء السكنية وتحلية مياه البحر وتطبيقات غير كهربائية أخرى. ويُفترَض أن تزيد هذه المزايا جاذبية تلك الوحدات بالنسبة للعديد من البلدان النامية وبعض البلدان الصناعية.

٦٣- وجارٍ بذل جهود مهمة تتعلق بتصميم مفاعلات الماء الخفيف المتطورة الكبيرة، وذلك في كل من الصين وفرنسا وألمانيا واليابان وجمهورية كوريا والاتحاد الروسي والولايات المتحدة الأمريكية. أما الجهود الرئيسية بشأن تصاميم مفاعلات الماء الخفيف المتطورة الصغيرة والمتوسطة الحجم فتجري في الصين وفرنسا واليابان والاتحاد الروسي والولايات المتحدة الأمريكية. ويجري استحداث تصاميم *ابتكارية* لمفاعلات الماء الخفيف (أي تلك التي تنطوي على تغييرات جذرية في المفاهيم الخاصة بنُهُج التصميم أو شكل النظام)، وذلك في كل من الأرجنتين واليابان وجمهورية كوريا والاتحاد الروسي والولايات المتحدة الأمريكية.

٦٤- وتواصل كلٌّ من كندا والهند العمل في تصاميم مفاعلات الماء الثقيل المتقدمة، كما يجري استحداث تصاميم مفاعلات متقدمة مبردة بالغاز في كلٍّ من الصين وفرنسا وألمانيا واليابان والاتحاد الروسي وجنوب أفريقيا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية. أما فيما يخص المفاعلات السريعة المبردة بفلز سائل، فيجري الاضطلاع بأنشطة تطويرية في كلٍّ من الصين وفرنسا والهند واليابان وجمهورية كوريا والاتحاد الروسي. كما تجري في نطاق المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات وفي الاتحاد الروسي أنشطة تطويرية تخص نظم المفاعلات السريعة المبردة بفلز الرصاص السبيكي السائل، والمفاعلات السريعة المبردة بفلز الصوديوم السائل، والمفاعلات السريعة المبردة بالغاز (الهليوم). وتُجرى في الهند وجمهورية كوريا واليابان والاتحاد الروسي والولايات المتحدة الأمريكية وثمانية بلدان أعضاء في الاتحاد الأوروبي بحوث بشأن النظم الهجينة الخاصة بطيف النيوترونات السريعة (كالنظم التي تعمل بواسطة المعجلات مثلاً).

٦٥- وتكتمل المبادرات الكثيرة المذكورة آنفاً باثنين من المساعي الدولية الرئيسية الرامية إلى تعزيز الابتكار وهما – المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات، والمشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (إنبرو). وأعضاء المحفل الدولي هم الأرجنتين والبرازيل وكندا وفرنسا واليابان وجمهورية كوريا وجنوب أفريقيا وسويسرا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد الأوروبي للطاقة الذرية (اليوراتوم). وقد استعرض المحفل نطاقاً واسعاً من المفاهيم المبتكرة واختار، في عام ٢٠٠٢، ستة أنواع من نظم المفاعلات للتعاون الثنائي والمتعدد الأطراف في المستقبل، وهي: المفاعلات السريعة المبردة بالغاز، والمفاعلات المبردة بفلز الرصاص السبيكي السائل، ومفاعلات الملح المصهور، والمفاعلات المبردة بفلز الصوديوم السائل، والمفاعلات فوق الحرجة المبردة بالماء، ومفاعلات الغاز الفائقة الحرارة.

٦٦- والبلدان الأعضاء في مشروع إنبرو التابع للوكالة هي الاتحاد الروسي والأرجنتين وأرمينيا وأسبانيا وألمانيا وإندونيسيا وأوكرانيا وباكستان والبرازيل وبلغاريا وتركيا والجمهورية التشيكية وجمهورية كوريا وجنوب أفريقيا وسويسرا وشيلي والصين وفرنسا وكندا والمغرب والهند وهولندا والمفوضية الأوروبية. وقد نشر مشروع إنبرو تقريراً أوَّلياً في عام ٢٠٠٣ يبيِّن إمكانات القوى النووية ويحدد مبادئ توجيهية معينة ومنهجية لتقييم المفاهيم الابتكارية. وفي عام ٢٠٠٤ تم اختبار هذه المنهجية من خلال تطبيقات تجريبية في إطار سلسلة من دراسات الحالات؛ وفي كانون الأول/ديسمبر نشر تقرير نهائي عن منهجية إنبرو المحدثة. وتتمثل مرحلة إنبرو التالية في تيسير قيام الدول الأعضاء بإجراء تقييمات لنظم الطاقة النووية المبتكرة باستخدام منهجية إنبرو المحدثة، وتحديد ونمذجة سيناريوهات لنشر تلك النظم في ظل مراعاة الاستراتيجيات التي تدرسها الدول

الأعضاء، وتحديد الأطر الممكنة وخيارات التنفيذ المتعلقة بإجراء بحوث تطويرية تعاونية من أجل نشر تلك النظم على نحو يمكن إنجازه أثناء المرحلة التالية.

٦٧- وينصبُّ قدر كبير من البحوث التجريبية والنظرية الراهنة بشأن الاندماج النووي على المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي. وقد بدأت مرحلة "الأنشطة التصميمية الهندسية" المتعلقة بالمفاعل المذكور؛ وأصبح هذا المفاعل أقرب للتحقق بعد إصدار أطراف هذا المشروع – أي الاتحاد الأوروبي والاتحاد الروسي وجمهورية كوريا والصين والولايات المتحدة الأمريكية واليابان- إعلاناً في ٢٨ حزيران/يونيه ٢٠٠٥ جاء فيه أن موقع المفاعل سيكون في كاداراش بفرنسا. والهدف من هذا المفاعل هو إثبات الجدوى العلمية والتكنولوجية للطاقة الاندماجية عن طريق بناء محطة قوى اندماجية تؤدي الوظيفة التي بنيت من أجلها. وسيستغرق بناء هذا المفاعل قرابة ٨ سنوات، وبعدها سيعمل لمدة عشرين سنة أخرى. وسيكون أول جهاز في العالم يقوم فيه تفاعل اندماجي نووي محكوم بتوليد كمية من الكهرباء لا تقل عن خمسة أمثال كمية الكهرباء التي يستهلكها. وبذلك فإن هذا المفاعل سيفتح آفاقاً جديدة أمام العلوم والتكنولوجيا النووية المتعلقة بتطبيقات الطاقة، علما بأن من المتوقع أن يعود بمنافع في مجالات كثيرة أخرى.

٦٨- والبحوث مستمرة كذلك بشأن نُهُج أخرى للاحتواء المغنطيسي، ويجري بصورة مكثفة تطوير الاحتواء بالقصور الذاتي عن طريق برامج وطنية في فرنسا والولايات المتحدة الأمريكية. ومن المقرر استكمال "مرفق الإشعال الوطني" في الولايات المتحدة الأمريكية في عام ٢٠٠٨. ويمكن الاطلاع على معلومات عن البحوث التي تتبناها الوكالة بشأن الطاقة الاندماجية ومواضيع أخرى الموقع http://www-crp.iaea.org، وذلك في التقرير المعنون *Coordinated Research Activities:* Annual Report and Statistics for 2004.

