IAEA
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

المؤتمـــر العـــام

GC(50)/INF/3
Date: 4 July 2006

General Distribution
Arabic
Original: English

الدورة العادية الخمسون

البند ١٧ من جدول الأعمال المؤقت
(الوثيقة GC(50)/1)

استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٦

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. وهذا التقرير يسلط الضوء على أبرز التطورات التي طرأت أساساً في عام ٢٠٠٥

- *يجري استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٦ استعراضاً للمجالات* التالية: تطبيقات القوى، وتقنيات الانشطار والاندماج المتقدمة، والبيانات الذرية والنووية، وتطبيقات المعجلات ومفاعلات البحوث، وتطبيقات النظائر المشعة والتكنولوجيا الإشعاعية، والتقنيات النووية المستخدمة في ميدان الأغذية والزراعة، والصحة البشرية، والمياه، والبيئة. وهناك وثائق إضافية مرتبطة *باستعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٦*، وهي متاحة عبر الموقع الإلكتروني www.iaea.org باللغة الإنجليزية فقط؛ وهذه الوثائق تتناول القوى النووية في البلدان النامية، وخزن الوقود المستهلك والنفايات القوية الإشعاع والتخلص من ذلك الوقود وتلك النفايات، وتكنولوجيا الحشرة العقيمة والبحوث التطويرية المتعلقة بها، وأوجه التقدم في مجال التصوير الإشعاعي الطبي من أجل تشخيص وعلاج السرطان، وتطبيقات تكنولوجيا الحزم النيوترونية، والمرحلة الأمامية من دورة وقود اليورانيوم.

- ويمكن الاطلاع أيضاً على معلومات عن أنشطة الوكالة المتعلقة بالعلوم والتكنولوجيا النووية في *التقرير السنوي لعام ٢٠٠٥* (الوثيقة GC(50)/4)، خاصة في القسم الذي يتناول "التكنولوجيا"، وفي *تقرير التعاون التقني لعام ٢٠٠٥* (الوثيقة GC(50)/INF/4)؛ الصادرين عن الوكالة.

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

المحتويـــات

الدورة العادية الخمسون ١
موجز جامع ١
ألف- تطبيقات القوى ٣
ألف-١- القوى النووية اليوم ٣
ألف-٢- المستقبل ٦
ألف-٢-١- التوقعات المتصاعدة ٦
ألف-٢-٢- التنمية المستدامة وتغير المناخ ٨
ألف-٢-٣- القضايا الأساسية ٩
ألف-٢-٤- الموارد ١٤
باء- الانشطار والاندماج المتقدمان ١٧
باء-١- الانشطار المتقدم ١٧
باء-٢- الاندماج ١٨
جيم- البيانات الذرية والنووية ١٩
دال- التطبيقات الخاصة بالمعجلات ومفاعلات البحوث ٢٠
دال-١- المعجلات ٢٠
دال-٢- مفاعلات البحوث ٢٠
هاء- تطبيقات النظائر المشعة وتكنولوجيا الإشعاعات ٢١
هاء-١- تطبيقات النظائر المشعة ٢١
هاء-٢- تكنولوجيا الإشعاعات ٢٢
هاء-٢-١- التكنولوجيا النانوية للصناعة والصحة ٢٢
هاء-٢-٢- رصد العمليات الصناعية ٢٢
واو- التقنيات النووية في الأغذية والزراعة ٢٣
واو-١- تحسين المحاصيل ووقايتها ٢٣
واو-٢- الإنتاج الحيواني والصحة البيطرية ٢٤
واو-٣- جودة الأغذية وأمانها ٢٥
زاي- الصحة البشرية ٢٦
زاي-١- الدراسات البيئية المتعلقة بالتغذية والصحة ٢٦
زاي-٢- استخدام الطب النووي في التصوير والعلاج ٢٦
زاي-٣- قياس الجرعات والفيزياء الإشعاعية الطبية ٢٧
زاي-٤- المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية ٢٨
زاي-٥- العلاج الإشعاعي للأورام ٢٨
حاء- المياه والبيئة ٢٩
حاء-١- الموارد المائية ٢٩
حاء-١-١- تقنيات الهيدرولوجيا النظيرية ٢٩
حاء-١-٢- التحلية ٢٩
حاء-٢- البيئة ٣٠
حاء-٢-١- إزالة الألغام ٣٠
حاء-٢-٢- استخدام مقتفيات النويدات المشعة في تقارن الدوران في المحيطات وحالة المناخ ٣٠
حاء-٢-٣- التراكم البيولوجي في السلاسل الغذائية البحرية ٣٠
حاء-٢-٤- كشف دورات الكربون باستخدام التحليلات النظيرية لمركبات معينة ٣١

استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٦

تقرير من المدير العام

موجز جامع

١- في حين أن الصورة الراهنة للطاقة النووية ما زالت ممتزجة الألوان فإن عام ٢٠٠٥ كان عاماً زاخراً بالتطلعات المرتفعة. ففي آذار/مارس، اجتمع ممثلون رفيعو المستوى لأربع وسبعين حكومة، بمن فيهم ٢٥ ممثلاً على المستوى الوزاري، في باريس لحضور مؤتمر نظمته الوكالة لدراسة دور القوى النووية في المستقبل. وأكدت الغالبية العظمى من المشاركين أن القوى النووية يمكن أن تسهم إسهاما رئيسيا في تلبية الاحتياجات المتعلقة بالطاقة واستدامة التنمية في العالم في القرن الحادي والعشرين، وذلك بالنسبة لعدد كبير من البلدان المتقدمة والنامية على السواء. ويعود ارتفاع التطلعات إلى سجل أداء القوى النووية، وتنامي الحاجة إلى الطاقة في العالم مقترناً بارتفاع أسعار النفط والغاز الطبيعي، والقيود البيئية، والمخاوف بشأن تأمين إمدادات الطاقة في عدد من البلدان، وخطط التوسع الطموحة في عدة بلدان.

٢- وفي ٣١ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٥ بلغ عدد محطات القوى النووية العاملة ٤٤١ محطة وعدد المحطات الجاري إنشاؤها ٢٧ محطة. وقد تم ربط أربع محطات قوى نووية جديدة بالشبكة في عام ٢٠٠٥ (اثنتان منها في اليابان، وواحدة في كل من الهند وجمهورية كوريا)، وأعيد في كندا ربط محطة كانت قد أخرجت من الخدمة الفعلية. وأحيلت محطتا قوى نووية للتقاعد؛ كلتاهما وفقا لسياسات نووية وطنية تقوم على الإنهاء التدريجي، ألا وهما مفاعل أوبرغيم في ألمانيا ووحدة بارسباك- ٢ في السويد. وبدأت عملية بناء ثلاث وحدات؛ ألا وهي الوحدة لينغاو-٣ في الصين، والوحدة أولكيلووتو -٣ في فنلندا والوحدة شاسنوب- ٢ في باكستان. وتعد عملية بناء الوحدة أولكيلووتو -٣ أول عملية بناء جديدة في أوروبا الغربية منذ عام ١٩٩١. وما زالت آسيا مركز التوسع؛ حيث بلغ نصيبها من المفاعلات السبعة والعشرين الجاري بناؤها في نهاية ٢٠٠٥ ما مجموعه ١٦ مفاعلا، في حين كان نصيبها من آخر ٣٤ مفاعلا تم ربطها بالشبكة ٢٤ مفاعلا.

٣- وواصلت أسعار اليورانيوم، التي كانت منخفضة ومستقرة طوال العقد ونصف العقد الماضيين، ارتفاعها – من ٢٥ دولارا للكيلوغرام في عام ٢٠٠٢ إلى ١١٢ دولارا للكيلوغرام في أيار/مايو ٢٠٠٦. وقد ظل 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.

٤- وفي نهاية عام ٢٠٠٥ كان قد تم إخراج ثماني محطات قوى 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 ٣١ محطة تمهيدا لإباحة استخدام مواقعها في نهاية المطاف؛ وأخضعت ٣٠ محطة لقدر أدنى من التفكيك تمهيدا لإغلاقها إغلاقا طويل الأجل.

٥- 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. وفي عام ٢٠٠٥ اختارت هنغاريا وجمهورية كوريا مواقع مستودعاتها الخاصة بالنفايات الضعيفة الإشعاع والمتوسطة الإشعاع، وذلك في أعقاب استفتاء مؤيد في التجمعات السكنية المختارة؛ وفي بلجيكا صوّت تجمعان سكانيان لصالح استضافة مواقع مرشحة لبناء مستودع للنفايات الضعيفة الإشعاع.

٦- 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 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 ٢٤ عضوا؛ حيث انضم إليه في عام ٢٠٠٥ كل من أوكرانيا والولايات المتحدة الأمريكية. وتشمل أنشطة انبرو الراهنة إكمال كتيب للمستخدمين بشأن منهجية إنبرو وكيفية تطبيق تلك المنهجية بغرض المساعدة على تقييم نظم الطاقة النووية الابتكارية في الدراسات الوطنية والمتعددة الأطراف؛ وإجراء تحليلات لدور وهيكل نظم الطاقة النووية الابتكارية من أجل تلبية الاحتياجات من الطاقة بطريقة مستدامة؛ واختيار أنسب المجالات للتطوير التعاوني.

٧- وفي حزيران/يونيه ٢٠٠٥ أحرز تقدم كبير في مجال الطاقة الاندماجية عندما وقعت جميع الأطراف في المفاوضات المتعلقة بالمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي على بيان مشترك وتم الاتفاق على بدء عملية البناء في كاداراش بفرنسا. فهذا القرار يعد إشارة على بداية مرحلة جديدة هامة في تطوير الطاقة الاندماجية – هي التجريب العلمي والهندسي لتكنولوجيا الاندماج في الظروف الملائمة لتشغيل مفاعل اندماجي لإنتاج القوى الكهربائية.

٨- وسواء فيما يخص توليد الكهرباء أو سائر تطبيقات الطاقة النووية الأخرى فإن البحوث النووية الأساسية المتواصلة تعزز أوجه التقدم والتحسن. فتحقيق الاندماج بحيث يصبح مصدر طاقة مجدياً يتطلب إجراء بحوث في مجالات كثيرة، إلى جانب توافر بيانات ذرية ونووية يعول عليها. وتطبيقات المفاعلات البحثية تدعم معظم مجالات التكنولوجيا النووية؛ ويشمل هذا الاستعراض أوجه استخدام مفاعلات البحوث الجديدة، وذلك مثلا في ميدان إنتاج النظائر واستخدام الحزم النيوترونية والتحليل بالتنشيط لأغراض تخص البيئة والأغذية والزراعة.

٩- كما يتناول هذا الاستعراض التطورات التي طرأت على التقنيات المستندة إلى المعجلات، وعلى إنتاج النظائر المشعة وبعض الاستعمالات الحديثة للتكنولوجيا النانومترية.

١٠- وتواصل التكنولوجيات النووية أداء دور رئيسي، بل وفريد أحيانا، في مجالات إنتاج وأمن الأغذية، والصحة البشرية والحيوانية، وإدارة الموارد المائية، والبيئة. فعلى سبيل المثال أدى الاستيلاد الطفري للمحاصيل إلى استخدام أراضٍ، لم تكن مستخدمة في بلدان كثيرة، من أجل انتاج الأرز. وفي مجال الصحة البشرية أصبحت النظائر المستقرة أداة مقبولة الاستعمال فيما يخص تطوير برامج التغذية. ويستفيد الطب النووي من أوجه التقدم التكنولوجي التي تشهدها الحاسبات الإلكترونية. وما زالت مسألة الإدارة المستدامة للمياه وتحليتها تحتل مكانة رفيعة في جدول الأعمال الدولي. أما التطورات المُستجدة المتعلقة بتحليل النظائر في العيّنات الهيدرولوجية فإنها تحمل معها آفاقاً واسعة تعد بزيادة استعمال النظائر في إدارة الموارد المائية. وقد ساعد التقدم الذي طرأ على تقنيات أخذ العينات وتحليلها على فهم البيئة على نحو أفضل. ويشمل هذا الاستعراض التطورات التي شهدتها جميع تلك المجالات.

ألف- تطبيقات القوى

ألف-١- القوى النووية اليوم[1]

١١- في نهاية عام ٢٠٠٥، كانت هناك ٤٤١ محطة قوى نووية تعمل على نطاق العالم وتبلغ قدرتها التوليدية الإجمالية ٣٦٨ جيجاوات كهربائي وتوفر نحو ١٦% من حجم الكهرباء في العالم. وظلت هذه النسبة ثابتة تقريباً منذ عام ١٩٨٦، بما يشير إلى أن القوى النووية أخذت تنمو بذات معدل تنامي إجمالي الكهرباء المولدة عالمياً على مدى ١٩ عاماً.

١٢- وقد تم ربط أربع محطات قوى نووية جديدة بالشبكة في عام ٢٠٠٥ (اثنتان منها في اليابان، وواحدة في كل من الهند وجمهورية كوريا)، وأعيد في كندا ربط محطة كانت قد أخرجت من الخدمة الفعلية. وتجدر مقارنة ذلك بربط خمس محطات بالشبكة (مع إعادة ربط محطة أخرى) في عام ٢٠٠٤، وربط محطتين بالشبكة (مع إعادة ربط محطتين أخريين) في عام ٢٠٠٣. وفي عام ٢٠٠٥ أحيلت إلى التقاعد محطتا قوى نووية؛ مقارنة بخمس محطات في ٢٠٠٤ وست محطات في ٢٠٠٣. وخلال عام ٢٠٠٥ بلغ صافي الزيادة في القدرة التوليدية النووية العالمية ٢٥٩ ٣ ميجاوات كهربائي.

١٣- وباستعمال تعريف الوكالة الذي يقول إن البناء يبدأ مع أول صبة خرسانية، يكون قد بدأ في عام ٢٠٠٥ بناء ثلاث وحدات؛ ألا وهي الوحدة لينغاو-٣ في الصين (١٠٠٠ ميجاوات كهربائي)، والوحدة أولكلووتو- ٣ في فنلندا (١٦٠٠ ميجاوات كهربائي)، والوحدة شاسنوب - ٢ في باكستان (٣٠٠ ميجاوات كهربائي). وبالإضافة إلى ذلك تم استئناف أعمال البناء النَشِطَة في محطتي قوى نووية في بلغاريا كان تصنيفهما السابق هو "تعليق البناء". وكان عام ٢٠٠٤ قد شهد البدء في بناء محطتين علاوة على استئناف أعمال البناء النشطة في محطتي قوى نووية في الاتحاد الروسي. أما عام ٢٠٠٣ فقد شهد البدء ببناء محطة واحدة.

١٤- وتتركز في آسيا عمليات التوسع الجارية حالياً، وكذلك احتمالات النمو في الأجل القصير والطويل. فكما يتضح في الجدول ألف- ١ يقع في آسيا ١٦ مفاعلا من بين المفاعلات الجاري بناؤها في العالم كله في نهاية ٢٠٠٥ والبالغ عددها ٢٧ مفاعلا. كما وقع في آسيا أربعة وعشرون مفاعلا من بين آخر ٣٤ مفاعلا تم ربطها بالشبكة.

١٥- وتملك اليابان أضخم برنامج قوى نووية في آسيا. فمع ربط الوحدة هيغاشي دوري – ١ بالشبكة في آذار/مارس ثم الوحدة شيكا – ٢ في تموز/يوليه يصل الآن عدد المفاعلات الجاري تشغيلها في اليابان الآن إلى ٥٥ مفاعلا بالإضافة إلى مفاعل واحد قيد البناء. وفي تموز/يوليه أيضا أعادت شركة طوكيو للقوى الكهربائية إلى الخدمة آخر مفاعل من بين المفاعلات التي أغلقت في ٢٠٠٢ والتي يبلغ عددها ١٧ مفاعلا. وإجمالاً تخطط اليابان لإضافة عشر وحدات إلى الشبكة بحلول عام ٢٠١٤، مما سيزيد حصة القوى النووية في توليد الكهرباء في اليابان إلى أكثر من ٤٠%.

---

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/Anrep2005/nuclear_power.pdf*) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني *http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NENP/NPES/index.html* . انظر بوجه خاص "نظام المعلومات عن مفاعلات القوى" (*http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html*) .

١٦- وبربط الوحدة أولشين- ٦ بالشبكة في كانون الثاني/يناير أصبح لدى جمهورية كوريا ٢٠ وحدة قيد التشغيل. وفي ٢٠٠٥ بدأت أعمال تحضير المواقع فيما يخص الوحدتين كوري -٥ وكوري- ٦. وتوفر القوى الكهربائية ٤٥% من حجم توليد الكهرباء في البلد.

١٧- وفي مناطق آسيوية أخرى، نجد أن مساهمات القوى النووية المطلقة والنسبية أقل، وإن كانت الصين والهند بصفة خاصة تعتزمان إجراء توسعات كبيرة. فالصين، التي يوجد لديها تسعة مفاعلات قيد التشغيل وثلاثة مفاعلات قيد البناء والتي تبلغ فيها نسبة القوى النووية إلى حجم الكهرباء المولدة ٢%، تعتزم التوسع إلى ٤٠ غيغاوات كهربائي بحلول عام ٢٠٢٠ أي ما نسبته ٤% من حجم الإمدادات الكهربائية.

