IAEA
تسخير الذرة من أجل السلام: الخمسون سنة الأولى
1957–2007

المؤتمـــر العـــام

GC(51)/INF/3
Date: 5 July 2007

General Distribution
Arabic
Original: English

الدورة العادية الحادية والخمسون

البند ١٧ من جدول الأعمال المؤقت
(الوثيقة GC(51)/1)

استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٧

تقرير من المدير العام

موجز

- استجابة لطلبات الدول الأعضاء، تعد الأمانة كل عام *استعراضاً* شاملاً *للتكنولوجيا النووية*، ويسلط التقرير الراهن الضوء على أبرز التطورات التي طرأت أساساً في عام ٢٠٠٦ .
- *يجري استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٧ 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. وتتوفر معلومات إضافية مرتبطة باستعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٧ على موقع الوكالة الإلكتروني (www.iaea.org) باللغة الإنجليزية حول التقدم المحرز في تطوير التصاميم والتكنولوجيات للمفاعلات الابتكارية الصغيرة والمتوسطة الحجم؛ والاتجاهات المتعلقة بالوقود النووي المستخدم في مفاعلات القوى؛ والتنمية المستدامة: الطريق إلى دورة العام ٢٠٠٧ للجنة المعنية بالتنمية المستدامة (CSD-15)؛ وتطوير مواد مقاومة للإشعاعات تستخدم في بنى قلوب المفاعلات؛ والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية: إنتاجها وتوافرها؛ وجدوى استخدام المياه في الزراعة: دور التقنيات النووية والنظيرية؛ واستخدام النظائر لفهم المحيطات والتغيرات المناخية.
- ويمكن أيضاً الاطلاع على معلومات عن أنشطة الوكالة المتعلقة بالعلوم والتكنولوجيا النووية في *التقرير السنوي لعام ٢٠٠٦* (الوثيقة GC(51)/5)، خاصة في القسم الذي يتناول "التكنولوجيا"، وفي *تقرير التعاون التقني لعام ٢٠٠٦* (الوثيقة GC(51)/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.

المحتويات

موجز جامع
ألف- تطبيقات القوى ٣
ألف-١- القوى النووية اليوم ٣
ألف-٢- النمو المتوقّع بشأن القوى النووية ٦
ألف-٣- المرحلة الاستهلالية لدورة الوقود ٨
ألف-٤- الوقود المستهلك وإعادة معالجته ١٠
ألف-٥- النفايات والإخراج من الخدمة ١١
ألف-٦- العوامل الأخرى التي تؤثّر في مستقبل القوى النووية ١٢
ألف-٦-١- التنمية المستدامة وتغير المناخ ١٢
ألف-٦-٢- الجوانب الاقتصادية ١٣
ألف-٦-٣- الأمان ١٣
ألف-٦-٤- مقاومة الانتشار ١٤
باء- الانشطار والاندماج المتقدّمان ١٥
باء-١- الانشطار المتقدم ١٥
باء-١-١- مفاعلات الماء الخفيف ١٥
باء-١-٢- مفاعلات الماء الثقيل ١٦
باء-١-٣- المفاعلات المبرَّدة بالغاز ١٧
باء-١-٤- المفاعلات السريعة المبرّدة بفلزات سائلة ١٧
باء-١-٥- النظم المدفوعة بواسطة المُعجّلات ١٨
باء-١-٦- المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (إنبرو) والمحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات ١٩
باء-٢- الاندماج ٢٠
جيم- البيانات الذرية والنووية ٢١
دال- التطبيقات الخاصة بالمعجلات ومفاعلات البحوث ٢٢
دال-١- المُعجّلات ٢٢
دال-٢- مفاعلات البحوث ٢٢
هاء- تطبيقات النظائر المشعة، والتكنولوجيا الإشعاعية ٢٥
هاء-١- تطبيقات النظائر المشعّة في مجال الصحة ٢٥
هاء-٢- تكنولوجيا الإشعاعات ٢٦
هاء-٢-١- التطعيم الإشعاعي للبوليمرات ٢٦
واو- التقنيات النووية في مجال الأغذية والزراعة ٢٨
واو-١- استخدام النظائر في التربة من أجل تتبُّع أثر الملوثات ٢٨
واو-٢- تحسين المحاصيل ٢٩
واو-٣- تحسين إنتاجية الماشية والصحة البيطرية ٢٩

واو-٤- استخدام تقنية الحشرة العقيمة لمكافحة الآفات الحشرية ٣٠
واو-٤-١- استخدام تقنية الحشرة العقيمة لمكافحة ذباب الفاكهة ٣٠
واو-٤-٢- استخدام تقنية الحشرة العقيمة لمكافحة الدودة الحلزونية ٣١
واو-٤-٣- استخدام تقنية الحشرة العقيمة لمكافحة البعوض ٣١
واو-٥- جودة الأغذية وأمانها ٣٢
واو-٥-١- رصد الأمان: قياس مخلفات مبيدات الآفات ٣٢
زاي- الصحة البشرية ٣٢
زاي-١- جوانب التقدم في الطب النووي لأمراض القلب ٣٢
زاي-٢- الحالة الراهنة للعلاج بالأشعة ٣٣
زاي-٣- التغذية ٣٤
حاء- المياه والبيئة ٣٥
حاء-١- استخدام البيانات النظيرية لإدارة الموارد المائية ٣٥
حاء-٢- البيئتان البحرية والبرية ٣٦
حاء-٢-١- التحليل المجهري للجسيمات المشعة في الرواسب البحرية ٣٦
حاء-٢-٢- استخدام المقتفيات الإشعاعية لدعم أمان الأغذية البحرية ٣٦
حاء-٣- رصد تلوث الهواء ٣٧
حاء-٤- الرادون الموجود في الغلاف الجوي ٣٨
حاء-٥- المواد المرجعية والجودة التحليلية ٣٨

استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٧

تقرير من المدير العام

موجز جامع

١- كان عام ٢٠٠٦ عاماً تزايدت فيه الأنشطة المضطلع بها في مجال القوى النووية. فقد أعلن في بعض الدول عن خطط توسعية كبيرة؛ في حين أعلن في بعض الدول الأخرى عن خطط ترمي إلى البدء في استخدام القوى النووية. وقد بدأ العام بإعلانات صادرة عن كل من الاتحاد الروسي والولايات المتحدة الأمريكية بشأن اقتراحات تتعلق بدورة الوقود، وذلك تحسباً لتوسع ملموس تشهده القوى النووية في شتى أنحاء العالم. وفي كانون الثاني/يناير 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 اقترحت الولايات المتحدة إرساء شراكة عالمية في مجال الطاقة النووية تهدف إلى تطوير تكنولوجيات إعادة تدوير متقدمة لا تقوم بفصل البلوتونيوم النقي، 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 مع احتياجات البلدان النامية.

٢- إن التوقعات الجديدة المتوسطة الأجل التي أجرتها الوكالة الدولية للطاقة الذرية والوكالة الدولية للطاقة تقدم صورة تفيد بوجود فرص تسمح بتوسع نووي ملموس، لكن في ظل بقاء أوجه عدم تيقن ملحوظة. وقد أعلن عدد من الدول عن خطط توسع كبير: الاتحاد الروسي وباكستان وجمهورية كوريا والصين والهند واليابان. وأعلنت شركات واتحادات شركات أمريكية عن طلبات ترخيص يزمع تقديمها بشأن قرابة ٢٥ مفاعلاً جديداً. وفي كندا قدم طلبان بشأن تجهيز مواقع. وأجرت المملكة المتحدة استعراضاً كبيراً للطاقة خلص إلى أن من شأن إنشاء محطات قوى نووية جديدة أن يسهم إسهاماً ملموساً في الوفاء بالأهداف التي تنشدها سياسات المملكة في مجال الطاقة. وأجرت مؤسسات في استونيا ولاتفيا وليتوانيا دراسة جدوى مشتركة بشأن إنشاء محطة قوى نووية جديدة تخدم ثلاثة البلدان معاً، وقد أعلنت إندونيسيا وبيلاروس وتركيا ومصر ونيجيريا عن خطوات تتخذها صوب إنشاء أولى محطات القوى النووية الخاصة بها.

٣- وعلى صعيد العالم كله، كان هناك، في نهاية عام ٢٠٠٦، ٤٣٥ مفاعل قوى نووية قيد التشغيل تولد ما مجموعه ٣٧٠ جيجاوات كهربائي. وخلال العام المذكور، رُبط بالشبكات الكهربائية مفاعلان جديدان في حين سُحبت ثمانية مفاعلات، مما أدى إلى زيادة صافية طفيفة في القدرة العالمية لتوليد الكهرباء النووية خلال عام ٢٠٠٦ بلغت، مع مراعاة ارتفاع مستويات تشغيل المفاعلات القائمة، ١٤٤٣ ميجاوات كهربائي. وبدأت أعمال تشييد ثلاث منشآت جديدة؛ علاوة على استئناف العمل بنشاط في تشييد محطة في الاتحاد الروسي، فوصل بالتالي إجمالي قدرة ما كان يجري تشييده في نهاية العام إلى ٢٣ ٦٤١ ميجاوات كهربائي.

٤- وجزئياً بسبب ارتفاع التوقعات المعقودة على القوى النووية واصلت أسعار الدفع الفوري لليورانيوم ارتفاعها في عام ٢٠٠٦، حيث بلغت تسع مرات ما كانت عليه من انخفاض تاريخي في عام ٢٠٠٠. وارتفعت نفقات الاستكشاف السنوية ما يزيد على ثلاثة أمثالها منذ عام ٢٠٠١.

٥- وافتتحت البرازيل مرفق إثرائها الجديد Resende؛ وبدأت أعمال تشييد مرفق الإثراء الوطني في الولايات المتحدة ومحطة الإثراء Georges Besse II في فرنسا. وفي آذار/مارس بدأت الاختبارات النهائية المتعلقة بإدخال مصنع روكاشا الجديد لإعادة المعالجة في الخدمة.

٦- أما المستودع الجيولوجي الوحيد العامل في العالم، وهو المحطة التجريبية لعزل النفايات في الولايات المتحدة، فقد حصل من وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة على أول إعادة ترخيص له منذ افتتاحه في عام ١٩٩٩. وسنت فرنسا تشريعات جديدة حددت أهدافاً لعملية استصدار ترخيص لمستودع جيولوجي عميق بغرض افتتاحه في عام ٢٠٢٥، واستصدار ترخيص لمفاعل نموذجي بحلول عام ٢٠٢٠ يتولى أداء عدة مهام منها اختبار تحويل نظائر مشعة طويلة العمر. وقدمت شركة SKB السويدية المختصة بالتصرف في الوقود النووي والنفايات النووية طلباً بشأن إنشاء محطة تغليف للنفايات في أوسكارشامن، باعتبار ذلك خطوة أولى على طريق التخلص النهائي من النفايات.

٧- وفيما يخص تصميمات المفاعلات المتقدمة اعتمدت اللجنة الرقابية النووية الأمريكية في عام ٢٠٠٦ تصميماً لوحدة من طراز AP-1000 أعدته شركة وستنجهاوس ويتسم بأنه مجهز بنظم أمان خاملة. وارتفع عدد أعضاء مشروع الوكالة الدولي المعني بالمفاعلات النووية الابتكارية ودورات الوقود النووي الابتكارية (مشروع انبرو) إلى ٢٨ عضواً حيث انضم إليه كل من بيلاروس وسلوفاكيا وكازاخستان واليابان؛ كما ارتفع عدد أعضاء المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات إلى ثلاثة عشر عضواً بعدما انضمت إليه الصين وروسيا. وقد دخل مشروع انبرو مرحلته الثانية بعد استكمال منهجية يمكن للدول الأعضاء أن تستخدمها في تقييم واختيار نظم طاقة نووية ابتكارية تمهيداً لتطويرها. وتسعى المرحلة الثانية من هذا المشروع إلى استكشاف نهج مؤسسية وبنيوية ابتكارية تكفل الأخذ بنظم طاقة نووية ابتكارية وإجراء تقييمات مشتركة لتلك النظم وتنفيذ مشاريع تتعاون فيها الدول الأعضاء مع بعضها البعض. وفي عام ٢٠٠٦ وقع أعضاء المحفل الدولي المذكور أعلاه أربعة "ترتيبات نظم" تشمل التعاون بشأن نظم المفاعلات السريعة المبردة بالصوديوم، ونظم المفاعلات ذات درجات الحرارة الشديدة الارتفاع المبردة بالغاز، ونظم المفاعلات فوق الحرجة المبردة بالماء. وترسي هذه الاتفاقات الإطار الذي يتيح للبلدان الأعضاء في المحفل أن تشارك في إجراء بحوث تطويرية تعاونية بشأن شتى التكنولوجيات.

٨- وتتزايد الطلبات بشأن توفير قواعد بيانات ذرية ونووية أكثر دقة من أجل دعم التطبيقات النووية المتعلقة بالبحوث والطاقة وبإنتاج النويدات المشعة العلاجية المستخدمة في الطب النووي. وتتزايد تطبيقات النظائر المشعة المستخدمة في مجال الرعاية الصحية؛ حيث يشتد الطلب على الأجهزة الباعثة للبوزيترون المستخدمة في التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني.

٩- وقد تجلى الاهتمام بالتكنولوجيا الإشعاعية خلال ثلاثة اجتماعات دولية رئيسية تناولت المعالجة الإشعاعية، والكيمياء الإشعاعية، وإنتاج واستعمال البوليميرات. إن الزراعة الإشعاعية للبوليميرات تتيح تقنيات تصنيعية منخفضة التكلفة تصلح لطائفة واسعة من الاستخدامات، بدءً بخلايا الوقود وانتهاءً بالطب والتكنولوجيا الحيوية.

١٠- وما زالت التقنيات النووية والنظيرية تؤدي أدواراً هامة تتعلق بالعديد من الجوانب الغذائية والزراعية. فهناك توسع في استخدام النظائر من أجل تتبع أثر ملوثات التربة؛ مع الاستخدام الخاص للنويدات المشعة المتساقطة منذ حقبة تجارب الأسلحة. أما تقنيات الحث الطفري المستخدمة بغرض استيلاد النباتات فتستفيد من المنهجية المحسنة المتعلقة بمراحل الجينوم، مما يفسح فرصاً أمام زيادة عدد سلالات المحاصيل القادرة على مقاومة الظروف المناخية الشاقة. وتتحسن إنتاجية الماشية عبر استخدام نظائر مستقرة من أجل تحسين فهم امتصاص الحيوانات للمغذيات وتحسين نظم الأعلاف على الوجه الأمثل. ويتسع نطاق استخدام تقنية الحشرة العقيمة؛ كما وردت تقارير تفيد بإحراز أوجه نجاح وبإنشاء مرافق جديدة من أجل إنتاج الذباب العقيم.

١١- وجار إحراز تقدم في مجال العلاج النووي لأمراض القلب عبر استعمال تقنيات تصوير جديدة تتيح الآن تقدير شدة الأمراض في مراحل مبكرة جداً. وتؤدي تلك التقنيات التصويرية عند استخدامها مع تقنيات حاسوبية متقدمة إلى الإسراع بتحقيق تطورات في مجال العلاج الإشعاعي على نحو يوفر مزايا عديدة منها القدرة على التحديد الدقيق للجرعات التي تعطى لأعضاء الجسم التي تتحرك عندما يتنفّس المريض وتقليص الجرعات التي تتلقاها الأنسجة السليمة القريبة منها. وفي مجال التغذية تستفيد البرامج التي تستخدم تقنيات النظائر المستقرة من تزايد فرص الحصول على معدات تحليلية يمكن استعمالها في تقدير مكونات الجسم وتحديد نسب امتصاص الحليب البشري عند الأطفال الرضع.

١٢- إن تحسين فهم دورة الوقود عنصر رئيسي في إدارة الموارد المائية على نحو مستدام. أما قياس النظائر الموجودة في شتى أنواع المياه المتباينة المنشأ (مياه الأمطار، والمياه الجوفية، الخ) فإنه يساعد على فهم دورة المياه والمناخ؛ لذا تتضاعف الجهود الوطنية المبذولة من أجل توسيع رقعة المتاح من البيانات النظيرية. وستفضي تلك الجهود إلى المضي في تقوية الشبكة العالمية لاستخدام النظائر في دراسة الأمطار، وهي الشبكة التي توفر أداة تكفل تفسير البيانات النظيرية الوطنية أو المحلية.

١٣- وفي الدراسات البيئية توفر القافيات الإشعاعية أداة فعالة التكلفة تكفل تحليل امتصاص الكائنات البحرية للمعادن السامة، مما يساهم في الدراسات المتعلقة بأمان الأغذية البحرية وفي إدخال تحسينات تتعلق بجودتها. كما تستخدم الدراسات المتعلقة بملوثات الهواء، الرامية إلى تحديد مكونات ومصادر تلك الملوثات، تقنيات نووية معينة؛ منها مثلاً التحليل بفلورة الأشعة السينية والتحليل بالتنشيط النيوتروني؛ وهناك توسع في استخدام قياسات غاز الرادون المشع الموجود في الطبيعة من أجل دراسة الغلاف الجوي، مما يسهم في البرنامج العالمي لمراقبة الغلاف الجوي التابع للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية.

ألف- تطبيقات القوى

ألف-١- القوى النووية اليوم

١٤- على صعيد العالم كله كان هناك ٤٣٥ مفاعل قوى نووية قيد التشغيل في نهاية عام ٢٠٠٦، ويبلغ إجمالي قدرتها ٣٧٠ جيجا وات كهربائي (انظر الجدول ألف-١). وفي عام ٢٠٠٥ كانت القوى النووية تولد قرابة ١٥% من حجم الكهرباء في العالم.

١٥- وفي عام ٢٠٠٦ ربط بالشبكة مفاعلان جديدان، أحدهما في الصين والآخر في الهند. والرقم المناظر لذلك في عام ٢٠٠٥ هو أربعة مفاعلات جديدة (علاوة على إعادة ربط مفاعل واحد كان قد أخرج من الخدمة) مقابل خمس مفاعلات جديدة في عام ٢٠٠٤ (علاوة على إعادة ربط مفاعل واحد). وشهد عام ٢٠٠٦ إحالة ثمانية مفاعلات قوى نووية إلى التقاعد: مفاعلين في بلغاريا، وأربعة مفاعلات في المملكة المتحدة، ومفاعل واحد في كل من سلوفينيا وأسبانيا. وهذه الأرقام تقابلها حالتا إحالة إلى التقاعد في ٢٠٠٥ وخمس حالات في ٢٠٠٤. ومع مراعاة ارتفاع مستويات تشغيل المفاعلات القائمة، فقد نتج عن ذلك زيادة صافية طفيفة في القدرة العالمية على توليد الكهرباء النووية في ٢٠٠٦ بلغت ١٤٤٣ ميجاوات كهربائي.

١٦- وشهد عام ٢٠٠٦ البدء في تشييد ثلاث منشآت: لينغاو -٤ (١٠٠٠ ميجاوات كهربائي) وكينشان الثاني-٣ (٦١٠ ميجاوات كهربائي) في الصين، وشين كوري-١ (٩٦٠ ميجاوات كهربائي) في جمهورية كوريا. وبالإضافة إلى ذلك تم بنشاط استئناف أعمال التشييد في الوحدة بلوبارسك-٤ في روسيا.

١٧- وعلى التقابل مع المنشآت الثلاث التي بدأت في عام ٢٠٠٦ ومع استئناف تشييد الوحدة بلوبارسك-٤ شهد عام ٢٠٠٥ ثلاث منشآت جديدة علاوة على استئناف العمل في تشييد مفاعلين. أما عام ٢٠٠٤ فقد شهد حالتي تشييد جديدتين علاوة على استئناف العمل في تشييد مفاعلين آخرين.

١٨- وما زالت تتركز في آسيا عمليات التوسع الجارية حالياً، وكذلك احتمالات النمو في الأجل القصير والطويل. فكما يتضح في الجدول ألف- ١ كان يقع في آسيا ١٧ مفاعلا من بين المفاعلات الجاري بناؤها في العالم كله والبالغ عددها ٢٩ مفاعلا. وبحلول نهاية العام، كان يقع في آسيا ٢٦ مفاعلا من بين آخر ٣٦ مفاعلا تم ربطها بالشبكة.

١٩- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، وافقت الهيئة الرقابية النووية على تمديد ثمانية تراخيص أخرى 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 ٤٧ ترخيصاً في نهاية العام. وفي هولندا وافقت الحكومة على تمديد رخصة محطة بورسل للقوى النووية لفترة ٢٠ سنة، مما يصل بإجمالي عمر تشغيلها المرخص به إلى ٦٠ سنة. كما وضعت الحكومة شروطاً معينة للمحطات النووية الجديدة؛ الأمر الذي يشكل تحولاً عن سياسات الإغلاق التدريجي لمحطات القوى النووية التي كان البلد يتبعها من قبل. ووافقت هيئة الأمان النووي الفرنسية، بشروط معينة، على الترخيص بتشغيل المفاعلات العشرين التابعة لهيئة كهرباء فرنسا، وهي مفاعلات ماء مضغوط تبلغ قدرتها ١ ٣٠٠ ميجاوات كهربائي، لمدة عشر سنوات إضافية؛ مما يصل بإجمالي فترة التشغيل المرخص بها حالياً إلى ٣٠ سنة. وفي كندا حصل مفاعل بوان ليبرو على تمديد لرخصة تشغيله لفترة ثلاث سنوات، أي حتى عام ٢٠١١.