جيم- التقنيات النووية في مجال الأغذية والزراعة

جيم-١- الإدارة المستدامة للأراضي وكفاءة استخدام المياه

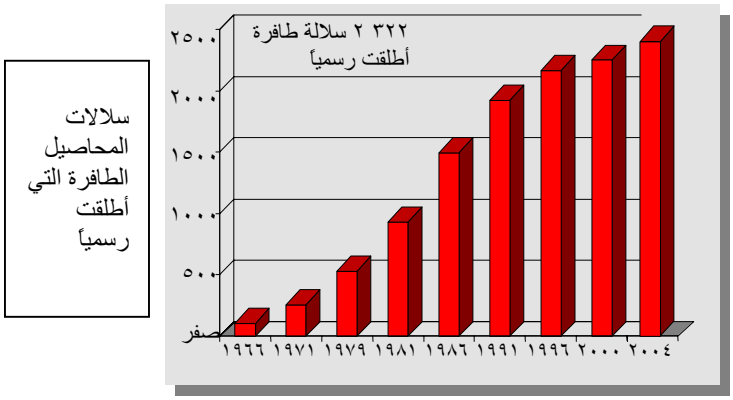
٦٩- أدى الطلب المتزايد على الأغذية في جميع أنحاء العالم إلى ضغط كبير على استدامة الأراضي والموارد المائية، وحوَّل جدول أعمال البحوث المتعلقة بالنظم الزراعية من مجرد تحديد سبل زيادة الإنتاج إلى وضع خيارات لزيادة الإنتاج دون التسبب في تدهور الموارد الطبيعية. وجلب هذا التطور في جدول أعمال البحوث معه تحديات جديدة لتطبيق التقنيات النووية القائمة، كما جلب معه تطبيقات جديدة تتعلق بالتصدي للمسائل الخاصة بالاستدامة البيئية. ومن التحديات الرئيسية كيفية تطبيق التقنيات النووية فيما يخص قضايا الحفاظ على التربة والمياه على المستويات الأوسع المتعلقة بالنظم الإيكولوجية ومستجمعات المياه وصفحة الأرض، وليس فقط على مستوى قطع الأراضي والحقول؛ ويتمثل تحدٍ آخر في كيفية تحديد المحاصيل ذات الكفاءة في الاستفادة من موارد المياه والمغذيات الموجودة في التربة والقابلة للتكيف مع البيئات القاسية (مثل الجفاف أو الملوحة أو الإجهاد الغذائي). ويُستكشَف حالياً مدى واسع من التقنيات النووية من أجل تشخيص الممارسات غير المستدامة وتحديد ممارسات الإدارة على مستوى المزارع والنظم الإيكولوجية الأوسع نطاقاً. ومن هذه التقنيات مقتفيا نظيري الفوسفور-٣٢ والنتروجين-١٥، والتغيرات في التوافر الطبيعي للنظائر المستقرة (مثل الكربون-١٣ والأكسجين-١٨ والنتروجين-١٥) في التربة والنباتات والمياه، والنويدات المشعة المتساقطة (السيزيوم-١٣٧ والرصاص-٢١٠ والبيريليوم-٧). واستجابة للشواغل المتزايدة بشأن كميات المياه ونوعيتها، تُتخَذ مبادرات جديدة على الصعيد العالمي، استناداً إلى أوجه التقدم الأخيرة في استخدام النظائر المستقرة المتعددة

(الهيدروجين-٢ والأكسجين-١٨ والكربون-١٣ والنتروجين-١٥) لتقدير كفاءة استخدام المياه في مجموعة من نظم زراعة المحاصيل والري المائي. وستشمل هذه المبادرات مبادرات بشأن أثر الجداول الزمنية للري المائي على كفاءة استخدام الأسمدة، وإعادة استخدام مياه الصرف الزراعي بكفاءة كمصدر للمياه والمغذيات من أجل تحسين الإنتاجية الزراعية، والأهمية النسبية لمختلف مصادر الملوثات الصادرة من الأراضي الزراعية في الجريان السطحي للمياه. ويُفترَض أن توفر النظائر المذكورة أعلاه، مع استعمال المقتفيات غير النظيرية والمسابير النيوترونية المستخدمة في قياس رطوبة التربة، معلومات تساعد على تطوير أدوات للإدارة الزراعية من أجل تحسين كفاءة استخدام المياه وتعزيز النظم الزراعية المستدامة في الأراضي المعتمدة على مياه الأمطار والري على السواء عن طريق تحسين فهم العلاقات بين التربة والنباتات والمياه.

جيم-٢- تحسين المحاصيل

٧٠- ما زال حث الطفرات مع الانتقاء هو أكثر السبل 'نظافة' وأقلها تكلفة لاستحداث أنواع نباتية جديدة بتغيير خصائص وحيدة دون مساس بالنمط الظاهري العام. وبسبب الخلافات التي تركز على الأخطار والمجازفات التي يمكن أن ينطوي عليها نشر واستهلاك الكائنات العضوية المعدَّلة وراثياً، تناقش بلدان كثيرة ما إذا كان ينبغي لها أن تسمح بزراعة المحاصيل المعدَّلة وراثياً واستهلاك المنتجات المعدَّلة وراثياً. وعلى هذه الخلفية، تُظهر الشركات التجارية والقطاع العام اهتماماً متجدداً بتقنيات حث الطفرات كبديل لنقل الجينات. وقد أُطلِق أكثر من ٦٠% من الأنواع الطافرة بعد عام ١٩٨٥ في عهد علم نقل الجينات في مجال تحسين السلالات النباتية (٨٩% من الأنواع الطافرة التي أُطلِقت رسمياً هي أنواع مستحثة إشعاعياً). ويرجع هذا أيضاً إلى النجاحات الاقتصادية الكبرى التي حققها تحسين السلالات النباتية المعزز بإحداث الطفرات في كلٍّ من الولايات المتحدة الأمريكية (الأرز والشعير وعباد الشمس وليمون الجنة والنعناع)؛ وباكستان (القطن)؛ والهند (الحمّص الأسود)؛ وأستراليا وكندا (بزر الكتان)؛ واليابان (الكمثرى)؛ والصين وأستراليا (الأرز).

٧١- ويتمثل اتجاه رئيسي آخر في ازدياد خصخصة البحوث في مجال برامج تحسين السلالات النباتية عن طريق حث الطفرات، ليس فقط فيما يخص زهور الزينة بل أيضاً بالنسبة للمحاصيل الصناعية والنقدية والغذائية. وهذا الاتجاه يدعمه إلى حد كبير تزايد الاستفسارات المقدمة إلى قاعدة البيانات المتاحة للجمهور المشتركة بين منظمة الأغذية والزراعة والوكالة والمعنية بأنواع الطافرات وفي قاعدة البيانات المشتركة بين الفاو والوكالة والخاصة بمستودع بيانات البروتوبلازم الجرثومي للطافرات. وقد أصبحت المعلومات عن البروتوكولات المستعملة لإحداث الطفرات في المحاصيل المختلفة معلومات سرية (أسراراً تجارية) بقدر متزايد، وتتوافر للجمهور معلومات أقل عن المنشأ الطفري للأنواع (أنظر الشكل جيم-١).



الشكل جيم-١- العدد التراكمي للسلالات المطلقة رسمياً في قاعدة البيانات المشتركة بين منظمة الأغذية والزراعة والوكالة الدولية للطاقة الذرية المعنية بالسلالات الطافرة. معلومات وردت من السلطات الوطنية الرسمية في الدول الأعضاء في الفاو والوكالة.

٧٢- ومن الصعب التنبؤ بما يمكن أن يكون متاحاً أو مهماً في المستقبل وبنتائجه المحتملة، ولكن التطورات الأخيرة في مجال التكنولوجيا البيولوجية - ولاسيما في فهم هيكل ووظيفة الجينومات النباتية - تؤكد أن حث الطفرات من أكثر الأدوات كفاءة واقتصاداً للنفقات بالنسبة لمشاريع الدراسات الجينومية الوظيفية التي تتناول اكتشاف الجينات وكشف وظيفتها. ويُعرَب بإلحاح متزايد عن الحاجة إلى تنظيم مجموعات موسعة من الطافرات من أجل بحث الآليات الأساسية التطويرية والكيميائية- البيولوجية والفيسيولوجية، وتُوِّج ذلك بإنشاء شبكات طفرات (مجموعات من الطافرات المحددة الخصائص تماماً والمختارة، تم ترتيبها في مصفوفات من أجل إجراء تحليلات عالية الخرج) خاصة بالدراسات الجينومية الوظيفية. وستتيح التكنولوجيات العالية الخرج والمنهجيات الجينومية الوظيفية زوايا جديدة للنظر إلى الجوانب الأساسية والتطبيقية لعلم الأحياء. وسيكون التحول من النظرة الساكنة الخاصة بتحديد بصمات الجينومات إلى النظرة الديناميكية الخاصة بتحديد ملامح المجموعات الجينية المنشَّطة (جميع الجينات المنقولة). وتحفز التقنيات النووية بصورة متزايدة تطوير التحول الخاص بهذا النموذج عن طريق إنتاج الموارد الطفرية الأساسية والضرورية.