١٨- في حزيران/يونيه قامت الهند بربط الوحدة تارابور- ٤ البالغة قدرتها ٤٩٠ ميجاوات كهربائي، وهي مفاعل يعمل بالماء الخفيف المضغوط، بالشبكة. ولدى الهند الآن ١٥ مفاعلا قيد التشغيل وثمانية مفاعلات أخرى قيد البناء. وفي ٢٠٠٤ وفرت القوى النووية ٨ر٢% من حجم الإمدادات الكهربائية. وتهدف الهند إلى زيادة قدراتها النووية عشر مرات بحلول عام ٢٠٢٢ و٩٠ مرة بحلول عام ٢٠٥٢.

١٩- وتحصل باكستان على ٨ر٢% من الكهرباء المولدة فيها من مفاعلين نوويين عاملين. وفي عام ٢٠٠٥ بدأ بناء الوحدة شاسنوب- ٢ وهي مفاعل ماء مضغوط تبلغ قدرته ٣٠٠ ميجاوات كهربائي. وترمي الخطط الموضوعة إلى إضافة ٨ ٠٠٠ ميجاوات كهربائي من القدرة النووية بحلول عام ٢٠٣٠؛ أي زيادة حصة القوى النووية في توليد الكهرباء إلى ٢ر٤%.

٢٠- أما جمهورية إيران الإسلامية، التي تعكف على بناء محطة قوى نووية، فقد وقعت في عام ٢٠٠٥ اتفاقات إمداد بالوقود تنص على إعادة الوقود المستهلك إلى الاتحاد الروسي.

٢١- ولدى أوروبا الغربية ١٣٥ محطة قوى نووية قيد التشغيل، كما إن لديها الآن محطة قيد البناء حيث بدأ في آب/أغسطس ٢٠٠٥ بناء الوحدة ألكيلووتو - ٣ في فنلندا. وتمشيا مع سياسات التخلي التدريجي عن الطاقة النووية في ألمانيا والسويد أحيلت إلى التقاعد الوحدة أوبرغايم في ألمانيا والوحدة بارسبيك- ٢ في السويد. وأقرت حكومة هولندا تمديد عمر تشغيل محطة بورسل للقوى النووية حتى عام ٢٠٣٣، أي بحيث يصل عمر تشغيلها إلى ٦٠ سنة؛ في حين أقرت حكومة المملكة المتحدة تمديد عمر تشغيل الوحدتين دانغنس- باء ١ ودانغنس- باء ٢ لفترة عشر سنوات. أما الحكومة السويدية فقد أقرت زيادة معدل قدرة الوحدتين رينغالس – ١ ورينغالس – ٣ بمقدار ١٥ ميجاوات كهربائي؛ وهناك طلب مماثل بشأن رفع قدرة الوحدة أوسكارشام – ٣ بمقدار ٢٥٠ ميجاوات كهربائي أيدته الجهة الرقابية لكنه ينتظر موافقة الحكومة. وهناك طلبات إضافية تخص زيادة معدل قدرة الوحدة فورسماك-١ إلى ١٢٠ ميجاوات كهربائي وفورسماك-٢ إلى ١٢٠ ميجاوات كهربائي وفورسماك-٣ إلى ١٧٠ ميجاوات كهربائي.

٢٢- ولدى روسيا ٣١ محطة قوى نووية قيد التشغيل وأربع محطات قيد البناء؛ أما أوروبا الشرقية فلديها ٣٩ محطة قيد التشغيل وخمس محطات قيد البناء. وفي بداية عام ٢٠٠٥ حصلت الوحدة بيليبينو – ٢ في روسيا على تمديد لرخصتها لفترة خمس سنوات؛ وهذا التمديد يكمل تمديدا مماثلا حصلت عليه في العام السابق الوحدة بيليبينو - ١. وكلتاهما وحدتان صغيرتان تبلغ قدرة كل منهما ١١ ميجاوات كهربائي، وتوفران التدفئة المنزلية والكهرباء لمنطقة شوكوتكا وهي منطقة نائية تقع شمال شرقي روسيا.

الجدول ألف-١- مفاعلات القوى النووية الجاري تشغيلها أو بناؤها في العالم (حتى ٣١ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٥)[أ]

البلد	المفاعلات الجاري تشغيلها		المفاعلات الجاري بناؤها		إمدادات الكهرباء النووية في عام ٢٠٠٥		إجمالي الخبرة التشغيلية طوال عام ٢٠٠٥	
	عدد الوحدات	المجموع بالميجاوات كهربائي	عدد الوحدات	المجموع بالميجاوات كهربائي	تيراوات-ساعة	% من المجموع	السنوات	الشهور
الاتحاد الروسى	٣١	٢١ ٧٤٣	٤	٣ ٧٧٥	١٣٧,٣	١٥,٨	٨٧٠	٤
الأرجنتين	٢	٩٣٥	١	٦٩٢	٦,٤	٦,٩	٥٤	٧
أرمينيا	١	٣٧٦			٢,٥	٤٢,٧	٣٨	٣
أسبانيا	٩	٧ ٥٨٨			٥٤,٧	١٩,٦	٢٣٧	٢
ألمانيا	١٧	٢٠ ٣٣٩			١٥٤,٦	٣١,٠	٦٨٣	٥
أوكرانيا	١٥	١٣ ١٠٧	٢	١ ٩٠٠	٨٣,٣	٤٨,٥	٣٠٨	٦
إيران (جمهورية-الاسلامية)			١	٩١٥				
باكستان	٢	٤٢٥	١	٣٠٠	٢,٤	٢,٨	٣٩	١٠
البرازيل	٢	١ ٩٠١			٩,٩	٢,٤	٢٩	٣
بلجيكا	٧	٥ ٨٢٤			٤٥,٣	٥٥,٦	٢٠٥	٧
بلغاريا	٤	٢ ٧٢٢	٢	١ ٩٠٦	١٧,٣	٤٤,١	١٣٧	٣
الجمهورية التشيكية	٦	٣ ٣٦٨			٢٣,٣	٣٠,٥	٨٦	١٠
جمهورية كوريـا	٢٠	١٦ ٨١٠			١٣٩,٣	٤٤,٧	٢٥٩	٨
جنوب إفريقيا	٢	١ ٨٠٠			١٢,٢	٥,٥	٤٢	٣
رومانيا	١	٦٥٥	١	٦٥٥	٥,١	٨,٦	٩	٦
سلوفاكيا	٦	٢ ٤٤٢			١٦,٣	٥٦,١	١١٢	٦
سلوفينيا	١	٦٥٦			٥,٦	٤٢,٤	٢٤	٣
السويد	١٠	٨ ٩١٠			٦٩,٥	٤٤,٩	٣٣٢	٦
سويسرا	٥	٣ ٢٢٠			٢٢,١	٣٢,١	١٥٣	١٠
الصين	٩	٦ ٥٧٢	٣	٣ ٠٠٠	٥٠,٣	٢,٠	٥٦	١١
فرنسا	٥٩	٦٣ ٣٦٣			٤٣٠,٩	٧٨,٥	١ ٤٦٤	٢
فنلندا	٤	٢ ٦٧٦	١	١ ٦٠٠	٢٢,٣	٣٢,٩	١٠٧	٤
كندا	١٨	١٢ ٥٩٩			٨٦,٨	١٤,٦	٤٤٢	٨
ليتوانيا	١	١ ١٨٥			١٠,٣	٦٩,٦	٣٩	٦
المكسيك	٢	١ ٣١٠			١٠,٨	٥,٠	٢٧	١١
المملكة االمتحدة	٢٣	١١ ٨٥٢			٧٥,٢	١٩,٩	١ ٣٧٧	٨
الهند	١٥	٣ ٠٤٠	٨	٣ ٦٠٢	١٥,٧	٢,٨	٢٥٢	٠
هنغاريا	٤	١ ٧٥٥			١٣,٠	٣٧,٢	٨٢	٢
هولندا	١	٤٤٩			٣,٨	٣,٩	٦١	٠
الولايات المتحدة الأمريكية	١٠٣	٩٨ ١٤٥			٧٨٠,٥	١٩,٣	٣ ٠٨٧	٦
اليابان	٥٥	٤٧ ٥٩٣	١	٨٦٦	٢٨٠,٧	٢٩,٣	١ ٢٢١	٣
المجموع (ب)	٤٤١	٣٦٨ ٢٦٤	٢٧	٢١ ٨١١	٢٦٢٥,٩	١٦٪	١١ ٩٩١	٨

(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، ٤٩٠٤ ميجاوات (كهربائي)، جار تشغيلها؛ ووحدتان، ٢٦٠٠ ميجاوات (كهربائي)، جار بناؤهما؛
- ٣٨ر٤ تيراوات ساعة من الكهرباء المولدة نووياً، بما يمثل ٢٠ر٣% من إجمالي حجم الكهرباء المولدة في عام ٢٠٠٥؛
- خبرة تشغيلية اجمالية مجموعها ١٤٦ سنة وشهر واحد.

٢٣- وفي الولايات المتحدة الأمريكية أقرت اللجنة الرقابية النووية تسعة تجديدات أخرى للرخص مدة كل منها ٢٠ سنة (أي أن إجمالي العمر المرخص به لكل محطة هو ٦٠ سنة)؛ مما يرفع إجمالي عدد تجديدات الرخص الموافق عليها في نهاية ٢٠٠٥ إلى ٣٩. وتم سن تشريعات طاقة جديدة تنص على قيام الحكومة بتغطية التكاليف المرتبطة بحالات تأخر محتمل معينة في منح الرخص والإعفاء من ضرائب الإنتاج بحد أقصى ٦ ٠٠٠ ميجاوات كهربائي من القدرة الكهربائية النووية المتقدمة. وتعكف اللجنة المذكورة على استعراض ثلاثة طلبات باستصدار أذون مواقع مبكرة؛ ومن المتوقع أن تتلقى اللجنة أربعة طلبات باستصدار رخص بناء وتشغيل مدمجة بحلول نهاية عام ٢٠٠٧، مع احتمال تلقيها مزيدا من هذه الطلبات في عام ٢٠٠٨.

٢٤- وفي كندا أصبحت الوحدة بيكرينغ ألف– ١ رابع وحدة يعاد ربطها بالشبكة من بين ثماني وحدات أغلقت في السنوات القليلة الماضية. كما تم التوصل إلى اتفاق بشأن برنامج رباعي السنوات يخص عمليتي إعادة البدء الخامسة والسادسة، وذلك فيما يتعلق بالوحدتين بروس ألف - ١ وبروس ألف -٢.

ألف-٢- المستقبل

ألف-٢-١- التوقعات المتصاعدة[٢]

٢٥- كان عام ٢٠٠٥ هو عام التوقعات المتصاعدة بالنسبة للقوى النووية. ففي آذار/مارس، اجتمع ممثلون رفيعو المستوى لأربع وسبعين حكومة، بمن فيهم ٢٥ ممثلاً على المستوى الوزاري، في باريس لحضور مؤتمر نظمته الوكالة لدراسة دور القوى النووية في المستقبل. وأكدت الغالبية العظمى من المشاركين أن القوى النووية يمكن أن تسهم بصورة رئيسية في تلبية احتياجات الطاقة وتعزيز التنمية العالمية في القرن الحادي والعشرين، وذلك بالنسبة لعدد كبير من البلدان المتقدمة والنامية على السواء. ومن بينها عدد من البلدان التي لا توجد لديها برامج قوى نووية في الوقت الراهن، مثل مصر وإندونيسيا والمغرب وبولندا وتركيا وفييت نام. ومن بين التحديات التي تواجه البلدان عند الشروع في برامج للقوى النووية إقامة البنية الأساسية الداعمة الضرورية، بما في ذلك البنية الأساسية القانونية والرقابية.[٣]

٢٦- وثمة عوامل أسهمت في تصاعد تلك التوقعات، وهي السجل الزمني الجيد والممتد للقوى النووية، فضلاً عن التنامي المستمر في الاحتياجات المتعلقة بالطاقة على الصعيد العالمي، وظهور قيود بيئية جديدة، والمخاوف المثارة في بعض البلدان حول تأمين إمدادات الطاقة، ووجود خطط محددة للتوسع في القوى النووية لدى بلدان مثل الهند والصين واليابان وجمهورية كوريا والاتحاد الروسي.

٢٧- ويعكس السجل الزمني الجيد والممتد للقوى النووية الخبرة المكتسبة من تشغيل المفاعلات، مقدرة بعدد من السنوات يبلغ ٩٩١ ١١ سنة، كما هو مبيَّن في الجدول ألف-١، إلى جانب تحسُّن عوامل القدرة، وانخفاض تكاليف التوليد، وتميز سجل الأمان. وقد وقع حادث واحد امتدت عواقبه الخطيرة خارج الموقع – وذلك في تشرنوبل عام ١٩٨٦. وتسبب هذا الحادث في إزهاق أرواح وفي مآسٍ واسعة النطاق. لكنه أحدث أيضاً تغييرات جوهرية، كان من بينها إرساء 'ثقافة أمان' تشهد تحسناً مستمراً، علاوة على التحليل الدقيق للخبرات المكتسبة،

---

٢ يمكن الاطلاع على المزيد من التفاصيل عن تقديرات الوكالة الأحدث في الموقع http://nesisda2/rds-1/. ويرد بيان لأنشطة الوكالة الحديثة والجارية بشأن جمع البيانات، وتقييم الخبراء للتقديرات المتوسطة الأجل، في آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005/capacity_building.pdf) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/.

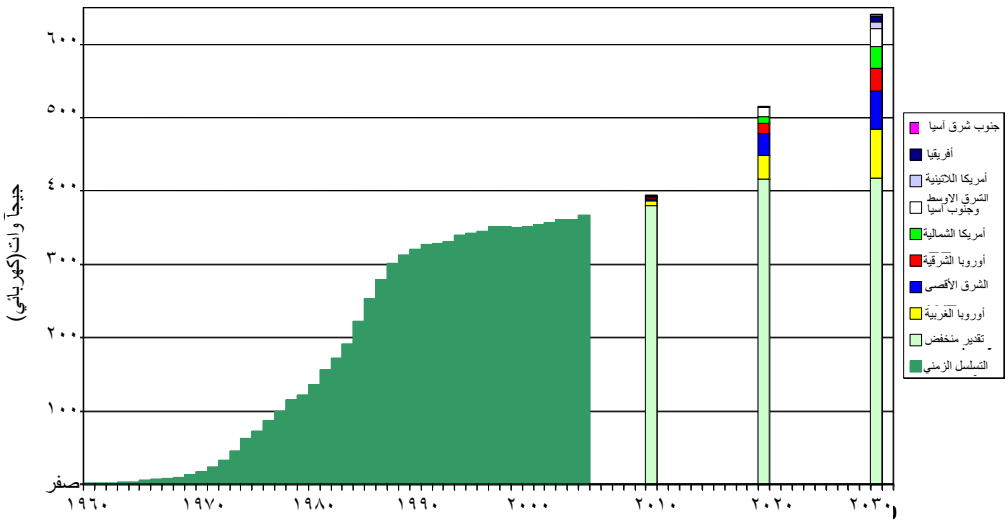
٣ توجد وثائق إضافية متاحة على الموقع IAEA.org تحت عنوان *استعراض التكنولوجيا النووية* ٢٠٠٦.

وتقاسم أفضل الممارسات. وقد برهنت ثقافة الأمان هذه على فعاليتها طوال زهاء عقدين، كما أن سجل الأمان هذا يوفر أساساً تستند إليه البلدان التي تنظر في تشييد محطات للقوى النووية.

٢٨- وتشير التوقعات في جميع التحليلات والتنبؤات المستقلة إلى تنامٍ مستمر لاحتياجات الطاقة العالمية في القرن المقبل. وإذا ما كان للعالم أن يفي ولو بجزء من التطلعات الاقتصادية للعالم النامي، يجب أن تشهد إمدادات الطاقة توسعاً ضخما. وقد حدث ارتفاع ملموس في أسعار النفط والغاز الطبيعي في عام ٢٠٠٥، بما يعكس توقعات السوق بزيادة سريعة في الطلب مقابل العرض.

٢٩- ويبين الشكل ألف-١ النمو التاريخي في القدرة على توليد الطاقة النووية على نطاق العالم منذ عام ١٩٦٠، إضافة إلى التقديرات المرتفعة والمنخفضة التي وضعتها الوكالة بصيغتها المحدَّثة في عام ٢٠٠٥. والفرق بين التوقعات المنخفضة والمرتفعة في عام ٢٠٣٠ هو ٢٢٢ جيجا وات(كهربائي). وكما هو مبيَّن في الشكل، تستأثر أوروبا الغربية بـ٦٦ جيجا وات(كهربائي) من هذا الفرق، أي بنسبة ٣٠%، والشرق الأقصى بـ٥٢ جيجا وات(كهربائي)، أي بنسبة ٢٣%.