الجدول ألف-١- مفاعلات القوى النووية الجاري تشغيلها أو تشييدها في العالم (حتى ١ كانون الثاني/يناير ٢٠٠٧)[أ]

البلد	المفاعلات الجاري تشغيلها		المفاعلات الجاري تشييدها		إمدادات الكهرباء النووية في عام ٢٠٠٦		إجمالي الخبرة التشغيلية طوال عام ٢٠٠٦	
	عدد الوحدات	المجموع بالميجاوات كهربائي	عدد الوحدات	المجموع بالميجاوات كهربائي	تيراوات-ساعة	% من المجموع	السنوات	الشهور
الاتحاد الروسي	٣١	٢١ ٧٤٣	٥	٤ ٥٢٥	١٤٤,٦	١٥,٩	٩٠١	٤
الأرجنتين	٢	٩٣٥	١	٦٩٢	٧,٢	٦,٩	٥٦	٧
أرمينيا	١	٣٧٦			٢,٤	٤٢,٠	٣٢	٨
أسبانيا	٨	٧ ٤٥٠			٥٧,٤	١٩,٨	٢٤٥	٦
ألمانيا	١٧	٢٠ ٣٣٩			١٥٨,٧	٣١,٨	٧٠٠	٥
أوكرانيا	١٥	١٣ ١٠٧	٢	١ ٩٠٠	٨٤,٩	٤٧,٥	٣٢٣	٦
إيران (جمهورية-الاسلامية)			١	٩١٥				
باكستان	٢	٤٢٥	١	٣٠٠	٢,٦	٢,٧	٤١	١٠
البرازيل	٢	١ ٩٠١			١٣,٠	٣,٣	٣١	٣
بلجيكا	٧	٥ ٨٢٤			٤٤,٣	٥٤,٤	٢١٢	٧
بلغاريا	٢	١ ٩٠٦	٢	١ ٩٠٦	١٨,٢	٤٣,٦	١٤١	٣
الجمهورية التشيكية	٦	٣ ٣٢٣			٢٤,٥	٣١,٥	٩٢	١٠
جمهورية كوريا	٢٠	١٧ ٤٥٤	١	٩٦٠	١٤١,٢	٣٨,٦	٢٧٩	٨
جنوب أفريقيا	٢	١ ٨٠٠			١٠,١	٤,٤	٤٤	٣
رومانيا	١	٦٥٥	١	٦٥٥	٥,٣	٩,٠	١٠	٦
سلوفاكيا	٥	٢ ٠٣٤			١٦,٦	٥٧,٢	١١٨	٧
سلوفينيا	١	٦٦٦			٥,٣	٤٠,٣	٢٥	٣
السويد	١٠	٩ ٠٩٧			٦٥,١	٤٨,٠	٣٤٢	٦
سويسرا	٥	٣ ٢٢٠			٢٦,٤	٣٧,٤	١٥٨	١٠
الصين	١٠	٧ ٥٧٢	٤	٣ ٦١٠	٥١,٨	١,٩	٦٦	٧
فرنسا	٥٩	٦٣ ٢٦٠			٤٢٩,٨	٧٨,١	١ ٥٢٣	٢
فنلندا	٤	٢ ٦٩٦	١	١ ٦٠٠	٢٢,٠	٢٨,٠	١١١	٤
كندا	١٨	١٢ ٦١٠			٩٢,٤	١٥,٨	٥٢٨	١
ليتوانيا	١	١ ١٨٥			٧,٩	٧٢,٣	٤٠	٦
المجر	٤	١ ٧٥٥			١٢,٥	٣٧,٧	٨٦	٢
المكسيك	٢	١ ٣٦٠			١٠,٤	٤,٩	٢٩	١١
المملكة االمتحدة	١٩	١٠ ٩٦٥			٦٩,٤	١٨,٤	١ ٤٠٠	٨
الهند	١٦	٣ ٥٧٧	٧	٣ ١١٢	١٥,٦	٢,٦	٢٦٧	٧
هولندا	١	٤٨٢			٣,٣	٣,٥	٦٢	٠
الولايات المتحدة الأمريكية	١٠٣	٩٩ ٢٥٧			٧٨٨,٣	١٩,٤	٣ ١٨٨	٢
اليابان	٥٥	٤٧ ٥٨٧	١	٨٦٦	٢٩١,٥	٣٠,٠	١ ٢٧٦	٨
المجموع [ب ج]	٤٣٥	٣٦٩ ٦٨٢	٢٩	٢٣ ٦٤١	٢ ٦٦٠,٩	١٥٪	١٢ ٥٩٩	١

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:

ـــ ٦ وحدات، ٤٩٢١ ميجاوات (كهربائي)، جار تشغيلها؛ ووحدتان، ٢٦٠٠ ميجاوات (كهربائي)، جار بناؤهما؛

ـــ ٣٨,٣ تيراوات ساعة من الكهرباء المولدة نووياً، بما يمثل ١٩,٥٪ من إجمالي حجم الكهرباء المولدة في عام ٢٠٠٦؛

ـــ خبرة تشغيلية اجمالية مجموعها ١٥٢ سنة وشهر واحد في نهاية عام ٢٠٠٦.

ج- تشمل الخبرة التشغيلية الإجمالية المحطات التي تم إغلاقها في إيطاليا (٨١ عاماً) وكازاخستان (٢٥ عاماً و ١٠ أشهر).

ألف-٢- النمو المتوقّع بشأن القوى النووية

٢٠- في عام ٢٠٠٦، تم نشر توقّعات مستوفاة بشأن التوسّع في مجال القوى النووية حتى نهاية عام ٢٠٣٠ من جانب الوكالة الدولية للطاقة الذرية (الوكالة)[١]، ومن جانب الوكالة الدولية للطاقة (IEA) في منشورها المعنون *استشراف الطاقة العالمية لعام ٢٠٠٦* (*WEO 2006*)[٢]. وتوفّر الوكالة الدولية للطاقة الذرية توقّعات عالية ومنخفضة بشأن القوى النووية. ويتضمّن استشراف الطاقة العالمية لعام ٢٠٠٦ سيناريوها مرجعياً بالإضافة إلى سيناريو بديل يفترض ضرورة اتّخاذ تدابير إضافية من أجل تعزيز أمن الطاقة والتخفيف من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

٢١- وفي عام ٢٠٠٥، نشرت الوكالة الدولية للطاقة دراسة إضافية تتضمّن سبعة سيناريوهات تمتد آجالها حتى عام ٢٠٥٠[٣]. وتتضمّن هذه السيناريوهات سيناريو قاعدياً أساسياً وستة "سيناريوهات مرتبطة بتعجيل التكنولوجيا" (ACTs). والسيناريوهات المرتبطة بتعجيل التكنولوجيا تدرس خيارات تكنولوجية من شأنها أن تحدّ من النمو العالمي في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون واستهلاك النفط أو أن تتجّه بهما اتجّاها معاكساً. وبالتالي، فإن المنشورات الثلاثة تتضمّن معاً أحد عشر سيناريوها. ويرد في الشكل ألف-١ موجزاً لتوقّعاتها بشأن القوى النووية.

٢٢- ففي الشكل ألف-١، يفترض التوقّع المنخفض للوكالة عدم بناء محطات قوى نووية جديدة على الإطلاق خلاف ما هو قيد التشييد أو ما هو مُعتزم تشييده منها على نحو مؤكد في الوقت الحاضر، وإحالة محطات القوى النووية القديمة إلى التقاعد وفقاً للجدول الزمني المحدّد. وتوليد الكهرباء نوويا في هذا التوقّع ينمو إلى ما يقارب ٣١٠٠ تيراوات ساعة في عام ٢٠٢٠ (أي بنسبة ١,١% سنوياً) ويظلّ أساساً على حاله بدون تغيير حتى نهاية عام ٢٠٣٠. والتوقع المرتفع للوكالة يأخذ في الحسبان عدداً إضافياً معقولاً من المشاريع النووية المُعتزمة والمقترحة يتجاوز عدد المشاريع التي من المؤكد دخولها في طور الإعداد. وهذا التوقّع يبيّن نمواً مطّرداً يصل إلى ٥٠٤٠ تيراوات ساعة في عام ٢٠٣٠ (أي بنسبة ٢,٦% سنوياً).

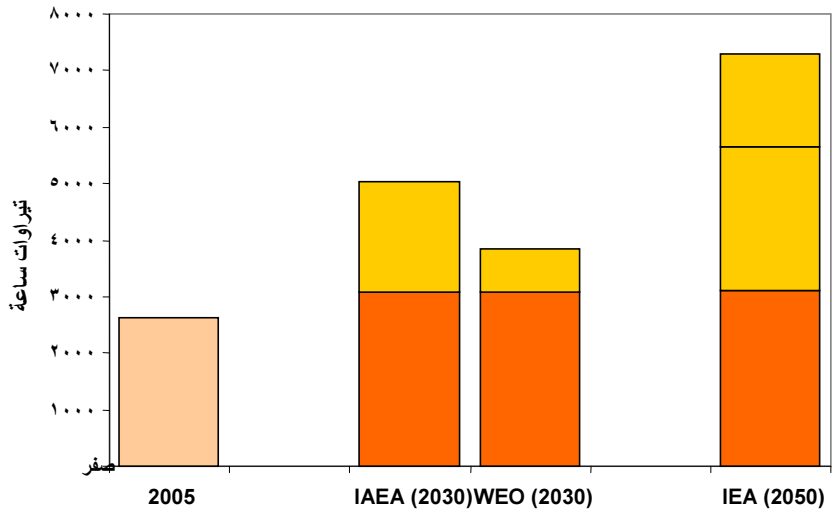
٢٣- وهذه الأرقام الإجمالية العالمية تخفي في طياتها فوارق إقليمية، لا سيما فيما يتعلق بالتوقّع المنخفض. فتوليد الكهرباء نووياً في أوروبا الغربية في التوقّع المنخفض يهبط بنسبة ٦٠% تقريباً في الفترة ما بين عام ٢٠٠٥ وعام ٢٠٣٠، حيث إن حالات الإحالة إلى التقاعد المتوقعّة تتخطّى بثبات حالات التشييد الجديدة. بيد أن توليد القوى النووية في الشرق الأقصى ينمو بنسبة ٨٠% وفي أوروبا الشرقية بنسبة ٥٠% تقريباً. وفي التوقّع المرتفع، ينمو التوليد النووي في جميع المناطق. وفي كلا التوقّعين، تكون حالات التشييد الجديدة على أشدها في الشرق الأقصى، وأوروبا الشرقية، وأمريكا الشمالية، والشرق الأوسط/جنوب شرق آسيا، وفقاً لهذا الترتيب.

---

١ الوكالة الدولية للطاقة الذرية، المنشور المعنون *التقديرات بشأن الطاقة والكهرباء والقوى النووية للفترة حتى عام ٢٠٣٠*؛ سلسلة البيانات المرجعية – العدد ١ (RDS-1)، الوكالة، فيينا، تموز/يولية، ٢٠٠٦.

٢ الوكالة الدولية للطاقة، المنشور المعنون استشراف الطاقة العالمية لعام ٢٠٠٦؛ الوكالة الدولية للطاقة، باريس، ٢٠٠٦.

٣ الوكالة الدولية للطاقة، نظرات في تكنولوجيا الطاقة: سيناريوهاتها واستراتيجياتها حتى عام ٢٠٥٠، الوكالة الدولية للطاقة، باريس، ٢٠٠٦.



الشكل ألف-١ - التوليد العالمي للكهرباء نووياً في عام ٢٠٠٥ وسلاسل التوقّعات للفترة من عام ٢٠٣٠ إلى عام ٢٠٥٠ حسب استقائها من ثلاث دراسات (اللون البرتقالي =منخفض، واللون الأصفر=مرتفع، واللون البني الفاتح=التاريخ).

٢٤- والسيناريو المرجعي لمنشور "استشراف الطاقة العالمية" هو سيناريو يقوم على بقاء الحال على ما هو عليه، أي يفترض استمرار السياسات والاتّجاهات الراهنة. والتوقّع بشأن توليد الكهرباء نووياً في هذا السيناريو هو مماثل تقريباً لما في التوقّع المنخفض للوكالة. والتدابير في السيناريو البديل التي تتوخّى تعزيز أمن الطاقة والتخفيف من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون يُتوقّع أن ترفع مستوى توليد الكهرباء نووياً إنما ليس – كما هو ظاهر في الشكل – إلى مستوى كافٍ يضاهي التوقّع المرتفع للوكالة.

٢٥- وبالنسبة لسيناريوهات الوكالة الدولية للطاقة في عام ٢٠٥٠، يتحدّد الطرف المنخفض من السلسلة – على الجانب الأيمن من الشكل ألف-١ – بالسيناريو القاعدي الأساسي وبموجب "سيناريو نووي منخفض". وهذان السيناريوهان هما أساساً امتدادان للسيناريو المرجعي لمنشور "استشراف الطاقة العالمية لعام ٢٠٠٦". والطرف المرتفع من السلسلة يتحدّد بمقتضى سيناريو يتوخّى "إضافات للتكنولوجيا" (TECH Plus) يفترض تعجيل تقليصات في التكاليف المتعلقة بخلايا الوقود، ومصادر الطاقة المتجدّدة، وأنواع الوقود البيولوجي، والقوى النووية. ففي هذا السيناريو، يظلّ توليد الكهرباء نووياً ينمو حتى عام ٢٠٥٠ بنفس المعدّل بصورة أساسية كما في التوقّع المرتفع للوكالة، بحيث تصل حصّته في توليد الكهرباء عالمياً إلى نسبة ٢٢%. أما السيناريوهات الأربعة الأخرى للوكالة الدولية للطاقة فإنها تتجمّع حول مستوى الخط الأسود في الشكل، أي عند مستوى ٥٦٥٠ تيراوات ساعة، أو متوسط معدّل نمو نسبته ١,٧% مقارنةً بعام ٢٠٠٥.

٢٦- ولو أخذت هذه التوقّعات والسيناريوهات الجديدة مجتمعة، فإنها تعرض صورة تنطوي على فرص لتوسّع نووي كبير، لكنه توسّع يظلّ مشوباً بقدر كبير من عدم التيقن. ويوحي عدد من التطوّرات التي شهدها عام ٢٠٠٦ بأن تجدّد الاهتمام بالقوى النووية ربما أفضي في وقت من المعقول أن يكون قريباً إلى زيادات في حالات التشييد. وتتضمّن تلك التطوّرات خطط توسيع أعلن عنها في عام ٢٠٠٦ من جانب الاتحاد الروسي واليابان، بالإضافة إلى خطط توسيع سبق أن أعلنت عنها الصين والهند وجمهورية كوريا وباكستان. وهي تتضمّن أيضاً العدد الكبير من طلبات "الرخصة الموحّدة" التي أعلنت شركات واتّحادات شركات في الولايات المتحدة الأمريكية اعتزام تقديمها، وقد أفادت معاً عن زهاء ٢٥ مفاعلاً جديداً. وتتضمّن كذلك طلبيْن لتجهيز مواقع في كندا والاستنتاج الذي خلص إليه استعراض المملكة المتحدة للطاقة ومفاده أن استحداث محطات قوى

نووية جديدة يقدّم مساهمة ذات شأن في بلوغ أهداف سياسة الطاقة للمملكة المتحدة. وتتضمّن إلى جانب ذلك دراسة جدوى مشتركة استهلّتها مرافق في إستونيا ولاتفيا وليتوانيا بشأن إقامة محطة قوى نووية جديدة تخدم البلدان الثلاثة جميعها وإعلانات من جانب إندونيسيا وبيلاروس وتركيا ومصر ونيجيريا عن خطوات تعكف على اتّخاذها بشأن إقامة أولى محطاتها للقوى النووية.

ألف-٣- المرحلة الاستهلالية لدورة الوقود[٤]

٢٧- من بين الدوافع إلى تجدّد الاهتمام بالقوى النووية كون أسعار اليورانيوم في سوق التسليم الفوري واصلت تصاعدها في عام ٢٠٠٦، لتصل إلى ٧٢ دولاراً للرطل الواحد من أكسيد اليورانيوم الثماني في نهاية العام، مرتفعة بذلك أكثر من عشرة أمثال عن أدنى مستوى وصلت إليه في تاريخها في كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٠.[٥] وأخذت نفقات عمليات تطوير التنقيب واستكشاف المناجم تحذو حذو نفقات التنقيب فازدادت أكثر من ثلاث مرات في الفترة ما بين عام ٢٠٠١ وعام ٢٠٠٥.

٢٨- ويظهر آخر تقدير للموارد العالمية من اليورانيوم، المنشور من جانب وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي بالاشتراك مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية في عام ٢٠٠٦، تحت عنوان *اليورانيوم في عام ٢٠٠٥: موارده وإنتاجه والطلب عليه*، أنه في حين يُرجّح أن تكون موارد كبيرة من اليورانيوم متاحة، يُقدّر أنه ستلزم عمليات استكشاف واسعة للمناجم من أجل تحويل "اليورانيوم الموجود في الأرض إلى كعكة صفراء تُوضع في العلب". ويلخّص الجدول ألف-٢ العمر المحتمل لموارد اليورانيوم التقليدية العالمية. وبالنسبة لكلٍّ من دورة الوقود الراهنة المستخدمة لمرة واحدة لمفاعلات الماء الخفيف[٦] ودورة الوقود الخالصة للمفاعلات السريعة، يتضمن الجدول تقديرات لمدى دوام موارد اليورانيوم التقليدية، بافتراض أن يظل توليد الكهرباء عن طريق القوى النووية عند مستواه كما في عام ٢٠٠٤.

الجدول ألف-٢: توافر اليورانيوم مقدّراً بالسنوات لأغراض القوى النووية[٦]

المفاعلات/دورة الوقود	توليد الكهرباء النووية العالمية باستخدام الموارد التقليدية المُكتشفة في عام ٢٠٠٤ مقدراً بالسنوات	توليد الكهرباء النووية العالمية باستخدام الموارد التقليدية الإجمالية في عام ٢٠٠٤ مقدراً بالسنوات	توليد الكهرباء النووية العالمية باستخدام إجمالي الموارد التقليدية وغير التقليدية في عام ٢٠٠٤ مقدراً بالسنوات
دورة الوقود الراهنة المستخدمة لمرة واحدة لمفاعلات الماء الخفيف	٨٥	٢٧٠	٦٧٥
دورة وقود خالصة للمفاعلات السريعة مع إعادة التدوير	٦٠٠٠-٥٠٠٠	١٩ ٠٠٠-١٦ ٠٠٠	٤٧ ٠٠٠-٤٠ ٠٠٠

٤ توجد معلومات إضافية متاحة على الموقع IAEA.org تحت عنوان *'استعراض التكنولوجيا النووية ٢٠٠٧"* وتوجد معلومات أكثر تفصيلاً عن أنشطة الوكالة بشأن المرحلة الاستهلالية لدورة الوقود متاحة في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي للوكالة وذلك على الموقع (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/).

٥ بيد أن معظم اليورانيوم يُشترى على أساس عقود طويلة الأجل؛ وفي الفترة ما بين عام ٢٠٠ وعام ٢٠٠٥، لم تزدد أسعار اليورانيوم على المديين المتوسط والطويل إلا بنسبة تراوحت بين ٢٠ و ٤٠%.

٦ القيم الواردة في الصفّ الأخير من الجدول ألف-٢ تفترض أن المفاعلات السريعة تتيح في الأساس لجميع اليورانيوم-٢٣٨ بأن يستولد البلوتونيوم-٢٣٩ لأغراض الوقود، باستثناء حدوث فواقد طفيفة من المواد الانشطارية أثناء إعادة المعالجة وصنع الوقود. والقيم الناتجة عن ذلك هي أعلى من التقديرات المنشورة في جدول مماثل وارد في المنشور المعنون *اليورانيوم في عام ٢٠٠٥: موارده وإنتاجه والطلب عليه*. وتفترض التقديرات الأخيرة أن ليس جميع اليورانيوم-٢٣٨ يستولد بلوتونيوم-٢٣٩ لأغراض الوقود.

٢٩- كان إثراء اليورانيوم موطن تركيز انصب عليه اهتمام دولي متزايد في عام ٢٠٠٦. وكما بالنسبة لليورانيوم، قفزت أسعار وحدات العمل اللازمة لفصل اليورانيوم - "وحدات الفصل" (SWUs) – حيث ارتفعت بنسبة ٤٥% تقريباً في الفترة ما بين عام ٢٠٠١ وعام ٢٠٠٦. ويُرجح أن يتجاوز طلب الأسواق في هذا الصدد مستويات القدرة المُعتزمة فيما بعد عام ٢٠١٣ بالتزامن مع الموعد المقرّر لانتهاء مفعول "الاتفاق المعقود بين حكومة الولايات المتحدة الأمريكية وحكومة الاتحاد الروسي بشأن التخلّص من اليورانيوم الشديد الإثراء المستخلص من الأسلحة النووية[٧]"، وربما في وقت أقرب من ذلك في حالة حدوث نمو سريع على المدى القريب في تشييد محطات القوى النووية. *ويمكن تحديد مزيد من الإضافات في مجال القدرات فيما يتعدّى القدرات المُعتزمة المؤكدة في الوقت الحاضر، لكن إذا حدث بوجه خاص أن ارتفع نمو القدرات النووية فإن أسعار وحدات الفصل وأسعار اليورانيوم على السواء ستواصل تصاعدها.*

٣٠- ومن أمثلة تزايد الاهتمام بإثراء اليورانيوم ما يلي: الافتتاح الرسمي لمرفق ريسيندي (Resende) في البرازيل، وبدء أعمال تشييد مرفق الإثراء الوطني في الولايات المتحدة ومحطة الإثراء Georges Besse II في فرنسا، والخطط التي أعلنتها الأرجنتين وأستراليا وجنوب أفريقيا إما لإحياء برامج إثراء وطنية أو دراستها بصورة أولية، وقيام شركة جنرال إلكتريك بشراء حقوق امتلاك تكنولوجيا إثراء اليورانيوم المتقدّمة القائمة على الليزر التابعة لنظم سيليكس (Silex) الأسترالية. وفي الوقت نفسه، فإن دعوة الرئيس بوتين إلى إنشاء "نظام يتألّف من مراكز دولية توفّر خدمات دورة الوقود النووي، بما في ذلك الإثراء، على أساس خالٍ من التمييز وخاضع لإشراف الوكالة"، وقيام الاتحاد الروسي وكازاخستان بعد ذلك بإنشاء مركز دولي لإثراء اليورانيوم في أنغارسك، فضلاً عن الاقتراحات الإضافية المتعدّدة بشأن توكيد إمدادات اليورانيوم المُثرى في حالة حدوث حالات انقطاع في الإمدادات لأسباب سياسية، قد أظهرت بوضوح توجّه إرادة الدول إلى صوغ نُهُجْ دولية جديدة بشأن دورة الوقود النووي.