جيم-٣- وقاية المحاصيل

٧٣- يتزايد اهتمام الشركات التجارية بالإنتاج الضخم للحشرات العقيمة من أجل التطبيق المتكامل لتقنية الحشرة العقيمة، وخصوصاً لمكافحة آفات ذباب الفاكهة، ولاسيما ذباب الفاكهة المتوسطي. وكانت تقنية الحشرة العقيمة تُستخدَم في الماضي بصورة أساسية لإبادة الآفات الحشرية الرئيسية على المستوى المحلي. وكان ذلك لا يؤدي إلى طلب على الحشرات العقيمة بشكل قابل للتنبؤ به ومستمر. بيد أن تلك التقنية تقدمت الآن، فيما يخص ذباب الفاكهة المتوسطي على الأقل، حتى أصبحت من التكنولوجيات المقتصدة للتكاليف. ونتيجة لذلك، أخذ نهج تقنية الحشرة العقيمة يتحول إلى المكافحة الروتينية بدلاً من إبادة تجمعات الآفات، الأمر الذي أدى إلى وجود طلب مستمر على الذباب المتوسطي العقيم، وبذلك فُتِح الباب أمام تسويق تقنية الحشرة العقيمة على نطاق تجاري من أجل مكافحة ذباب الفاكهة المتوسطي.

٧٤- ويطرح هذا التطور عدداً من المسائل القانونية والمتعلقة بالملكية الفكرية بشأن تكنولوجيا تقنية الحشرة العقيمة المستخدمة والجاري تطويرها. ففي الماضي، كان معظم الحكومات ضالعاً بصورة مباشرة في إنتاج

وإطلاق الحشرات العقيمة، مع التشارك في هذه التكنولوجيا بحريَّة، ولذلك كانت هذه المسائل غائبة إلى حد بعيد. فمثلاً كان من أهم التكنولوجيات استخدام السلالات الحشرية الوراثية المفصولة جنسياً، مثل سلالات الذباب المتوسطي الذكري حصراً المميتة والحساسة للحرارة، في برامج تقنية الحشرة العقيمة. والآن تُستخدَم هذه السلالات الذكرية حصراً في جميع البلدان التي تُنفَّذ فيها برامج مكافحة الذباب المتوسطي باستخدام تقنية الحشرة العقيمة، وما زال يلزم تحديد شروط نقلها إلى الشركات الخاصة أو الترخيص بها لتلك الشركات.

٧٥- ويسهم استخدام الحشرات العقيمة، بدلاً من مبيدات الحشرات، لمكافحة الآفات الرئيسية، في بقاء وفعالية عوامل المكافحة البيولوجية اللازمة لمكافحة مشاكل الآفات الثانوية، ولذلك يؤثر إيجابياً على الطلب على هذه العوامل. ويُقدَّر أن الطلب المحتمل على ذباب الفاكهة المتوسطي العقيم في حوض البحر الأبيض المتوسط وحده يبلغ ٤ بلايين على الأقل من الذكور العقيمة أسبوعياً، أي ما يقارب العدد الإجمالي لما يُنتج من هذه الذكور في العالم حالياً. وفي هذه المنطقة، يجري إنشاء مرافق للتربية بكميات ضخمة في إسرائيل وفي أسبانيا لتلبية جزء من هذا الطلب.

٧٦- وفي الأرجنتين، تُوِّج برنامج متكامل استغرق عشر سنوات على مستوى المناطق الجغرافية لاستخدام تقنية الحشرة العقيمة في مكافحة ذباب الفاكهة المتوسطي مؤخراً باعتراف شيلي رسمياً بمناطق رئيسية لإنتاج الفاكهة على نطاق تجاري في مقاطعة "مندوزا" كمناطق 'خالية من الذباب المتوسطي'. وسيتسنى بفضل ذلك نقل المنتجات الزراعية مباشرة عبر شيلي إلى موانئ على المحيط الهادئ لتصديرها إلى أسواق الفواكه الطازجة في البلدان الواقعة على حافة المحيط الهادئ.

٧٧- وتتيح أوجه التقدم الأخيرة في القدرة على استحداث سلالات من الآفات الحشرية محورة وراثياً إمكانية استخدام النهُج الجزيئية من أجل تحسين السلالات المستخدمة في تقنية الحشرة العقيمة. ويقوم حالياً عدد من الجامعات ومنظمات البحوث بتقييم العديد من هذه السلالات ذات الخصائص المفيدة وتحديد خصائصها في مختبرات آمنة. غير أن نشر تلك السلالات، حتى كحشرات عقيمة، يتطلب قدراً إضافياً كبيراً من تقدير المخاطر وإطاراً رقابياً، ولذلك لا يُتوقع القيام بذلك في المستقبل القريب.

جيم-٤- تحسين إنتاجية الحيوانات الزراعية وصحتها

٧٨- تتعلق الجهود الرئيسية في بحوث الحيوانات الزراعية باستخدام الأساليب الجزيئية والوراثية لفهم الجينومات ومعالجتها. ورغم تزايد استخدام الأساليب غير الإشعاعية ما زالت النظائر المشعة مستخدمة على نطاق واسع في هذه الجهود.

٧٩- وقد شُدِّد على إمكانية استخدام التكنولوجيات النووية لصالح المزارعين في البلدان النامية في المداولات الأخيرة للندوة الدولية المشتركة بين الفاو والوكالة عن تطبيقات التكنولوجيات المعتمدة على الجينات من أجل تحسين الإنتاج الحيواني والصحة البيطرية في البلدان النامية (أنظر الموقع الإلكتروني http://www.iaea.org/programmes/nafa/d3/mtc/final-report-int-symposium.pdf).

جيم- ٥- أمان الأغذية وأمان المنتجات النباتية والحيوانية

٨٠- يتزايد استعمال القطاع الخاص لتقنيات التشعيع وغيرها من التقنيات النووية من أجل ضمان أمان الأغذية والتقليل إلى الحد الأدنى من المخاطر الناشئة عن الأخطار الكيميائية والبيولوجية والفيزيائية ومن أجل

تيسير التجارة الداخلية والدولية. ولهذا الطلب المتزايد علاقة بالنظم الزراعية المتكاملة الخاصة بإنتاج المنتجات النباتية والحيوانية وتجهيزها ومراقبتها صحياً، ويشمل إدارة الأخطار البيئية. ويُتوقع أن يتزايد تركيز الحكومات على التحكم في أخطار السلامة الغذائية عند المنشأ فيما يتعلق بإنتاج المنتجات التي تتسم بأهمية خاصة للجهات التي تخدمها هذه الحكومات، بما في ذلك الفواكه والخضر الطازجة، واللحوم ومنتجاتها، والسلع المرتبطة بمنتجات الألبان. ويُتوقع أيضاً أنه على الرغم من ثبوت أمان الأغذية المشعة وفائدتها الصحية، ستظل تصورات المستهلكين السلبية ومدى تقبلهم لتشعيع الأغذية مسألة تعرقل استخدام ذلك التشعيع، ولذلك يلزم توفير برامج تدريبية وتعليمية ومعلومات تتعلق بفوائد هذه التكنولوجيا، من أجل تشجيع زيادة استخدامها من جانب قطاع الصناعات الغذائية.