٣٠- ورغم أن التوقعات الخاصة بالقوى النووية تتجه إلى التصاعد، يشير استطلاع للرأي العام العالمي أجرته الوكالة مؤخراً إلى تباين مستمر في الآراء. وقد وُجِّه الاستطلاع إلى ١٨٠٠٠ شخص في ١٨ بلداً. وكان هناك تباين جوهري فيما بين البلدان. ويبين الشكل ألف-٢ النتائج الإجمالية. فهناك أغلبية نسبتها ٦٢% تود الإبقاء على تشغيل المحطات الراهنة، في حين لا تريد أغلبية نسبتها ٥٩% بناء محطات جديدة. كما طُرح سؤال على سبيل المتابعة تضمن معلومات وجيزة عن الانبعاثات المتدنية جداً من غاز الدفيئة فيما يخص القوى النووية، ارتفعت على إثره النسبة المؤيدة للتوسع في القوى النووية من ٢٨% إلى ٣٨%، وانخفضت النسبة المعارضة لهذا التوسع من ٥٩% إلى ٤٧%.



الشكل ألف-١: القدرة المنشأة على توليد القوى النووية على نطاق العالم. توضح الخطوط الخضراء الداكنة الزيادة المتسلسلة زمنياً التي حدثت منذ عام ١٩٦٠ وحتى عام ٢٠٠٥. أما الخطوط الخضراء الفاتحة فتشير إلى أحدث تقدير منخفض وضعته الوكالة للأعوام ٢٠١٠ و٢٠٢٠ و٢٠٣٠. وتبين الألوان الأخرى الكم الذي يمكن نسبته إلى مناطق العالم المختلفة من الفرق بين توقعات الوكالة المنخفضة والمرتفعة.

الشكل ألف-٢: النتائج الإجمالية الخاصة باستطلاع للرأي العام العالمي. المصدر: *الرأي العام العالمي بشأن القضايا النووية والوكالة الدولية للطاقة الذرية: التقرير النهائي من ١٨ بلداً، ٢٠٠٥*

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

٣١- شرعت لجنة التنمية المستدامة التابعة للأمم المتحدة للمرة الأولى في معالجة موضوع الطاقة خلال دورتها التاسعة في عام ٢٠٠١، ونوقشت العلاقة بين الطاقة النووية والتنمية المستدامة باستفاضة. وكانت حصيلة المناقشات مزدوجة. فقد اتفقت الأطراف، أولاً، على أنها مختلفة في الرأي، حيث لاحظ النص الختامي أن بعض البلدان تنظر إلى الطاقة النووية باعتبارها أحد العوامل المهمة التي تسهم في التنمية المستدامة، والبعض الآخر لا يرى ذلك. واتفقت الأطراف، ثانياً، على أن "خيار الطاقة النووية يقع على عاتق البلدان." وسوف تشكل القوى النووية لاحقاً جزءاً من جدول الأعمال عندما تتناول اللجنة المذكورة قضايا الطاقة في عامي ٢٠٠٦ و٢٠٠٧.

٣٢- وقد دخل بروتوكول كيوتو حيز النفاذ في شباط/فبراير ٢٠٠٥، وهو يقضي بأن تحد معظم البلدان المتقدمة انبعاثاتها من غاز الدفيئة في 'فترة الالتزام الأولى'، ٢٠٠٨-٢٠١٢. وتبنت مختلف البلدان سياسات عدة للوفاء بحدودها المقررة وفقاً لبروتوكول كيوتو. غير أن هذه السياسات لا تصب كلها في مصلحة القوى النووية رغم قلة انبعاثاتها من غاز الدفيئة، وإن كان يُفترَض، في المدى الأطول، أن القيود الموضوعة على انبعاثات غاز الدفيئة ستجعل القوى النووية جذابة بصورة متزايدة. ولقد كانت الميزة المتمثلة في قلة انبعاثاتها من غاز الدفيئة غير واضحة للمستثمرين من قبل، حيث أُخِذ انعدام فرض قيود أو ضرائب على تلك الانبعاثات بمعنى أن تجنبها لا ينطوي على أية قيمة اقتصادية.

٣٣- وكان المؤتمر الحادي عشر للأطراف في اتفاقية الأمم المتحدة بشأن تغير المناخ (CoP-11) في مونتريال في كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٥ هو أول مؤتمر يُعقَد بعد بدء نفاذ بروتوكول كيوتو، وبذلك اعتُبر أيضاً أول اجتماع للأطراف في بروتوكول كيوتو (MoP-1). وبهذه الصفة، اعتمد الاجتماع رسمياً القواعد الخاصة بتنفيذ بروتوكول كيوتو التي أُقِرت بصفة أولية خلال مؤتمر الأطراف السابع، والمعروفة باتفاقات مراكش. وفيما يتعلق بتخفيض الانبعاثات بعد فترة الالتزام الأولى (٢٠٠٨-٢٠١٢)، قرر الاجتماع الشروع في إجراء مناقشات في " فريق عامل مخصص مفتوح العضوية ... يهدف إلى إتمام عمله... في أقرب وقت ممكن وفي الوقت

٤ ترد معلومات أكثر إسهاباً 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/Anrep2005/capacity_building.pdf*) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني *http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/climate.shtml*.

المناسب لضمان عدم وجود ثغرة بين فترتي الالتزام الأولى والثانية". وفي هذه المناقشات، ستكون إحدى القضايا المهمة بالنسبة للقوى النووية هي مصير الاستبعاد الراهن، خلال فترة الالتزام الأولى، لمشاريع القوى النووية من اثنتين من الآليات المرنة الثلاث في بروتوكول كيوتو، وهما تحديداً آلية التنمية النظيفة، والتنفيذ المشترك.

ألف-٢-٣- القضايا الأساسية

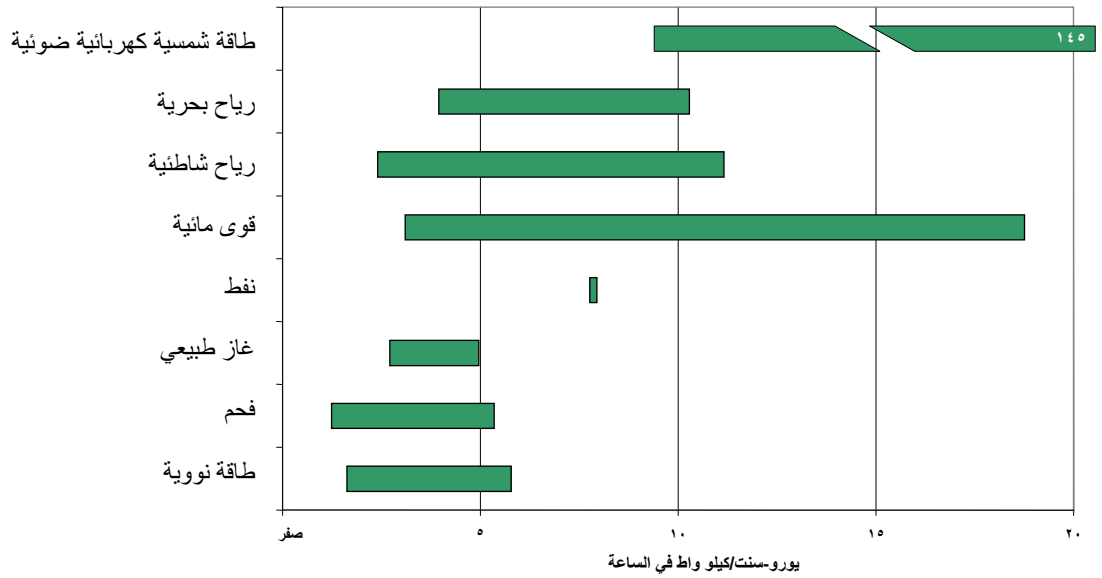
الجوانب الاقتصادية

٣٤- إن هيكل تكلفة محطات القوى النووية يقوم على 'تركيز صرف الموارد في بداية الفترة'، أي أن بناء هذه المحطات غالٍ نسبياً لكن تشغيلها رخيص نسبياً. وهكذا فإن محطات القوى النووية العاملة الموجودة حالياً والتي تدار بشكل جيد لا تزال مصدراً تنافسياً مربحاً بوجه عام لتوليد الكهرباء، لكن القدرة التنافسية الاقتصادية للقوى النووية، فيما يخص الإنشاءات الجديدة، تعتمد على عدة عوامل. فهي تعتمد، أولاً، على البدائل المتاحة. ذلك أن بعض البلدان غنية بموارد الطاقة البديلة، والبعض الآخر أقل غنى بتلك الموارد. وهي تعتمد، ثانياً، على الطلب الإجمالي على الكهرباء في بلد ما ومدى سرعة تناميه. ثم هي تعتمد، ثالثاً، على هيكل السوق وبيئة الاستثمار. وإذا افترضنا تساوي العوامل الأخرى، فإن هيكل تكلفة القوى النووية الذي يقوم على تركيز صرف الموارد في البداية يكون أقل جاذبية لأي مستثمر خاص يعمل في سوق حرة تقدِّر أهمية العائدات السريعة، منه بالنسبة لحكومة يمكنها أن تنظر إلى الأمور على مدى أطول، لا سيما في سوق منظمة تضمن عائدات جذابة. كما ستعتمد الاستثمارات الخاصة في الأسواق الحرة على مدى إدماج التكاليف والأرباح الخارجية المتصلة بالطاقة (كالتلوث وانبعاثات غاز الدفيئة والنفايات وتأمين إمدادات الطاقة مثلاً) بحيث يتم استيعابها داخلياً. وعلى النقيض من ذلك، يمكن للمستثمرين الحكوميين أن يدمجوا هذه العوامل الخارجية مباشرة في قراراتهم. وتتسم المخاطر التنظيمية بأهمية كذلك. فالدعم السياسي للقوى النووية يتباين من بلد إلى آخر، كما يمكن أن يتغير بمضي الزمن داخل بلد بعينه. ويجب على المستثمر أن يزن مخاطر التقلبات السياسية التي قد تقتضي إلغاء المشروع في منتصف الفترة أو تتطلب تأجيله، وما ينطوي عليه ذلك من تكاليف قد تفسد استثماراً كان جذاباً أصلاً. كما تتفاوت البلدان في عمليات الموافقة. فبعض هذه العمليات يكون أقل قابلية للتنبؤ به وينطوي على مخاطر أكبر، من منظور المستثمر، مردها ضرورات التدخل أو التأجيل الباهظة التكاليف.

٣٥- ويلخص الشكل ألف-٣ تقديرات تكاليف الإنشاءات الجديدة، مأخوذة من سبع دراسات حديثة[٥]. وباستثناء توليد الكهرباء بوقود النفط (أوردت دراسة واحدة فقط تقديرات بشأنه) فإن الحد الأعلى لكل معدل تكلفة يزيد عن الحد الأدنى بنسبة ١٠٠% على الأقل. ويعزى ذلك جزئياً إلى اختلاف الافتراضات التكنولوجية من دراسة إلى أخرى، وإن كان يرجع أيضاً إلى العوامل المسرودة آنفاً. وعلاوة على ذلك، فإن المعدلات الواردة في الشكل ألف-٣ تشمل التكاليف الداخلية فقط. وإذا ما أُعطِيت أولوية عالية بما فيه الكفاية لتحسين الاكتفاء الذاتي من الطاقة على المستوى الوطني، على سبيل المثال، فإن الخيار المفضل في حالة محددة قد لا يكون هو الأرخص.

---

٥ معهد ماساتشوسيتس للتكنولوجيا، *مستقبل القوى النووية*، كامبريدج، ماساتشوسيتس، الولايات المتحدة الأمريكية (٢٠٠٣)؛ جامعة شيكاغو، *المستقبل الاقتصادي للقوى النووية*، شيكاغو، إلينوي، الولايات المتحدة الأمريكية (٢٠٠٤)؛ الأكاديمية الملكية للهندسة، *تكلفة توليد الكهرباء*، لندن، المملكة المتحدة (٢٠٠٤)، المديرية العامة للطاقة والمواد الخام، وزارة الاقتصاد والتمويل والصناعة الفرنسية، باريس، فرنسا (٢٠٠٣)؛ وزارة الاقتصاد والتجارة والصناعة، طوكيو، اليابان (٢٠٠٤)؛ "مات أيريس" و"مورغان ماكراي" و"ميلاني ستوغران"، *مقارنة لتكلفة توليد الكهرباء مقدرة بالوحدات المعيارية في التكنولوجيات البديلة لتوليد الأحمال الأساسية في "أونتاريو"*، المعهد الكندي لبحوث الطاقة، "كالغاري"، "ألبيرتا"، كندا ٢٠٠٤؛ وكالة الطاقة النووية والوكالة الدولية للطاقة الذرية، *التكاليف المتوقعة لتوليد الكهرباء: الصيغة المستوفاة* لعام ٢٠٠٥ ، منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، باريس، ٢٠٠٥.



الشكل ألف-٣- معدلات التكاليف المعيارية المرتبطة بالإنشاءات الجديدة وفقاً للتقديرات الواردة في سبع دراسات حديثة عن تكنولوجيات توليد الكهرباء في بلدان مختلفة. (PV= كهربائي ضوئي)

الأمان[٦]

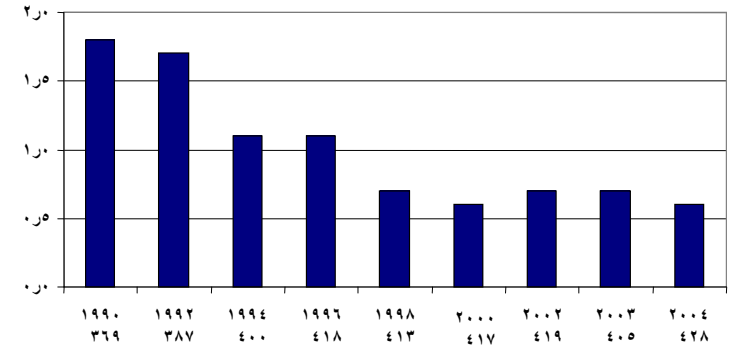
٣٦- يعدّ تبادل الخبرات المكتسبة من تشغيل محطات القوى النووية على الصعيد الدولي، وبالأخص نشر 'الدروس المستفادة' على نطاق واسع، جوانب أساسية لمواصلة التشغيل المأمون لمحطات القوى النووية وتعزيزه. كما أن تجميع الخبرة التشغيلية وتقاسمها وتحليلها، كلها عناصر حيوية لإدارة الأمان، وثمة أدلة تجريبية واضحة على أن التعلم من خبرة تشغيل محطات القوى النووية قد أدى، ولا يزال يؤدي، إلى تحسينات في أمان المحطات. وثمة آليات دولية لتيسير تبادل المعلومات، من بينها الرابطة العالمية للمشغلين النوويين والوكالة الدولية للطاقة الذرية. وتمثل الاجتماعات التي تُعقَد بصورة منتظمة في إطار شبكة التبليغ عن الحوادث، المشتركة بين الوكالة الدولية للطاقة الذرية ووكالة الطاقة النووية، جزءاً إضافياً من عملية التبادل العالمي هذه، حيث يمكن تناول الحوادث التي وقعت مؤخراً بالمناقشة والتحليل على نحو تفصيلي.

٣٧- وقد طرأ تحسُّن مثير خلال عقد التسعينات في مؤشرات الأمان، كتلك التي تنشرها الرابطة العالمية للمشغلين النوويين وترد مستنسخة في الشكلين ألف-٤ وألف-٥. بيد أن التحسُّن قد توقف في بعض المجالات خلال الأعوام الأخيرة، كما في حالات الإيقاف التلقائي دون تخطيط مسبق، المبيَّنة في الشكل ألف-٤. كما لا تزال الفجوة واسعة بين أصحاب الأداء الأفضل والأسوأ، الأمر الذي يتيح مجالاً كبيراً للتحسين المستمر. ومنذ الحادث الذي وقع في تشرنوبل عام ١٩٨٦، بُذِلت جهود ضخمة في سبيل الارتقاء بسمات أمان المفاعلات، لكن لا تزال توجد مرافق ينبغي أن تصبح المساعدات المتعلقة بالأمان النووي إحدى أولوياتها.

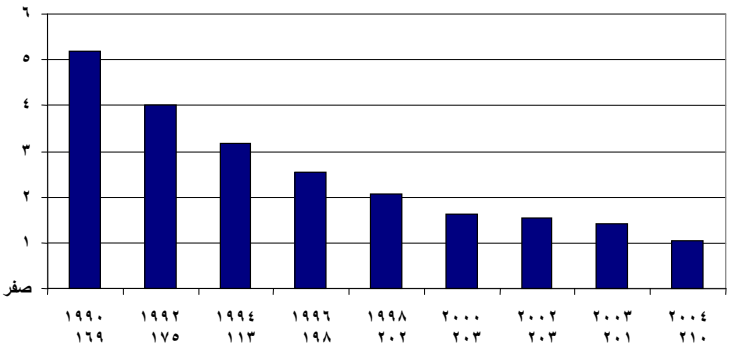
---

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/Anrep2005/safety_nuclear.pdf*) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني *http://www-ns.iaea.org/*.