٣١- وفي هذا السياق، عقد مؤتمر دولي معنون "إطار جديد للاستفادة من الطاقة النووية في القرن الحادي والعشرين: ضمانات الإمدادات وعدم الانتشار" على أنه "حدث خاص" وذلك أثناء انعقاد مؤتمر الوكالة العام في دورته الخمسين. وذكّر تقرير رئيس "الحدث الخاص" بالتحدّي الماثل في ضرورة تلبية تزايد الطلب العالمي على الطاقة من خلال القيام بتوسّع ممكن في استخدام الطاقة النووية، مع القيام في نفس الوقت بالتقليل إلى أدنى حدّ من مخاطر الانتشار التي يسبّبها اتّساع انتشار التكنولوجيا النووية الحسّاسة مثل إثراء اليورانيوم وإعادة معالجة البلوتونيوم. واستعرض المؤتمر عدداً من الاقتراحات المفيدة التي طُرحت في الآونة الأخيرة بشأن استحداث نُهُجْ جديدة لدورة الوقود النووي، ترمي إلى إنشاء نظام لضمان إمدادات وقود نووي، كتدبير احتياطي مساند للسوق التجاري، في حالات معيّنة. ونظر المؤتمر في هذه الاقتراحات الحديثة لضمان إمدادات الوقود النووي القائم على اليورانيوم وذلك كمرحلة أولى في وضع إطار أعم وأطول أجلاً متعدّد الأطراف يمكن أن يشمل – في آن معاً - ضمان آليات إمدادات اليورانيوم الطبيعي والضعيف الإثراء والوقود النووي، فضلاً عن التصرّف في الوقود المستهلك. وسلّم المشاركون بأن وضع إطار متطوّر تماماً متعدّد الأطراف يكون عادلاً ومفيداً لجميع المستفيدين من التكنولوجيا النووية، ويعمل وفق قواعد عدم الانتشار النووي المُتفّق عليها، هو مسعى معقد من المرجّح أن يتطلّب اتّباع نهج تدرجي. ويُتوقّع أن تأخذ الأمانة مناقشات المؤتمر بعين الاعتبار عند صوغها اقتراحات لكي ينظر فيها مجلس محافظي الوكالة في غضون عام ٢٠٠٧.

---

٧ ينصّ الاتفاق على أن تخفيف اليورانيوم من الرتبة الصالحة لصنع الأسلحة والناتج عن الرؤوس الحربية النووية الروسية المفكّكة وإعادة تدويره إلى وقود تستخدمه بصورة أساسية محطات القوى الأمريكية.

ألف- ٤- الوقود المستهلك وإعادة معالجته[٨]

٣٢- يبلغ إجمالي تصريفات الوقود المستهلك السنوية من مفاعلات العالم نحو ١٠ ٥٠٠ طن متري من المعادن الثقيلة (t HM) كل عام. ويجري تنفيذ استراتيجيتيْن مختلفتيْن بشأن التصرّف في الوقود النووي المستهلك. ففي الاستراتيجية الأولى، تُعاد معالجة الوقود المستهلك (أو يتم خزنه لإعادة معالجته مستقبلاً) من أجل استخلاص المواد الصالحة للاستعمال (اليورانيوم والبلوتونيوم) لصنع وقود خليط أكسيدين جديد (وقود موكس). وتُعاد معالجة زهاء ثلث الوقود المستهلك المُصرّف في العالم. وفي الاستراتيجية الثانية، يُعتبر الوقود المستهلك نفايات ويُخزن إلى حين التخلّص منه. وبناء على الخبرة المكتسبة على مدى أكثر من ٥٠ عاماً حتى الآن في مجال خزن الوقود المستهلك على نحو مأمون وفعّال، تُوجد ثقة على مستوى عالٍ بتكنولوجيات الخزن الرطب والجاف على السواء وبقدرة هذه التكنولوجيات على التغلّب على حالة تصاعد أحجام هذا الوقود إلى حين إقامة مستودعات نهائية لجميع أنواع النفايات القوية الإشعاع.

٣٣- واعتباراً من الوقت الحاضر، يقوم كل من الاتحاد الروسي والصين وفرنسا والمملكة المتحدة والهند واليابان إما بإعادة معالجة معظم وقودها المستهلك أو خزنه لكي تُعاد معالجته مستقبلاً. وآثر في الوقت الراهن كل من السويد وفنلندا وكندا والولايات المتحدة الأمريكية التخلّص المباشر من الوقود المستهلك، علماً بأن الولايات المتحدة أعلنت، في شباط/فبراير ٢٠٠٦، ما يُسمّى "الشراكة العالمية في مجال الطاقة النووية" (GNEP) التي تتضمّن استحداث تكنولوجيات إعادة تدوير متقدّمة لاستخدامها في الولايات المتحدة الأمريكية.

٣٤- ومعظم البلدان لم تقرّر بعد ماهية الاستراتيجية التي ينبغي اعتمادها. وهي تقوم في الوقت الراهن بخزن الوقود المستهلك ومواكبة التطوّرات المرتبطة بكل من البديلين.

٣٥- وفي عام ٢٠٠٦، بدأت اختبارات نهائية لإدخال محطة روكاشو الجديدة لإعادة المعالجة في اليابان، في الخدمة، وذلك في آذار/مارس، ويُتوقّع أن تستغرق هذه الاختبارات١٧ شهراً. والمنتج النهائي لمحطة روكاشو هو مسحوق وقود موكس الذي أنتج للمرة الأولى في تشرين الثاني/نوفمبر. ويُتوقّع أن يتم إنتاج مسحوق موكس على نطاق تجاري في النصف الثاني من عام ٢٠٠٧. وستكون قدرة المحطة القصوى على إعادة المعالجة هي ٨٠٠ طن من اليورانيوم سنوياً، وهو ما يكفي لإعادة معالجة ما نسبته ٨٠% من إنتاج اليابان السنوي من الوقود المستهلك. وفي الصين، استكمل إدخال محطة البلد الأولى التجريبية لإعادة المعالجة في الخدمة على نحو خالٍ من المواد المشعّة. ويجري أيضاً تطوير عمليات إعادة تدوير جديدة، مثل العملية +UREX المستخدمة في الولايات المتحدة الأمريكية من أجل إعادة تدوير الوقود النووي المستهلك، بدون فصل البلوتونيوم النقي، واستخدام عناصر ما وراء اليورانيوم المفصولة في صنع الوقود اللازم للمفاعلات السريعة المتقدّمة القائمة على حرق الوقود.

٣٦- وفي عام ٢٠٠٦، تم تحميل زهاء ١٨٠ طناً من وقود موكس المدني المنشأ على أساس تجاري في أكثر من ٣٠ مفاعلاً من مفاعلات الماء المضغوط (PWRs) وفي مفاعلين من مفاعلات الماء المغلي (BWRs) في ألمانيا وبلجيكا وسويسرا وفرنسا. وتفاوتت حصة مجمعات وقود موكس في قلوب المفاعلات بين ٢٥ و٥٠%. ولا يُتوقّع أن تطرأ أية زيادة جوهرية على الاحتياجات من وقود موكس حتى عام ٢٠١٠، وهو الموعد الذي تعتزم فيه اليابان البدء في تفعيل برنامجها الخاص بالبلوتونيوم الحراري "pluthermal" اللازم لتحميل وقود

٨ توجد معلومات أكثر تفصيلاً عن أنشطة الوكالة بشأن الوقود المستهلك وإعادة معالجته متاحة في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي للوكالة وذلك على الموقع (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2005/).

موكس فيما يتراوح بين ١٦ و ١٨ مفاعلا من مفاعلات القوى. وفي الهند، جرى مؤخراً تشعيع نحو ٥٠ حزمة من وقود موكس في مفاعل ماء ثقيل مضغوط (طراز PHWR 220) على أساس تجريبي.

٣٧- وتوقّفت عن العمل في آب/أغسطس ٢٠٠٦ محطة بيلغونيوكلييز (Belgonucleaire) التي تستخدم وقود موكس - المقامة في ديسيل (Dessel) - والتي من المقرّر إتمام إخراجها من الخدمة بحلول عام ٢٠١٣. ونتيجة لذلك، ما زال هناك مصنّعان كبيران لإنتاج وقود موكس في فرنسا والمملكة المتحدة.

ألف-٥- النفايات والإخراج من الخدمة[٩]

٣٨- ما زالت برامج المستودعات الفنلندية والسويدية والأمريكية هي الأكثر تطوّراً، إلا أنه لا يُرجّح أن يكون لأي منها مستودع قيد التشغيل في وقت يسبق بكثير عام ٢٠٢٠. والمستودع الجيولوجي العامل الوحيد في العالم هو "المحطة التجريبية لعزل النفايات" المقامة في الولايات المتحدة الأمريكية. فمنذ عام ١٩٩٩، تستقبل هذه المحطة نفايات تحتوي على عناصر ما وراء اليورانيوم طويلة العمر تولّدت عن البحوث وإنتاج الأسلحة النووية، إلا أنها لا تستقبل أية نفايات ناتجة عن محطات قوى نووية مدنية. وفي عام ٢٠٠٦، وافقت وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة على أول طلب من هذه المحطة لإعادة ترخيصها، قُدّم في عام ٢٠٠٤. وتجدر الإشارة إلى أن إعادة الترخيص لازمة كل خمس سنوات. والتشريع الجديد الذي وضعته فرنسا بشأن التصرّف في الوقود المستهلك والتخلّص من النفايات، الذي كرّس إعادة معالجة الوقود المستهلك وإعادة تدوير المواد الصالحة للاستعمال كسياسة فرنسية، قام هو الآخر بإرساء التخلّص الجيولوجي العميق باعتباره الحلّ المرجعي الذي يُؤخذ به بشأن النفايات القوية الإشعاع الطويلة العمر. وحدّد التشريع هدفين يتمثّل أحدهما في تقديم طلب رخصة لإقامة مستودع جيولوجي عميق قابل للتحويل بحلول عام ٢٠١٥ والآخر في افتتاح هذا المرفق بحلول عام ٢٠٢٥. كما دعا التشريع إلى تشغيل مفاعلات سريعة نموذجية تنتمي إلى الجيل الرابع من المفاعلات بحلول عام ٢٠٢٠ للقيام بمهام عديدة من بينها اختبار عمليات تحويل النظائر المشعّة الطويلة العمر (انظر أيضاً الفقرة ٦٠). وفي عام ٢٠٠٦ أيضاً، خلصت لجنة المملكة المتحدة المعنية بالتصرّف في النفايات المشعّة إلى استنتاج مفاده أن أفضل خيار في مجال التخلّص لدى المملكة المتحدة هو التخلّص الجيولوجي العميق، بالتزامن مع تطبيق نظام "خزن مرحلي متين" إلى حين اختيار موقع للمستودع.

٣٩- وفي تشرين الثاني/نوفمبر، تقدّمت الشركة السويدية للتصرّف في الوقود والنفايات النووية (SKB) بطلب إلى هيئة التفتيش السويدية المعنية بالقوى النووية لاستصدار ترخيص يسمح بإقامة محطة لتغليف الوقود في أوسكارشامن. ومحطة التغليف هذه هي الخطوة الأولى في اتجاه التخلّص النهائي باستخدام الأسلوب KBS-3 الذي يقتضي تغليف الوقود في علب نحاسية وإيداعها في طبقات صخرية سفلية عند عمق ٥٠٠ متر تقريباً. ولا يُتوقّع صدور قرار نهائي بشأن الطلب المذكور إلا بعد عام ٢٠٠٩، وهو الموعد الذي من المقرّر فيه أن يُقدّم الطلب المتعلق بإقامة مستودع جيولوجي عميق نهائي. والاستقصاءات المتعلقة بموقع لمستودع نهائي جارية قرب فورسمارك في أوسثامار وفي منطقة لاكسيمار من أوسكارشام.

٤٠- واستكملت في عام ٢٠٠٦ عملية الإخراج من الخدمة في موقع محطة بيغ روك بوينت للقوى النووية في الولايات المتحدة الأمريكية، وأعيد هذا الموقع إلى حالة خالية من أي تلوث. أي أنه تم في عام ٢٠٠٦ استكمال إخراج تسع محطات قوى نووية من الخدمة في أنحاء العالم، بما يشمل إباحة استخدام مواقعها على نحو

٩ توجد معلومات أكثر تفصيلاً عن أنشطة الوكالة بشأن النفايات والإخراج من الخدمة متاحة في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي للوكالة وذلك على الموقع (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/) .

غير مشروط. وتم تفكيك سبع عشرة محطة تفكيكاً جزئياً وإغلاقها إغلاقاً مأموناً، ويجري العمل على تفكيك ٣٠ محطة تمهيداً لإباحة استخدام مواقعها في نهاية المطاف، وتخضع ٣٠ محطة أخرى لقدر أدنى من التفكيك تمهيداً لإغلاقها إغلاقاً طويل الأجل.

ألف-٦- العوامل الأخرى التي تؤثّر في مستقبل القوى النووية

ألف-٦-١- التنمية المستدامة وتغير المناخ[١٠]

٤١- قامت لجنة الأمم المتحدة المعنية بالتنمية المستدامة بمناقشة موضوع الطاقة للمرة الأولى في دورتها التاسعة (CSD-9) المعقودة في عام ٢٠٠١، واتفقت الأطراف جميعها على أن "خيار الطاقة النووية أمر متروك للبلدان." وفي حين أكّد من جديد "مؤتمر القمة العالمي المعني بالتنمية المستدامة عام ٢٠٠٢" الاستنتاج المذكور، أدرجت اللجنة المعنية بالتنمية المستدامة موضوع الطاقة على جدوليْ أعمالها للدورتين الرابعة عشرة والخامسة عشرة. وكانت الدورة الرابعة عشرة للجنة المذكورة في عام ٢٠٠٦ "دورة استعراض" غرضها تحليل مدى تأثير التغييرات في سياسات الطاقة وأوجه التقدّم التكنولوجي على إحراز تقدّم نحو التنمية المستدامة. ولم تتوصل الدورة الخامسة عشرة المعنية بالسياسات التي عقدتها اللجنة المعنية بالتنمية المستدامة في أيار/مايو ٢٠٠٧ إلى الاتفاق على نص جديد بشأن قضايا الطاقة، لذا فإن القرارات الصادرة عن الدورة التاسعة للجنة وعن مؤتمر القمة العالمي المعني بالتنمية المستدامة بقيت لتشكل الاتفاقات العملية الصادرة عن اللجنة المعنية بالتنمية المستدامة بشأن الطاقة.

٤٢- ويقتضي بروتوكول كيوتو، الذي بدأ نفاذه في شباط/فبراير ٢٠٠٥، من معظم البلدان المتقدمة أن تحدّ من انبعاثاتها من غازات الدفيئة في "فترة الالتزام الأولى"، أي الفترة ٢٠٠٨-٢٠١٢. وقد اعتمدت مختلف البلدان سياسات عدّة للوفاء بما وضع لها من حدود بموجب بروتوكول كيوتو. وليست هذه السياسات جميعها تعود بالنفع على القوى النووية برغم قلة انبعاثاتها من غازات الدفيئة، غير أنه من المفترض، على المدى الأطول، أن القيود الموضوعة على انبعاثات غازات الدفيئة ستجعل القوى النووية ذات جاذبية متزايدة. وفيما يخصّ معدلات تقليص الانبعاثات بعد فترة الالتزام الأولى، فإن "مؤتمر الأطراف في اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيّر المناخ" في دورته الحادية عشرة في عام ٢٠٠٥، قد قرّر الشروع في إجراء مناقشات بشأنها في إطار فريق عامل *مُخصّص* اجتمع ثلاث مرات حتى الآن وذلك في أيار/مايو وتشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٦ وفي أيار/مايو ٢٠٠٧. والمناقشات ما زالت في مرحلة أولية ولم تبدأ بعد بتناول مواضيع محدّدة مثل استبعاد مشاريع القوى النووية حالياً من آلية التنمية النظيفة والتنفيذ المشترك.

١٠- تتوافر على الموقع IAEA.org معلومات إضافية ضمن الوثائق ذات الصلة بوثيقة *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٧*. وتُوجد معلومات أكثر تفصيلاً عن أنشطة الوكالة المتعلقة بالجوانب ذات الصلة بالطاقة من التنمية المستدامة وتغير المناخ متاحة في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي على الموقع (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/) والموقع http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/Pess/climate.shtml.

ألف-٦-٢- الجوانب الاقتصادية

٤٣- لمحطات القوى النووية هيكل تكاليف يقوم على أساس "كثافة إنفاق الموارد في المرحلة الاستهلالية"، وهو ما يعني أن بناء هذه المحطات غالٍ نسبياً لكن تشغيلها رخيص نسبياً. وبالتالي، فإن محطات القوى النووية العاملة القائمة والتي تُدار بشكل جيد ما زالت عموماً مصدراً تنافسياً مربحاً لتوليد الكهرباء. بيد أنه فيما يخص تشييد محطات جديدة، فإن القدرة التنافسية الاقتصادية للقوى النووية تتوقّف على البدائل المتاحة، وعلى عموم الطلب على الكهرباء في بلد ما ومدى السرعة التي ينمو بها هذا الطلب، وعلى هيكل السوق وبيئة الاستثمار، وعلى القيود البيئية، وعلى المخاطر التي تمسّ الاستثمار بسبب إمكانية حدوث حالات تأخير أو تغييرات سياسية ورقابية. وبالتالي، تختلف القدرة التنافسية الاقتصادية باختلاف البلدان والأوضاع.

٤٤- ففي جمهورية كوريا واليابان، تستفيد القدرة التنافسية للقوى النووية من الارتفاع النسبي لتكاليف البدائل. وفي الصين والهند، يشجّع تسارع نمو الاحتياجات من الطاقة على تطوير جميع الخيارات المتصلة بمجال الطاقة. وفي أوروبا، أدى كل من ارتفاع أسعار الكهرباء، وارتفاع أسعار الغاز الطبيعي، والحدود المفروضة على انبعاثات غازات الدفيئة بموجب "مخطط تبادل الانبعاثات داخل الاتحاد الأوروبي"، إلى تعزيز المبرّرات العملية المؤيّدة لإقامة محطات قوى نووية جديدة. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، أفضى قانون الولايات المتحدة التشريعي للطاقة الصادر في عام ٢٠٠٥ إلى تعزيز المبرّرات العملية المؤيّدة لعمليات التشييد الجديدة تعزيزاً ملموساً. وفي السابق، لم تكن إقامة محطات قوى نووية جديدة استثماراً جذاباً بالنظر إلى وفرة الفحم والغاز الطبيعي المتّسميْن بتدني التكاليف، وعدم وجود أية حدود مفروضة على انبعاثات غازات الدفيئة، والمخاطر المرتبطة بالاستثمار نتيجة الافتقار إلى خبرات حديثة في مجال ترخيص عمليات التشييد الجديدة المتصلة بالقوى النووية. وأحكام القانون التشريعي للطاقة السالف الذكر - بما يشمل ضمانات للقروض، وتوفير تغطية حكومية للتكاليف المرتبطة بحدوث حالات تأخير معيّنة محتملة في عملية الترخيص، ومنح إعفاء ضريبي لإنتاج يصل إلى ٦ ٠٠٠ ميجاوات كهربائي من قدرة متقدّمة في مجال القوى النووية – أدّت إلى تحسين المبرّرات العملية على نحو كان كافياً لحضّ شركات واتحادات شركات نووية على الإعلان عن إمكانية قيامها بتقديم طلبات لاستصدار "رخص موحّدة" تغطي زهاء ٢٥ مفاعلاً جديداً محتملاً في الولايات المتحدة الأمريكية.