دال- الصحة البشرية

دال-١- التغذية

٨١- يتزايد التسليم بان استخدام التكنولوجيا النظيرية أكثر ملاءمة ودقة من الأساليب التقليدية لوضع وتقييم برامج التغذية. ويوصى باستخدام المقتفيات النظيرية باعتبارها تقنيات مقتصدة للتكلفة من أجل تقييم تَمَثُّل وامتصاص المعادن والفيتامينات من الأغذية المعززة. ويمكن استعمال تقنيات التخفيف النظيري لرصد التغيرات التي تحدث في تركيب الجسم في حالات البدانة أو سوء التغذية بالبروتينات أو بالطاقة أو في حالات المرضى الذين يعانون من فيروس نقص المناعة البشرية/الإيدز أو السرطان. وتستخدَم هذه التقنيات إما الديوتيريوم أو الأكسجين-١٨.

٨٢- ويسلَّم أيضاً بان المعلومات الدقيقة عن الاحتياجات من الطاقة توفر مساهمة قيِّمة في استراتيجيات إدارة الرعاية الصحية للسكان. وأسلوب الماء المزدوج الترقيم بالديوتيريوم والأكسجين-١٨ هو الآن الأسلوب النمطي المقبول المستعمل لقياس نفقات الطاقة، ومنه يمكن حساب احتياجات الطاقة لدى المجموعات السكانية في الظروف المختلفة.

٨٣- وقد ازدادت أيضاً أهمية تقدير تكوين الجسم، وهو مهم بالنسبة للتطورات الصحية أو المرضية. ومن التقنيات الواعدة لقياس تكوين الجسم تقنية قياس امتصاص الأشعة السينية المزدوجة الطاقة، الذي يُعتبَر الآن أداة دقيقة لتحديد التوزيع الإجمالي والموضعي للشحوم، رغم أنه استُحدِث أولاً لقياس الكثافة المعدنية للعظام.

دال-٢- الطب النووي

٨٤- تساعد الدراسات التي تستخدم النويدات المشعة القصيرة العمر مع تقنيات الطب النووي الأطباء الإكلينيكيين على بحث العمليات الأيضية لدى المرضى. فالأيض العادي يتأثر دائماً بالأمراض، وعادة ما تحدث التغيرات قبل ظهور التغيرات التشريحية التي يمكن تبيُّنها بتقنيات التصوير التقليدية بالأشعة السينية. ولذلك يمكن أن يوفر الاكتشاف المبكر للتغيرات الأيضية أساساً أفضل للتدخل الطبي أو الجراحي. ويتزايد استخدام البروتوكولات الموحدة المستندة إلى هذه الدراسات، والتي طُوِّرت لمرضى القلب أو السرطانات، من أجل تحقيق الإدارة الإكلينيكية الأمثل، وفي نهاية المطاف تحقيق النتيجة النهائية الأمثل للعلاج. وقد أصبح ذلك ممكناً بفضل التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني، وهو من أسرع تقنيات الطب النووي نمواً. وهو آخذ سبيله إلى أن

يصير أحد تطبيقات الطب النووي الإكلينيكية القياسية، ويستخدم نظائر مشعة قصيرة العمر للغاية ملحقة بواسمات بيولوجية. وعلى وجه الخصوص يمكن، باستخدام الغلوكوز الموسوم إشعاعياً والمسمى FDG (فلورول ١٨ ديوكسي غلوكوز)، أو الكولين - C11 (C11-choline)، أن يدرس أيض الغلوكوز والأحماض الأمينية في الأعضاء. وبعد ذلك تُدمَج الصور الوظيفية المنتَجة باستخدام التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني مع صور التصوير المقطعي الحاسوبي بالأشعة السينية، فتتوفر تفاصيل عن التغيرات الصحية لدى الأفراد المرضى يمكن أن تساعد على تحسين علاج السرطان. وخلافاً للتصوير المقطعي الحاسوبي بالانبعاث الفوتوني المفرد، وهو أوسع تقنيات تصوير الأجسام الحية استخداماً في الطب النووي، سيحتاج تطبيق التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني في البلدان النامية إلى بعض الوقت، بسبب تكاليفه العالية حالياً.

٨٥- وهناك إجراءات عديدة تخص استخدام النظائر المشعة في المختبرات من أجل تحديد الأنماط الوراثية والمظاهر الجزيئية ويمكن تطبيقها في البيولوجيا الجزيئية الإكلينيكية. وتتزايد أهمية هذه الإجراءات في العديد من الظروف الإكلينيكية وقبل الإكلينيكية، التي تمتد من تحديد التغيرات التي تحدث في الخلايا السرطانية إلى دراسة مقاومة العقاقير في حالات الإصابة بطفيليات الملاريا وبالسل.

٨٦- وعلاوة على العلاج الراسخ للتسمم الدرقي وسرطان الغدة الدرقية، يتمثل التطور الرئيسي في مجال استخدام أساليب الطب النووي العلاجية في بدء استخدام الأجسام المضادة الوحيدة النسيلة الموسومة إشعاعياً والببتيدات الموسومة إشعاعياً في علاج أمراض مثل الأورام اللنفاوية وأورام الأجهزة العصبية والغدد الصماء. وسيؤدي ذلك إلى إيجاد أساليب علاجية موجهة يمكن تطبيقها على أنواع مختارة من أنواع السرطان وبآثار جانبية أقل كثيراً مقارنة بالعلاج الكيميائي التقليدي. وتتوفر أيضاً مجموعة من المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية لتخفيف الآلام في حالات مرض السرطان المتقدمة، تؤدي إلى تحسين مقتصد للتكلفة في نوعية حياة المرضى المتضررين من الانبثاثات العظمية، وتحرِّرهم من الحاجة إلى العلاج اليومي بالعقاقير المخدِّرة وأنواع الدعم الصيدلاني المكلفة الأخرى.

دال-٣- العلاج الإشعاعي

٨٧- كان التقدم الرئيسي في ميدان العلاج الإشعاعي في السنوات الأخيرة هو الاكتشاف الذي تم من خلال تجارب إكلينيكية عديدة رفيعة النوعية بأن إضافة العوامل الصيدلانية إلى العلاج الإشعاعي تحسِّن فرص المرضى في البقاء على قيد الحياة في العديد من الحالات السرطانية الشائعة، مثل سرطان الرئة، وعنق الرحم، والثدي، والرأس والعنق، والمعدة، والشرج، والدماغ، والبروستاتا. غير أن ثمن ذلك يكون ازدياد السميَّة في بعض الحالات. وتستمر البحوث في محاولة لتعديل العوامل الصيدلانية وأهدافها بسبل تحفظ تأثيرها المسبب للحساسية للإشعاعات في الأنسجة السرطانية، بينما تخفض السمية بالنسبة للأنسجة الصحيحة. وتشجع الوكالة البحوث في مجال رصد السمية المؤجلة للمعدِّلات الكيميائية لآثار الإشعاعات، وكذلك تحديد الأجسام الجزيئية المستهدفة التي تساعد الخلايا السرطانية على النجاة من الموت بعد التشعيع، وتلك المسؤولة عن الضرر الإشعاعي الذي يصيب الأنسجة الصحيحة.

٨٨- ومنذ سنوات عديدة يُعطى العلاج الإشعاعي خمس مرات في الأسبوع كممارسة قياسية. وقد أشارت بعض الدراسات الأخيرة إلى أن إعطاء هذا العلاج أكثر من خمس مرات في الأسبوع (العلاج الإشعاعي المعجَّل) يمكن أن يحسِّن السيطرة على الأورام في بعض أنواع السرطانات دون أن يزيد السمية كثيراً. وتشجع الوكالة الأنشطة البحثية في هذا الميدان.