٣٨- وترد في استعراض الأمان النووي الذي تصدره الوكالة سنوياً (الوثيقة GC(50/INF/2) معلومات أكثر إسهاباً عن الأمان وعن التطورات الأخيرة المتعلقة بجميع التطبيقات النووية.



الشكل ألف-٤- حالات الإيقاف الفوري دون تخطيط مسبق لكل ٧٠٠٠ ساعة حرجة. المصدر: *مؤشرات أداء الرابطة العالمية للمشغلين النوويين في عام ٢٠٠٤*



الشكل ألف-٥- الحوادث الصناعية في محطات القوى النووية لكل ١ ٠٠٠ ٠٠٠ ساعة عمل بشري. المصدر: *مؤشرات أداء الرابطة العالمية للمشغلين النوويين في عام ٢٠٠٤*

الوقود المستهلك وإعادة المعالجة والنفايات والإخراج من الخدمة[٧]

٣٩- تولّد محطات القوى النووية العاملة حالياً في العالم، البالغ عددها ٤٤١ محطة، ما يربو على ١٠ ٠٠٠ طن من الفلزات الثقيلة في الوقود المستهلك سنوياً. وتعاد معالجة أقل من ثلث هذه الكمية لأغراض إعادة التدوير كوقود خليط الأكسيدين (موكس). وتوضع الكمية المتبقية في مرافق خزن مؤقت. وهناك نحو ١٩٠ ٠٠٠ طن من الفلزات الثقيلة مخزونة في الوقت الراهن. ومعظمها مخزون في المياه، لكن الكمية المخزونة خزناً جافاً آخذة في الازدياد، وهي الطريقة التي باتت مفضلة للخزن المؤقت المستجد بعيداً عن المفاعلات. ويتميز الخزن الجاف بأنه قابل للتعديل، وهي ميزة تجعل استثمارات رأس المال ممتدة زمنياً، وفي المدى الأطول، إذا استُخدِمت في الخزن الجاف نظم أبسط للتبريد الكامن، فإن ذلك يقلل متطلبات وتكاليف عمليتي التشغيل والصيانة.

٤٠- والقدرة العالمية الراهنة لإعادة معالجة الوقود المستهلك المدني تبلغ زهاء ٥ ٠٠٠ طن من الفلزّات الثقيلة سنوياً. وهناك مرفق جديد قيد الإنشاء في "روكاشومورا"، باليابان، سوف يضيف ٨٠٠ طن من الفلزات الثقيلة سنوياً. وقد بدأ الإدخال في الخدمة باستعمال اليورانيوم في "روكاشومورا" عام ٢٠٠٤، ومن المقرر أن يبدأ في عام ٢٠٠٦ الإدخال في الخدمة الفعلية باستخدام وقود مستهلك حقيقي، على أن يتم التشغيل التجاري في عام ٢٠٠٧. وتبلغ القدرة العالمية الراهنة لصنع وقود موكس نحو ٢٠٠ طن من الفلزات الثقيلة سنوياً، ويُتوقع أن تزداد إلى حوالي ٣٥٠ طناً من الفلزات الثقيلة سنوياً بحلول عام ٢٠١٠.

٤١- والبحوث الجارية لتحسين عملية استعادة البلوتونيوم واليورانيوم بالاستخلاص، المستخدمة في جميع محطات إعادة المعالجة المشغَّلة تجارياً (وفي "روكاشومورا")، تشمل عمليات متقدمة لاستعادة البلوتونيوم واليورانيوم بالاستخلاص، إضافة إلى عمليات مائية أخرى وعدة عمليات غير مائية.

٤٢- وأكفأ سبيل لاستخدام الوقود المعادة معالجته هو في المفاعلات السريعة. وقد تم بناء وتشغيل مفاعلات سريعة في كلٍّ من الاتحاد الروسي وألمانيا وفرنسا والمملكة المتحدة والهند والولايات المتحدة الأمريكية واليابان. بيد أن الحوافز الاقتصادية التي حققتها مبكراً عمليتا إعادة المعالجة وإعادة التدوير تضاءلت بعد عقد السبعينات، ومرد ذلك هو التباطؤ في معدل نمو القدرة النووية أولاً، والارتفاع المستمر في تقديرات موارد اليورانيوم ثانياً، والمصادر الثانوية ثالثاً. ولا يوجد سوى مفاعل سريع واحد، من طراز BN-600 في الاتحاد الروسي، يعمل في الوقت الراهن كمفاعل قوى، ولا يُستعمَل فيه وقود أعيدت معالجته، بل وقود يورانيوم شديد الإثراء طازج. بيد أن الهند قد بدأت، في عام ٢٠٠٤، تشييد مفاعل توليد سريع نموذجي قدرته ٥٠٠ ميجاوات(كهربائي) في "كالباكام"، وثمة بحوث جارية في عدد من البلدان (انظر القسم باء-١).

٤٣- وقد قطعت السويد وفنلندا والولايات المتحدة الأمريكية شوطاً أبعد في تطوير مستودعات نهائية للنفايات القوية الإشعاع، وإن كان لا يُتوقع تشغيل أيٍّ منها قبل عام ٢٠٢٠ على الأقل. وقد اختارت كلٌّ من فنلندا والولايات المتحدة الأمريكية موقعاً واحداً، تجريان فيه البحوث الضرورية. وكان من المقرر أن يقدَّم إلى الهيئة

---

٧ توجد وثائق إضافية متاحة على الموقع GovAtom تحت عنوان *'استعراض التكنولوجيا النووية ٢٠٠٦'*. وترد معلومات أكثر إسهاباً 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/nuclear_fuel_cycle.pdf، و http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005/radioactive_waste.pdf)، وعلى موقعي الوكالة الإلكترونيين http://www.iaea.org/OurWork/ST/NEFW/index.html و http://www-ns.iaea.org/home/rtws.asp.

الرقابية النووية في عام ٢٠٠٤ طلب استصدار ترخيص للمستودع الكائن في جبل "يوكا" بالولايات المتحدة الأمريكية، لكن تم تأجيله. وتجري السويد بحوثاً في موقعين يُحتمَل اختيارهما.

٤٤- وفي تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٥، عقب عملية تشاور استغرقت ثلاثة أعوام وشملت أرجاء الدولة كلها، أوصت هيئة التصرف في النفايات النووية في كندا بتبني نهج 'مرحلي متكيف' في إدارة الوقود المستهلك الكندي. وخلال الأعوام الثلاثين المقبلة، سيستمر تخزين الوقود المستهلك في مواقع المفاعلات، كما سيتم اختيار موقع مناسب لمستودع جيولوجي عميق، ويُتخَذ قرار حول ما إذا كان سيتم أيضاً تشييد مرفق خزن جوفي ضحل مؤقت مركزي يبدأ في تلقي الوقود المستهلك في غضون ٣٠ عاماً تقريباً. ومع وجود مرفق مؤقت مركزي أو بدونه، سيبدأ المستودع العميق في تلقي الوقود المستهلك بعد نحو ٦٠ عاماً.

٤٥- وفي فرنسا، أحرزت الاستقصاءات التي أجريت في مختبر البحوث الجوفي في "بور" بشأن التخلص في الطَّفل تقدماً جيداً. والقانون الذي أصدرته فرنسا في عام ١٩٩١ بشأن البحوث التطويرية المتعلقة بالنفايات النووية يقضي تحديداً باتخاذ إجراء برلماني آخر بعد ١٥ عاماً، وقد بدأت في عام ٢٠٠٥ مناقشات عامة رسمية على سبيل الإعداد لهذا الإجراء في عام ٢٠٠٦. وتستند المناقشات إلى بحوث أُجريت منذ عام ١٩٩١ على ثلاثة نُهُج رئيسية – وهي التجزئة والتحويل، والتخلص الجيولوجي، والتكييف والخزن المؤقت الطويل الأمد – ويُتوقع أن يوضح التشريع الجديد الخطوات اللازم اتخاذها في الأجلين القريب والمتوسط للمضي قُدُماً في النُهُج الثلاثة جميعها.

٤٦- وفيما يتعلق بالتخلص من النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع، حدثت في عام ٢٠٠٥ تطورات جديرة بالذكر في كلٍّ من بلجيكا وجمهورية كوريا وهنغاريا. ففي بلجيكا، أُجري في مقاطعتين على الأقل تصويت على اعتبارهما ضمن المواقع المرشحة لإقامة مستودع وطني للنفايات الضعيفة الإشعاع. وفي هنغاريا، جاءت نتيجة تصويت أُجري بين سكان "باتاباتي" بتأييد ساحق لاستضافة المستودع الهنغاري النهائي للنفايات الضعيفة الإشعاع والنفايات المتوسطة الإشعاع. وفي جمهورية كوريا، وقع الاختيار على "غيونغجو" كموقع لأول مستودع للنفايات الضعيفة الإشعاع والنفايات المتوسطة الإشعاع، بشرط نجاح التقييم الجيولوجي للموقع، وذلك بعد موافقة قرابة ٩٠% من الذين أدلوا بأصواتهم في "غيونغجو"، مقارنة بنسبة تتراوح بين ٦٧ و٨٤% في ثلاث مقاطعات مرشحة أخرى.

٤٧- وفي عام ٢٠٠٥، اكتملت عملية إخراج محطتي "تروجان" و"مين يانكي" للقوى النووية من الخدمة في الولايات المتحدة الأمريكية. وأبيح استخدام كلا الموقعين استخداماً عاماً غير مقيد، باستثناء مرافق خزن الوقود المستهلك المنفصلة التابعة لهما. وهكذا، بنهاية عام ٢٠٠٥، كان قد اكتمل إخراج ثماني محطات للقوى النووية من الخدمة في أنحاء العالم، مع إباحة استخدام مواقعها استخداماً غير مشروط. كما تم تفكيك سبع عشرة محطة تفكيكاً جزئياً وإغلاقها إغلاقاً مأموناً، ويجري العمل في تفكيك ٣١ محطة تمهيداً لإباحة استخدام مواقعها في نهاية المطاف، وتخضع ٣٠ محطة لقدر أدنى من التفكيك تمهيداً لإغلاقها إغلاقاً طويل الأجل.

مقاومة الانتشار[٨]

٤٨- في الأعوام القليلة الماضية، ازدادت الهواجس المتعلقة بعدم الانتشار. وتعدّ مقاومة الانتشار خاصية مميِّزة لنظام الطاقة النووية تعوق تحريف المواد النووية أو إنتاجها بشكل غير معلَن، أو إساءة استعمال التكنولوجيا. وفي إطار المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات ومشروع الوكالة الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية، يزداد الاهتمام بقضية السمات المتأصلة لمقاومة الانتشار، أي تلك السمات الناتجة عن التصميم التقني لنظم الطاقة النووية. ويتناول القسم باء-١ عن الانشطار المتقدم هذه السمات بإيجاز.

٤٩- وفي كانون الثاني/يناير ٢٠٠٦ طرح الرئيس الروسي فلاديمير بوتن اقتراحاً يقضي بإنشاء نظام مراكز دولية توفر خدمات دورة الوقود النووي، بما في ذلك الإثراء، على أساس خال من التمييز وخاضع لإشراف الوكالة. وفي شباط/فبراير ٢٠٠٦ أعلنت الولايات المتحدة الأمريكية عن شراكة عالمية في مجال الطاقة الذرية تهدف إلى تطوير تكنولوجيات إعادة تدوير متقدمة ولا تقوم بفصل البلوتونيوم، وإرساء تعاون دولي من أجل توريد الوقود للدول التي توافق على عدم السعي إلى الإثراء وإعادة المعالجة، واستحداث مفاعلات متقدمة تستعمل الوقود المستهلك المعاد تدويره في الوقت الذي توفر فيه الطاقة، واستحداث مفاعلات صغيرة تتسم بالأمان والأمن وتتلاءم على نحو جيد مع احتياجات البلدان النامية.

ألف-٢-٤- الموارد[٩]

٥٠- تقدَّر *موارد اليورانيوم التقليدية المحددة* في الوقت الراهن بـ ٣٢٫٨ مليون طن (طن متري من اليورانيوم) للموارد التي يمكن استخلاصها بتكاليف أقل من ٨٠ دولاراً/كغم، و٤٫٧ طن متري من اليورانيوم للتكاليف التي تقل عن ١٣٠ دولاراً/كغم. وللأغراض المرجعية، بلغ سعر السوق الفورية لليورانيوم في نهاية أيار/مايو ٢٠٠٦ ١١٢ دولاراً/كغم. وخلال العامين الأخيرين، ازدادت التقديرات بالنسبة لكلتا هاتين الفئتين نتيجة بعض الاكتشافات الجديدة، إلى جانب إعادة تخصيص بعض الموارد من فئات التكاليف الأعلى إلى فئات التكاليف الأدنى.

٥١- وتضيف *الموارد التقليدية الإضافية غير المكتشَفة* كمية أخرى تقدَّر بـ١٫٧ طن متري من اليورانيوم بتكاليف أقل من١٣٠ دولاراً/كغم. ويشمل ذلك موارد يُتوقع ظهورها إما في مستودعات معروفة أو قريباً منها، وموارد تعتمد أكثر على التوقعات ويُعتقَد بوجودها في مناطق واعدة جيولوجياً، لكنها لم تُكتشَف بعد. كما توجد موارد متوقعة أخرى تقدَّر بـ٣٫٠ طن متري من اليورانيوم لم تُحدَّد تكاليف إنتاجها بعد.

٥٢- وتزداد قاعدة الموارد توسعاً بفضل *موارد اليورانيوم غير التقليدية والثوريوم*. وتشمل موارد اليورانيوم غير التقليدية نحو ٢٢ طناً متريا من اليورانيوم تظهر في مستودعات الفوسفات وكمية تصل إلى ٤ ٠٠٠ طن متري من اليورانيوم تحتوي عليها مياه البحر. وقد بلغت التكنولوجيا المتعلقة باستخلاص اليورانيوم من

---

٨ ترد معلومات أكثر إسهاباً عن أنشطة الوكالة المتعلقة بمقاومة الانتشار وبالضمانات في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (*http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005/safeguards.pd*) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني *http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/index.html*.

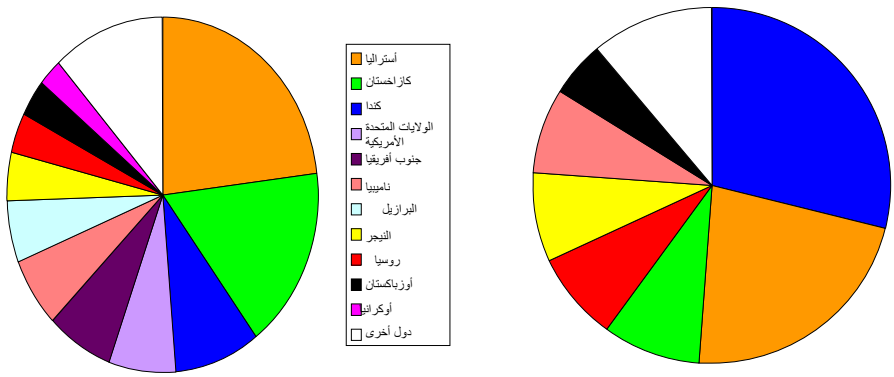
٩ ترد معلومات أكثر إسهاباً عن أنشطة الوكالة المتعلقة بالموارد النووية في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (*http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005/nuclear_fuel_cycle.pdf*) وعلى موقع الوكالة الإلكتروني *http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/nfcms_home.html*. وعلى الموقع الإلكتروني IAEA.org تحت عنوان "استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٦"

الفوسفات مرحلة مكتملة من النضج، علماً بأن تكاليفها التقديرية تتراوح بين ٦٠-١٠٠ دولار/كغم يورانيوم. ولم تظهر جدوى تكنولوجيا استخراج اليورانيوم من مياه البحر سوى على النطاق المختبري، وتقدَّر تكاليف الاستخراج في الوقت الراهن بـ ٣٠٠ دولار/كغم يورانيوم. والثوريوم أكثر توافراً من اليورانيوم في أديم الأرض بثلاثة أضعاف. ورغم أن التقديرات الحالية لاحتياطيات الثوريوم مضافاً إليها الموارد الإضافية تتجاوز ٤ر٥ طن متري، فإن هذه التقديرات تُعتبَر متحفظة مع ذلك. فهي لا تغطي جميع مناطق العالم، كما أن ضعف طلب السوق على مر التاريخ مقترن بتنقيب محدود عن الثوريوم.

٥٣- ويقارن الشكل ألف-٦ التوزيع الجغرافي لموارد اليورانيوم التقليدية المحددة بتوزيع إنتاج اليورانيوم في عام ٢٠٠٤. وتستأثر ثلاثة بلدان – وهي أستراليا وكازاخستان وكندا – بنسبة ٥٠% من الموارد التقليدية المحددة و٦٠% من الإنتاج.