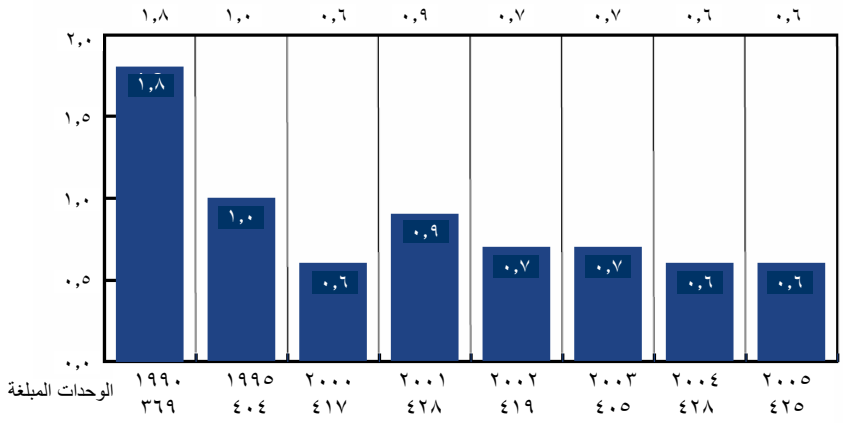
ألف-٦-٣- الأمان[١١]

٤٥- طرأ تحسُّن هائل في التسعينات من القرن الماضي على مؤشرات الأمان، كتلك التي نشرتها الرابطة العالمية للمُشغّلين النوويين والمستنسخة في الشكلين ألف-٢ وألف-٣. بيد أن هذا التحسُّن قد تجمد في بعض المجالات في السنوات الأخيرة. وما زالت الفجوة واسعة أيضاً بين من هم الأفضل والأسوأ أداءً، الأمر الذي يتيح متّسعاً جوهرياً لمواصلة إدخال التحسينات.

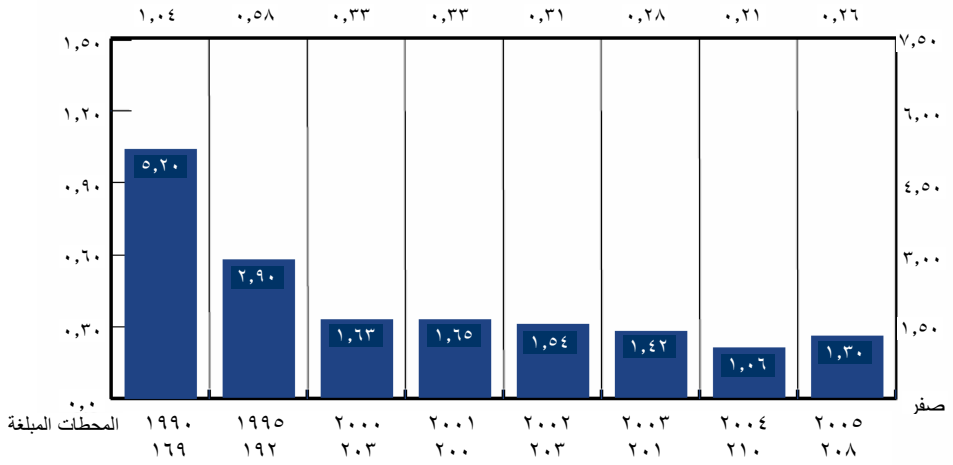
٤٦- وترد في *استعراض الأمان النووي* السنوي، الصادر عن الوكالة (الوثيقة GC(51)/INF/2)، معلومات أكثر تفصيلاً عن الأمان فضلاً عن التطورات الأخيرة المتعلقة بجميع التطبيقات النووية.

---

١١ ترد معلومات أكثر تفصيلاً عن أنشطة الوكالة بشأن الأمان النووي متاحة في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/) وعلى الموقع http://www-ns.iaea.org/.



الشكل ألف-٢ - حالات الإيقاف الفوري بدون تخطيط مسبق لكل ٧٠٠٠ ساعة حرجة. المصدر: مؤشرات أداء الرابطة العالمية للمُشغّلين النوويين لعام ٢٠٠٥



الشكل ألف-٣ - الحوادث الصناعية في محطات القوى النووية لكل ٢٠٠ ٠٠٠ ساعة عمل (المقياس الأيسر) ولكل ١ ٠٠٠ ٠٠٠ ساعة عمل (المقياس الأيمن). المصدر: مؤشرات أداء الرابطة العالمية للمُشغّلين النوويين لعام ٢٠٠٥

ألف-٦-٤- مقاومة الانتشار[١٢]

٤٧- في مؤتمر استعراض معاهدة عدم الانتشار عام ٢٠٠٥، اقترح المدير العام سبع خطوات لتقوية نظام عدم الانتشار وهي: أعادة تأكيد الهدف المتمثّل في التخلّص من الأسلحة النووية؛ وتقوية سلطة الوكالة في مجال التحقّق؛ وفرض مراقبة أفضل على الأجزاء الحسّاسة للانتشار من دورة الوقود؛ وتأمين ومراقبة المواد النووية (مثل تقوية اتفاقية الحماية المادية للمواد النووية والتقليل إلى أدنى حدّ من اليورانيوم الشديد الإثراء في الاستخدام المدني)؛ وإظهار التزام واضح بنزع السلاح النووي؛ وتقوية آلية التحقّق من عدم الامتثال لمعاهدة عدم الانتشار؛ وتبديد المخاوف الأمنية الحقيقية للدول. وقد تمت مناقشة قضية تشديد الرقابة على عناصر دورة الوقود

١٢ ترد معلومات أكثر تفصيلاً عن أنشطة الوكالة بشأن مقاومة الانتشار وبشأن الضمانات متاحة في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/) وعلى الموقع http://www.iaea.org/OurWork/SV/Safeguards/index.html.

النووي الحساسة من زاوية الانتشار في المؤتمر الذي يرد موجز عنه في القسم ألف-٣ المعنون "إطار جديد للاستفادة من الطاقة النووية في القرن الحادي والعشرين: ضمانات الإمداد وعدم الانتشار".

باء- الانشطار والاندماج المتقدّمان

باء-١- الانشطار المتقدّم[١٣]

باء-١-١- مفاعلات الماء الخفيف

٤٨- في فرنسا وألمانيا، قامت مجموعة شركات AREVA NP بتطوير مفاعل الماء المضغوط الأوروبي الضخم (EPR) من أجل الوفاء بالمتطلبات الكهربائية الأوروبية والاستفادة من اقتصاديات الحجم من خلال تحقيق مستوى قوى مرتفع قياساً على أحدث سلسلة مفاعلات ماء مضغوط في فرنسا (وهي السلسلة N4) وألمانيا (وهي السلسلة كونفوي). وفي ألمانيا، تعكف مجموعة شركات AREVA NP، بالتعاون مع شركاء دوليين من سويسرا وفرنسا وفنلندا وهولندا، على وضع التصميم الأساسي للمفاعل SWR-1000، وهو مفاعل ماء مغلي متقدّم يتضمّن سمات أمان خاملة.

٤٩- وفي اليابان، تستفيد وحدات مفاعل ماء مغلي متقدّم من التوحيد القياسي والتشييد المتسلسل. وبدأ مفاعلا الماء المغلي المتقدّمان الأولان التشغيل التجاري في عام ١٩٩٦ وعام ١٩٩٧، وبدأ مفاعلان آخران من هذا الطراز التشغيل التجاري في عام ٢٠٠٥ وعام ٢٠٠٦. ويُوجد مفاعلا ماء مغلي متقدّمان قيد التشييد في تايوان، الصين. وبوشر في عام ١٩٩١ ببرنامج تطوير لنسخة ثانية من هذا الطراز بهدف التقليص إلى حدّ كبير من التكاليف، وذلك من خلال تدابير من ضمنها زيادة القوى واقتصاديات الحجم. ويُتوقّع إدخال الوحدة الأولى من هذه النسخة الثانية في الخدمة في أواخر العقد الثاني من القرن الحالي. وفي اليابان أيضاً، استكمل التصميم الأساسي لمفاعل ماء مضغوط متقدّم كبير يخصّ الوحدتين تسوروغا-٣ وتسوروغا-٤ التابعتين لشركة القوى الذرية اليابانية؛ في حين دخلت نسخة أكبر، وهي مفاعل الماء المضغوط المتقدّم ذو القدرة المضافة في مرحلة التصميم.

٥٠- وفي جمهورية كوريا، يجري تحقيق منافع التوحيد القياسي والتشييد المتسلسل في إطار سلسلة المحطات النووية المعيارية الكورية (KSNP). وتُوجد من هذه السلسة ثماني محطات قيد التشغيل. وتشكّل الخبرة المتراكمة الأساس لتطوير محطة نووية معيارية كورية مُحسّنة – وهي "مفاعل القوى المُحسّن على النحو الأمثل" (OPR) - يُعتزم وضع الوحدات الأولى منها قيد التشغيل في عام ٢٠١٠ وعام ٢٠١١. ومفاعل الجيل القادم الكوري، الذي بدأ تطويره في عام ١٩٩٢، يُسمّى في الوقت الحاضر مفاعل القوى المتقدّم-١٤٠٠ (APR-1400) وسيكون أكبر حجماً بحيث يستفيد من اقتصاديات الحجم. ومن المقرّر أن يبدأ مفاعل القوى المتقدّم-١٤٠٠ الأول التشغيل في عام ٢٠١٢.

٥١- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، تم في عام ١٩٩٧ اعتماد تصميم لكل من مفاعل ماء مضغوط متقدّم كبير (نظام +the Combustion Engineering System 80) ومفاعل ماء مغلي كبير (هو مفاعل الماء المغلي

---

١٣ تتوافر على الموقع IAEA.org معلومات إضافية ضمن الوثائق ذات الصلة بوثيقة *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٧* . وترد معلومات أكثر تفصيلاً عن أنشطة الوكالة بشأن المفاعلات الانشطارية المتقدّمة متاحة في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي للوكالة وذلك على الموقع (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2006/).

المتقدّم التابع لشركة جنرال إلكتريك "General Electric"). كما تم اعتماد تصميم لكل من وحدة من طراز AP-600 ووحدة من طراز AP-1000 وهما تصميمان وضعتهما شركة وستينغهاوس (Westinghouse) يتضمّنان نظم أمان خاملة، وذلك في عام ١٩٩٩ وعام ٢٠٠٦ على التوالي. ويعكف فريق دولي بقيادة شركة وستينغهاوس على وضع تصميم مشروع المفاعل الدولي المبتكر والمأمون (IRIS) التكاملي النمطي البالغ قدرته ٣٦٠ ميجاوات كهربائي يشمل تصميماً أساسياً قادراً على تشغيل دورة وقود مدتها أربع سنوات. وحدّدت الفترة ٢٠٠٨-٢٠١٠ لاعتماد التصميم. وتعكف شركة جنرال إلكتريك على تصميم مفاعل ماء مغلي أوروبي مبسّط كبير (ESBWR) يجمع بين اقتصاديات الحجم ونظم الأمان الخاملة النمطية. والمفاعل الدولي المبتكر والمأمون (IRIS) التكاملي النمطي ومفاعل الماء المغلي الأوروبي المبسّط (ESBWR) كلاهما يخضع في الوقت الراهن لاستعراض رقابي.

٥٢- وفي الاتحاد الروسي، تتضمّن صيغ تطويرية للمحطات الراهنة من طراز WWER-1000 (V-320) تصميم محطة من طراز AES-2000 تبلغ قدرتها ١٢٠٠ ميجاوات كهربائي ومحطة من طراز WWER-1000 (V-392). وتم في عام ٢٠٠٦ ربط أول محطة من طراز WWER-1000 (V-392) بالشبكة الكهربائية في تيانوان، الصين. وتُوجد وحدات إضافية قيد التشييد في جمهورية إيران الإسلامية والصين والهند. ويُعتزم تشييد وحدتيْن في موقع نوفوفورونيتسه بروسيا. كما بدأت روسيا بتطوير تصميم لمحطة أكبر من طراز WWER-1500. وفي تموز/يوليه، أنشأت روسيا وكازاخستان مشروعاً مشتركاً لاستكمال وضع تصميم لمفاعل من طراز VBER-300 تتراوح قدرته بين ٢٠٠ و ٤٠٠ ميجاوات كهربائي من أجل استخدامه إما في محطات عائمة أو برّية.

٥٣- ووضعت الشركة الوطنية النووية الصينية تصميم محطة من طراز AC-600، وهي تطوّر في الوقت الراهن محطة من طراز CNP-1000 لغرض إنتاج الكهرباء. وتعكف هذه الشركة أيضاً على تطوير محطة من طراز QS-600e/w من أجل إنتاج الكهرباء وتحلية مياه البحر.

باء-١-٢- مفاعلات الماء الثقيل

٥٤- في كندا، يستخدم تصميم مفاعل كاندو (ACR) المتقدّم التابع لشركة الطاقة الذرية الكندية المحدودة (AECL) وقود يورانيوم ضعيف الإثراء لتقليص حجم قلب المفاعل مما يقلّص بدوره مقدار الماء الثقيل اللازم لتهدئة المفاعل ويتيح استخدام الماء الخفيف كمبرّد. كما تعكف شركة الطاقة الذرية الكندية المحدودة – في إطار المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات (GIF) – على وضع تصميم ابتكاري لمفاعل مهدأ بماء ثقيل يتضمّن تبريداً فوق الحرج بالماء الخفيف. كما ستتضمّن هذه المفاعلات نظاماً خاملاً لإزالة الحرارة بالتمرير الطبيعي حيثما أمكن ذلك، ونظاماً خاملاً لإزالة الحرارة بالاحتواء.

٥٥- وفي عامي ٢٠٠٥ و ٢٠٠٦، قامت الهند بعمليات ربط أول وحدتيْن تستخدمان تصميمها الجديد لمفاعل الماء الثقيل البالغة قدرته ٥٤٠ ميجاوات كهربائي، وذلك في تارابور. كما تعكف الهند على تصميم صيغة تطويرية لمفاعل ماء ثقيل تبلغ قدرته ٧٠٠ ميجاوات كهربائي وعلى تطوير مفاعل الماء الثقيل المتقدّم (AHWR)، وهو مفاعل مهدأ بالماء الثقيل ومبرد بالماء الخفيف المغلي ومزود بأنابيب ضغط رأسية ويتضمّن نظم أمان خاملة ومُحسّن إلى المستوى الأمثل بحيث يستخدم وقود الثوريوم.

باء-١-٣- المفاعلات المبرَّدة بالغاز

٥٦- يُوجد على نطاق العالم في الوقت الراهن ١٨ مفاعلاً من المفاعلات العاملة المبرّدة بالغاز (GCR) تُبرّد بثاني أكسيد الكربون، بالإضافة إلى مفاعليْ اختبار مبرّديْن بغاز الهليوم. وتقوم حاليا شركة جنوب أفريقيا المحدودة (PBMR (Pty) Ltd) الخاصة بمفاعل جنوب أفريقيا النمطي الحصوي القاع بتطوير مفاعل نمطي حصوي القاع تبلغ قدرته ١٦٥ ميجاوات كهربائي يُتوقّع أن يُدخل في الخدمة قرابة عام ٢٠١٠. وقد قامت حكومة جنوب أفريقيا بتخصيص تمويل بدئي لهذا المشروع وتم بالفعل تقديم طلبات لشراء بعض مكوّناته الرئيسية. وفي الصين، يتواصل العمل على اختبارات أمان وإدخال تحسينات على تصميم المفاعل المرتفع الحرارة المبرد بالغاز (طراز HTR-10) البالغة قدرته ١٠ ميجاوات حراري، كما اعتمدت خطط بشأن تصميم وتشييد مفاعل قوى نموذجي (HTR-PM).

٥٧- وفي اليابان، بدأ مفاعل اختبار هندسي مرتفع الحرارة (HTTR) تبلغ قدرته ٣٠ ميجاوات حراري التشغيل في عام ١٩٩٨، ويتواصل العمل على اختبار أمانه فضلاً عن قرنه بوحدة لإنتاج الهيدروجين. كما يجري النظر حالياً في إنشاء مفاعل قوى نموذجي تبلغ قدرته ٣٠٠ ميجاوات كهربائي.

٥٨- والاتحاد الروسي والولايات المتحدة الأمريكية يواصلان بحوثاً تطويرية بشأن مفاعل هليوم نمطي توربيني غازي (GT-MHR) تبلغ قدرته ٢٨٤ ميجاوات كهربائي لغرض حرق البلوتونيوم. ولدى فرنسا برنامج بحوث تطويرية نشط يتناول كلا مفهوميْ المفاعلات الحرارية ومفاعلات الغاز السريعة؛ وفي الولايات المتحدة الأمريكية، تتواصل جهود وزارة الطاقة بشأن تأهيل وقود مفاعلات غاز متقدّمة. ومن أجل إيضاح الجوانب التكنولوجية الرئيسية للمفاعلات السريعة المبرّدة بالغاز، يُعتزم تشغيل مفاعل تجريبي تبلغ قدرته نحو ٥٠ ميجاوات حراري قرابة عام ٢٠١٧ في فرنسا.

باء-١-٤- المفاعلات السريعة المبرّدة بفلزات سائلة

٥٩- في الصين، العمل جار على تشييد المفاعل التجريبي الصيني السريع المبرّد بالصوديوم الحوضي الشكل البالغة قدرته ٢٥ ميجاوات كهربائي، حيث يُتوقّع أن يدخل مرحلة الحرجية الأولى في منتصف عام ٢٠٠٩ وأن يربط بالشبكة الكهربائية في منتصف عام ٢٠١٠. وستتمثّل المرحلتان التاليتان من عملية التطوير في تشييد مفاعل سريع نموذجي تبلغ قدرته ٦٠٠ ميجاوات كهربائي بُوشر بوضع تصميمه في عام ٢٠٠٥، وتشييد مفاعل سريع إيضاحي تتراوح قدرته بين ١٠٠٠ و ١٥٠٠ ميجاوات كهربائي.

٦٠- وفي فرنسا، سيجري تشغيل مفاعل فينيكس (Phénix) السريع لدورات تشعيعية إضافية أربع قبل أن يتم إغلاقه في عام ٢٠٠٩. وسيقوم المفاعل بإجراء اختبارات تشعيعية دعما لبرنامج فرنسا للبحوث التطويرية في مجال التحويل ولدعم البحوث بشأن استحداث تصاميم ابتكارية مستقبلاً. وضمن إطار المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات، تعتزم فرنسا أن تدخل في الخدمة مفاعلاً سريعاً نموذجياً مبرّدا بالصوديوم تتراوح قدرته بين ٢٥٠ و ٦٠٠ ميجاوات كهربائي قرابة عام ٢٠٢٠ الغرض منه إيضاح الجوانب الاقتصادية المُحسّنة وخصائص الأمان المعزّزة.

٦١- وفي الهند، يجري تشغيل المفاعل التجريبي السريع التوليد (FBTR) منذ عام ١٩٨٥؛ ويجري في الوقت الحاضر تشييد المفاعل النموذجي السريع التوليد (PFBR) البالغة قدرته ٥٠٠ ميجاوات كهربائي في كالباكام. ومن المقرّر إدخال هذا المفاعل في الخدمة بحلول أيلول/سبتمبر ٢٠١٠.

٦٢- وفي اليابان، بدأت الأعمال التحضيرية في عام ٢٠٠٥ بشأن إدخال تعديلات ضرورية على المفاعل النموذجي السريع التوليد من طراز مونجو (MONJU) البالغة قدرته ٢٨٠ ميجاوات كهربائي قبل استئناف تشغيله. ومن أجل تطوير أنواع متقدّمة من الوقود والمواد، وتطوير تكنولوجيا تكفل حرق وتحويل الأكتينات الثانوية، سيبدأ مفاعل جويو (JOYO) – وهو مفاعل تجريبي سريع التوليد – تشعيع الفولاذ المكوّن من مركبات حديدية وذلك باستخدام التقنية القائمة على تشتيت الأكسيد، وتشعيع وقود موكس المؤلّف من خليط اليورانيوم والبلوتونيوم المحتوى على نسبة ٥% من الأميريشيوم، وتشعيع وقود موكس المحتوي على كل من النبتونيوم والأميريشيوم.

٦٣- وفي جمهورية كوريا، أجرى المعهد الكوري لبحوث الطاقة الذرية بحوثاً وتطويرات تكنولوجية وأعمالاً تصميمية على مفهوم المفاعل السريع المتقدم من طراز KALIMER-600 البالغة قوته ٦٠٠ ميجاوات. وقد استكمل التصميم المفاهيمي في عام ٢٠٠٦. وابتداء من عام ٢٠٠٧، سيدخل تطوير تكنولوجيا مفاعل سريع مبرد بالصوديوم مرحلة جديدة ضمن إطار المشروع التعاوني المعني بالمفاعلات المبردة بالصوديوم من الجيل الرابع

٦٤- والمفاعل من طراز BN-600 القائم في روسيا هو أكبر مفاعل سريع عامل في العالم ومضى على تشغيله حتى الآن ٢٦ عاماً. والمفاعل من طراز BN-800 البالغة قدرته ٨٠٠ ميجاوات كهربائي هو قيد الدراسة حيث من المعتزم إدخاله في الخدمة في عام ٢٠١٢. كما تعكف روسيا على وضع مفاهيم شتى لمفاعلات سريعة متقدّمة مبرّدة بالصوديوم ولمفاعلات مبرّدة بفلزّات سائلة ثقيلة، ومنها على وجه التحديد مفهوم المفاعل من طراز BREST-OD-300 المبرّد بالرصاص ومفهوم المفاعل من طراز SVBR-75/100 المبرّد بخليط الرصاص والبيزموث المنصهرين.