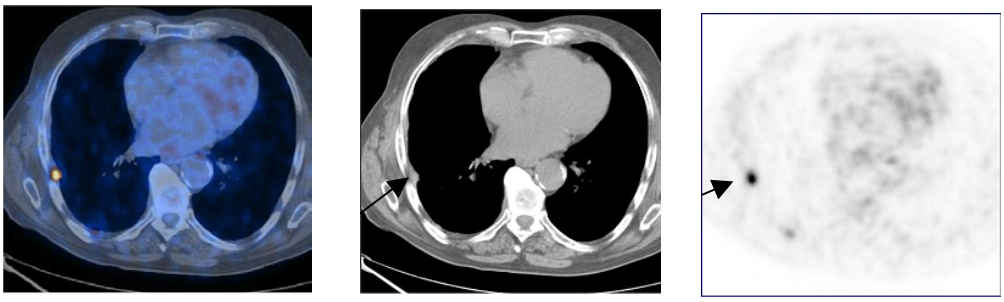
٨٩- وتتيح أوجه التقدم في التكنولوجيا، مثل العلاج الإشعاعي المعدَّل الكثافة، والعلاج الإشعاعي بالبروتونات وبالجزيئات الثقيلة، والعلاج الإشعاعي المقطعي، الذي يتيح العلاج التطابقي للورم والتصوير الحاسوبي المباشر أثناء العلاج، زيادة الجرعة الفيزيائية التي تصل إلى 'الحجم المستهدف' السرطاني دون زيادة الجرعة التي تصل إلى الأعضاء الصحيحة خارج هذا الحجم. ورغم أن هذه التكنولوجيات عالية التكلفة حالياً، فإن تكاليفها يمكن أن تُخَفَّض بالاستفادة من تحسين توزيع الجرعة الفيزيائية بإعطاء العلاج في جلسات يقل عددها (تقليل التجزئة) عن عدد الجلسات التي تُعطى أثناء العلاج الإشعاعي التقليدي.

دال- ٤- قياس الجرعات والفيزياء الإشعاعية الطبية

٩٠- يساعد ضمان الجودة في مجال الطب الإشعاعي على كفالة تطبيقه بشكل مأمون وفعّال. وقد أفضى إدخال تقنيات علاج معقدة جديدة إلى ازدياد المطالبة بدقة قياس الجرعات. بل إنه كلما ازداد تعقّد العلاج، تظل هناك حاجة أساسية إلى توخي الدقة في معايرة الحزم الإشعاعية. وينحو الاتجاه العالمي الراهن بشأن قياس جرعات العلاج الإشعاعي نحو تنفيذ مدونات قواعد لقياس الجرعات قائمة على المعايرة من حيث الجرعات المُمتصّة المنقولة إلى المياه، مثل مدونة القواعد الدولية التي أصدرتها الوكالة بعنوان *تحديد الجرعات المُمتصّة في مجال العلاج الإشعاعي بالحزم الإشعاعية الخارجية* (العدد ٣٩٨ من سلسلة التقارير التقنية). ومع أن قياس الجرعات في علم الأشعة التشخيصي لم يصل بعد إلى ذات مستوى التوحيد القياسي الذي بلغه العلاج الإشعاعي، فإنه يظلّ مهماً في ضمان أمان المرضى. وتعكف الوكالة واللجنة الدولية للوحدات والمقاييس الإشعاعية على وضع مدونة قواعد دولية لقياس الجرعات في هذا المجال.

٩١- واستخدام بيانات المرضى في تخطيط العلاج الفردي فيما يخص الطب النووي العلاجي آخذ في التنامي من حيث الأهمية، لا سيما بالنسبة للمرضى في مجال طب الأطفال. وتتطلّب دقة تخطيط العلاج نهجاً موحّداً لقياس البارامترات الفيزيائية والبيولوجية اللازمة للمرضى ولتطبيق تلك البيانات على نماذج ملائمة. والوكالة ماضية في العمل على وضع مدونات قواعد غرضها تناول مكوني التصوير وقياس النشاط الإشعاعي في تلك العملية.

٩٢- وينشأ أحد التحديات المستجدّة في مجال الفيزياء الإشعاعية الطبية من تطوّر العلاج الإشعاعي الممتثل الثلاثي الأبعاد في اتجاه العلاج الإشعاعي الموجّه تصويرياً، المتّسم بالقدرة على تعقّب دقة الحزم الإشعاعية والمحافظة على هذه الدقة عقب حدوث تغيّرات في موضع الورم والتركيب البنيوي للمريض. ويرمي العلاج الإشعاعي المُوجّه تصويرياً إلى تحسين النتائج الإكلينيكية عن طريق إيصال جرعات أعلى للورم مع مراعاة تقليص الحدود التي يتعدّر بعدها العلاج، مما يتيح بالتالي حفظ الأعضاء المعرّضة للمخاطر وحماية الأنسجة الطبيعية. ويراعي العلاج الإشعاعي المُوجّه تصويرياً التغيّرات التي تطرأ على التركيب البنيوي وحركة الأعضاء، والتغيّرات في حجم الورم وموضعه وذلك في إطار إعداد خطة العلاج، ويقوم برصد هذه التغيّرات أثناء سير العلاج. ويستفيد هذا العلاج الإشعاعي من التطورات الحديثة التي شهدها التصوير لأغراض العلاج الإشعاعي، مثل إدماج الصور المأخوذة بالتصوير المقطعي الحاسوبي والصور وبالرنين المغنطيسي معاً أو تسجيل الصور المدمجة للتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني والتصوير المقطعي الحاسوبي، وكذلك التصوير المقطعي الرباعي الأبعاد، والتصوير المقطعي المخروطي، المتاحة في الوقت الحاضر في غرف العلاج الحديثة. وبالنسبة للتحقّق من إيصال العلاج، تُؤخذ صور مدخليّة متعددة باستخدام أجهزة تصوير مدخليّة إلكترونية، تكفل التحقّق من وضع المريض وترسم خريطة للجرعات المُوصلة.



الشكل دال-١- التصوير المتعدد الطرائق (الصور الاندماجية): تشخيص مُحسّن لحالات السرطان (في مرحلة الانتشار) باستخدام أسلوب 'إدماج' الصور المأخوذة بالتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني (الصورة الظاهرة إلى اليسار) والصور المأخوذة بالتصوير المقطعي (الصورة الظاهرة في الوسط) في إطار التصوير المتعدد الطرائق. وتبيّن الصورة الظاهرة في الجهة اليمنى الصورة المُوحّدة (المُدمجة)، وهي تظهر على وجه دقيق مكان انتشار الورم تشريحياً وهو ما يكاد ألا يكون مرئياً في الصورة المأخوذة بالتصوير المقطعي وحده. (الصور مهداة من الدكتور س. فانتي، جامعة بولونيا، إيطاليا).

٩٣- وتشكّل عمليات التدقيق في مجال العلاج الإشعاعي وسيلة مهمة لتوكيد جودة عمليات كل من التقنيات التقليدية والجديدة على نحو وافٍ. ويتمثّل الاتجاه الراهن في هذا الصدد في توسيع نطاق عمليات التدقيق التي تتناول الجوانب الفيزيائية بحيث تصبح استعراضات شاملة تشارك فيها أفرقة تدقيق متعدّدة التخصّصات. ويجري، في الوقت ذاته، استحداث أساليب تدقيق جديدة لقياس جرعات العلاج الإشعاعي من أجل مواكبة التقدم المُحرز في الآونة الأخيرة في تكنولوجيا العلاج الإشعاعي.