٥٤- وفي عام ٢٠٠٤، بلغ إجمالي إنتاج اليورانيوم ٤٠ ٢٦٣ طن يورانيوم، وهي نسبة لا تتجاوز ٦٠% من متطلبات المفاعلات في العالم (٣٢٠ ٦٧ طن يورانيوم). وقد تمت تغطية الكمية المتبقية بواسطة خمسة مصادر ثانوية، وهي: المخزونات الاحتياطية من اليورانيوم الطبيعي، والمخزونات الاحتياطية من اليورانيوم المثرى، وإعادة معالجة اليورانيوم استناداً إلى الوقود المستهلك، ووقود موكس المحتوي على يورانيوم ٢٣٥ المستعاض عنه جزئياً بالبلوتونيوم ٢٣٩ المستمد من الوقود المستهلك المعاد معالجته، وإعادة إثراء مخلفات اليورانيوم المستنفد. (اليورانيوم المستنفد يحتوي على أقل من ٧ر٠ % يورانيوم ٢٣٥).

٥٥- ومن بين إسهامات هذه المصادر الثانوية الخمسة، يأتي الشق الأعظم من المخزونات الاحتياطية التي تراكمت منذ بدء الاستغلال التجاري للقوى النووية في أواخر الخمسينات وحتى عام ١٩٩٠ تقريباً. فعلى مدار هذه الفترة، فاق إنتاج اليورانيوم المتطلبات التجارية باستمرار، وذلك أساساً لأن الزيادة في معدل توليد الكهرباء النووية سارت بوتيرة أبطأ مما هو متوقع، إضافة إلى ارتفاع حجم الإنتاج للأغراض العسكرية. ومنذ عام ١٩٩٠ انعكس الوضع، وأدى سحب المخزونات الاحتياطية إلى تدنيها. بيد أنه لا تتوافر معلومات دقيقة بهذا الصدد، ويأتي احتمال اتخاذ قرارات سياسية مستقبلاً بشأن إباحة استخدام بعض المواد العسكرية للأغراض التجارية ليضيف عنصراً إضافيا إلى حالة عدم التيقن.



الشكل ألف٦-: التوزيع الجغرافي لموارد اليورانيوم التقليدية المحددة (يساراً) ولإنتاج اليورانيوم في عام ٢٠٠٤ (يميناً) [وفقاً للشكل الانكليزي].

٥٦- وإعادة تدوير الوقود المستهلك كوقود موكس لم تغير كثيراً من متطلبات اليورانيوم، وذلك بالنظر إلى العدد القليل نسبياً من المفاعلات التي تستخدم وقود موكس والعدد المحدود من عمليات إعادة التدوير الممكنة باستخدام التكنولوجيا الراهنة الخاصة بإعادة التدوير وبالمفاعلات. واليورانيوم المستخلص من خلال إعادة معالجة الوقود المستهلك، والمعروف باليورانيوم المعادة معالجته، لا يعاد تدويره حالياً إلا في فرنسا والاتحاد الروسي. وتشير البيانات المتاحة إلى أنه يمثل أقل من ١% من المتطلبات العالمية.

٥٧- وهناك مخزونات ضخمة من اليورانيوم المستنفد، قُدِّرت بحوالي ٥ر١ طن متري من اليورانيوم في بداية عام ٢٠٠٥. بيد أن إعادة الإثراء ليست مجدية اقتصادياً في الوقت الراهن إلا في محطات الإثراء بالطرد المركزي التي تتوافر فيها قدرة احتياطية ويتم تشغيلها بتكاليف زهيدة. ولا تتوافر بيانات كاملة بهذا الشأن، وإن كانت إحصائيات الاتحاد الأوروبي تبين أن الكميات التي سلمها الاتحاد الروسي من المخلفات المعاد إثراؤها بلغت نسبتها ٦% من إجمالي اليورانيوم الذي تم تسليمه إلى مفاعلات الاتحاد الأوروبي في عام ٢٠٠٤.

٥٨- وقد انخفضت أسعار اليورانيوم بصفة عامة منذ مطلع عقد الثمانينات وحتى عام ١٩٩٤ بسبب الإنتاج المفرط وتوافر مصادر ثانوية، وفيما بين عامي ١٩٩٠ و١٩٩٤، أدى انخفاض الأسعار إلى تخفيضات كبيرة في كثير من قطاعات صناعة اليورانيوم العالمية. بيد أنه بدءاً من عام ٢٠٠١، وثب سعر اليورانيوم إلى مستويات لم تشاهَد منذ عقد الثمانينات، حيث ارتفع سعر الدفع الفوري إلى أكثر من ستة أمثاله خلال الفترة من ٢٠٠١ حتى ٢٠٠٦.

٥٩- ويلخص الجدول ألف-٢ العمر المحتمل لموارد اليورانيوم التقليدية العالمية. وبالنسبة لكلٍّ من دورة الوقود المفتوحة الراهنة المستخدمة لمرة واحدة بدون إعادة تدوير لمفاعلات الماء الخفيف ودورة الوقود الخالصة للمفاعلات السريعة، يتضمن الجدول تقديرات لمدى دوام موارد اليورانيوم التقليدية، بافتراض أن يظل توليد الكهرباء من القوى النووية على مستواه الذي كان عليه في عام ٢٠٠٤.

الجدول ألف-٢: توافر الموارد لشتى التكنولوجيات النووية مقدَّراً بالسنوات

دورة المفاعلات/الوقود	توليد الكهرباء النووية العالمية باستخدام الموارد التقليدية المحددة في عام ٢٠٠٤ مقدراً بالسنوات	توليد الكهرباء النووية العالمية باستخدام الموارد التقليدية الإجمالية في عام ٢٠٠٤ مقدراً بالسنوات
دورة الوقود الراهنة (مفاعلات ماء خفيف، بدون إعادة تدوير)	٨٥	٢٧٠
دورة وقود خالصة للمفاعلات السريعة مع إعادة التدوير	٥٠٠٠ – ٦٠٠٠	١٦٠٠٠ – ١٩٠٠٠

باء- الانشطار والاندماج المتقدمان[١٠]

باء-١- الانشطار المتقدم

٦٠- يرجح أن معظم محطات القوى النووية الجديدة ستمثل، في الأجل القريب، تحسينات تطورية للتصميمات الراهنة. وفي الأجل الأطول يمكن أن تساعد تصميمات أكثر ابتكاراً، تتضمن تغييرات جذرية وتبشر بتقليص زمن التشييد وخفض التكاليف الرأسمالية، على حفز عهد جديد للطاقة النووية. وتوجد عدة تصميمات ابتكارية في نطاق الحجم الصغير (أقل من ٣٠٠ ميجاوات حراري) والمتوسط (٣٠٠-٧٠٠ ميجاوات حراري). ويمكن أن تكون هذه التصميمات جذابة فيما يتعلق بإدخال توليد الطاقة النووية في البلدان النامية وبالنسبة للأماكن النائية.

٦١- وتسعى التصميمات المتقدمة إلى تحقيق تحسينات في ثلاثة مجالات رئيسية: خفض التكاليف، وتعزيز الأمان، ومقاومة الانتشار.

٦٢- وبالنسبة لخفض التكاليف، تشدد بعض التصميمات على زيادة تطوير الاستراتيجيات التي ثبت نجاحها، أي تحقيق وفورات الحجم عن طريق استخدام وحدات أكبر؛ وتقصير الجداول الزمنية للتشييد عن طريق النظم النمطية والتبكير بمعالجة مسائل الترخيص؛ والتوحيد القياسي والتشييد المتسلسل؛ وتشييد الوحدات المتعددة؛ وتعزيز المشاركة الوطنية؛ بينما تشدد تصميمات أخرى على استراتيجيات جديدة لخفض التكاليف تشمل وفورات الإنتاج المتسلسل؛ وزيادة دقة الشفرات وقواعد البيانات بغية استبعاد زيادة المواصفات على ما يحقق الغرض المطلوب؛ وتطوير مكونات 'ذكية' بغية كشف الأعطال الوليدة وتقليل الاعتماد على الوفرة والتنوع المكلفين؛ ونظم الأمان المنفعلة؛ وزيادة تطوير التحليل الاحتمالي للأمان بغية دعم تبسيط المحطات واتخاذ القرارات الرقابية استنادا إلى معرفة المخاطر؛ وتقليل المكونات التي تتطلب مستويات نووية؛ وزيادة الكفاءة الحرارية.

٦٣- وفيما يتعلق بالأمان، تشمل أعمال التحسينات التقنية زيادة حجم مخزونات المياه (في حالة المفاعلات المبردة بالماء)، وتقليل كثافة استخدام الطاقة، وزيادة معاملات الحرجية السلبية، واستخدام نظم الأمان الوفيرة والمتنوعة ذات العولية العالية المبرهن عليها، ونظم التبريد والتكثيف المنفعلة.

٦٤- وفيما يخص مقاومة الانتشار، تتعلق التدابير الخاصة بالسمات الذاتية المدرجة في تصميمات متقدمة مختلفة بالشكل الكيميائي للمواد النووية؛ وكتلتها وحجمها، ومجالها الإشعاعي، ومعدل توليد الحرارة والتوليد التلقائي للنيوترونات؛ ومدى تعقد التعديلات اللازمة لاستخدام مرفق مدني ومواد مدنية لإنتاج الأسلحة؛ والسمات التصميمية التي تحد من إمكانية الوصول إلى المواد النووية.

---

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/Anrep2005/nuclear_power.pdf) 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/Anrep2005/nuclear_science.pdf). وقد نشر في مجلة *Nuclear Fusion* في عام ٢٠٠٥ (*Nuclear Fusion* 45 (2005) A1–A28) *تقرير حالة أعده المجلس الدولي لبحوث الاندماج النووي يلخص التقدم المحرز في أبحاث الاندماج خلال العقد الماضي.*

٦٥- وتبذل جهود هامة تتعلق بتصميم مفاعلات الماء الخفيف المتطورة الكبيرة، وذلك في كل من الأرجنتين والصين والاتحاد الأوروبي وفرنسا وألمانيا واليابان وجمهورية كوريا والاتحاد الروسي والولايات المتحدة الأمريكية. وتقوم كلٌّ من كندا والهند بأعمال في تصاميم مفاعلات الماء الثقيل المتقدمة، كما يجري استحداث تصاميم مفاعلات متقدمة مبردة بالغاز في كلٍّ من الصين وفرنسا واليابان وجمهورية كوريا والاتحاد الروسي وجنوب أفريقيا والولايات المتحدة الأمريكية. واكتمل استعراض تصميم وأمان وحدة تجريبية من وحدات المفاعل النموذجي الحصوي القاع العالي الحرارة البالغة قدرته ١٦٨ ميجاوات حراري في جنوب أفريقيا، ويجرى استعراض للوحدة بغرض الترخيص. أما فيما يخص المفاعلات السريعة المبردة بفلز سائل، فيجري الاضطلاع بأنشطة تطويرية في كلٍّ من الصين وفرنسا والهند واليابان وجمهورية كوريا والاتحاد الروسي.

٦٦- وتستكمل المبادرات المذكورة أعلاه باثنين من المساعي الدولية الرئيسية الرامية إلى تعزيز الابتكار وهما – المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات، والمشروع الدولي للوكالة المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (إنبرو). وقد استعرض المحفل المذكور نطاقاً واسعاً من المفاهيم المبتكرة واختار، في عام ٢٠٠٢، ستة أنواع من نظم المفاعلات من أجل التعاون 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. ووقع كل من كندا وفرنسا واليابان والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية في شباط/فبراير ٢٠٠٥ على *اتفاق إطاري بشأن التعاون الدولي في البحوث التطويرية المتعلقة بالجيل الرابع من نظم الطاقة النووية*. ويوضح الاتفاق قواعد إجرائية صريحة بشأن البحوث المشتركة والأنشطة التعاونية الأخرى ويهيئ الأساس الذي يمكن على أساسه الآن التفاوض حول مشاريع محددة من مشاريع المحفل.

٦٧- وفي عام ٢٠٠٤، نشر إنبرو مبادئ توجيهية منقحة ومنهجية منقحة لتقييم نظم الطاقة النووية الابتكارية. وتشمل الأنشطة الراهنة إكمال كتيب للمستخدمين بشأن منهجية إنبرو بغرض مساعدة المستخدمين على تقييم نظم الطاقة النووية الابتكارية؛ وتطبيق المنهجية على تقييم نظم الطاقة النووية الابتكارية في الدراسات الوطنية والمتعددة الجنسيات؛ وإجراء تحليلات لدور وهيكل نظم الطاقة النووية الابتكارية من أجل تلبية الاحتياجات الوطنية والإقليمية والعالمية بطريقة مستدامة؛ واختيار أنسب المجالات للتطوير التعاوني. وفي عام ٢٠٠٥ ازدادت عضوية إنبرو إلى ٢٤ عضوا، بانضمام أوكرانيا والولايات المتحدة الأمريكية.

باء-٢- الاندماج

٦٨- في حزيران/ يونيه ٢٠٠٥ تم التوقيع على بيان مشترك من جميع الأطراف في مفوضات المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي، وتم التوصل إلى اتفاق على موقع التشييد وهو كاداراش في فرنسا. ومثّل هذا التوقيع إشارة البداية لمرحلة جديدة هامة في تطوير الطاقة الاندماجية – هي التجريب العلمي والهندسي لتكنولوجيا الاندماج في الظروف الملائمة لتشغيل مفاعل اندماجي لإنتاج القوى الكهربائية. وفي كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٥ أصبحت الهند العضو السابع في المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي.

٦٩- ويشكل استغلال طاقة الاندماج النووي تحديات عديدة، منها ازدياد الحاجة إلى إمكانية الوصول إلى بيانات ذرية وجزيئية موثوقة وشاملة. ومع اقتراب تشييد المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي، اتخذت مسائل عديدة متعلقة بالتفاعلات الذرية والجزيئية وتفاعلات سطح البلازما أهمية متزايدة. وحدد المجلس الدولي

لبحوث الاندماج النووي[11] عدة قضايا هامة، مثل أرصدة التريتيوم وإزالتها، وفيزياء بلازما محيط المفاعل، وشوائب العناصر الثقيلة. وستطلق في عام ٢٠٠٦ مبادرة لدراسة الخصائص التآكلية لمواد جدران احتواء المفاعلات الاندماجية وتحديد تلك الخصائص كميا سيكون له تأثير مباشر على فهم امتصاص مكونات الجدران للتريتيوم.

٧٠- ويؤدي تحسن فهم فيزياء البلازمات المحتواة إلى تحسين البارامترات الخاصة بالتشغيل الأمثل لمحطات القوى البلازمية. وأحرزت أيضا مخططات احتواء مغنطيسي بديلة، مثل أجهزة توكاماك وستِلّلاريتُور الكروية (أجهزة تستخدم لاحتواء البلازما الحارة بواسطة حقول مغنطيسية من أجل استدامة تفاعل نووي اندماجي محكوم)، تقدما كبيرا من حيث البارامترات التشغيلية التي تحققت. وسيؤدي الستللاريتور المسمى فندلشتاين-٧-إكس (Wendelstein-7X)، وهو أكبر ستيلاريتور في العالم ويجري تشييده في ألمانيا ويعتزم أن يبدأ تشغيله بحلول عام ٢٠١٠، إلى حفز البحوث حول موضوع تشغيل محطات القوى الكهربائية الاندماجية في الحالة المستقرة.

٧١- وأدى التقدم في فهم الفيزياء الذي أحرز في بحوث الاندماج بالقصور الذاتي إلى تصميم وصنع مرفقين لليزر الميغاجولي خاصين بتجارب إشعال الاندماج وهما: مرفق الإشعال الوطني التابع للولايات المتحدة الأمريكية والذي يجري بناؤه في ليفرمور، ومرفق الليزر الميغاجولي قرب بوردو بفرنسا. ويتوقع أن يكون المرفقان جاهزين لإجراء التجارب خلال الفترة ٢٠٠٨-٢٠١٠. ويجري أيضا تطوير نهج جديد بشأن الاندماج بالقصور الذاتي يسمى نهج الإشعال السريع ويتطلب استخدام ليزر فائق القوة. كما أن تطوير الليزرات الفائقة القوة لما دون البيكوثانية بلغ بالفعل مرحلة متقدمة في إطار برنامج تجربة تحقيق الإشعال السريع (فايركس) في أوساكا باليابان.

جيم- البيانات الذرية والنووية

٧٢- يمثل وجود مجموعة واسعة وشاملة من البيانات الذرية والنووية شرطا مسبقا ضروريا لبحوث الفيزياء النووية الأساسية ولنجاح تخطيط وتصميم وتشغيل محطات القوى النووية وما يرتبط بها من مرافق لإعادة المعالجة ومناولة النفايات، وكذلك لتطبيقات مثل الطب النووي وتقنيات تحليلية نووية معينة. وسيؤدي الاهتمام المتزايد باستخدام النظم التي تعمل بواسطة المعجِّلات إلى ازدياد الطلب على البيانات النووية الموثوقة ذات النوعية العالية لأغراض فيزياء/ هندسة المفاعلات ولأغراض حسابات انتقال الإشعاعات.