٦٥- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، العمل جار ضمن إطار الشراكة العالمية في مجال الطاقة النووية (GNEP) على تخطيط بحوث تطويرية أولية بشأن إنشاء مفاعل متقدّم لاختبار عمليات الحرق بغرض إيضاح تحويل الأكتينات في مجال طيفي سريع فضلاً عن إيضاح ما هو ابتكاري من التكنولوجيات ومن السمات التصميمية التي تُعتبر مهمة بشأن إقامة محطات إيضاحية تجارية لاحقاً. وضمن إطار المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات، تنصب أنشطة الولايات المتحدة على المفاعلات السريعة المبرّدة بالغاز (GFRs)، والمفاعلات السريعة المبرّدة بالرصاص (LFRs)، والمفاعلات السريعة النمطية الصغيرة المبرّدة بالصوديوم (SMFRs).

باء-١-٥- النظم المدفوعة بواسطة المُعجّلات

٦٦- تنطوي مُعجّلات الجسيمات بالتضافر مع المفاعلات النووية دون الحرجة على إمكانات تجعلها أقل إنتاجاً للنفايات المشعّة الطويلة العمر مما تنتجه مفاعلات أخرى وقادرة على تحويل الأكتينات وبعض النواتج الانشطارية الطويلة العمر.

٦٧- ففي الصين، تنصب أنشطة البحوث التطويرية على فيزياء وتكنولوجيا مُعجّلات البروتونات العالية القدرة (HPPA)، وفيزياء قلوب المفاعلات دون الحرجة المدفوعة بمصادر خارجية، والبيانات النووية، ودراسة خواص المواد. وفي اليابان، اقترحت وكالة الطاقة الذرية اليابانية (JAEA) إنشاء قلب مفاعل سريع دون الحرج مبرّد بخليط الرصاص والبيزموث المنصهرين حيث حُدّد معدّل قدرته عند مستوى ٨٠٠ ميجاوات حراري؛ في حين بدأت دراسات تتناول التصميم المفاهيمي بشأن "مرفق تحويل تجريبي" (TEF). وفي جمهورية كوريا،

دخلت البحوث التطويرية بشأن النظام المدفوع بواسطة المُعجّلات – أي المفاعل الهجيني لتوليد القوى (HYPER) - التابع للمعهد الكوري لبحوث الطاقة الذرية (KAERI)، في المرحلة الثالثة من برنامج مدته عشر سنوات كان قد بدأ في عام ١٩٩٧. ويتضمّن هذا البرنامج العمل على استكمال التصميم المفاهيمي لقلب المفاعل المذكور ومواصلة استقصاء التكنولوجيات الرئيسية في هذا الصدد.

٦٨- وفي أوروبا، أخذت برامج البحوث التطويرية الوطنية في أسبانيا وألمانيا وإيطاليا وبلجيكا والسويد وفرنسا تتقارب في توجّهها نحو ضرورة إيضاح الجوانب الأساسية لمفهوم النظم المدفوعة بواسطة المُعجّلات. وتتضمّن هذه البرامج مشروعيْ "البرنامج البحثي الأوروبي المعني بتحويل النفايات القوية الإشعاع داخل نظام مدفوع بواسطة المُعجّلات" (اختصاراً: برنامج يوروترانس "EUROTRANS") و"البرنامج البحثي الأوروبي المعني بتجزئة الأكتينات الثانوية" (اختصاراً: برنامج يوروبارت "EUROPART") المتكاملين ضمن إطار برامج الاتحاد الأوروبي. فمشروع البرنامج يوروترانس يعكف على وضع تصميم أوّلي وتكنولوجيات داعمة لجهاز أوروبي يُعنى بإيضاح النظم المدفوعة بواسطة المُعجّلات، في حين يعكف مشروع البرنامج يوروبارت على وضع تكنولوجيات دورة الوقود التي من شأنها أن تكمّل تكنولوجيات نظام يوروترانس.

٦٩- وفي روسيا، تضمّنت أبرز البحوث التطويرية، التي شهدتها الآونة الأخيرة بشأن النظم المدفوعة بواسطة المُعجّلات، المجمعة دون الحرجة (SAD) الكائنة في دوبنا وذلك في المعهد المشترك للبحوث النووية (JINR)؛ وإرساء أسس مفاهيم المفاعلات الحرجة ودون الحرجة التي تستخدم الملح المذاب بما يشمل دورة وقود نووي مغلقة وذلك في المركز العلمي الروسي التابع لمعهد كورتشاتوف بموسكو.

باء-١-٦- المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (إنبرو) والمحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات

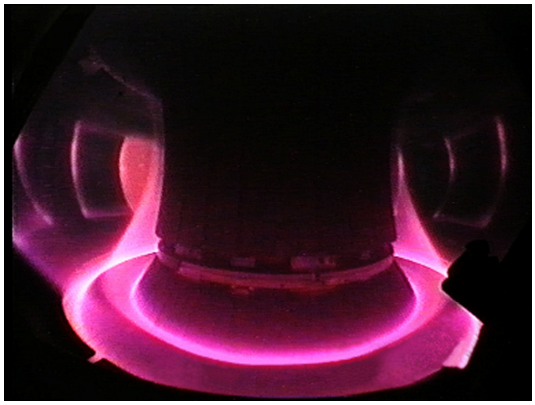
٧٠- ارتفع عدد الأعضاء في مشروع الوكالة الدولي المعني بالمفاعلات النووية الابتكارية (مشروع إنبرو) ليصل إلى ٢٨ عضواً في عام ٢٠٠٦، بعد أن انضمت إليه بيلاروس وسلوفاكيا وكازاخستان واليابان. ويوفّر هذا المشروع محفلاً دولياً مفتوحاً لدراسة خيارات القوى النووية والمتطلبات المرتبطة بها. كما يساعد على تكوين المهارات لصياغة ونشر نظم طاقة نووية ابتكارية ويُعين الدول الأعضاء على تنسيق المشاريع التعاونية المرتبطة بذلك. وطوّر مشروع إنبرو منهجية قابلة للتطبيق في البلدان النامية والمتقدّمة على حد سواء، من أجل تقييم نظم الطاقة النووية الابتكارية على صعيد الاقتصاد والأمان والبيئة والتصرف في النفايات ومقاومة الانتشار والحماية المادية والبنية الأساسية. وهناك حالياً أحد عشر تقييماً جارياً لنظم طاقة نووية ابتكارية. وتنطوي أنشطة المرحلة ٢ التي بدأت عام ٢٠٠٦، على مواصلة تطوير منهجية مشروع إنبرو ودليل المستخدم الخاص به على أساس نتائج دراسات التقويم الجارية، وتحديد الخيارات الابتكارية المرتبطة بالمؤسسات وبالبنى الأساسية لتسهيل نشر نظم الطاقة النووية الابتكارية بما يشمل: دراسة النُهُج الاقليمية، ومواءمة إجراءات الترخيص ومتطلبات الأمان، وإيجاد سبل تمويل جديدة مع التشديد على احتياجات البلدان النامية. وستشهد المرحلة ٢ أيضاً التنسيق بين المشاريع التعاونية بما يشمل تحديد الاحتياجات في مجال البحث التطويري. وبشكل خاص، سيحدد مشروع إنبرو متطلبات استخدام مشتركة لنظم الطاقة النووية الابتكارية، مع التركيز على المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم، وسيعمل مع مالكي التكنولوجيا ومستخدميها على تعيين الأعمال الضرورية من أجل تطوير هذا النوع من المفاعلات ونشرها.

٧١- أمّا عدد أعضاء المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات فارتفع ليصل إلى ثلاثة عشر عضواً في عام ٢٠٠٦، بعدما انضمت إليه الصين وروسيا. ومن خلال نظام من العقود والاتفاقات، ينسّق المحفل المذكور أنشطة الأبحاث بشأن النظم الستة للطاقة النووية من الجيل المقبل التي اختيرت في عام ٢٠٠٢ وورد وصفها في *خارطة الطريق لتكنولوجيا الجيل الرابع من نظم الطاقة النووية*. أي 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. وفي عام ٢٠٠٦، وقّع أعضاء المحفل المهتمون على أربعة 'ترتيبات نظم' تشمل التعاون بشأن نظم المفاعلات السريعة المبردة بالصوديوم، والمفاعلات السريعة المبردة بالغاز، ونظم المفاعلات ذات درجات الحرارة الشديدة الارتفاع المبردة بالغاز، ونظم المفاعلات فوق الحرجة المبردة بالماء. وتُرسي هذه الاتفاقات الإطار الذي يتيح للبلدان الأعضاء في المحفل أن تشارك في إجراء بحوث تطويرية تعاونية بشأن شتى التكنولوجيات.

باء-٢- الاندماج

٧٢- تحقق البحوث في مجال الاندماج النووي الخاضع للتحكم تقدّماً مطّرداً مع العلم بأن البلازما المحترقة الذاتية الاستدامة تشكل الهدف الرئيسي الهام المقبل. وقد تم في السنوات الأخيرة تحقيق تقدم ملموس نحو تحقيق هذا الهدف باستخدام قوة الليزر والإشعاعات معاً في الوسيلة المعروفة باسم الاحتواء بالقصور الذاتي، أو باستخدام المجالات المغنطيسية لتحقيق الاحتواء في ما يعرف عموماً باسم نظم توكاماك، لاحتواء النوي الخفيفة والديوتريوم والتريتيوم ودمجها. ويجري حالياً تشييد مرافق جديدة ضخمة أشهرها هو المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي الذي يستخدم الاحتواء المغنطيسي. ويشار إلى أن الشركاء في هذا الجهد العلمي الدولي الفريد لبناء أكبر مرفق اندماجي تجريبي يمثلون أكثر من نصف عدد سكان العالم. وقد وقعت الأطراف في المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي، في ٢١ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٦، اتفاقين رسميين يلزمانها ببناء المفاعل المذكور في منطقة كاداراش، فرنسا، وهما: اتفاق إنشاء المنظمة الدولية لطاقة الاندماج المعنية بالمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي والمختصة بتنفيذه المشترك، واتفاق امتيازات وحصانات المنظمة الدولية لطاقة الاندماج المعنية بالمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي والمختصة بتنفيذه المشترك. ويؤدي مدير عام الوكالة دور الوديع لكلا الاتفاقين اللذين سيخضعان لإجراءات التصديق عليهما في عواصم الدول المعنية على مدى العام المقبل. وهذا المشروع، الذي يعني اختصار اسمه بالأحرف اللاتينية (ITER) 'الطريق' باللغة اللاتينية، يشكّل مرحلة هامة في العمل على استخدام الاندماج النووي لأغراض سلمية وسيؤدي دور الدافع لغالبية الجيل المقبل من الأبحاث في مجال الاندماج بالاحتواء المغنطيسي، ويساهم في تجميع المعارف العلمية والتكنولوجية لبناء محطة قوى اندماجية اسمها DEMO.

٧٣- ويشكل الاحتواء بالقصور الذاتي أكبر نهج بديل وسيحظى بالدعم من جانب عدة مرافق رئيسية هي الآن قيد التصميم أو الإنشاء، ولاسيما مرفق الإشعال الوطني في الولايات المتحدة الأمريكية، ومرفق الليزر ميغاجول في فرنسا وبرنامج تجربة تحقيق الإشعال السريع في اليابان.



الشكل باء-١ - تشخيص بلازما الاندماج (بلازما متوهّجة في منشأة الاندماج التجريبي ASDEX Upgrade من نوع توكاماك، في ألمانيا)

٧٤- وما زالت هناك تحديات تكنولوجية هائلة يجب تخطّيها للتمكن من استخدام طاقة الاندماج، ونظراً لما تنطوي عليه من متطلبات ضخمة - على المستويين العلمي والتكنولوجي وعلى مستوى الموارد المطلوبة - لا يمكن لبلد واحد أو لمجموعة صغيرة من البلدان أن تحافظ على زخم الأبحاث الضروري لفترات طويلة. وتوفّر الوكالة محفلاً للمساعدة على تعزيز التعاون الدولي، كما اتضح من المؤتمر المعني بطاقة الاندماج لعام ٢٠٠٦، الذي عقد في تشنغ ديو، الصين، في شهر تشرين الأول/أكتوبر. فقد شارك فيه أكثر من ٧٠٠ عالم ومهندس في مجال الاندماج من ٣٩ بلداً، لتبادل المعلومات بشأن آخر ما توصلوا إليه من تطويرات وإنجازات.

٧٥- وتعتمد الدراسات التجريبية في مجال الاندماج اعتماداً كبيراً على القدرة على رصد خصائص البلازما وتحليلها (الشكل باء-١). وقاعدة البيانات التشخيصية الجديدة التي أطلقتها الوكالة تشكل خطوة هامة باتجاه التحقق من أن هذه الدراسات تقوم على أساس إجراءات وبيانات مقبولة دولياً. وقد تم قياس و/أو حساب مقاطع مستعرضة جديدة لعدد من إجراءات تبادل الشحنات من أجل تقدير حرارة وضغط البلازما.

جيم- البيانات الذرية والنووية

٧٦- يتقدّم عدد أكبر من البلدان بطلبات متزايدة للاستفادة من قواعد بيانات ذرية ونووية محدّثة وأكثر دقة، مع العلم بأن هذه القواعد ضرورية لضمان تحليل صحيح وذي مصداقية للتطبيقات النووية، بما فيها الطاقة الانشطارية. وقد أدّت الموافقة على مشروع المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي إلى زيادة مماثلة في أنشطة البحوث في مجال الاندماج.

٧٧- إن الكثير من أعمال التطوير وإنشاء قواعد بيانات ذات جودة عالية يتطلب تشجيعاً من جانب الوكالة. وقد شملت كبرى المبادرات الدولية والوطنية في السنوات الأخيرة تجميع وإصدار الوثيقة JEFF-3.1 (التقييم المشترك للانشطار والاندماج) من جانب وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي في أيار/مايو ٢٠٠٥، والوثيقة ENDF/B-VII (ملف البيانات النووية المقيّمة) من جانب الولايات المتحدة في كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٦. وتضم كلتا قاعدتي البيانات بياناتٍ نووية موصى بها تتضمن أوجه التقدم المحرز بفضل عمليات قياس مباشر منفّذة مؤخراً؛ ومشاريع الوكالة في مجال تطوير البيانات؛ ودراسات النمذجة التي تعكس التحسن المحقق في فهم مجموعة واسعة من العمليات النووية. وبالتالي، تتواصل التحسينات

في نوعية المقاطع المستعرضة الهامة المختلفة فيما يخص التفاعل النيوتروني، وذلك نتيجة للقياسات الشاملة المحققة في الولايات المتحدة وأوروبا.

٧٨- وشملت التطورات التي شهدها عام ٢٠٠٦ الانتهاء من تكوين قاعدة بيانات ممتازة لمقارنة المقاطع المستعرضة للنيوترونات يتم استخدامها مباشرة في مجال دراسات دورة وقود الثوريوم - اليورانيوم؛ وعمليات إعادة تقييم شاملة لمعايير المقاطع المستعرضة للنيوترونات؛ وبيانات ذرية وجزيئية لأعمال تشخيص بلازما الاندماج؛ وقاعدة بيانات خاصة ببيانات المقاطع المستعرضة الخاصة بالإنتاج الأمثل للنويدات المشعة العلاجية في ميدان الطب النووي. وتم التوصل إلى بيانات هامة متعلقة بالتغايرات من أجل قياس ما هو غير أكيد من قيم خاصة بالمقاطع المستعرضة للثوريوم-٢٣٢ والبروتاكتينيوم-٢٣١ و٢٣٢، وقد سارع المعنيون إلى اعتماد ملفات البيانات هذه ضمن مكتبات التطبيقات النووية الوطنية والدولية. وقد قام مجتمع الفيزياء النووية باعتماد قاعدة بيانات خاصة بمعايير المقاطع المستعرضة للنيوترونات. كما أعيد تقييم هذه البيانات لمجموعة مختارة من التفاعلات، وهي توفر الأساس والمرجع لكل ما سيأتي مستقبلاً من قياسات البيانات النووية وتقييمات هذه البارامترات النووية الهامة.

دال- التطبيقات الخاصة بالمعجلات ومفاعلات البحوث

دال-١- المُعجّلات

٧٩- إن علوم المواد والبحوث الأحيائية الطبية تدفع قدماً التطويرات في مجال المعجلات، والتقنيات التحليلية المبتكرة، والمعدات النووية المحسّنة. وضمن إطار نظام الطاقة الخفيضة، يتم تطوير ونشر آلات متضامة عاملة بجهد منخفض لاستعمالها في تطبيقات مخصصة لقياس الطيف الكتلي في معجّلات الكربون الإشعاعي. وفي المقابل، ازداد طلب أعداد كبيرة من المستخدمين على المصادر الضوئية السينكروترونية. ويجري حالياً بدء تشغيل السينكروترونات التالية: 'Diamond' في المملكة المتحدة، و'Soleil' في فرنسا، و 'Australian Synchrotron' في أستراليا. أمّا 'SESAME' في الأردن، و'Indus-2' في الهند، و'Candle' في أرمينيا، فهي في مرحلة التصميم أو الإنشاء. وهناك طلب كبير على مصادر الحزم النيوترونية الشديدة لتطبيقات في مجال البحوث الأحيائية الطبية وبحوث المواد، فضلاً عن دراسات خاصة بأضرار الإشعاعات على المواد الممكن استخدامها في بيئات تشغيلية متطرّفة ضمن مفاعلات انشطارية واندماجية متقدّمة.

دال-٢- مفاعلات البحوث

٨٠- إن التطبيقات الرئيسية في العديد من مرافق مفاعلات البحوث ما زالت تشمل إنتاج النظائر المشعة، وتطبيقات الحزم الإشعاعية النيوترونية، وإشابة السليكون، وتشعيع المواد لنظم الطاقة النووية، بالإضافة إلى التعليم والتدريب من أجل تنمية الموارد البشرية. وهناك تنوّع واسع في سمات وقدرات مفاعلات البحوث، وكذلك في تشغيلها واستخدامها. وقد تم وضع الجدولين دال-١ ودال-٢ والشكلان دال-١ ودال-٢ على أساس البيانات المتوفرة في قاعدة بيانات الوكالة الخاصة بمفاعلات البحوث.

٨١- ومن بين مفاعلات البحوث الجديدة التي اعتبرها *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٦* على أنها قيد الإنشاء، بلغ مفاعل الماء الخفيف الأسترالي المفتوح الحوض أول مرحلة حرجية في ١٢ آب/أغسطس ٢٠٠٦، كما حقق قوته التشغيلية الكاملة البالغة ٢٠ ميجاوات في ٣ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٦. ومن المخطط

له أن يبدأ تشغيل مفاعل البحوث المتقدم الصيني مع حلول عام ٢٠٠٧، وسيضطلع بأنشطة رئيسية تشمل إنتاج النظائر المشعة، وإشابة السيليكون، وتطبيقات حزم النيوترونات. كما دخل مفاعل تريغا-٢ في المغرب مرحلة بدء التشغيل.

٨٢- أمّا مفاعل 'أوبال' فهو مفاعل حوضي بقدرة ٢٠ ميجاوات يستخدم وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء (وقود سيليسيد اليورانيوم) ويبرّد بالماء. وهذا المفاعل مفاعل بحوث متعدد الأغراض سيتم استخدامه لإنتاج النظائر المشعة، وتوفير خدمات التشعيع، والبحوث المتعلقة بالحزم النيوترونية. وقلبه المتضام مصمم لتحقيق أداء عالٍ في إنتاج النيوترونات. ومن المزمع تركيب ثمانية أجهزة حزم نيوترونية في مفاعل أوبال. كما يمكن توسيع المرفق أكثر وتجهيزه بقاعة ثانية لتوجيه النيوترونات. وستتيح مجموعة من المعدات إجراء دراسات عند درجات حرارة ومستويات ضغط ومجالات مغنطيسية مختلفة.

٨٢٣- ومن المتوقع إتاحة المرافق المذكورة أعلاه للمستخدمين الوطنيين والدوليين، على أساس تقاسم الوقت، مثلما هي الحال في المرافق القائمة في غرونوبل، فرنسا، وفي FRM-II، ألمانيا.

٨٤- ومع تجدد الاهتمام بالطاقة النووية، والتطويرات المحققة في ميدان الطاقة الاندماجية، ما زال استخدام مفاعلات البحوث لدراسات المواد يجتذب قدراً كبيراً من الاهتمام، وسيكون لمفاعلات البحوث دور هام تضطلع به في مجال تطوير المواد للمفاعلات المتقدمة. وإلى جانب ذلك، فبفضل التعاون والتشبيك الإقليميين، وبفضل زيادة فعالية الإدارة، يتطوّر استخدام الموارد والخبرات وتقاسمها بالنسبة إلى مفاعلات البحوث، لاسيما في مجال تطبيقات حزم النيوترونات وإنتاج النظائر المشعة لتلبية الاحتياجات الإقليمية.