هاء- الموارد المائيّة

٩٤- مازلت إدارة الموارد المائية تحتل مكانة رفيعة على جدول الأعمال الدولي. فقد أعلنت الأمم المتحدة الفترة من عام ٢٠٠٥ إلى عام ٢٠١٥ "عقد الماء من أجل الحياة"، معترفةً بذلك بالصلة القائمة بين الماء والتنمية. وثمة توجّه تصاعدي لاستغلال المياه الجوفية بهدف تلبية الطلب المتنامي على المياه، لأسباب أهمها محدودية توافر المياه السطحية. ويتزايد استخدام التقنيات النظيرية في إطار الجهود الرامية إلى إدارة المياه الجوفية على نحو مستدام، لا سيما من أجل فهم جوانب محدّدة من دورة المياه، مثل منشأ المياه، ومعدلات التجدد، وتدفقات المياه – وتلك معلومات لازمة لوضع قرارات إدارية سليمة.

٩٥- ونظراً لازدياد الاعتماد على المياه الجوفية في تلبية الاحتياجات المتنامية من الموارد المائية، تعكف المنظمات الدولية، ومن ضمنها الوكالة، على صوغ "رؤية عالمية للمياه الجوفية" من أجل عرضها على محفل المياه العالمي الرابع الذي سيُعقد في المكسيك في عام ٢٠٠٦. والمقصود بهذه الرؤية أن تكون بمثابة مُخطّط للإدارة الفعّالة للمياه الجوفية، وهي ستتضمّن مبادئ توجيهية حول كيفية استخدام العلوم والتكنولوجيا، مثل الهيدرولوجيا النظيرية، استخداماً ملائما لأغراض الإدارة الفعّالة للمياه الجوفية.

٩٦- وثمة تركيز متنامٍ على إدارة مستجمعات المياه الجوفية عبر نطاق الحدود. وحدّد مسح حديث للمخزون العالمي من المياه وجود أكثر من ٤٠٠ مستجمع مياه جوفي 'مشترك' من هذا القبيل. وإدراكاً من مرفق البيئة العالمي والبنك الدولي وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة والوكالة وجهات أخرى لاحتمال نشوء نزاعات حول الموارد المائية المشتركة، بدئ في مشاريع دعم من شأنها تيسير الإدارة المشتركة الفعّالة لتلك الموارد. وتظهر الأدوات النظيرية اللازمة للتعرف على مخاطر التلوّث، وتحديد حركة المياه، ومعرفة عمر المياه، وتحديد مصادر التلوّث كأدوات لازمة لإدارة المياه الجوفية عبر الحدود ولوضع نُهـجٍ تكفل الإدارة المستدامة لموارد المياه الجوفية.

واو- البيئتان البحرية والبرية

واو-١- البيئة البحرية

واو-١-١- الاقتفاء الإشعاعي للملوّثات الموجودة في الأغذية البحرية

٩٧- أصبحت تطبيقات التكنولوجيات النووية الاقتفائية الإشعاعية المُستخدمة في تقييم ورصد الملوّثات البرّية الموجودة في مصايد الأسماك الساحلية تشكّل أدوات متزايدة الأهمية بالنسبة لقطاعي الصحة والتجارة. وعملية التصرف حيال سميّة الأغذية البحرية المتصلة بتكاثر الطحالب الضّارة التي تمثل مشكلة متفاقمة على الصعيد العالمي، تلقى مساعدة، على سبيل المثال، من اختبارات ربط أجهزة الاستقبال القائمة على أساس نووي فيما يحقق على نحو أكفأ دعم عملية ضبط سموم الأسماك الصدفية المُسببة للشلل، الناشئة عن تكاثر الطحالب الضارة. وستتطلّب احتمالات القيام في المستقبل بالحدّ من مواد سامّة معينة موجودة في الأسماك الصدفية بمستويات مقبولة، استخدام قياسات أكثر حساسية من قبيل اختبارات ربط أجهزة الاستقبال.

٩٨- وتُعدّ التقنيات الاقتفائية الإشعاعية هي الأخرى تقنيات قيّمة في مكافحة مشاكل الملوّثات الفلزّية البريّة الموجودة في البيئات الساحلية. ويمكن التوصّل إلى فهم ما تحدثه الفلزّات الناجمة عن أنشطة التعدين من آثار ومسارات تعرّض بالنسبة لنخب مختارة من الأنواع البحرية، باستخدام مقتفيات إشعاعية مثل النيكل-٦٣ والكوبالت-٥٧ والمنغنيز-٥٤ والكادميوم- ١٠٩ والزنك-٦٥ والفضة-١١٠ شبه المستقرة. ويجري تقييم هذه المقتفيات الإشعاعية أيضاً من حيث فعّاليتها كأدوات لرصد التلوّث بما يساعد صناعات صيد الأسماك. وبالمثل، يتَواصَل تقييم الملوّثات الزرنيخية في مرفق التجارب الإيكولوجية الإشعاعية في مختبر البيئة البحرية بموناكو لتحديد قدرتها على التراكم في مصايد الأسماك المحلية وذلك باستخدام المقتفيات الإشعاعية الزرنيخية-٧٣. وتتضمّن التوجهّات المستقبلية في هذا الصدد تطبيق تكنولوجيات تصوير نووية على المتعضّيات البحرية، فضلاً عن استخدام بيانات تجريبية وميدانية عن الملوّثات لأغراض التقديرات القائمة على المخاطر التي تتناول تأثيرها المُحتمل على مصايد الأسماك والمستهلكين.

واو-١-٢- الاقتفاء النظيري لظاهرة التذبذبات الجنوبية لتيارات النينو (اختصاراً: ظاهرة إينسو)

٩٩- يُعتبر تأثير ظاهرة إينسو على كل من البيئة البحرية ومناخ كوكب الأرض من أهم الظواهر البيئية التي تؤثر في مناخ منطقة المحيط الهادئ، فضلاً عن تأثيرها في مناخ كوكب الأرض ككل، مع ما يترتب على ذلك من عواقب خطيرة لها تأثير على مجموعات الأسماك وهطول الأمطار، بما في ذلك تَكَوّن الأعاصير. وأظهرت

الدراسات النظيرية الحديثة لظاهرة إينسو أنه أثناء حدوث ظاهرة تيارات النينو تزداد درجة حرارة سطح البحر ويصاحبها فقدان كميات متزايدة من المياه عن طريق التبخّر فضلاً عن وقوع تجزؤات نظيرية، مما يفضي إلى تغيّرات في التكوينات النظيرية للهيدروجين-٢ والكربون-١٣ والكربون-١٤ والأكسجين-١٨ في مياه البحر. ومن المُسلّم به أن المرجانيات تحوي في أطواقها الدالة على نموّها السنوي سجلات نظيرية ويمكن بالتالي استخدامها لإعادة ترتيب سجلات درجات الحرارة السابقة للمحيطات، بعد القيام بتحديد التسلسل الزمني لنموّها بشكل قاطع، وهو ما يمكن تحقيقه عن طريق القيام بتأريخ منفصل لأطواق المرجانيات باستخدام النويدات المشعة وكذلك أساليب تأريخ تقوم على استخدام الثوريوم/اليورانيوم.

١٠٠- وباستخدام المرجانيات المؤرّخة، يعكف علماء المحيطات المتخصصون في النظائر والاختصاصيون في علم المناخ في الوقت الحاضر على وضع تسلسلات زمنية لنمو المرجانيات والرواسب يرجع عهدها إلى عدة مئات من السنين. وستمكّن هذه العملية، لدى استكمالها، من إعادة ترتيب درجات الحرارة لسطح البحر ومدى تواتر وقوة أحداث تيارات النينو السابقة بالنسبة لأماكن مختلفة، بما يفضي إلى التنبؤ على نحو أفضل باقتران حالة المحيطات و الغلاف الجوي في المستقبل.