٧٣- وقد أنتجت بيانات أكثر موثوقية من أجل ضمان تحسن الثقة في تقييمات الانشطار والاندماج، بما في ذلك بارامترات هامة مثل المقطع العرضي النيوتروني الحراري لليورانيوم-٢٣٨، وبيانات قوانين التبعثر الحراري، والمقاطع العرضية المحدَّثة الخاصة بالحسابات النيوترونية لأجهزة الاندماج والنظم التي تعمل بواسطة المعجلات، وبارامترات ذرية ونووية هامة أخرى. ويستمر إحراز جوانب تقدم أخرى في تجميع وتقييم

---

١١ نشر المجلس الدولي لبحوث الاندماج النووي في عام ٢٠٠٥ وثيقة بعنوان "تقرير عن حالة عن الاندماج النووي" في مجلة *Nuclear Fusion في عام ٢٠٠٥ (Nuclear Fusion* 45 (2005) A1–A28)، *تلخص التقدم المحرز في أبحاث الاندماج خلال العقد الماضي.*

البيانات الذرية والنووية، وذلك على سبيل المثال لإنتاج البيانات الذرية والجزيئية من أجل نمذجة البلازما وفيما يتعلق بشوائب العناصر الثقيلة في مفاعلات الاندماج.

دال- التطبيقات الخاصة بالمعجلات ومفاعلات البحوث

دال-١- المعجلات

٧٤- مازال استخدام معجلات الجسيمات المشحونة، وخصوصا معجلات البروتونات ومعجلات الإلكترونات، يؤدي إلى تطورات هامة في ميادين المواد المتقدمة والرعاية الصحية والعلوم الفيزيائية وعلوم الحياة. ومن الاتجاهات الجديرة بالملاحظة ظهور تطبيقات جديدة مثل استخدام حزم الأشعة الأيونية المركزة، وذلك مثلا في الصنع الآلي المجهري وفي التكنولوجيا النانومترية وفي تقنيات تشعيع الخلايا.

٧٥- ويتزايد الاهتمام بالسلوك غير المعياري للمواد في ميدان تطبيقات الحزم الأيونية الإشعاعية. فمثلا أخذت البحوث تؤدي إلى تحسين المعارف بشأن العلاقة بين هيكل وخصائص الجيل القادم من المواد العازلة.

٧٦- ويجري تشييد مصدرين للتشظية النبضية (إحدى العمليات التي يمكن بها استخدام معجل جسيمات لإنتاج حزمة إشعاع نيوتروني) في اليابان والولايات المتحدة الأمريكية. كما يجري تحسين مستوى مصادر التشظية الموجودة حاليا، مثل 'ايزيس' (ISIS) في المملكة المتحدة والمصدر السويسري للتشظية النيوترونية (SINQ) في سويسرا، وبدأت في الظهور تطبيقات جديدة في مجالات الفيزياء وفيزياء أشباه الموصلات والمغنطيسية وعلم الأحياء.

دال-٢- مفاعلات البحوث

٧٧- ما زالت التطبيقات الرئيسية في العديد من مرافق مفاعلات البحوث هي إنتاج النظائر المشعة، وتطبيقات الحزم الإشعاعية النيوترونية، وإشابة السليكون، وتشعيع المواد. ويجري تشييد مفاعلات بحوث جديدة، مثل المفاعل أوبال (OPAL) في استراليا، ومفاعل الصين البحثي المتقدم (CARR) في الصين، والمفاعل تريغا الثاني (TRIGA-II) في المغرب، أو أدخلت في الخدمة مؤخرا، مثل المفاعل FRM-II في ألمانيا والمفاعل المصدري النيوتروني المصغر (MNSR) في نيجيريا. وفي بلجيكا قُطع شوط طويل في تطوير مرفق تشعيع جديد يعمل بالمعجلات، ألا وهو المرفق MYRRHA. والغرض منه هو أن يكون مرفقاً بحثياً أوروبياً متعدد الأغراض.

٧٨- والمفاعل FRM-II في ألمانيا مصمم لاستخدام الحزم الإشعاعية النيوترونية، وله سمات منها مصدر نيوتروني ثانوي، ولواحق منها مثلا أجهزة لتوجيه النيوترونات من أجل إجراء تجارب خاصة. وهذه السمات مفيدة في دراسات بوليمرات المواد الرخوة، والأنواع الأحيائية، والسوائل والمواد المزالة النسق. ومن الناحية الأخرى فإن المفاعل المصدري النيوتروني المصغر (MNSR) البحثي في نيجيريا سيستخدم على نطاق واسع للتحليل بواسطة التنشيط الإلكتروني من أجل تطبيقات في مجالات مثل البيئة والأغذية والزراعة.

٧٩- ويتوقع أن يبدأ في عام ٢٠٠٦ تشغيل مفاعلات بحثية متعددة الأغراض، مثل المفاعل أوبال في استراليا ومفاعل الصين البحثي المتقدم (CARR) في الصين، وستكون أنشطتها الرئيسية هي إنتاج النظائر المشعة وإشابة السليكون وتطبيقات الحزم الإشعاعية النيوترونية[١٢].

٨٠- ويسعى برنامج الإثراء المنخفض لوقود مفاعلات البحوث والاختبارات (RERTR) إلى تحويل المفاعلات البحثية التي تستخدم وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى استخدام وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء. ومن الأنشطة الأخرى في إطار ذلك البرنامج مواصلة تقديم الدعم من أجل تطوير وتأهيل وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء العالي الكثافة ومن أجل حفز إنتاج الموليبدنوم-٩٩ بواسطة الانشطار باستخدام أهداف يورانيوم ضعيف الإثراء.

٨١- وتوجد شواغل بشأن إمكانية التعويل على توافر النظائر المشعة في المستقبل إذا لم يوجد الآن الاهتمام الكافي بتلبية الاحتياجات التشعيعية لمفاعلات البحوث في المستقبل. ولا يوجد سوى أربعة منتجين صناعيين رئيسيين للموليبدنوم-٩٩، ولكن عددا من مفاعلات البحوث أكبر كثيرا يستخدم لتشعيع أهداف اليورانيوم الشديد الإثراء/ اليورانيوم الضعيف الإثراء. ولا يوجد اتجاه يمكن تبينه صوب أن تنظر الشركات الصناعية في التحول إلى استخدام أهداف اليورانيوم الضعيف الإثراء، وقد ركز المشاركون في برنامج الإثراء المنخفض لوقود مفاعلات البحوث والاختبارات مزيدا من اهتمامهم على هذه المسألة. ويمثل نجاح الهيئة الوطنية للطاقة الذرية في الأرجنتين في تجربة إنتاج الموليبدنوم-٩٩ بانتظام على نطاق متوسط باستخدام أهداف يورانيوم ضعيف الإثراء منتجة محليا تقدما جديرا بالملاحظة في هذا الصدد.

هاء- تطبيقات النظائر المشعة وتكنولوجيا الإشعاعات

هاء-١- تطبيقات النظائر المشعة

٨٢- يستخدم حاليا أكثر من ١٥٠ من النظائر المشعة المختلفة في أشكال مختلفة في تطبيقات شتى في عدة قطاعات ذات أهمية اقتصادية، منها الطب وتجهيز الأغذية والصناعة والزراعة وأمان الإنشاءات والبحوث. وما زالت هناك إمكانية كبيرة للتوسع في تطبيقات النظائر المشعة وتعميم فوائدها على البلدان النامية. وتُنتج النظائر المشعة في خمسة وعشرين بلدا على الأقل، في حين أنه، كما ورد في استقصاء قامت به الوكالة ومنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي[١٣]، يوجد أكثر من ثلاثين بلدا آخر يمكن أن ينتج النظائر المشعة. ويستحوذ ميدان الطب على غالبية تطبيقات النظائر المشعة، تليه الصناعة والبحوث.

٨٣- ومازالت نظم مولدات النظائر المشعة تؤدي دورا رئيسيا في توفير النويدات المشعة التشخيصية والعلاجية لشتى التطبيقات في مجالات الطب النووي وعلم الأورام وطب القلب التدخلي. ويفضل استعمال اليتريُوم-٩٠ في العلاج بالنويدات المشعة لأن نويدته الأم، وهي السترُنشيُوم-٩٠، متوافرة بكميات كبيرة من إعادة معالجة الوقود المستهلك. ويمكن أن يصبح استرداد السترُنشيُوم-٩٠ ثم فصل اليتريُوم-٩٠ مركزيا على نطاق واسع أو إنتاج مولدات النويدات المشعة عملية كيميائية إشعاعية رئيسية في البلدان التي لديها مرافق لإعادة المعالجة.

---

١٢ توجد وثائق إضافية متاحة على الموقع IAEA.org تحت عنوان *'استعراض التكنولوجيا النووية ٢٠٠٦'*.

١٣ Beneficial Uses and Production of Isotopes، منشور وكالة الطاقة النووية ومنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والوكالة الدولية للطاقة الذرية رقم ٥٢٩٣ لعام ٢٠٠٥.

٨٤- ويتزايد الاهتمام في كثير من البلدان النامية بإنشاء سيكلوترونات طبية لإنتاج النظائر المشعة. ويجري استكشاف إنتاج نظائر اليود المشعة باستخدام هدف تِلُّوريُوم مثرى باعتبار ذلك طريقة إنتاج اقتصادية.

هاء-٢- تكنولوجيا الإشعاعات

هاء-٢-١- التكنولوجيا النانوية للصناعة والصحة

٨٥- طورت في ألمانيا مواد مركبة نانوية بوليمرية قابلة للمعالجة بالإشعاعات ذات خصائص سطحية – ميكانيكية معززة. وأنتجت طلاءات شفافة مقاومة للخدش والسحج، بواسطة المعالجة الإشعاعية لمزائج أكريلاتية تحتوي على كمية كبيرة من حشوات السليكون والألومينا المعدلة ذات الحجم النانوي.

٨٦- وقد أصبحت الآن الهلامات البوليمرية الماكروسكوبية مواد أحيائية راسخة تستخدم عادة كعدسات لاصقة رخوة وضمادات جروح من الهلام المائي وأجهزة لإعطاء الأدوية المحكوم. وهناك اهتمام متزايد بتوليف وخصائص وتطبيقات الهلامات البوليمرية الميكروسكوبية، أي الهلامات المكروية والنانوية. والهلامات النانوية هي بنيات بوليمرية متصالبة يقل حجمها عن الميكرون وتشبه في الحجم جزيئا بوليمريا واحدا في شكل محلول. ويمكن أن تستخدم هذه الهلامات كحاملات عقاقير أو حاملات جينات، أو كعقاقير بوليمرية، أو كواسمات أحيائية، وأيضا كطبقات تحتية لفصل وامتزاز الجزيئات الأحيائية. ويحصل على الهلامات النانوية غالبا بواسطة بلمرة المستحلبات. وقد اقترح فريق في بولندا ربط لفائف البوليمر المنفردة ربطا تعامديا داخل الجزيئات بواسطة تشعيع محاليل مخففة تشعيعا إلكترونيا نبضيا قصير المدة، وتتميز هذه الطريقة بانعدام المونومرات وعوامل الربط التصالبي والمركبات الأخرى التي يمكن أن تكون سامة والتي تلزم في العمليات التقليدية.

٨٧- وتستخدم الطباعة الكيميائية بواسطة الحزم الإشعاعية الإلكترونية استخداما واسع النطاق في تكنولوجيا الكتابة المباشرة لصنع أجهزة الدوائر المتكاملة ذات الحجم النانوي. وقد استخدم باحثون جامعيون في غلاسغو بالمملكة المتحدة أداة طباعة كيميائية بواسطة الحزم الإشعاعية الإلكترونية لصنع سمات لا يزيد قطرها على ٢٠ نانومترا بتباعد يبلغ ١٠٠ نانومتر توفر مصفوفات من النقاط النانوية لكي تستخدم في الهندسة الخلوية.

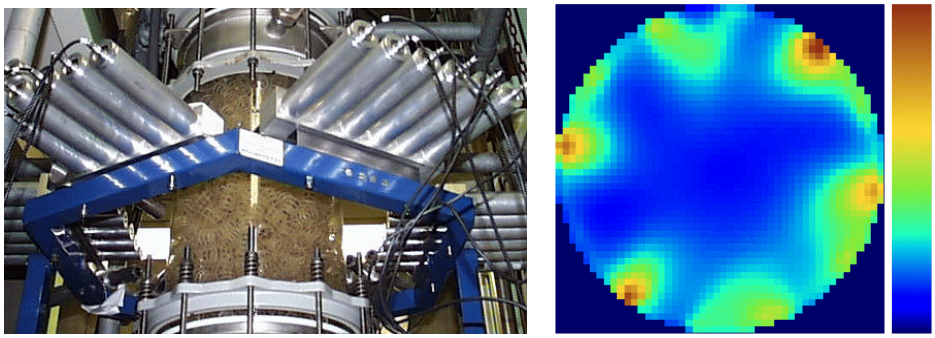
هاء-٢-٢- رصد العمليات الصناعية

٨٨- مازالت تقنيات المقتفيات الإشعاعية والمصادر المختومة تستخدم على نطاق واسع في صناعات مختلفة لتحقيق تحكم أفضل في عمليات الإنتاج، ولتحسين كفاءة العمليات، ولتعزيز نوعية المنتجات وكميتها، وللتحقق من المعلومات التي يتحصل عليها بوسائل أخرى.

٨٩- ويستطيع التصوير المقطعي الخاص بعمليات المعالجة الصناعية أن يوفر معلومات تفصيلية عن توزيع كثافة مقاطع عرضية معينة من أي مفاعل كيميائي. وحاليا يستخدم مطورو وصانعو نظم العمليات الكيميائية التصوير المقطعي بانبعاث أشعة غاما لقياس التوزيع المكاني للكثافة داخل أوعية المعالجة أو خطوط أنابيب المعالجة. غير أن تطوير جهاز ماسح صناعي قياسي للتصوير المقطعي من أجل التطبيقات الموقعية هو أمر معقد، بسبب تنوع الأماكن والبيئات واختلاف تصميمات أعمدة المعالجة الصناعية. وستكون لتطوير نظم تصوير مقطعي محمولة/ منقولة تستخدم مصادر النظائر المشعة في المستقبل أهمية كأداة تشخيصية لا غنى عنها للعمليات والنظم الصناعية.

٩٠- ويرجح أن تستخدم قريبا تقنية التصوير المقطعي الحاسوبي بالانبعاث الفوتوني المفرد، التي تستخدم أساسا في الطب النووي، لتشخيص حالة المفاعلات الصناعية. وستكون المعلومات التي يحصل عليها من هذا التصوير أكثر موثوقية وتحديدا من التي يحصل عليها بطرق أخرى. والتصوير المقطعي بانبعاث أشعة غاما هو

طريقة ناشئة لبحث ديناميكا التدفق في المفاعلات الصناعية. فمثلاً تم باستخدام هذه التقنية بُحث توزيع تدفقات السوائل في المفاعلات ذات القيعان النضاضة. ويرد في الشكل هاء-١ مثال لبحث التوزيع النصف قطري لتدفق السائل في عمود صناعي، كالذي يوجد في مصفاة.



الشكل هاء-١: يركّب حول العمود نظام تصوير مقطعي يحتوي على ٣٦ مكشافاً مسدَّداً. وتحقن مادة الطور السائل، مرقومة بـ ٩ر١ جيجا بكريل من التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر، وتبين النتيجة جريان بعض الماء على جدار العمود.

واو- التقنيات النووية في الأغذية والزراعة

واو-١- تحسين المحاصيل ووقايتها

٩١- توفر التقنيات النووية أدوات مفيدة للقائمين بتحسين السلالات النباتية، وتؤدي دوراً كبيراً في تحسين المحاصيل. وتشمل تطبيقات التقنيات النووية في هذا المجال حث الطفرات باستخدام أشعة غاما والأشعة السينية والنيوترونات السريعة من أجل زيادة تنوع المواد الوراثية؛ ورقم الأحماض النووية التي تستخدم كمسابير لتحديد البصمات الوراثية ورسم الخرائط الوراثية والانتخاب بالاستعانة بالواسمات، واستخدام الطفرات الوراثية في تحليل وظائف الجينات.

٩٢- وقد أدت عمليات الطفر المستحث، المستحدثة باستخدام أشعة غاما أو الأشعة السينية أو النيوترونات السريعة أو المواد الكيميائية، إلى إحراز نجاحات رئيسية في تحسين السلالات النباتية. ويختار القائمون بتحسين السلالات النباتية طافرات مفيدة ويستخدمونها منذ أكثر من ٥٠ سنة. ويرد الآن في قاعدة البيانات المشتركة بين منظمة الأغذية والزراعة والوكالة والمعنية بالسلالات الطافرة ما يقرب من ٥٠٠ ٢ سلالة طافرة مسجلة رسميا لأكثر من ١٦٠ نوعا نباتيا على نطاق العالم. فمثلا أطلق في فييت نام صنف طافر من الأرز (VND95-20) ذو جودة عالية ويتحمل الملوحة، وهو أحد سلالات أرز التصدير الخمس العليا، ويحتل ٢٨% من المساحات البالغة مليون هكتار المزروعة بأرز التصدير في دلتا الميكونغ. وتقدر المساحات المستهدفة لزراعة صنف الأرز الذي يتحمل الملح في أربعة بلدان فقط هي بنغلاديش والهند والفلبين وفييت نام بـ ٣ر٤ ملايين هكتار.