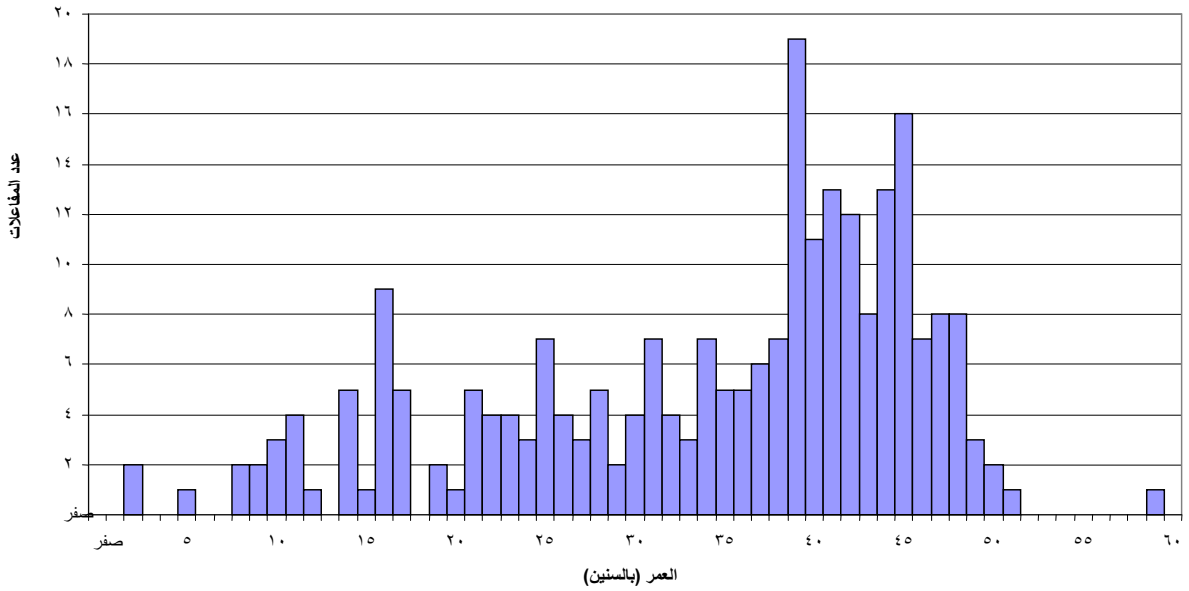
الجدول دال-١- التوزيع الجغرافي لمفاعلات البحوث بحسب الوضع التشغيلي لهذه المفاعلات

	قيد التشغيل	مغلق	أخرج من الخدمة	قيد التشييد	مزمع تشييده	المجموع
أفريقيـــا	٩	١	٠	١	١	١٢
أمريكا	٦٦	١٢٧	٧٣	٢	١	٢٦٩
آسيا والمحيط الهادئ	٥٥	١٨	١٠	٦	١	٩٠
أوروبا	١١٥	٩٦	٨٧	١	١	٣٠٠
المجموع	٢٤٥	٢٤٢	١٧٠	١٠	٤	٦٧١

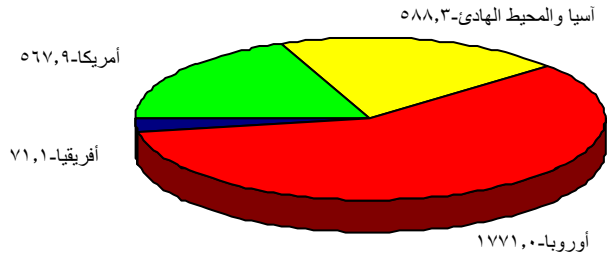
الجدول دال-٢- التوزيع الجغرافي لمفاعلات البحوث المشغلة بحسب مستوى قوة كل منها

	القوة لا تتجاوز ١٠٠ كيلوواط	القوة تفوق ٠,١ ميجاوات ولا تتجاوز ١ ميجاوات	القوة تفوق ١ ميجاوات ولا تتجاوز ١٠ ميجاوات	القوة تفوق ١٠ ميجاوات	المجموع
أفريقيـــا	٢	٢	٢	٣	٩
أمريكا	٣٠	١٩	١٣	٤	٦٦
آسيا والمحيط الهادئ	٢٣	٦	١٥	١١	٥٥
أوروبا	٦٥	١١	١٨	٢١	١١٥
المجموع	١٢٠	٣٨	٤٨	٣٩	٢٤٥

٨٥- 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. وتم تحويل ثمانية وأربعين مفاعلاً إلى استخدام وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء بحلول نهاية عام ٢٠٠٦، ويمكن تحويل ما يقارب ٥٠ مفاعلاً آخر مع ما يتوفر من وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء. غير أن استخدام ضروب عالية الكثافة من وقود اليورانيوم-الموليبدينوم ضروري لتحويل مفاعلات بحوث خاصة عديدة من استخدام وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء، لاسيما من أجل عمليات نهائية عليا معيَّنة. وتطوير هذا النوع من الوقود مفيد أيضاً لتوسيع خيارات المرحلة الختامية للتصرف في الوقود المستهلك الناتج عن مفاعلات البحوث، نظراً إلى أنها ستكون قابلة لإعادة المعالجة باستخدام التكنولوجيات والمرافق المتوفرة حالياً. ومن الجوهري في هذا الصدد الاستمرار في دعم التنسيق الدولي من أجل استحداث وتصنيف الضروب العالية الكثافة من وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء. وفي بداية التسعينات من القرن الماضي، برهنت اختبارات التشعيع الأولي لتشتت وقود اليورانيوم-الموليبدينوم الشديد الكثافة للغاية عن السلوك التشعيعي الواعد لهذه الأنواع من الوقود. كما برهنت اختبارات لاحقة أجريت في بلدان مختلفة عن وجود أوجه قصور في سلوك الوقود عند مستويات عالية من القوة والحرارة. وتشير الفحوصات المفصلة لمرحلة ما بعد التشعيع إلى أن مسائل أداء الوقود لا تنشأ عن ضعف أداء جسيمات وقود اليورانيوم-الموليبدينوم، بل عن السلوك الانتفاخي لطبقة التفاعل التي تتشكل بين الوقود وبين مصفوفة الألومنيوم خلال عملية التشعيع. ويستلزم الطلب على أنواع عالية الكثافة من الوقود الضعيف الإثراء برنامجاً مفصلاً لتطوير تصنيع الوقود، وتصنيفاً خارج الإطار العادي، واختبارات تشعيع، وفحصاً في مرحلة ما بعد التشعيع، وتقييماً ونمذجة لأداء الوقود. وتتوفر حلول عديدة ممكنة لتصحيح ما هو معروف من مشاكل مرتبطة بأداء الوقود: وتتراوح هذه الحلول بين تبديلات طفيفة نسبياً في التركيبة الكيميائية للوقود والمصفوفة، وبين الاستعاضة عن مصفوفة الألومنيوم بمادة أخرى، أو التخلص كلياً من المصفوفة (وقود أحادي الكتلة). ويتم حالياً التحقق من هذه الإمكانيات كلها بصورة تعاونية بين الأرجنتين وألمانيا وجمهورية كوريا، وروسيا، وفرنسا وكندا والولايات المتحدة الأمريكية. وتشير نتائج نشرت مؤخراً عن مرحلة ما بعد التشعيع في اختبارات مختلفة إلى أن إضافة ما يتراوح بين ٢ و٥% من السيليكون إلى طور الألومنيوم من وقود اليورانيوم-الموليبدينوم المشتت تحل مشكلة الانتفاخ عند مستويات عالية من القوة والحرارة. وتتواصل البحوث المكثفة باتجاه استحداث وقود يورانيوم-موليبدينوم أحادي الكتلة شديد الكثافة للغاية.



الشكل دال-١ - توزيع مفاعلات البحوث المشغلة بحسب عمر كل منها.



الشكل دال-٢ - القوى المنشأة لمفاعلات البحوث المشغلة بالميجاوات (المجموع= ٢٩٣٨,٢ ميجاوات)

هاء- تطبيقات النظائر المشعة، والتكنولوجيا الإشعاعية

هاء-١- تطبيقات النظائر المشعّة في مجال الصحة[١٤]

٨٦- تساهم النظائر المشعة بشكل ملموس في تحسين خدمات العناية الصحية في غالبية البلدان. وعلى الصعيد العالمي، يشهد عدد الإجراءات الطبية المنطوية على استعمال النظائر نمواً يرافقه نمو مشابه في عدد الإجراءات التي تتطلب نظائر مختلفة، كما هي الحال في الطب النووي التشخيصي والعلاج بالنويدات المشعة. ويؤدي ٦٠ مفاعل بحوث منتشرة في العالم دوراً أساسياً في إنتاج النظائر المشعة الطبية، مع ما لا يقل عن ١١ مفاعلاً هي قيد الإنشاء أو التخطيط في عدد من البلدان. وكما ورد في مسح[١٥] أجرته الوكالة مؤخراً، فمن المقدّر أن هناك حوالى ٣٥٠ سيكلوتروناً متوفراً مع العلم بأن العديد منها مخصص لإنتاج النظائر المستعملة في التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني.

٨٧- والنظيران اللذان شهد الطلب عليهما أكبر زيادة في الفترة الأخيرة هما الفلور-١٨ المنتَج بالسيكلوترونات، على شكل غلوكوز فلوروديوكسي (FDG/^{18}FDG)، لتطبيقات التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني في الكشف عن أنواع مختلفة من السرطان وتحديد مراحلها ومتابعة معالجتها، وأيضاً اللوتشيوم-١٧٧ المنتَج بالمفاعلات للعلاج بالنويدات المشعة والمستخدم مثلاً من أجل رقم البيتيدات لعلاج أورام الأعصاب والغدة الصماء أو رقم الفوسفونات لتخفيف آلام العظام. وفضلاً عن ذلك، هناك طلب كبير على الإيتريوم-٩٠ للعلاج بالنويدات المشعة، وقد أدى ذلك إلى ارتفاع مستوى الاهتمام بعزل وتنقية نويدة السترونتيوم-٩٠ المشعة الأم من الوقود المستهلك. ومع تنامي عدد وحدات التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني في المراكز الطبية، ارتفع مستوى الاهتمام بالنويدات المشعة الباعثة للبوزيترونات والتي تتوافر من خلال مولّدات النظائر، ولاسيما الجرمانيوم-٦٨/الغاليوم-٦٨. وتوافر هذا النوع من المولّدات لا يساعد على تنفيذ دراسات التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني في المراكز التي لا تملك أي سيكلوترونات فحسب، بل ويحسّن نوعية المعلومات المكتسبة من خلال تصوير الأورام مقطعياً باستخدام منتجات الغاليوم-٦٨. أمّا الاهتمام بالنظائر المشعة للنحاس

---

١٤ تتوافر على الموقع IAEA.org معلومات إضافية ضمن الوثائق ذات الصلة بوثيقة *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٧*.

١٥ دليل السيكلوترونات المستخدمة لإنتاج النويدات المشعة في الدول الأعضاء، ٢٠٠٦، الوثيقة IAEA-DCRP/CD.

فيزداد نتيجة لمزايا استخدام النحاس-٦٤/النحاس-٦٢ في التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني وقياس الجرعات.

هاء-٢- تكنولوجيا الإشعاعات

٨٨- في عام ٢٠٠٦، عقدت ثلاثة اجتماعات دولية كبرى، وهي الاجتماع الدولي المعني بالمعالجة الإشعاعية (IMPR-2006)، وندوة تيهاني الحادية عشرة المعنية بالكيمياء الإشعاعية، والندوة الدولية السابعة المعنية بالإشعاعات المؤينة والبوليمرات (IRaP-2006)، وقد غطت هذه الاجتماعات كلاً من الجوانب الجوهرية والتطبيقية لتكنولوجيا الإشعاعات، بما يشمل موضوع التطعيم الإشعاعي للبوليمرات الذي تمت دراسته بشكل مكثف. وتوفّر الإشعاعات وسيلة ذات مزايا عالية في مجال التطعيم، المعرّف على أنه القدرة على ربط أو إنماء مادة مختلفة على البنية الأساسية لمادة أخرى.

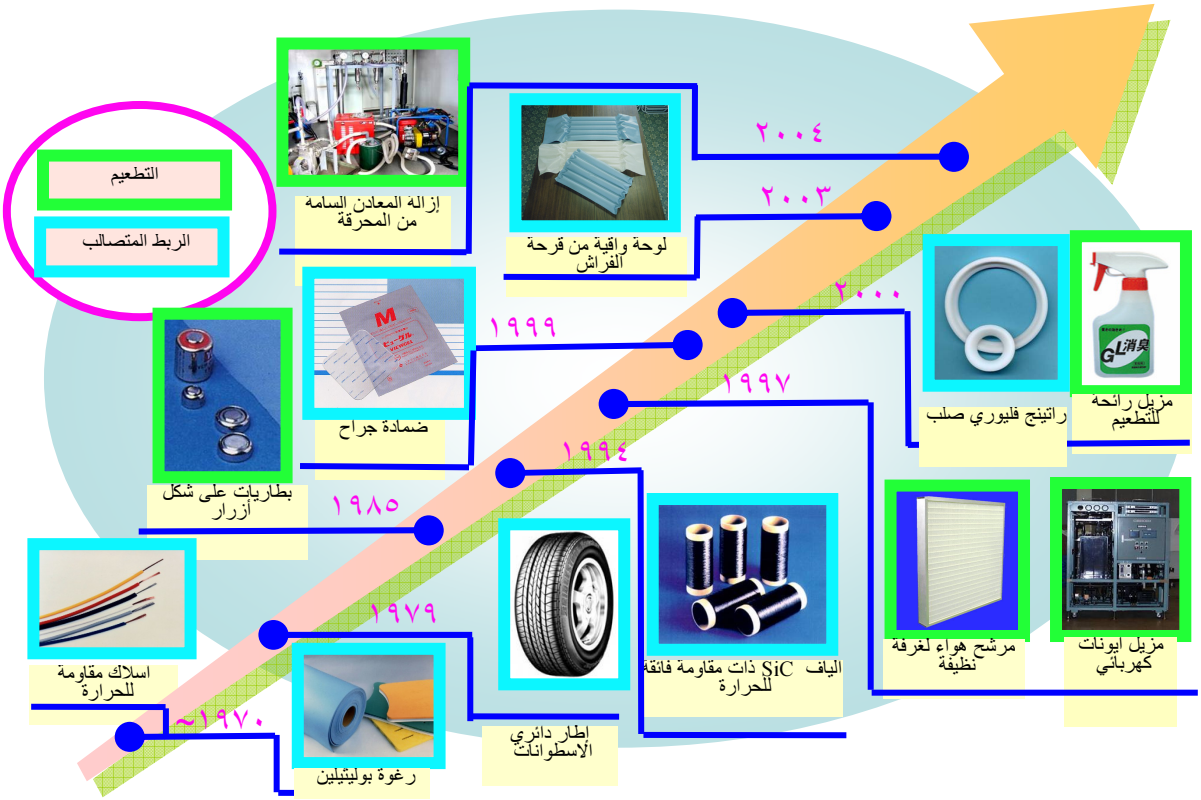
هاء-٢-١- التطعيم الإشعاعي للبوليمرات

٨٩- تُظهر التوجهات الحالية في دراسات البحوث التطويرية أن التطعيم الإشعاعي للبوليمرات يشهد، في الوقت الحاضر، نمواً في ثلاثة اتجاهات رئيسية هي مواد الامتزاز، والأغشية، والاستخدامات في مجال الطب والتكنولوجيا الأحيائية. وفيما يتعلق بالمواد البوليمرية، غالباً ما تكون المادة 'المختلفة' مكوّنة من مركب كيميائي مستقل الجزيئات، في حين أن 'البنية الأساسية' تكون بوليمراً أو مادة صلبة أخرى. ويتم تشكيل رابط كيميائي بين النصف المطعَّم والمادة. ويوفّر الشكل هاء-١ مثالاً من اليابان حول تطور المعالجة الإشعاعية في التطبيقات الصناعية، بما يشمل تطعيم البوليمرات.

المواد الممتزّة البوليمرية

٩٠- جرى تطبيق البلمرة التطعيمية صناعياً في مجال تكنولوجيا إنتاج المواد الممتزّة لأيونات المعادن والغازات الكريهة الرائحة. والبحوث التطويرية في عملية توليف المواد الممتزّة لأيونات المعادن باستخدام تقنيات التطعيم السابقة للتشعيع أدّت إلى الحصول على مواد ممتزّة يمكن استعمالها لإزالة أيونات المعادن السامة كالزرنيخ والرصاص والكادميوم، واستخلاص معادن مثل اليورانيوم والسكانديوم.

التطبيقات الصناعية لبوليمر معدّل بالمعالجة الإشعاعية



الشكل هاء-١: تطور المعالجة الإشعاعية في التطبيقات الصناعية

الأغشية البوليمرية

٩١- إن خلايا الوقود هي مصدر قوى واعد للتطبيقات الثابتة والمحمولة. ويتوقف أداء هذه الخلايا بشكل كبير على الغشاء الموجود في قلب الخلية، الذي يجب أن يبقى مستقراً ضمن البيئة المعادية له المكوّنة من الهيدروجين والأكسجين عند درجات حرارة عالية. ويؤدي الغشاء دور حاجز فاصل يحول دون تمازج الغازات المفاعلية وأيضاً دور محلول كهربائي لنقل البروتونات من القطب الموجب إلى القطب السالب. وفي الوقت الحالي، يشكل استخدام تقنيات التطعيم الإشعاعي أحد أهم السبل الواعدة للحصول على أغشية تحليل كهربائية بوليمرية موصِّلة للبروتونات بكلفة زهيدة. وتتيح هذه الوسيلة استخدام تشكيلة واسعة من الطبقات الأساسية والمونوميرات التي يمكن تكييفها للاستخدام في تطبيقات محدّدة. وتوفّر الأغشية المصنوعة بواسطة التطعيم الإشعاعي خياراً تنافسيا من ناحية الكلفة، نتيجة لاستخدام مواد زهيدة الثمن متوافرة في الأسواق.

استخدام البوليمرات في مجال الطب والتكنولوجيا الحيوية

٩٢- لقد حظيت إمكانية استخدام التكنولوجيا المتقدمة لإعادة تشكيل الأنسجة والأعضاء المتنوّعة باهتمام كبير لأغراض الطب التجدّيدي. وتستخدم وسيلة معروفة باسم 'هندسة لوحات الخلايا' مساحات استنبات متجاوبة مع الحرارة يتم استحداثها بواسطة التطعيم المستحث بالإشعاعات لبوليمرات تتجاوب مع الحرارة بواسطة التشعيع بحزم الأشعة الإلكترونية. ويتم التحكم تحكماً دقيقاً بسمك البوليمر المطعَّم وكثافته ضمن نظام نانومتري. وتتيح هذه المساحات حصد الخلايا من دون أي اختراق للمادة المحيطة من خلال تنظيم بسيط للحرارة. وتم استخدام

لوحات الخلايا المحصودة لإعادة ترميم أنسجة مختلفة، بما فيها أنسجة العين، والروابط المحيطة بالأسنان، ورقع الأنسجة القلبية، والأنسجة المريئية وغيرها من الأنسجة المختلفة.

واو- التقنيات النووية في مجال الأغذية والزراعة

واو-١- استخدام النظائر في التربة من أجل تتبُّع أثر الملوثات

٩٣- تلعب التقنيات النظيرية والنووية دوراً مهماً في تحديد مصدر الملوثات الناشئة عن مختلف الممارسات المتصلة باستخدام الأراضي والأنشطة الزراعية[١٦]. وفي الحالات التي تكون فيها مصادر الملوثات غير معروفة على وجه التحديد، تزداد صعوبة مهمة القائمين على التخطيط البيئي أو المزارعين أو صانعي السياسات في تقرير أنسب الاستراتيجيات الإدارية للحد من تأثيرات الملوثات. وعلى سبيل المثال، فإن المخصِّبات والأسمدة الطبيعية المستعمَلة في المزارع لتعزيز نمو المحاصيل، وكذلك مبيدات الآفات المستخدمة لمكافحة الأمراض التي تصيب المحاصيل والماشية، كلها يمكن أن تصبح ملوثات إذا ما عرفت طريقها إلى الجداول والبحيرات والأنهار. ففي هذه البيئات المائية، تتحول هذه المواد إلى مواد سامة للأسماك، كما تؤدي إلى نمو مفرط للطحالب في الممرات المائية، وربما أثرت على الأنشطة الترفيهية القائمة بما يُلحِق خسائر اقتصادية بصناعة السياحة. والنظائر المستقرة والنويدات المشعة المتساقطة، عند وجودها في عينات التربة أو المياه أو الرواسب، كلاهما يمكن أن يساعد على تحديد مصادر هذه الملوثات الزراعية المأخوذة من مستجمعات المياه تحديداً دقيقاً. والنويدات المشعة المتساقطة، مثل السيزيوم-١٣٧ والرصاص-٢١٠ والبيريليوم-٧، هي عبارة عن حطام مشع عالق بالهواء نشأ عن أنشطة بشرية مثل تجارب الأسلحة النووية ومصادر أخرى، أبرزها حادث تشرنوبيل، وكذلك الحطام الناتج عن التصادم الطبيعي للأشعة الكونية. وهذه النويدات المشعة المتساقطة تعلق بجسيمات التربة، ويمكن بالتالي استخدامها كبصمات لتتبُّع حركة هذه الجسيمات من منشئها في مستجمعات المياه الزراعية وصولاً إلى الممرات المائية. وبالإضافة إلى ذلك، فإن المخصِّبات والأسمدة الطبيعية الزراعية ومبيدات الآفات والإفرازات الحيوانية التي تخلّفها حيوانات الرعي في مستجمعات المياه الزراعية، كلها تحمل بصمات واضحة لنظائر مستقرة (مثل الكربون-١٣ والنتروجين-١٥). وهكذا فإن ثمة مواضع محدَّدة داخل المستجمعات المائية قد تحمل بصمات نظائر مستقرة مختلفة اختلافاً واضحاً (واسمات حيوية طبيعية) بسبب تبايُن الاستخدامات الزراعية وأنماط الرعي الحيواني. وهذه البصمات المختلفة توفر 'أداة للطب الشرعي' في مجال علوم التربة البيئية للتحقق من منشأ طائفة من الملوثات، مثل النترات والفوسفات ومبيدات الآفات، الموجودة في الممرات المائية.