واو-١-٣- اختلال التوازن في اقتفاء بؤر امتصاص الكربون في باطن المحيطات باستخدام النويدات المشعة الطبيعية

١٠١- ينصَبّ ما تصل نسبته إلى ٥٠% من ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي الناتج عن الوقود الأحفوري إلى باطن المحيطات عن طريق الذوبان الفيزيائي-الكيميائي لغاز ثاني أكسيد الكربون وعن طريق الامتصاص البيولوجي الداخلي للمواد العضوية الميّتة وترسّب هذه المواد. وظلّ اقتفاء هذا الفيض الكربوني العمودي للجسيمات الذي يصل إلى قاع البحار يشكل تحدياً للعلماء على مدى سنين عديدة إلى أن تم مؤخراً اكتشاف ظاهرة كسح الثوريوم-٢٣٤ (الذي يفرزه اليورانيوم-٢٣٨ الطبيعي الموجود في مياه البحر) وحلوله على سطح الجسيمات المُترسّبة. ويُعدّ العمر النصفي للثوريوم-٢٣٤ الممتد ٢٤ يوماً بمثابة "عداد" ممتاز يكفل اقتفاء عمر ومصير الجسيمات المُترسّبة في المحيطات. وباستخدام تقنية الثوريوم-٢٣٤، اكتشف علماء المحيطات تفاوتاً في بؤر امتصاص الكربون في المحيطات يصل إلى مائة ضعف في البحار المختلفة، وهو ما له صلة وثيقة بنمو وتكاثر النباتات المجهرية أو العوالق النباتية. ومن المسلّم به في الوقت الحاضر أن هذه البيئة "البيولوجية" للمحيطات التي تعمل على ضخ الكربون ذات تأثير حاسم في تنظيم الحد الذي ستواصل المحيطات في نطاقه امتصاص ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئة الأخرى المُتراكمة في الغلاف الجوي.

واو-٢- البيئة البرية

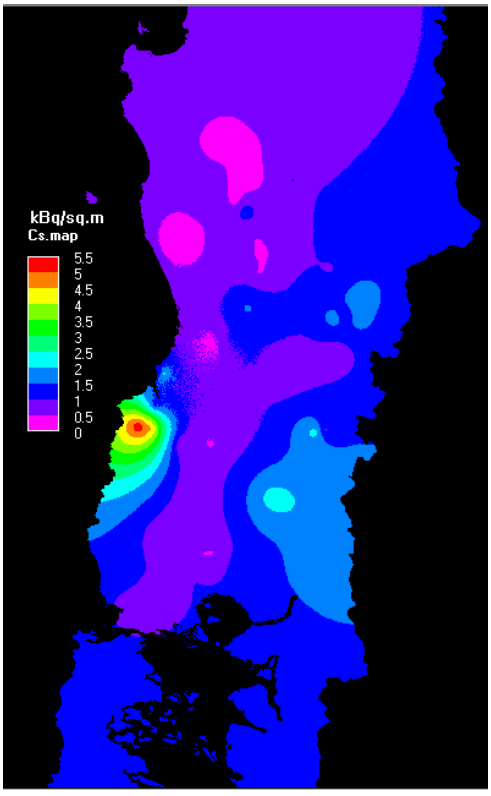
واو-٢-١- الدراسات الإيكولوجية الإشعاعية

١٠٢- نشأت الدراسات الإيكولوجية الإشعاعية بادئ ذي بدء وفي المقام الأول من استقصاءات أُجريت لاختبار تأثيرات الأسلحة النووية؛ واستقصاءات لحالات الانطلاق الإشعاعي الناتج عن المفاعلات وعمليات إعادة المعالجة أو الحوادث. وشهدت السنوات الأخيرة اهتماماً متزايداً من جانب الدول الأعضاء بطائفة من المصادر الأخرى ذات التأثير الإشعاعي، مثل بقايا اليورانيوم المستنفد الناتج عن العمليات العسكرية؛ وعمليات التعدين والمعالجة؛ والمواد المشعة الموجودة في الطبيعة. وبالإضافة إلى ذلك، يلقى اهتماماً عالمياً متزايداً استخدام التقنيات النووية وتطبيق النماذج والبارامترات المشتقة منها في الدراسات المتصلة بتقدير الآثار السمّية

الإيكولوجية الناجمة عن ملوّثات أخرى عدا النويدات المشعة، فضلاً عن استخدامها في تقييم الآثار المترتبة على عمل مختلف أنواع التلوّث معاً.

١٠٣- وفي تلك الحالات جميعها، يلزم المديرين والجهات الرقابية معلومات يستطيعون على أساسها اتخاذ ما يلزم من قرارات . وتوفير البيانات الأساسية أمر مهم إلا أنه غير كافٍ لتلبية احتياجاتهم. ومن الأدوات الإضافية في هذا الصدد استخدام نماذج مساعدة على التنبؤ، ولهذا تعمل الوكالة منذ فترة طويلة على استحداث نماذج ذات طابع عام وخاص معاً، وفي تقييم وجدولة قيم بارامترات نموذجية.

١٠٤- وثمة فرص جديدة تتيحها التطورات الحديثة في أدوات الاستشعار عن بعد، لا سيما تحسين القدرة على دقة التحديد المكاني والطيفي. ومن أمثلة ذلك إجراء عمليات مسح لأشعة غاما العالقة في الهواء. وكانت عمليات المسح هذه تُستخدم عادةً لغرض استخراج المعادن، إلا أن التحسينات الأخيرة التي أُدخِلت على دقة التحديد المكاني أفضت إلى استخدامها في تطبيقات إدارة الموارد البيئية وغيرها. كما توفر نظم المعلومات الجغرافية آلية لخزن ومعالجة وعرض البيانات الجغرافية من مختلف الأنواع بطريقة نافعة للمستفيدين النهائيين.



الشكل واو-١- مثال لاستخدام نظام المعلومات الجغرافية دعماً لنظام خاص بدعم القرارات البيئية: خريطة لانتشار السيزيوم-١٣٧ في شيلي. وقد تم إنتاجها باستخدام تقنيات رسم خطوط المناسيب بالإضافة إلى بيانات عن هطول الأمطار وقياسات أرضية باستخدام السيزيوم-١٣٧[١١].

---

١١ (المرجع) SCHULLER, P., VOIGT, G. (Eds), Development of an Environmental Decision Support System (EDSS) to Identify Radioecological Sensitive Areas for Radiocaesium in Chile (CHIRSA) "استحداث نظام لدعم القرارات البيئية من أجل تحديد المناطق الإيكولوجية الإشعاعية الحسّاسة بالنسبة لانتشار السيزيوم الإشعاعي في شيلي"، تقرير نهائي مقدم إلى مؤسسة فولكسفاغن، يويربرغ (٢٠٠٤).

زاي- استخدام مفاعلات البحوث

١٠٥- تظلّ مفاعلات البحوث تستحوذ على الاهتمام من حيث الحاجة إليها بالنسبة للاستخدام المستدام ولمعالجة القضايا المتصلة بمجالي الأمان والأمن. وكان المحفل العلمي في دورة المؤتمر العام لعام ٢٠٠٤ قد استنتج أنه "في حين ستواصل مفاعلات البحوث أداء دور له تأثير حاسم في العلوم والتكنولوجيا النووية، فإن من المهم ضمان القدرة التشغيلية لتلك المفاعلات من حيث الموارد التقنية والمالية، والتقيّد بالمعايير الراهنة للأمان النووي والتقليدي، وضمان الجوانب الأخرى المتعلقة بالأمن المادي وتقبّل الجمهور وتحديد المسؤولية البيئية. أما الجوانب التقنية التي يلزم تناولها فإنها تتضمّن القدرة على التصرف في الوقود المستهلك وخزنه على نحو مأمون، وتجديد المفاعلات عند الاقتضاء، والقيام في نهاية المطاف بإزالة التلوّث الناجم عن المرافق وإخراجها من الخدمة".

١٠٦- وجارٍ استعراض الاستعاضة عن كبسولات مستهدفة من اليورانيوم الشديد الإثراء بكبسولات مستهدفة من اليورانيوم الضعيف الإثراء بما يلزم لإنتاج الموليبدينوم-٩٩ على نطاق كبير وذلك لتحديد المجالات التي تتطلّب دعماً وتعاوناً دولياً.