٩٣- وفك شفرات وظائف الجينات هو الآن هدف رئيسي في علم الوراثة. وأخذت الكميات الكبيرة من المعلومات التي يسهل الحصول عليها عن تتابع وحدات حمض الديوكسي ريبونيوكليك (حمض د.ن.أ) وعن الطافرات المستحثة تشكل عناصر رئيسية في الدراسات الوراثية، لأنها توفر المصادر اللازمة للاكتشاف النظامي للجينات ولتحليل وظائفها. واستهداف الآفات المحلية المستحثة في المجموعات الجينية (TILLING) هو

مثال لتقنية يتسنى بها التحديد السريع للطافرات الخاصة بالجينات المستهدفة. ويجري حاليا تطبيق هذه التقنية على الأرز والقمح والشعير، وتبشر بإمكانيات كبيرة كطريقة لتشطير الجينات التي تتحكم في الميزات القيمة في محاصيل متعددة أو تؤثر على تلك الميزات.

٩٤- واستخدام الحشرات العقيمة وشحنها عبر الحدود مستبعد حتى الآن من المنشور رقم ٣ من سلسلة المعايير الدولية لتدابير الصحة النباتية (ISPM 3)، المعنون *"مدونة قواعد السلوك لاستيراد وإطلاق عوامل المكافحة الحيوية الدخيلة"*، والخاص بالاتفاقية الدولية لوقاية النباتات، وذلك لأن عوامل المكافحة الحيوية عرِّفت بأنها كائنات عضوية ذاتية التناسخ. وفي نيسان/ أبريل ٢٠٠٥ تمت الموافقة على صيغة منقحة للمنشور المذكور (ISPM 3)، بعنوان *"مبادئ توجيهية لتصدير وشحن واستيراد وإطلاق عوامل المكافحة الحيوية وسائر الكائنات العضوية المفيدة"*، تشمل صراحة الحشرات العقيمة باعتبارها مفيدة. وعلاوة على ذلك، أدرج المصطلحان "حشرة عقيمة" و "تقنية الحشرة العقيمة"[١٤] في *مسرد مصطلحات الصحة النباتية* الخاص بالاتفاقية الدولية لوقاية النباتات. وسييسر ذلك تطبيق تقنية الحشرة العقيمة في الدول الأعضاء، ويدل على أن استخدام الحشرات العقيمة كجزء من المكافحة المتكاملة لآفات النباتات أصبح الآن معترفاً به دولياً بموجب اتفاق منظمة التجارة العالمية بشأن تطبيق تدابير الصحة العامة والصحة النباتية.

واو-٢- الإنتاج الحيواني والصحة البيطرية

٩٥- لعلم التشخيص المتصل بالمجالين الجزيئي والنووي أهمية خاصة في الصحة الحيوانية، لأنه يمكن أن يزيد حساسية وتحديد أساليب كشف أمراض الحيوان إلى مستوى كان تحقيقه غير ممكن في الماضي. ورغم الاستخدام المتزايد للأساليب غير الإشعاعية، تبقى هناك حاجة لاستخدام النظائر المشعة في التعرف على البروتينات وحمض د.ن.أ والحمض النووي الريبوزي (ر.ن.ا) وتحديد خصائصها، بسبب علو مستويات الحساسية التي يمكن تحقيقها. وتتيح التطورات الجارية في مجالات الصنع المجهري والموائعيات المجهرية والتكنولوجيا النانومترية إمكانيات لإنتاج أجهزة أكثر حساسية وسرعة ومتانة تؤدي وظائفها في ظروف متنوعة. وتوفر الأجهزة المختبرية القائمة على رقائق حاسوبية القدرة على دمج عمليات تشخيصية مختبرية معقدة (معالجة العينات، وتكبير الأهداف وكشفها، وتمييز الاستبانة) في جهاز مُصغّر واحد. ومن الأهداف الهامة للتطوير الجاري للأجهزة التشخيصية جعلها أكثر استقرارا في الميدان، وبالتالي تقصير زمن الاستجابة اللازم لتنفيذ تدابير الوقاية والمكافحة. وعلاوة على التكنولوجيات النووية التقليدية، تتيح الأساليب النووية لتخطيط مظاهر الجينات فهما أعمق للعناصر الغذائية والتناسلية والمرضية التي تؤدي إلى استحداث معالجات سهلة الفهم تهدف إلى تحسين إنتاجية الماشية.

٩٦- وتاريخياً كان القياس المناعي الإشعاعي، الذي يستخدم النظائر المشعة في قياس تركّز جزيء معين في عينة أحيائية، هو التكنولوجيا السائدة في ميدان الإنتاج الحيواني وتحسين السلالات الحيوانية. والنظائر المشعة هي أيضا الأساس لعدد من التكنولوجيات المتعلقة برقم النوكليوتيدات. فبدمج النظائر المشعة (مثل الفُسفور-٣٢ والفسفور-٣٣ والكبريت-٣٥) في مسابير اصطناعية قصيرة لحمض د.ن.أ، يتمكن الباحثون من استبانة تعدد أشكال حمض د.ن.أ. (الأمر الذي يتيح تحديد الجينات التي تؤثر على الميزات ذات الاهتمام) وتأكيد نسبة و/أو قياس كمية حمض د.ن.أ. أو ر.ن.أ. في عينة أحيائية معينة. ويمكن بواسطة اختبارات لاحقة تحديد الحيوانات التي تحمل الأشكال المتفوقة من الجينات ذات الاهتمام، ويمكن استخدام هذه المعلومات لتحسين دقة الانتخاب

---

١٤ توجد وثائق إضافية متاحة على الموقع IAEA.org تحت عنوان *'استعراض التكنولوجيا النووية ٢٠٠٦'*.

وبالتالي زيادة الإنتاجية. وفضلاً عن ذلك فإن تحديد واقتفاء تعدد أشكال حمض د.ن.أ. يمكن أن يسهم في تحديد الخصائص الجينية للسلالات المرغوب فيها وأن يسلط الأضواء على الحفاظ على الجينات. ويمكن أن توفر تكنولوجيات جديدة مثل قياس الامتصاص المزدوج بالأشعة السينية، ومطيافية الرنين المغنطيسي، والتصوير المقطعي الحاسوبي، أساليب لتحديد تركيب الجسم ونوعية الذبيحة وكمية العضلات فيها دون حاجة إلى ذبح الحيوانات.

٩٧- وتدل التطورات الأخيرة في تحسين نوعية عمليات القياس المناعي الإشعاعي لمادة اللبتين (هرمون بروتيني يؤدي دوراً رئيسياً في الاستقلاب وفي تنظيم الأنسجة الدهنية) وعوامل النمو المماثلة للإنسولين، إلى جانب اتساع معرفة آليات عملها، على إمكانية استخدامها (منفردة أو مجتمعة مع الماء المرقوم بالأكسجين-١٨ والهيدروجين-٢)، وأيضاً استخدام تقنيات معدل دخول ثاني أكسيد الكربون الخاصة بالكربون-١٣ أو الكربون-١٤، لتقييم حالة الحيوان الغذائية والتناسلية والطاقوية. وتتزايد في دراسات الماشية التطبيقات المتعلقة بعلم السموم والتطبيقات الغذائية لتقنيات نووية غير باضعة تستخدم لتحليل العناصر، مثل انبعاث الأشعة السينية المستحث بالبروتونات، وانبعاث أشعة غاما المستحث بالبروتونات، وقياس الطيف الكتلي بالتأين الحراري، وقياس الطيف الكتلي البلازمي بالتقارن المستحث، والقياس الطيفي لتألق الأشعة السينية.

واو-٣- جودة الأغذية وأمانها

٩٨- يتعين أن تضع نظم مراقبة الأغذية في اعتبارها كامل سلسلة إنتاج الأغذية، بغية التأكد من نوعية وأمان وصحية المنتجات النباتية والحيوانية المعدة للاستهلاك البشري، التي هي أيضا جوانب هامة للتبادل التجاري عبر الحدود. وقد أصبح عدد الحكومات التي تنفذ هذا المفهوم الآن أكبر، ويرجع ذلك جزئياً إلى ازدياد شواغل المستهلكين بشأن أمان الأغذية. وتساعد التقنيات النووية والتقنيات المتصلة بها الحكومات على تنفيذ نهج السلاسل الغذائية بوضع منهجيات ومؤشرات ومبادئ توجيهية توفر للسلاسل الغذائية الحماية في المصدر من المخاطر التي تهدد أمانها، وذلك عن طريق الممارسات الزراعية الجيدة بما فيها إتباع نهج منسق في تطبيق أفضل ممارسات إدارة المياه. وتشمل هذه الأنشطة تحسين إدارة جودة المختبرات وتقنياتها التحليلية بغية الوفاء بالمعايير الدولية الخاصة بمبيدات الآفات والذيفانات الفطرية ومخلفات العقاقير البيطرية. كما تشمل اعتماد المبادئ التوجيهية لهيئة الدستور الغذائي بشأن استخدام القياس الطيفي الكتلي للتعرف على المخلفات وتأكيدها وتحديد كمياتها، الصادرة عن الجلسة الثامنة والعشرين لهيئة الدستور الغذائي المشتركة بين منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة ومنظمة الصحة العالمية، والتي وضعت بالتعاون بين المنظمتين.

٩٩- ونجاح تطبيق المعايير الدولية التي سبق اعتمادها بشأن استخدام الإشعاعات المؤينة لمكافحة الكائنات الدقيقة الممرضة التي تحملها الأغذية ومكافحة الآفات الحشرية، والمستخدمة الآن في أكثر من ٥٠ بلدا على نطاق العالم، يتجلى جزئيا في قيام خمسة بلدان أخرى مؤخرا بسن لوائح مواءمة بشأن أنواع مختلفة من الأغذية.

١٠٠- وشملت الأنشطة الأخرى المتعلقة بتطبيق المعايير الدولية لحماية المستهلكين وتيسير تجارة المنتجات الزراعية إنشاء قاعدة بيانات إلكترونية[١٥] للإجراءات الأولى التي تتخذها الحكومات استجابة لطارئ نووي يمس الزراعة. وستعزز التجارة الدولية من المناطق المتأثرة أيضا عن طريق بذل جهود تعاونية لتنقيح المستويات

---

١٥ يمكن الوصول إلى قاعدة البيانات على العنوان الإلكتروني http://www.iaea.org/programmes/nafa/dx/emergency/index.html.

الإرشادية المستخدمة في مجال التجارة الدولية بشأن النويدات المشعة التي توجد في الأغذية عقب حدوث تلوث نووي عارض، الصادرة عن هيئة الدستور الغذائي، وتوسيعها لتشمل المزيد من النظائر المشعة، ولتشمل مدة أطول من السنة الواحدة التي تلي حادثا نوويا أو حدثاً إشعاعياً.

زاي- الصحـــــة البشريـــــة

زاي-١- الدراسات البيئية المتعلقة بالتغذية والصحة

١٠١- كانت تقنيات النظائر المستقرّة في الماضي تُستخدم كأدوات في البحوث الغذائية إلا أنها في الوقت الحاضر تُستخدم أيضاً في وضع وتقييم برامج التغذية. ويمكن تطبيق هذه التقنيات في أكثر الفئات السكانية تعرّضا للأخطار، أي الرضّع والأطفال، ذلك لأن النظائر المستقرّة (غير المشعّة) هي وحدها المُستخدمة. وعن طريق استخدام النظائر المستقرّة، تزداد حساسية القياسات ودقّتها في التحديد، مقارنةً بالتقنيات التقليدية. فعلى سبيل المثال، يمكن تحقيق فهم أفضل لمدى فعّالية التدخّلات التغذوية القائمة على التغيّرات التي تطرأ على تكوين الجسم (أي الكتلة العضلية) استناداً إلى قياسها عن طريق تقنيات النظائر المستقرّة. وهذه التقنيات يمكن أن تلبّي الحاجة إلى القيام محلياً بتقييم استراتيجيات مستدامة ملائمة قائمة على الأغذية تتناول الحالة الغذائية لدى الناس المصابين بفيروس نقص المناعة البشرية/الأيدز، وإلى تأكيد أهمية دمج التغذية في صلب أي تصدٍ شامل لفيروس نقص المناعة البشرية/الأيدز، حسبما أبرزت ذلك حديثاً منظمة الصحة العالمية.

زاي-٢- استخدام الطب النووي في التصوير[١٦] والعلاج

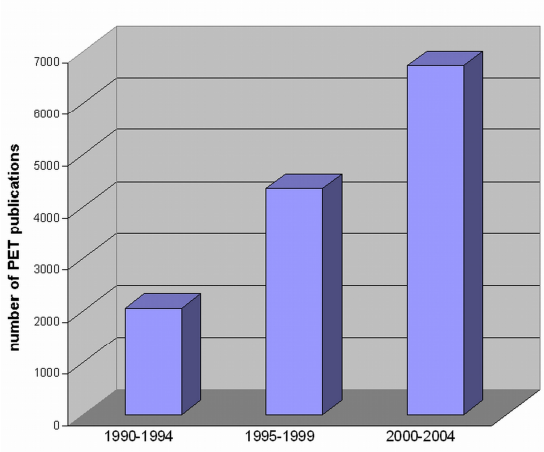
١٠٢- التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني هو أحد المواضيع المهيمنة في الوقت الحاضر على الاجتماعات التي تتناول التصوير الطبي، وثمة زيادة ملحوظة طرأت على المنشورات الصادرة عن هذا الموضوع (انظر الشكل زاي-١). وهذه التقنية التي تستخدم نظائر مشعة قصيرة العمر للغاية ملحقة بواسمات بيولوجية تتيح للأطباء في مجال الطب النووي تتبّع وظائف الأعضاء على المستوى الجزيئي. ويمكن، على وجه الخصوص، باستخدام الغلوكوز الموسوم إشعاعياً المُشار إليه بالرمز FDG (فلورو-١٨ ديوكسي غلوكوز)، أو الكولين -١١ (C11-choline)، دراسة العمليات الأيْضية للغلوكوز والأحماض الأمينية في الأعضاء. والصور المنتَجة بالتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني المُدمجة مع الصور المنتَجة بالتصوير المقطعي الحاسوبي بالأشعة السينية توفّر تفاصيل مُعقّدة عن فرادى المرضى وما يطرأ على حالتهم الصحية من تغيّرات كمية حقيقية، وهو ما يفضي، بالتالي، إلى إمكانية إدخال تغييرات على الطريقة التي تتم بها مكافحة الأمراض.

١٠٣- وفي غضون العقود القليلة الماضية، عزّزت أوجه التقدّم في سرعة الحاسوب فرص حدوث ثورة في تكنولوجيا التصوير الطبي. وفي غضون العقد القادم، يُتوقّع أن تقتني معظم أقسام التصوير الإشعاعي الحديثة أجهزة تصوير تستخدم رقائق مسطحة، وبذلك تصبح تلك الأقسام "خالية من الأفلام" وتستكمل الانتقال إلى التكنولوجيا الرقمية. والتخلّي عن المعالجة الكيميائية للأفلام فعّال التكلفة، ومن شأنه أن يفضي إلى إدخال تحسينات جوهرية على جودة الصور وعوليتها، كما ينطوي على احتمال أن يفضي إلى تقليص في إجمالي حجم تعرّض المرضى للإشعاعات الناتج عن عمليات التشخيص بالأشعة السينية. وأوجه التقدّم تلك، بالاقتران مع الطابع الرقمي المُتضمّن في صلب نظم التصوير المقطعي الحاسوبي، توفّر الأساس لنظام تسجيل طبي

---

١٦ توجد وثائق إضافية متاحة على الموقع IAEA.org تحت عنوان 'استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٦'.

إلكتروني يمكن أن يتضمّن كامل الملف الطبي لفرادى المرضى، بما في ذلك ما تُجرى عليهم من دراسات تصويرية طوال أعمارهم.



الشكل زاي-١: تطوّر حالة المنشورات العلمية عن التصوير المقطعي بالانبعات البوزيتروني في المجلات العلمية الطبية البيولوجية (المصدر: ميدلاين (Medline)) خلال السنوات الخمس عشرة الأخيرة، وهو ما يعكس مدى تأثير التقنية المعنية على تصوير الأمراض السرطانية وغيرها من الأمراض.

١٠٤- وثمة تطوّر رئيسي في تطبيق أساليب الطب النووي العلاجية يتمثّل في الاستخدام الروتيني للأجسام المضادة الوحيدة النسيلة (وهي مجموعة الأجسام المضادة التفاضلية-٢٠ "anti-CD20") الموسومة إشعاعياً لعلاج الأمراض اللمفاوية وكذلك في استخدام الببتيدات الموسومة إشعاعياً في علاج الأورام وبخاصة أورام الأجهزة العصبية والغدد الصماء. ويؤذن هذا التطوّر في نهاية المطاف بعصر جديد من الأساليب العلاجية المستهدفة، إذ أنه ذو آثار جانبية أقل بكثير مقارنةً بالعلاج الكيميائي التقليدي. وتُوجد طائفة شديدة التنوّع من المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية مُتاحة أيضاً لمجتمع الطب النووي لغرض توفير مُسكّنات فعّالة. وتفيد تلك المُسكّنات بوجه خاص في التعامل مع الحالات الانبثاثية حيث لا يكون العلاج الإشعاعي ممكناً، فتوفّر بالتالي تحسينات فعّالة التكلفة لنوعية الحياة. وتؤدّي الأجسام المضادة العلاجية الموسومة إشعاعياً إلى إدخال تحسينات مهمّة على رعاية المرضى كما تؤدّي، عند تضافرها مع الوسائل العلاجية الكيميائية، إلى زيادة في إجمالي معدلات البقاء على قيد الحياة.