٩٤- كما تساعد عمليات دراسة التربة باستخدام بصمات النظائر المستقرة على فهم تغيُّر المناخ. ذلك أنه يمكن استخدام نظائر معيَّنة مثل الكربون-١٣ والنتروجين-١٥ كبصمات لاستقصاء الكيفية التي تعمل بها التربة كبالوعة لغازات الدفيئة. كما أن التغيرات الحادثة في نظائر الكربون والنتروجين بالتربة يُتوقع أن تعكس التحول في المادة العضوية بالتربة حسبما تتأثر بالتباين في مستويات غازات الدفيئة الموجودة في الغلاف الجوي وفي الأنشطة المتصلة باستخدام الأراضي.

---

١٦ تتوافر على الموقع IAEA.org معلومات إضافية ضمن الوثائق ذات الصلة بوثيقة *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٧*.

واو-٢- تحسين المحاصيل

٩٥- يلعب حثّ الطفرات دوراً رئيسياً في استنباط سلالات جديدة ومحسَّنة من المحاصيل. وقد شهد العقد الماضي تكثيفاً للبحوث التي تتناول استخدام حث الطفرات في تحسين المحاصيل، مع توسيع نطاقها لتشمل تحديد وفهم الدور الذي تلعبه جينات معيَّنة.

٩٦- ويجري استخدام التكنولوجيا لاستنباط سلالات محاصيل ذات نوعية تغذوية محسَّنة، بما في ذلك تقليص العوامل التغذوية المضادة. ومن شأن التغيرات الوراثية الناتجة عن عمليات الطفر المستحث أن تُحدِث تغييرات في قدرة الجينات على التأثير في شتى المسارات الكيميائية الحيوية. وعلى سبيل المثال، فإن أكسالات الكالسيوم (مركَّب يكوِّن بلورات إبرية الشكل، ويوجد في أنواع مختلفة من النباتات السامة) ليست مادة مغذية أو مصدراً مفيداً للكالسيوم، وقد تكون سامة عند تعاطيها بجرعات كبيرة. وتوجد هذه المادة في كثير من الخضر الورقية والمغذية، بما فيها السبانخ، والبنجر السويسري وخضر أخرى صالحة للأكل. وتقليص الأكسالات إلى أدنى حد من خلال حثّ الطفرات يمكن أن يجعل الخضر مغذية وقابلة للهضم بدرجة أكبر.

٩٧- ويجري استقصاء تأثير الأشعة الكونية المولّد للتغييرات أو الطفرات الوراثية، ودور هذه الأشعة في التغييرات والتطور الطبيعيين ومنذ التجارب الدولية الأولى التي أُجريت خلال عقد السبعينات ضمن المهمة الفضائية أبوللو ١٦، والتي درست تأثيرات الأشعة الكونية على الكائنات الحية المختلفة، استُهلّ 'برنامج استيلاد فضائي' في الأكاديمية الصينية للعلوم الزراعية، تمخَّض عن سلسلة من طافرات المحاصيل الجديدة بينها سلالات أرز فائقة الغلة، وتتمتع بخاصية مقاومة الأمراض الفطرية العصفية التي تصيب الأرز، وخضر مثل الطماطم والفلفل ذات ثمار ضخمة الحجم.

٩٨- ويعدّ رسم الخرائط الهجينية الإشعاعية إحدى التقنيات القائمة على تعريض الخلايا الجسدية لجرعات مميتة من أشعة غاما أو الأشعة السينية بهدف تشظية الكروموسومات. ثم يتم إنقاذ هذه الخلايا بإدخالها في صلب خلايا مجهرية تُدمَج بعد ذلك مع خلايا متلقية مناسبة. وقد طُوِّرت هذه التقنية لتيسير عملية ترتيب تسلسل الجينوم البشري ونُقِلت تلك التقنية، التي تتيح رسم خرائط أطقُم مورِّثات كاملة، إلى النظم النباتية حالياً. كما وُضِعت خرائط هجينية إشعاعية لعدد من المحاصيل مثل الشعير والذرة والقمح والقطن بغرض إجراء تحاليل تفصيلية لهذه المحاصيل وترتيب تسلسل مورِّثاتها، وهو ما سوف ييسر تحديد هوية ومسار انتقال الجينات التي تؤثر على خواص مفيدة تتعلق بالهندسة الزراعية والجودة وتحمُّل الإجهاد، وذلك من أجل تحسين المحاصيل.

واو-٣- تحسين إنتاجية الماشية والصحة البيطرية

٩٩- في إطار السعي إلى زيادة الثروة الحيوانية وتحسين منتجاتها، تلعب التكنولوجيات الجزيئية والنووية والتكنولوجيات المتصلة بها، ولا تزال، دوراً مهماً. وتشمل استخدامات تلك التكنولوجيات تحديد البروتينات والحمض النووي (الدنا) والحمض النووي الريبي (الرنا)، ومعالجة تلك المواد وتحديد خصائصها واقتفاء أثرها. والتطورات الحادثة في تكنولوجيات الكشف، مثل التصوير الفسفوري، والمائعيات المجهرية التي تجعل بالإمكان أخذ العينات وتحليلها والتوصل إلى النتائج في خطوة واحدة، واستخدام التكنولوجيات النانومترية، كلها تتيح إمكانات لاستحداث واستخدام أجهزة أكثر حساسية وسرعة ومتانة تحت الظروف المختبرية والميدانية على السواء.

١٠٠- ويتزايد استعمال النظائر المستقرة في تطبيقات الإنتاج الحيواني والصحة البيطرية. فاستخدام الأعلاف الموسومة بالكربون-١٣ أو النتروجين-١٥، أو إضافة المركبات الموسومة بهاتين المادتين مباشرة إلى المعدة الأولى (لحيوان مجترّ)، كلاهما يوفر عناصر جيدة في أيض الكربوهيدرات وتَمَثُّل البروتينات والمغذيات. كما

يمكن استعمال مخلفات الحيوانات المجترّة الناتجة لرسم خرائط تحدد مصير الكربون والنتروجين في التربة والنباتات. وهذه المعلومات تساعد على وضع استراتيجيات لاستغلال الأعلاف بالشكل الأمثل، وعلى زيادة كفاءة واستدامة نظام الإنتاج ككل. وعمليات مقارنة بصمات النظائر المستقرة في سوائل أو نواتج جسم الحيوان ببصمات الأعلاف المحتملة تتيح انتقاء النظام الغذائي وتسجيل ما يطرأ من تغيرات، كما يمكن استخدامها للتمييز بين المدخول الغذائي من الأعشاب المدارية وغيرها من مواد العلف. ويمكن أيضاً الاستفادة من هذا النوع ذاته من المعلومات لتحديد منشأ المنتجات الحيوانية بشكل غير توسعي. ولهذا النهج إمكانات تتيح تحديد الأدوار المحتمل أن تلعبها الحيوانات البرية كناقلة لأمراض الحيوان، حيث يدخل في صميم هذا الموضوع إسهام الطيور المهاجرة في نشر إنفلونزا الطيور من مناطق الأمراض المستوطنة إلى المناطق غير المصابة بالعدوى. ويجري باطراد استخدام تقنية تخفيف الماء الموسوم بالنظائر المستقرة (أكسيد الديوتريوم) لأغراض تحديد كتلة الجسم النحيل، ومحتوى الدهون، وتكوين الجسم، وإجمالي المدخول الغذائي من المياه واللبن في أجسام العجول. وكان الأسلوب التقليدي هو قياس تركيز أكسيد الديوتريوم في سوائل الجسم باستخدام قياس الطيف الكتلي لنسبة النظائر، لكن الدراسات الحديثة كشفت عن تقنية غير مكلّفة نسبياً، حيث يمكن أيضاً استخدام تنظير طيف الأشعة دون الحمراء بنفس القدر من الدقة.

واو-٤- استخدام تقنية الحشرة العقيمة لمكافحة الآفات الحشرية

١٠١- في الوقت الراهن، تستخدم كل برامج مكافحة الآفات الحشرية بإطلاق حشرات عقيمة على نطاق المنطقة بالكامل أجهزة تشعيع تعمل بالنظائر المشعة لأغراض التعقيم، وهي تكنولوجيا أثبتت فعاليتها وإمكانية الاعتماد عليها. بيد أن إعادة تحميل المصادر الإشعاعية القائمة، فضلاً عن اقتناء مصادر جديدة وشحنها دولياً، كلها أمور تكتنفها مشاكل، مما يجعل منتجاً رئيسياً واحداً على الأقل يغادر السوق كلية. ويجري تطوير تكنولوجيا بديلة يُستخدَم فيها التشعيع بالأشعة السينية، وسوف تُستخدَم الأشعة السينية حصرياً لأغراض التعقيم بأحد المرافق الجديدة المختصة بالدودة الحلزونية في بنما. ومن المرجح مستقبلاً أن تحدث زيادة ضخمة في عملية تطوير أجهزة الأشعة السينية واستخدامها لأغراض تقنية الحشرة العقيمة والبرامج ذات الصلة.

واو-٤-١- استخدام تقنية الحشرة العقيمة لمكافحة ذباب الفاكهة

١٠٢- يتواصل التوسع في استخدام تقنية الحشرة العقيمة، باعتبارها أحد مكونات برامج مكافحة الآفات المتكاملة على نطاق المنطقة بالكامل، لأغراض مكافحة الآفات الزراعية الرئيسية، وقد بدأت في عام ٢٠٠٦ عمليات تشغيل عدة مرافق جديدة. وفي "جوازيرو"، بولاية "باهيا" في البرازيل، تم في أيلول/سبتمبر ٢٠٠٦ افتتاح مرفق للتربية المكثفة لذبابة الفاكهة المتوسطية، خُصِّص بصفة أولية لإنتاج حوالي ١٠٠ مليون من الذكور العقيمة. وقد تم توفير الدعم بعدة وسائل، من بينها برنامج التعاون التقني التابع للوكالة، لعملية تطوير المرفق، وسوف يخدم المناطق الآخذة في التوسع بسرعة والمخصصة للإنتاج التجاري للفاكهة (المانجو، والعنب، وما إلى ذلك)، وهي المناطق التابعة لشتى المقاطعات المحيطة بنهر سان فرانسيسكو، التي تقع في القطاع الشمالي الشرقي القاحل من البرازيل وتعتمد عليه لأغراض الري. كما يُتوقع أن يتم، في إطار التوسعات المستقبلية للمرفق، إنتاج بعض أنواع ذباب الفاكهة من فصيلة *Anastrepha* spp.، علاوة على التربية المكثفة لآكلات ذباب الفاكهة. ويوفر المشروع إمكانات واسعة لتقليص التطبيقات الخاصة بالمبيدات الحشرية عن طريق قمع ذباب الفاكهة بأسلوب غير ضار بالبيئة. ويتمثل الهدف النهائي في الاستغناء عن المعالجات المكلفة بعد الحصاد، وذلك بإنشاء مناطق تقل فيها معدلات انتشار ذباب الفاكهة ومناطق خالية منه تماماً على نحو معترف به رسمياً من قِبَل الشركاء التجاريين.

مناطق إنتاج التفاح والإجاص في "باتاغونيا" بالأرجنتين.

١٠٣- وفي أسبانيا، بمنطقة "فالنسيا" التي تعدّ المنطقة الرئيسية المنتجة للموالح، تم تشييد مرفق آخر لتربية وتعقيم ذبابة الفاكهة المتوسطية سينتج ٤٠٠ مليون من الذكور العقيمة أسبوعياً. وقد تم توفير دعم تقني بموجب مذكرة تفاهم موقَّعة بين البرنامج المعني باستخدام التقنيات النووية في مجال الأغذية والزراعة، المشترك بين الفاو والوكالة، ووزارة الزراعة وصيد الأسماك والأغذية التابعة لحكومة فالنسيا.

١٠٤- وأصبحت منطقة "باتاغونيا" في الأرجنتين بأكملها في الوقت الحالي معترفاً بها رسمياً من قِبَل إدارة تفتيش الصحة الحيوانية والنباتية التابعة للولايات المتحدة الأمريكية بوصفها أول منطقة خالية من ذباب الفاكهة في البلد. ويأتي هذا النجاح الباهر تتويجاً لعشر سنوات من الجهود المشتركة بين الحكومات الاتحادية والمحلية من جهة وصناعة الفاكهة من جهة أخرى. وقد أسهم في تحقيق ذلك النجاح ما حظي به هذا المجهود من دعم تقني قدمته منظمات وطنية ودولية، من بينها المعهد الوطني للتكنولوجيا الزراعية والفاو والوكالة. وسيسمح هذا الإنجاز لمنطقة "باتاغونيا" بتصدير الفواكه والخضر الطازجة إلى الولايات المتحدة الأمريكية بلا أية معالجات خاصة بالحجر الصحي، وهو ما يمثل وفورات سنوية مقدارها ٢ مليون دولار وفق تقديرات المرفق الوطني لأمان الأغذية وجودتها. وعقب هذه النجاحات، أعلنت أمانة جهاز الزراعة والثروة الحيوانية والمصايد السمكية حالياً موافقتها على تمويل البدء في برنامج جديد لمكافحة ذباب الفاكهة ينطوي أيضاً على تطبيق تقنية الحشرة العقيمة، وذلك على مساحة تبلغ ٥٦ ٠٠٠ هكتار وتضم المقاطعتين الأساسيتين المنتجتين للموالح في الأرجنتين ("إنتر ريوس" و"كوريينتس") والواقعتين شمال شرقي البلد.

واو-٤-٢- استخدام تقنية الحشرة العقيمة لمكافحة الدودة الحلزونية

١٠٥- في بنما، تم في تموز/يوليه ٢٠٠٦ افتتاح مرفق جديد لتربية حوالي ١٠٠ مليون من ذباب دودة العالم الجديد الحلزونية. وخلال العقود الثلاثة الماضية، اعتمدت نجاحات برنامج استئصال الدودة الحلزونية على مرفق التربية المكثفة التابع للهيئة المكسيكية-الأمريكية لاستئصال الدودة الحلزونية في "توكستلا غوتييريز"، "تشياباس"، المكسيك، الذي وفَّر الذباب العقيم لجميع حملات الاستئصال التي أُطلِقت في المكسيك ومنطقتي أمريكا الوسطى والكاريبي. وخلال السنوات الأخيرة أتاح إنتاج هذا المرفق أيضاً، رغم انخفاضه كثيراً، توفير ذباب عقيم للحفاظ على حاجز الذباب العقيم شرقي بنما ومن أجل برنامج الاستئصال الجاري في جامايكا.

واو-٤-٣- استخدام تقنية الحشرة العقيمة لمكافحة البعوض

١٠٦- ثمة اهتمام بتطبيق تقنية الحشرة العقيمة لا لمكافحة بعوض الإنوفيليس *Anopheles الناقل للملاريا فحسب، بل وكذلك لمكافحة البعوض الناقل لأمراض فيروسية خطيرة مثل الحمى الدنجية وحمى الشيكونغونيا.* وفي "ريميني" بإيطاليا، تم البدء في مشروع رائد تجريبي لمكافحة بعوض الإيدس ألبوبكتوس *Aedes albopictus، الناقل* للحمى الدنجية وتم تطوير أساليب لإنتاج أعداد ضخمة من ذكور الخادرات لأغراض التعقيم والإطلاق. وتمت عمليات إطلاق واسعة للذكور العقيمة بإحدى المناطق في "ريميني"، وكان لذلك تأثيرات قابلة

للقياس على كثافة مجموعات الناقلات. كما كان هذا النوع من البعوض ذاته سبباً في وباء حمى الشيكوغونيا الخطير الذي أصاب مؤخراً بعض الجزر الواقعة في المحيط الهندي، خاصة "ريونيون".

واو-٥- جودة الأغذية وأمانها

واو-٥-١- رصد الأمان: قياس مخلفات مبيدات الآفات

١٠٧- تتسم الأساليب التحليلية المصدَّقة بأهمية جوهرية لتنفيذ برامج رصد أمان الأغذية. ويلزم رفع أداء هذه الأساليب وقابليتها للتطبيق في مختبرات البلدان النامية إلى أفضل مستوى. وإضافة إلى ذلك، تشترط بروتوكولات ضمان جودة المختبرات ذات الصلة الإفادة بالنتائج مقترنة بتقديرات لما يرتبط بها من عدم تيقن. وقد ساعدت وحدة المواد الكيميائية الزراعية التابعة لمختبرات الوكالة في زايبرسدورف في إعداد بروتوكولات من هذا القبيل تنظم استخدام المركَّبات المرقومة إشعاعياً من أجل بلوغ أفضل مستوى لتحضير العينات وعمليتي الاستخلاص والتنظيف والخطوات التحليلية المتَّبعة أثناء صياغة الأساليب التحليلية الكروماتوغرافية المزمع استخدامها في البرامج الرقابية، وذلك لأغراض تحليل مخلفات مبيدات الآفات وغيرها من الملوثات في العينات الغذائية والبيئية. كما تساعد هذه البروتوكولات في تقدير نسبة عدم التيقن في القياسات المرتبطة بالأساليب المذكورة.

زاي- الصحة البشرية

زاي-١- جوانب التقدم في الطب النووي لأمراض القلب

١٠٨- تمثل الاستراتيجيات الابتكارية في مجال التقنيات النووية قوة دافعة للطب النووي لأمراض القلب، بدءاً من تقدير تدفق الدم من الشريان التاجي إلى عضلة القلب وقدرتها على ضخ الدم إلى الشرايين الأساسية، وصولاً إلى التصوير الجزيئي. والجمع بين المعلومات المتوفرة من التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني، ومن أجهزة المسح الحديثة المستخدمة للتصوير المقطعي الحاسوبي، في أنظمة هجينة تتألف منهما معاً، يتيح حالياً تقويم مرض الشريان التاجي في مراحله المبكرة تماماً. والقيمة التي تضيفها هذه التكنولوجيا مهمة خصوصاً لمرضى ذوي ظروف معيَّنة مثل المصابين بالداء السكري وارتفاع ضغط الدم وارتفاع مستويات المركَّبات الدهنية في الدم. وهذه المعلومات المعقدة، الهيكلية والجزيئية معاً، على مستوى الخلايا تتيح تقدير المخاطر الفردية لما قد يحدث مستقبلاً من إصابات حادة وربما مميتة تؤثر على عضلة القلب. ومن شأن تقدير المخاطر الفردية أن يتيح إسداء النصح بشأن التغييرات المتصلة بنمط الحياة، أو التدخل الطبي المبكر، بغية تأخير تقدم أمراض القلب والأوعية الدموية وتقليص ما يرتبط بها من عوامل الخطر.

١٠٩- ومن وجهة النظر الطبية، فإن اختيار أنسب الطرائق التشخيصية في المراحل المختلفة لأمراض القلب والأوعية الدموية سوف يعتمد على طبيعة الخلفية الإكلينيكية والسؤال المحدد المطروح. ومع تزايد التركيز على الوقاية وما يصاحب ذلك من تقدم في أعمار السكان بالدول الأعضاء المتقدمة والنامية، سيستمر تنامي التصوير غير الاجتياحي للقلب بما له من تأثير على معالجة المرضى المصابين بأمراض القلب والأوعية الدموية على نطاق العالم.

زاي-٢- الحالة الراهنة للعلاج بالأشعة

١١٠- في مجال العلاج بالأشعة، بفضل الاستدلال على الأورام ووصفها بدقة باستخدام التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني/التصوير المقطعي الحاسوبي وبواسطة التصوير بالرنين المغنطيسي، يمكن تخطيط المعالجات بالأشعة بحيث تراعي في آنٍ معاً السمات التشريحية التي يبيِّنها التصوير المقطعي الحاسوبي، وكذلك التصوير الجزيئي الناتج عن تكنولوجيات التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني والتصوير بالرنين المغنطيسي.

١١١- واستخدام التقنيات الجديدة لتنفيذ العلاج بالأشعة يكتسب شعبية متزايدة. ويشمل العلاج الإشعاعي المتطابق الثلاثي الأبعاد تقنيات محاكاة افتراضية أو باستخدام التصوير المقطعي الحاسوبي علاوة على تخطيط علاجي ثلاثي الأبعاد. والهدف من ذلك هو تشكيل توزيع الجرعة الناتجة عن الحزم الإشعاعية بصورة أقرب لحجم الورم، عن طريق تركيز الحزم الإشعاعية في ثلاثة أبعاد. وقد انبثق العلاج الإشعاعي المعدَّل الكثافة عن العلاج الإشعاعي المتطابق الثلاثي الأبعاد. ويقوم الطبيب أولاً بتحديد خطة توزيع الجرعة، كما في العلاج التقليدي بالأشعة، لكن تُستخدَم بعد ذلك لوغاريتمات حاسوبية فائقة التعقيد في استنباط النسق الأمثل لاتجاهات الحزم الإشعاعية وشدتها داخل كل حزمة من أجل تحقيق التوزيع الموصوف للجرعة-الحجم. ويؤدى ذلك باستخدام معجِّل خطي (linac) مزوَّد بمسدِّد متعدد الرقائق. وتستخدم آلة تسمى سكين التحكم الأوتوماتي Cyber-Knife حركات تدار بواسطة عامل آلي تتيح تدقيقاً أكبر للحزم الإشعاعية العالية التركيز. ويمكن استخدام العلاج الإشعاعي المعدل الكثافة لإحداث توزيعات للجرعة أكثر مطابقة إلى حد بعيد مقارنة بتلك التي يمكن الحصول عليها بواسطة العلاج الإشعاعي المتطابق الثلاثي الأبعاد. ويعني هذا بدوره أنه يمكن بدرجة كبيرة تقليل حجم الأنسجة الطبيعية المعرَّضة لجرعات عالية. بيد أنه، رغم أن تشكيل توزيعات الجرعة حسب الحاجة بدقة عالية قد خفَّف بشكل كبير من الآثار السلبية للعلاج بالأشعة (الاعتلال)، يظل من غير المؤكد ما إذا كان عدد من يشفون من مرضى السرطان قد ازداد أو ما إذا كانت أعمارهم قد امتدت لفترات أطول مما كانت ستكون عليه لو استُخدِمت تكنولوجيات أقل تعقيداً.