١٠٧- ويَتَوَاصَل استخدام طائفة من النظائر المشعة الأخرى (وهي أكثر من ١٥٠ نظيراً مشعاً في أشكال مختلفة) على نطاق واسع في مجالي الطب والصناعة. وجارٍ أيضاً تقييم النويدات المشعة المناسبة للتطبيقات العلاجية والتي يمكن إنتاجها بسهولة في مفاعلات البحوث، مثل اللوتيتيوم-١٧٧، تقييماً مكثفاً بغرض استحداث مستحضرات صيدلانية إشعاعية.

١٠٨- وتوفر الحزم النيوترونية الصادرة عن مفاعلات البحوث مسبارا قويا يصلح لطائفة من التطبيقات التي تستخدم تقنيات التشتت النيوتروني والتصوير الإشعاعي. والميزة الخاصة التي تتسم بها النيوترونات هي حساسيتها للعناصر الخفيفة (خلافاً للأشعة السينية التي تتسم بحساسيتها للعناصر الثقيلة). لذا فإن استخدام التصوير الإشعاعي النيوتروني لمواد الاختبارات الهامة صناعياً، بما في ذلك مثلا فحص عناصر الوقود، يزيد من دقة التحليل. ويؤدي التقدم في تحديد خواص المواد وفي علم خواص المواد باستخدام التشتت النيوتروني إلى المساعدة على تطوير مواد مبتكرة. وفي حين أن تلك التقنيات مستخدمة فعلا في بعض البلدان فإن تزايد الوعي بتطبيقاتها الجديدة المحتملة واتساع نطاق استعمالها قد أدى إلى تزايد الاهتمام المنصب عليها.

حاء- استخدام المُعجّلات

١٠٩- مكّن استحداث مفاعلات متّسمة بالمتانة على مدى العقد الماضي مختبرات عديدة من تحديث مرافقها وذلك بإدخال نظم يُعوّل عليها للغاية ولا تتطلّب سوى القليل من الصيانة لأغراض التشغيل المأمون دون حاجة إلى مُشغّلين أخصائيين. ويتزايد استخدام المُعجّلات الأصغر حجماً والأكثر إحكاماً لأغراض العلوم والتكنولوجيا التطبيقية أكثر منه لأغراض العلوم الأساسية. وبفضل التطورات التقنية الحديثة أمكن في الوقت الحاضر تشغيل المُعجّلات الصغيرة خارج نطاق مختبرات البحوث من أجل إجراء تطبيقات في الموقع.

١١٠- وستصبح مصادر نيوترونات التشظي القائمة على المُعجّلات الجديدة وهي قيد التشييد حالياً في كل من الولايات المتحدة الأمريكية واليابان أول المرافق التي تستخدم النيوترونات في العلوم والتكنولوجيا. وتُعدّ

هذه المرافق أمثلة لمصادر النيوترونات المشغلة بالمُعجّلات القائمة على مُعجّلات جسيمات عالية الطاقة تعمل بمستويات طاقة تربو على ١ غيغا إلكترون فلط. وما تتمتّع به هذه المصادر من مزايا تتفوق بها على مصادر المفاعلات التقليدية مُستمد جزئياً من استخدام التشغيل النبضي، وهو أكثر كفاءة، كما إنه شكل لا تتيحه المصادر القائمة على المفاعلات. وفضلاً عن ذلك، يمكن الجمع بين التشغيل النبضي لتلك المصادر مع تجهيزات مناسبة بما يتيح استخدام النيوترونات بكفاءة أكبر بنحو ثلاث رُتَب عِظَم.

١١١- وهناك آفاق واعدة يبشر بها نطاق تطبيق التقنيات النووية القائمة على المعجلات في دعم الدراسات المتعلقة بعلم خواص المواد، وتطوير مواد جديدة، وكذلك في الدراسات البيئية. وهناك أيضا اهتمام كبير باستخدام تحليل الحزم الأيونية ومعجل قياس الطيف الكتلي في عدة أغراض؛ منها مثلا تحديد عمر الكربون ١٤، وبحوث العقاقير، ورصد البيئة.

طاء- رصد العمليات الصناعية

١١٢- تُستخدم تكنولوجيا التصوير المقطعي الحاسوبي لتشخيص وحدات العمليات الصناعية المتعددة المراحل. وتشكّل تكنولوجيا المفاعلات المتعددة المراحل أساس عمليات تكرير البترول، وتحويل الغاز المركّب إلى أنواع من الوقود والمواد الكيميائية، وإنتاج المواد الكيميائية على شكل سلع سائبة، وصنع المواد الكيميائية والبوليمرات ذات الطابع الخاص، وتحويل المنتجات غير المرغوبة إلى مواد قابلة للتدوير. وفي إطار هندسة العمليات، يُستخدم كل من التصوير المقطعي ببث وبانبعاث أشعة غاما لفحص الأعمدة المعبأة، والأعمدة ذات الفقّاعات، والتدفّقات المتعددة المراحل، والقيعان المُسيّلة، والوسائط المساميّة. وما زالت هذه التكنولوجيا تشهد تطوّراً، لكنها تنطوي على إمكانات تتيح إدخال تحسينات كبيرة على الكفاءة والأمان في الصناعات ذات العمليات المتعددة المراحل. وعن طريق تطويع ما تم تحقيقه من أوجه تقدّم في مجال التصوير الطبي، يجري تطبيق أسلوب التصوير المقطعي الحاسوبي بالانبعاث الفوتوني المفرد على نطاق مختبري بالنسبة للعمليات الصناعية. والتصوير الثنائي الأبعاد باستخدام كاميرا جيمية هو الآخر تقنية جذّابة قيد التطوير. وتشهد تقنيات اقتفاء فرادى الجسيمات، لا سيما ما يتعلق منها باستقصاء المفاعلات ذات القيعان المُسيّلة، تقدماً مستمراً.

طاء-١- المعالجة الإشعاعية – التكنولوجيا النانومترية

١١٣- التكنولوجيا النانومترية هي أحد أسرع المجالات نمواً في العلوم والهندسة، علاوة على ما لها من قيمة اقتصادية كبيرة. وتتسم القدرة على صنع هياكل دقيقة ذات أبعاد نانومترية ودّقيقة بأهمية أساسية للاستفادة التامة بهذه التكنولوجيا. وتُعدّ الإشعاعات أداة فعّالة بهذا الصدد، فيما يخص تعديل الطبقات السطحية ومعالجتها على سبيل المثال. وقد نشأت اتجاهات جديدة فيما يخص العلاج الدقيق ومن ذلك، على سبيل المثال، أغشية الاقتفاء الأيوني ونظم إيصال العقاقير مع التحكم في إطلاقها. والتكنولوجيات القائمة على الإشعاعات التي تُستخدَم فيها الأشعة السينية والحزم الإشعاعية الإلكترونية والأيونية هي المدخل الأساسي لطائفة من النُهُجْ المتعلقة بالتنميط النانومتري (أي إيجاد مَسَامّ بحجم جزء من ألف مليون)، في حين تحظى الطباعة الحجرية بمساعدة الحزم الإشعاعية الإلكترونية باهتمام متزايد. وتجري دراسة التوليف الإشعاعي للجسيمات النانومترية الفلزّية (كالنحاس والفضة مثلاً) الموجودة في البوليمرات والزيُوليتات من أجل تطبيقه في مجال الخلايا الإشعاعية الضوئية والكهربائية الضوئية والشمسية. ومع تعريض محلول الأملاح الفلزّية لأشعة غاما، تعمل الأنواع المتفاعلة المُتولّدة عن الإشعاعات على تقليص الأيونات الفلزّية إلى حالة صفرية التكافؤ. ويتم إعداد شبه المُوصلات الكبريتية الفلزّية بأحجام نانومترية باستخدام التشعيع الجيمي لمحلول مناسب يتألّف من مركب كيميائي مستقل الجزيئات بالإضافة إلى الكبريت ومصادر فلزّية.