زاي-٣- قياس الجرعات والفيزياء الإشعاعية الطبية

١٠٥ يتمثّل في الوقت الحاضر التقدّم الرئيسي المحرز شيئاً فشيئاً في تكنولوجيا علاج السرطان فيما يُدعى "رسم الجرعة"، وهو تقدّم مدفوع بالانتصارات التي يشهدها مجال التصوير الوظيفي. ومع ظهور التصوير بالرنين المغنطيسي، أصبح من الممكن إجراء دراسات القياس الطيفي أو الحصول على صور لوظائف الأعضاء عن طريق التصوير بالرنين المغنطيسي؛ مما كشف عن مناطق من الأورام ذات مستويات نشاط مختلفة. إلا أنه في غضون السنوات القليلة الماضية أصبح التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني القوة الدافعة الرئيسية للتصوير الوظيفي. ومن الممكن في الوقت الحاضر تحديد مواضع داخل الأورام ربما تطلّبت مستويات جرعات إشعاعية أعلى إما، مثلاً، لأنه ظهر أن الخلايا تعاني من نقص في الأكسجين فهي بالتالي مقاومة للإشعاعات، أو لأن عملية توريد الدماء محلياً تجتاز حالة توسّع سريع، قد تكشف عن وجود موقع مرض عدواني. ومن شبه المؤكّد أن هذه القدرة ستفضي إلى إعطاء جرعة يتم تعديلها وإيصالها لمختلف الأجزاء الوظيفية للورم. ويجوز تغيير رسم الجرعة مما هي عليه في جلسة علاجية إلى شكل آخر في الجلسة العلاجية التي تليها باستخدام دراسات التصوير الوظيفي وذلك لضمان الرصد الدوري لمدى استجابة الورم.

زاي-٤- المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية

١٠٦- يظلّ التكنتيوم-٩٩ شبه المستقر النظير المشعّ المُستخدم على أوسع نطاق في مجال الطب النووي التشخيصي على نطاق العالم، حيث يُستخدم في أكثر من ٤٠ ٠٠٠ إجراء تُجرى كل يوم. ويتواصل نمو استخدام المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية في الطب النووي التشخيصي بمعدل يتراوح بين ١٠% و ١٥% سنوياً.

١٠٧- ويتزايد استخدام المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية العلاجية وثمة قيد التطوير عديد من المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية الجديدة القائمة على استخدام نويدات مشعّة تبتعث جسيمات. وتوجد في الوقت الحاضر في مرحلة التجارب الإكلينيكية عدة مستحضرات صيدلانية إشعاعية قائمة على اليتريوم-٩٠ لعلاج السرطان ومن المُتوخّى تطبيقها على نطاق واسع مستقبلاً. ويكتسب اهتماماً متزايداً اللوتشيوم-١٧٧، وهو نويدة مشعّة علاجية مثالية ذات عمر نصفي طويل بما يكفي لضمان سهولة إعداد وشحن المنتج النهائي.

زاي-٥- العلاج الإشعاعي للأورام

١٠٨- تمثّل التقدم الرئيسي الذي شهده مجال العلاج الإشعاعي في السنوات الأخيرة في الاكتشاف الذي تم من خلال عدة تجارب إكلينيكية عالية الجودة ومفاده أن إضافة عوامل صيدلانية إلى العلاج الإشعاعي تحسِّن فرص بقاء المرضى على قيد الحياة في عديد من الحالات السرطانية الشائعة، مثل سرطان الرئة، وعنق الرحم، والثدي، والرأس والعنق، والمعدة، والشرج، والدماغ، والبروستاتا. بيد أن ثمن ذلك هو ازدياد السميَّة في بعض الحالات. وتتواصل البحوث في محاولة لإدخال تعديلات على العوامل الصيدلانية وجزيئاتها المستهدفة بطرائق تحفظ تأثيرها المُسبّب للحساسية للإشعاعات في الأنسجة السرطانية، بينما تخفّض السمّية بالنسبة للأنسجة السليمة. والبحوث جارية أيضاً في مجال رصد السمّية المُؤجّلة للمُعدِّلات الكيميائية لآثار الإشعاعات، وكذلك في مجال تحديد الجزيئات المستهدفة التي تساعد الخلايا السرطانية على النجاة من الموت بعد التشعيع، وتحديد الجزيئات المستهدفة المسؤولة عن الإصابات الإشعاعية في الأنسجة السليمة.

١٠٩- وشهد العقدان الأخيران تطوّراً مستمراً في مجال التشعيع الداخلي الذي يتألّف من وضع مصادر مشعّة مختومة قريباً جداً من الأنسجة المستهدفة أو بالتماس معها. ويمكن بهذه الوسيلة العلاجية إيصال الجرعات القوية الإشعاع على نحو مأمون إلى الكتلة المستهدفة في مكانها المُحدّد وذلك خلال فترة زمنية قصيرة. وقد أسهم كل من المصادر المُستجدّة المتّسمة بمعدلات جرعات قوية، وتكنولوجيا المراقبة عن بعد، والتقنيات الجراحية، والبرامج الحاسوبية لتخطيط العلاج في حدوث تطوّر سريع في تلك الوسيلة العلاجية الفعّالة. وبوجه خاص، قد يتيح التطوّر الحديث الذي شهدته مصادر الكوبالت-٦٠ المتّسمة بمعدلات جرعات قوية إجراء عمليات تشعيع داخلي حديثة قائمة على معدلات جرعات قوية تُستبدل فيها المصادر اللازمة على نحو أقلّ تواتراً من استبدال غيرها من المصادر.

حاء- المياه والبيئة

حاء-١- الموارد المائيّة

حاء-١-١- تقنيات الهيدرولوجيا النظيرية

١١٠- تُعدّ إدارة المياه الجوفية مسألة رئيسية بالنسبة للتنمية البشرية المستدامة، وبخاصة في المناطق شبه القاحلة والمناطق القاحلة. وأفضى تزايد الطلب على المياه ومحدودية توافر موارد المياه السطحية (وكذلك محدودية جودتها، في بعض الحالات) إلى تسارع عملية تطوير المياه الجوفية لأغراض إمدادات المياه والريّ والاستخدامات الصناعية. ولضمان التخطيط الرشيد، يُعدّ شرطاً أساسياً لوضع استراتيجيات إنمائية سليمة توافر فهم وافٍ لخواص مستجمعات المياه الجوفية (أي منشأ المياه الجوفية، ومعدلات تفريغها المتكرّر ومعدلات تجدّدها، ومدى تعرّضها للتلوّث، والتفاعلات القائمة بين الكتل المائية).

١١١- وشرعت الوكالة في بذل جهد يرمي إلى تجميع ونشر بيانات نظيرية مُستقاة من حالة مستجمعات المياه الجوفية والأنهار على نطاق العالم. كما يجري استخدام تلك البيانات من أجل تكوين خرائط مواضيعية للمياه الأحفورية هدفها مساعدة صانعي القرار على اعتماد ممارسات أفضل لإدارة المياه الجوفية.

١١٢- وبشّر استحداث مطياف كتلي ذي منفذ مزدوج يستخدم مصدراً غازياً في الخمسينات من القرن الماضي بنمو هائل في استخدام النظائر في مجالي الهيدرولوجيا والجيولوجيا. أما التطورات التكنولوجية المُستجدة المتعلقة بتحليل النظائر في العيّنات الهيدرولوجية فإنها تحمل معها آفاقاً واسعة تعد بتغييرات جذرية في مجال استخدام النظائر في إدارة الموارد المائية. وأصبح جهاز محمول قائم على إحدى تقنيات الليزر مُتاحاً للاستخدام إما على سطح منصة في مختبر أو ميدانيا. وهذا الجهاز المعقول الثمن، والذي لا يتطلّب سوى حدّ أدنى من المهارات، والمتدني التكلفة نسبياً مقارنةً بالمطياف الكتلي ذي المنفذ المزدوج، يمكن أن يقوم الباحثون والممارسون على السواء بتشغيله بأدنى قدر من تكاليف التشغيل، فضلاً عن أنه سيتغلّب على الحاجز القائم في الوقت الحاضر أمام اتّساع نطاق استخدام النظائر في الهيدرولوجيا الذي يشكّله عدم وجود وفرة ميسورة في مجال تحليل النظائر. ويمكن أن يفضي استخدام جهاز الليزر المُشار إليه القائم على استخدام النظائر إلى زيادة عدد القياسات النظيرية إلى حد كبير على نطاق العالم، وهو ما سيساعد على توفير المعلومات بما يلزم التصدّي لبعض التحديات الهيدرولوجية الرئيسية، مثل فهم وإدارة التفريغ المتكرّر في مستجمعات المياه الجوفية، أو الاهتداء إلى أنماط التدفّقات في المياه الجوفية، أو تحديد العلاقات القائمة بين المياه السطحية والمياه الجوفية.

حاء-١-٢- التحلية

١١٣- يجري إحراز تقدّم مستمر في استخدام الطاقة النووية لتحلية مياه البحر، مستمداً قوة الدفع من اتساع نطاق الطلب العالمي على المياه العذبة ومن التطورات التي تشهدها المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم التي قد تكون أنسب للتحلية من مفاعلات القوى الكبيرة. وفي مجال التحلية النووية، تَجمّعت لدى اليابان ما يزيد على ١٤٣ سنة خبرة في المفاعلات، كما تجمّعت لدى كازاخستان ٢٦ سنة خبرة في المفاعلات وذلك قبل إغلاقها مفاعل أكتاو السريع في عام ١٩٩٩.

١١٤- وتواصل الهند تجهيز محطة العرض الإرشادي للتحلية النووية في كالباكام لإدخالها بالكامل في الخدمة؛ علماً بأن أنشطة التحلية بواسطة الانتشار الأسموزي العكسي مستمرة في هذه المحطة منذ عدة سنوات، وأن من

المقرر أن تبدأ في عام ٢٠٠٦ أنشطة التحلية باستخدام العملية الوميضية المتعددة المراحل. وفي عام ٢٠٠٤ أدخلت الهند في الخدمة محطة تبخير منخفضة الحرارة في مفاعل البحوث CIRUS الذي يعمل بالماء الثقيل والمقام في ترومباي؛ حيث يتم استخدام حرارة نفايات مهدئة في إنتاج مياه عالية الجودة اعتماداً على مياه البحر. وفي عام ٢٠٠٥ تقدم معهد بحوث الطاقة الذرية الكوري بطلب الإذن له ببناء نموذج خمسي المقاس لمفاعل معياري متقدم متكامل النظم (سمارت) مزود بوحدة تحلية. وبدأت باكستان أعمال البناء المتعلقة بقرن محطة تقطير متعددة المراحل بمفاعل الماء الثقيل المضغوط الموجود حالياً في محطة كراتشي للقوى النووية؛ وذلك لأغراض العرض الإرشادي. وفي الصين، يُقام في معهد تكنولوجيا الطاقة النووية ومصادر الطاقة الجديدة نظام اختبار يتعلق باعتماد البارامترات الحرارية-الهيدروليكية لعملية تقطير مُتعدّدة الآثار. وفي مصر، من المقرّر أن يستكمل في عام ٢٠٠٦ تشييد مرفق اختبار الانتشار الأسموزي العكسي بالتسخين المُسبق.

حاء-٢- البيئة

حاء-٢-١- إزالة الألغام

١١٥- أظهرت الاستقصاءات المتعلقة بإمكانية تطبيق التقنيات النووية في الكشف عن المتفجرات، بما فيها حقول الألغام، أنه يتعذر الكشف عن الأهداف التي يقل وزنها عن ١٠٠ غم بقدر واف من الثقة لا سيما إذا كانت التربة مبلولة أو رطبة؛ وأن التقنية المعتمدة على الاستطارة النيوترونية لا تصلح إلا في المناطق القاحلة لأن الكشف يقتصر على الهيدروجين الموجود في المتفجرات. وقد كان من الصعب تحديد أية تقنية نووية وحيدة بعينها باعتبارها التقنية الأفضل أو خط التفتيش الأول. فالأرجح أن يقتصر دور التقنيات النووية على "تأكيد" الهوية بعد التعرف الأولي على هوية عينة/منطقة مشبوهة غير محددة. وفي هذه الحالة الأخيرة يلزم الاستعانة أيضاً ببعض التقنيات غير النووية. وبناء عليه تتواصل الأبحاث بغية التوصل إلى توليفة من التقنيات والاستعانة بنيوترونات ذات طاقات متفاوتة (وكذلك أيضاً مصادر نيوترونية ملائمة للتطبيقات الميدانية)؛ وذلك من جانب عدد من الفرق المنتمية لبلدان نامية وبلدان متقدمة في ظل تنسيق من جانب الوكالة.

حاء-٢-٢- استخدام مقتفيات النويدات المشعّة في تقارن الدوران في المحيطات وحالة المناخ

١١٦- يُعدّ الدوران في المحيطات أحد العمليات الرئيسية التي تتحكّم بمناخنا. والقدرة على استخدام النويدات المشعّة كمقتفيات للعمليات التي تجري في المحيطات تستمد قوة الدفع إلى حد كبير من أوجه التقدّم الحديثة التي شهدتها التقنيات النظيفة لأخذ العيّنات والتحاليل بالإضافة إلى قياسات الطيف الكتلي العالية الدقّة. وكانت تلك التقنيات أحد الحوافر التي أفضت إلى البرنامج الدولي للبحوث المعنون "الدراسة الدولية للعناصر النزرة" (GEOTRACES) الذي شُرع في تنفيذه حديثاً والذي يرمي إلى تنسيق البحوث بشأن دوران العناصر النزرة ونظائرها في المحيطات. ويُتوقّع أن يعزّز هذا البرنامج إلى حدّ كبير فهم سلوك النويدات المشعّة في المحيطات.

حاء-٢-٣- التراكم البيولوجي في السلاسل الغذائية البحرية

١١٧- يمكن أن تتراكم النويدات المشعّة والمعادن بفعل الكائنات الحية البحرية وأن تتضخّم من حيث تركيزها إذا كانت إفرازات تلك الكائنات أقلّ من قدرتها على الامتصاص، وهذه العملية المُسمّاة التراكم البيولوجي يمكن أن تعطي ملوّثاً ما قدرة أكبر على السمّية في السلسلة الغذائية. وأظهرت بعض الدراسات إمكانية حدوث التراكم البيولوجي بالنسبة للنويدات المشعّة السمّية والملوّثات المعدنية، مثل البولونيوم والسلنيوم والزنك والكادميوم.

وتكشّف أن المعادن التي تستهدف البروتينات في الكائنات الحيّة هي التي يبدو من المحتمل أكثر أن تتراكم بيولوجياً، غير أنه ما زالت غير مُتاحة حتى الآن أية عملية تقييم منهجية بما يكفل تقييم التراكم البيولوجي لمختلف المعادن في السلاسل الغذائية البحرية. وقد بدأ مختبر البيئة البحرية التابع للوكالة، مستخدماً المقتفيات الإشعاعية، في استقصاءات تتناول طائفة من المعادن بهدف قياس احتمالات التراكم البيولوجي لتلك المعادن في السلاسل الغذائية البحرية المختلفة.

حاء-٢-٤- كشف دورات الكربون باستخدام التحليلات النظيرية لمركبات معيّنة

١١٨- تحتوي المحيطات على كميات من ثاني أكسيد الكربون تزيد ٥٠ مثلاً على كمية ثاني أكسيد الكربون الموجودة في الغلاف الجوي وهي تسحب سنوياً كمية تتراوح نسبتها بين ٣٠% إلى ٤٠% من ثاني أكسيد الكربون الذي يولّده البشر من جراء حرق الوقود الأحفوري. وتؤدي المحيطات، بالتالي، دوراً محورياً في توازن كتلة الكربون عالمياً. ومكّنت نظائر الكربون (الكربون-١٤ والكربون-١٣) علماء الكيمياء الأرضية من تتّبع دورات ثاني أكسيد الكربون العالمية وستكون تلك التقنيات ذات قيمة في تقييم خيارات التخفيف في هذا الصدد مستقبلاً. وقد نجح الكيميائيون في مجال النظائر في تصغير ودمج تقنيات نظائر الكربون تلك في صلب الفصل الكروماتوغرافي الغازي المشترك مع قياس الطيف الكتلي النسبي النظيري (GC-IRMS)، ما جعل من الممكن إجراء التحاليل لنسب نظائر الكربون في جزء حجمه أقل من واحد في المليون من غرام واحد من مركب عضوي؛ وبذلك يتسنى تحديد هوية عدد أكبر بكثير من مصادر ومسارات ومصائر المركبات والملوثات العضوية الموجودة في البيئة.