١١٢- كما تحدث تطورات سريعة في الأساليب المستخدمة للتغلب على المشاكل الخاصة بالأورام وحركة أعضاء الجسم. فأجزاء الجسم تتحرك، سواء أثناء جلسات العلاج بالأشعة أو من جلسة علاجية إلى أخرى، وذلك بسبب عمليتي التنفس والهضم علاوة على الاختلافات الطفيفة في الوضع الذي يُجَهَّز به المريض لكل معالجة. وهذه الحركة يمكن أن ينتج عنها إيصال جرعة مفرطة إلى الأنسجة الطبيعية المحيطة بالورم، فضلاً عن عدم الكفاية العلاجية للورم ذاته. وينطوي العلاج الإشعاعي الموجَّه تصويرياً على تصوير المريض في الوضع العلاجي راقداً على الأريكة، وقبل المعالجة مباشرة وأثناء الجلسات العلاجية. ويُستخدَم في تحديد التحولات التي تطرأ على الورم ومكان العضو وفي التتبُّع الحركي، بما يتيح تعديل العلاج بالأشعة إلى الوضع الراهن. وبالاقتران مع نظام 'تحكُّم' في الجهاز التنفسي يفتح ويغلق الحزمة الإشعاعية العلاجية بالتزامن مع حركة التنفس، يمكن حصر المعالجة في ذلك الجزء من الدورة التنفسية الذي يكون فيه الورم متراصفاً مع الحزمة الإشعاعية، فتزداد بالتالي الجرعة الموجهة إلى الورم وتقل الجرعة التي تصيب الأنسجة المحيطة. وفي الجهاز المزدوج المستخدم للتصوير المقطعي-العلاج (انظر الشكل زاي-١)، يحل معجل خطي محل أنبوب الأشعة السينية وتؤدى المعالجة أثناء دوران المعجل الخطي حول المريض، حيث تعدَّل الجرعة الإشعاعية باستخدام مُسدِّد ثنائي متعدد الرقائق. ويسجل جهاز للكشف إشعاعات المعجل الخطي التي تتخلل المريض، ويتم الحصول على صور عالية الجودة للغاية متزامنة مع أداء المعالجة. ونتيجة لدرجة التطور المحققة، فإن هذه العملية والعلاج الإشعاعي الموجَّه تصويرياً بوجه عام باتت تعرف باسم العلاج التكيُّفي بالأشعة.

الشكل زاي-١- معالجة مركَّبة باستخدام التصوير المقطعي والأساليب العلاجية

زاي-٣- التغذية

١١٣- تتجلى بوضوح الحاجة الماسة إلى تدخلات تغذوية فعالة على ضوء الوضع العالمي الراهن، حيث يعاني ١٧٠ مليون طفل من النحافة ويمثل نقص التغذية عاملاً مهماً في أكثر من نصف مجمل وفيات الأطفال على نطاق العالم من ناحية، ويعاني أكثر من بليون بالغ من السمنة من ناحية أخرى. وتُعرَف هذه الظاهرة باسم 'العبء المزدوج لسوء التغذية'. وينتج عنها عبء ثقيل تنوء به النظم الصحية في البلدان التي ستزداد فيها الحاجة إلى معالجة الأمراض المتصلة بالأنظمة الغذائية، كأمراض القلب والداء السكري مثلاً، في الوقت الذي يستمر فيه انتشار نقص التغذية والأمراض المعدية.

١١٤- واستخدام التقنيات النووية، خاصة استخدام تقنيات النظائر المستقرة، يمكن أن يساعد في استنباط تدخلات تغذوية وتقييمها. وينصبّ تركيز الأنشطة التي تقوم بها الوكالة في مجال التغذية البشرية بصفة خاصة على أهمية الوقاية من سوء التغذية ومعالجته أثناء 'الفرصة السانحة'، أي أثناء الحمل وخلال العامين الأولين من العمر.

١١٥- ويعدّ التوسع في تطبيق هذه التقنيات المتصلة ببرامج التغذية في البلدان النامية مثالاً على التطورات التي طرأت مؤخراً في مجال التغذية التطبيقية. وسوف يسهم تزايد إمكانية الحصول على المعدات التحليلية، مثل أجهزة المطياف الكتلي لتحديد نسبة النظائر المخصصة لمشاريع التغذية، مساهمة كبيرة في زيادة تطبيق تقنيات النظائر المستقرة في المستقبل القريب. ويتسم بأهمية خاصة في هذا الصدد ما تم تطويره مؤخراً من معدات أقل تكلفة، مثل مطياف محوّل فوريه بالأشعة تحت الحمراء، تُستخدَم في تحليل الديوتريوم (نظير مستقر للهيدروجين) بغرض تقويم تكوين الجسم وقياس المدخول الغذائي من اللبن البشري لدى الأطفال الذين يرضعون طبيعياً.

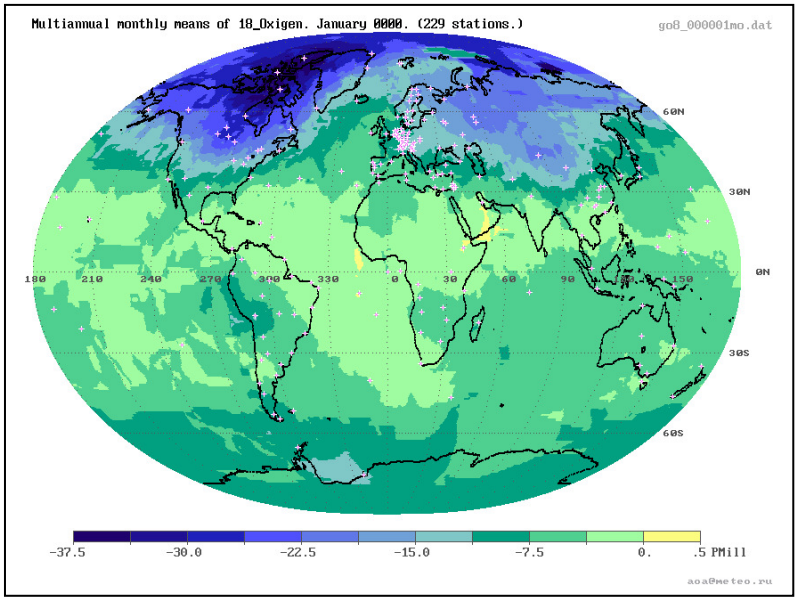
حاء- المياه والبيئة

حاء-١- استخدام البيانات النظيرية لإدارة الموارد المائية

١١٦- يتحدد وجود الموارد المائية وتوزيعها، سواء في الكتل المائية السطحية أو في مستودعات المياه الجوفية، إلى حد كبير تبعاً للنظام المناخي السائد. ومن المسلَّم به أن تحسين فهم دورة المياه والتأثير المحتمل لتغيُّر المناخ هو عنصر أساسي في الجهود الهادفة إلى الإدارة المستدامة للموارد المائية. وتساعد مكونات النظائر في الأمطار والأنهار والمياه الجوفية – لا سيما نظائر الأكسجين والهيدروجين والتريتيوم – على فهم العلاقة بين دورة المياه والمناخ. ولذا فإن بيانات النظائر مفيدة للغاية في كشف تأثير تقلبات المناخ على الموارد المائية. وتعتمد البحوث التي تجرى في هذه الآونة على نطاق العالم بشأن معدلات تراكم الجليد واختفائه اعتماداً مكثفاً على التحليل النظيري للعينات الجليدية الجوفية وعلاقتها بالنظائر الموجودة في الأمطار حالياً. كما تعتمد جوانب أخرى تخص تطبيقات النظائر بغرض إدارة الموارد المائية على التكوين النظيري للأمطار الحديثة.

١١٧- وعلى ضوء التسليم بهذا التطبيق المهم للبيانات النظيرية، يعكف عدد من البلدان على اتخاذ خطوات لزيادة وفرة البيانات النظيرية على النطاق الوطني. ففي خلال عام ٢٠٠٦، استُهلّ في الهند مشروع ينصبّ على تجميع وتفسير التكوينات النظيرية للأمطار وتدفق مياه الأنهار والمياه الجوفية. كما استهلت تايلند جهوداً مماثلة وُجِّهت نحو إقامة قاعدة بيانات وطنية.

١١٨- وسوف تؤدي هذه الجهود الوطنية إلى زيادة تعزيز الشبكة العالمية لاستخدام النظائر في دراسة الأمطار التي تشغِّلها الوكالة منذ عام ١٩٦١. ويعرض الشكل حاء-١ توزيع نظائر الأكسجين في الأمطار، حسبما قيس في أحد شهور كانون الثاني/يناير الباردة عادة في نصف الكرة الشمالي. ويبيِّن الشكل المذكور شدة ارتباط النظائر بدرجة الحرارة (المناطق الأكثر برودة تقل فيها نسب النظائر). والبيانات النظيرية المستمدة من الشبكة المذكورة تزود البلدان بأداة لتفسير واستخدام بياناتها النظيرية الوطنية أو المحلية بما يحقق الغرض منها. وبيانات الشبكة المذكورة، فضلاً عن كونها تساعد على فهم تأثيرات المناخ على دورة المياه، تتسم بأهمية حاسمة لتطبيقات متنوعة مثل تقدير موارد المياه الجوفية وإدارتها، وتحديد مصادر التلوث، وتوثيق منشأ الفواكه والخضر.



الشكل حاء-١ - ارتباط النظائر بدرجة الحرارة: نظائر الأكسجين في شهر كانون الثاني/يناير

حاء-٢- البيئتان البحرية والبرية

حاء-٢-١- التحليل المجهري للجسيمات المشعة في الرواسب البحرية

١١٩- إن نسبة كبيرة من النويدات المشعة الطبيعية والبشرية المنشأ على السواء التي تدخل إلى البيئة البحرية ترتبط بجسيمات ذات منشأ بيولوجي أو معدني أو نووي. فمن المعروف، على سبيل المثال، أن النظائر المشعة الطبيعية المنشأ لكلٍّ من البولونيوم والثوريوم والرصاص، الموجودة في المحيطات، تُكتسَح بفعل الجسيمات البحرية الرسوبية خلال رحلتها إلى أعماق المحيط.[١٧] وبعض النويدات المشعة ذات المنشأ البشري الموجودة في الرواسب البحرية تحدث في 'جسيمات ساخنة' مجهرية. وهذه الجسيمات تمثل مصادر ثابتة ربما كانت ذات دلالة إشعاعية إذا تم تناولها بواسطة كائنات حية بحرية أو بشر، بما يلزم معه تقويم الجسيمات الساخنة الموجودة في المحيطات، وكذلك خواصها وسلوكها الكيميائي الأرضي الأحيائي، في الأمد الطويل. وتتوافر حالياً طائفة من تقنيات التصوير المجهري والتقنيات التحليلية، بما فيها الاستجهار بطريقة المسح الإلكتروني، وتقنيات الأشعة السينية المجهرية القائمة على السنكروترون، وتقنيات مقياس الطيف الكتلي المجهري، مثل التحليل بطريقة قياس الطيف الكتلي للأيونات الثانوية، وقياس الطيف الكتلي باستخدام البلازما المقرونة بالحث.

حاء-٢-٢- استخدام المقتفيات الإشعاعية لدعم أمان الأغذية البحرية

١٢٠- تعدّ تربية الأحياء البحرية من الرخويات ذات الصدفتين (مثل بلح البحر والمحار والأسقلوب) من الأنشطة المتنامية عالمياً واقتصادياً. على أن هذا النشاط عرضة باستمرار للمخاطر بسبب حساسية هذه الأغذية البحرية للمعادن السامة المتراكمة بيولوجياً إلى مستويات تتجاوز المبادئ التوجيهية التي تحكم أمان تلك الأغذية وتصديرها.

١٢١- واستخدام تقنيات المقتفيات الإشعاعية يقدم تشخيصاً فعال التكلفة للاستراتيجيات الإدارية الخاصة بالتخفيف من حدة هذه المخاطر. فالمقتفيات الإشعاعية تتيح تتبعاً حساساً لامتصاص المعادن السامة وتمركزها والتخلص منها سواء في الكائنات الحية المستهدفة (الرخويات ذات الصدفتين، والأسماك، والقريدس)، أو عبر السلاسل الغذائية البحرية بأكملها. فمن المعروف حالياً، على سبيل المثال، أن محار الأسقلوب يركز حيوياً كميات ضخمة من معدن الكادميوم السام في أنسجته إلى مستويات أعلى في أحوال كثيرة من المبادئ التوجيهية الموصى بها دولياً. وقد أظهرت الدراسات التي أجريت باستخدام مقتفيات إشعاعية للكادميوم-١٠٩ مزودة بخاصية التصوير الإشعاعي الذاتي أن الكادميوم يصبح مركزاً بصورة شبه حصرية في الكلى وفي الغدة الهضمية (انظر الشكل حاء-٢)، وهذه الأجزاء لا يأكلها المستهلكون عادة ولذا يمكن إزالتها قبل أن تدخل السلسلة الغذائية. وهكذا فإن هذه الدراسات المتعلقة بالمقتفيات الإشعاعية تزود صناعة المحاريات بمقاييس عملية لتحسين جودة الأغذية البحرية المتداولة في الأسواق الدولية.

---

١٧ تتوافر على الموقع IAEA.org معلومات إضافية ضمن الوثائق ذات الصلة بوثيقة *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٧*.

رسم بياني

الشكل حاء-٢: تشير المواضع السوداء إلى تركزات مقتض الكادميوم-١٠٩ الإشعاعي في محارة أسقلوب (Credit C Rouleau IML Canada)

حاء-٣- رصد تلوث الهواء

١٢٢- إن تلوث الهواء بفعل المواد الجسيمية العالقة يهدد الصحة البشرية، خاصة في المدن الكبرى. فجسيمات التلوث الدقيقة يمكن أن تتغلغل بعمق داخل الرئة وقد تبقى فيها لمدة طويلة. والأنظمة الفعالة لإدارة جودة الهواء تعني أن تكون مصادر الجسيمات المسبِّبة لتلوث الهواء معروفة. والتقنيات التحليلية النووية (تألق الأشعة السينية، والتحليل بالتنشيط النيوتروني، وتقنيات حزم الأشعة الأيونية) هي أدوات يمكن استعمالها لتحديد تكوين عناصر المواد الجسيمية في الهواء. ومتى عُرف هذا التكوين، يمكن تحديد المصدر المعيَّن، أو يمكن تقدير المساهمات النسبية لأنواع مصادر التلوث المختلفة، كالاستدلال مثلاً على التلوث الناشئ عن المَركَبات أو الصناعات أو الناتج عن مصادر عابرة للحدود. واستناداً إلى هذه المعلومات، يمكن اتخاذ قرارات بشأن الإجراءات الهادفة إلى الحد من الانبعاثات، عن طريق القيام مثلاً بتخفيض كميات البنزين المحتوي على الرصاص أو حظر استخدامه، أو تحسين البنية الأساسية الحضرية للنقل. وقد أحرزت هذه التدابير نجاحاً بصفة خاصة في منطقة جنوب شرق آسيا. وبالمثل يمكن استخدام تقنيات التحليل النووي لقياس مدى فعالية التدابير المضادة للتلوث.

الشكل حاء-٣: جهاز ذو طاقة عالية لأخذ عينات من الهواء، يستخدم في حالات تلوث الهواء أو رصد الرادون

حاء-٤- الرادون الموجود في الغلاف الجوي

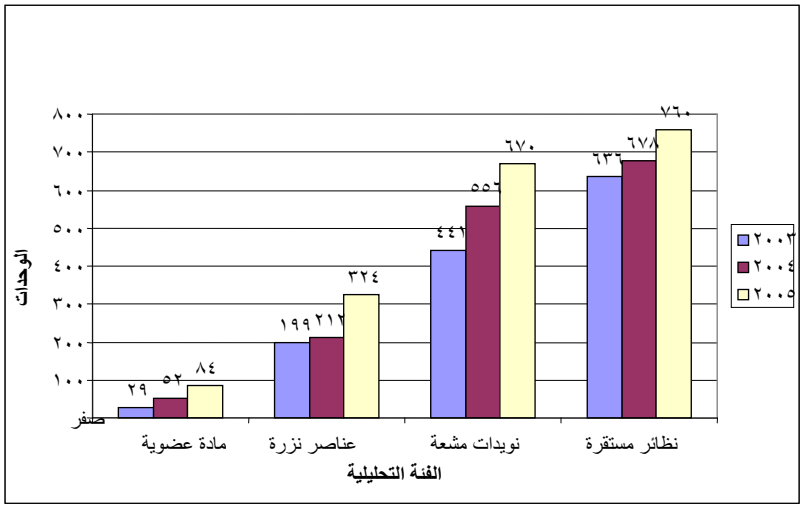
١٢٣- الرادون غاز مشع طبيعي يدخل الغلاف الجوي باستمرار من سطح الأرض. والعمر النصفي للرادون-٢٢٢ (٣,٨٢ أيام) مماثل للأعمار النصفية لكثير من الملوثات الموجودة في الغلاف الجوي مثل ثاني أكسيد الكبريت، والأكاسيد النترية، والأوزون. وبالتالي، فإن قياسات الرادون تُستخدَم باطراد في دراسات عمليات الغلاف الجوي، خصوصاً لاختبار الدوران ونماذج الانتقال في الغلاف الجوي.

١٢٤- وتتفاوت تركيزات الرادون تبعاً لاتجاه الرياح، خاصة قرب السواحل حيث يكون تدفق الرادون داخل الغلاف الجوي من المحيطات أقل كثيراً مقارنة بتدفقه من اليابسة. ومعنى هذا أنه يمكن استخدام الرادون كمؤشر لدرجة اتصال كتلة الهواء بالأرض. ومن أمثلة هذا التطبيق إدماج قياسات الرادون كجزء من برنامج المراقبة العالمية للغلاف الجوي التابع للمنظمة العالمية للأرصاد الجوية. ويهدف البرنامج المذكور إلى صياغة ملاحظات موثوقة عن التكوين الكيميائي للغلاف الجوي ونخبة منتقاة من خواصه الفيزيائية على النطاقين العالمي والإقليمي؛ فضلاً عن تزويد الأوساط العلمية بالسبل الكفيلة بالتنبؤ بالأحوال الجوية مستقبلاً، وتنظيم تقويمات داعمة لصياغة سياسة بيئية. وهذه المتطلبات المتعلقة بالدراسات الجوية تقود حالياً إلى تحسينات في نظم كشف الرادون في عدة مجالات.

حاء-٥- المواد المرجعية والجودة التحليلية

١٢٥- يتطلب الرصد البيئي قياسات متزايدة الدقة ونتائج قابلة للتكرار تحقيقاً لعدة أغراض من بينها تعزيز الثقة في الأمن الغذائي والتجارة الدولية. وتعكف المختبرات في أنحاء العالم على تعزيز عملية توفير الأدوات اللازمة لضمان جودة نتائج القياس وقابليتها للمقارنة في اتجاهين أساسيين. الأول هو إقامة بنية أساسية ملائمة للقياس، تنطوي بصورة أساسية على معاهد وطنية للأرصاد الجوية وعلى توفير المعايير الضرورية للمعايرة. والثاني هو توفر أدوات لضمان ومراقبة الجودة، بما يشمل المواد المرجعية. وهذه شبيهة بأنواع العينات العادية، وتحوي كميات معروفة من المواد التي يتم تحليلها بصورة روتينية. غير أن كمّ أنواع المواد وما يتم تحليله منها في مجال الرصد البيئي والدراسات البيئية ضخم، كما أن احتياج المختبرات إلى مواد مرجعية ملائمة مرتفع للغاية.

١٢٦- والتكنولوجيا النووية والمواد المرجعية مرتبطان بشدة من جانبين. أولاً، التقنيات النووية والتقنيات التحليلية المرتبطة بها (مثل التنشيط النيوتروني) تُعتبَر بمثابة تقنيات مرجعية لتحديد خواص المواد المرجعية الجديدة. ثانياً، المواد المرجعية تُطبَّق بصورة روتينية لفحص جودة نتائج القياس التي يتم الحصول عليها بواسطة التقنيات التحليلية النووية. وتتنامى باستمرار الحاجة إلى مواد مرجعية عالية الجودة وراسخة جيداً من منظور الأرصاد الجوية، تحدد خصائص النويدات المشعة، والنظائر المستقرة، والعناصر النزرة، والملوثات العضوية، وما إلى ذلك (انظر الشكل حاء-٤). ولضمان الثقة اللائقة في نتائج القياس، تولي أجهزة دولية مثل المنظمة الدولية للتوحيد القياسي، والتعاون بشأن المتابعة الدولية في مجال الكيمياء التحليلية، مزيداً من الاهتمام لمجال إنتاج المواد المرجعية.



الشكل حاء-٤: وحدات مواد مرجعية خاصة بالوكالة وزِّعت في الأعوام ٢٠٠٣ و٢٠٠٤ و٢٠٠٥