IAEA
تسخير الذرة من أجل السلام

المؤتمـــر العـــام

GC(53)/INF/3
Date: 7 August 2009

General Distribution
Arabic
Original: English

الدورة العادية الثالثة والخمسون
البند ١٨ من جدول الأعمال المؤقت
(الوثيقة GC(53)/1)

استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٩

تقرير من المدير العام

موجز

- تلبية لطلبات الدول الأعضاء، تصدر الأمانة كل عام استعراضاً شاملاً للتكنولوجيا النووية. ويرد مرفقاً بهذه الوثيقة التقرير الخاص بالعام الجاري، والذي يسلّط الضوء على التطورات البارزة سيما التي شهدها عام ٢٠٠٨.

- يتناول *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٩* المجالات التالية: تطبيقات القوى، وتقنيات الانشطار والاندماج المتقدمة، والبيانات الذرية والنووية، وتطبيقات المعجلات ومفاعلات البحوث، والتقنيات النووية المستخدمة في ميدان الأغذية والزراعة، والصحة البشرية، والبيئة، والموارد المائية، وإنتاج النظائر المشعة وتوافرها. وهناك وثائق إضافية مرتبطة بوثيقة *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٩* متاحة على موقع الوكالة الشبكي[١]، باللغة الإنجليزية، وهي تتناول التطورات في ميدان الاستيلاد الطفري للنباتات؛ وتوكيد الجودة في مجال قياس الجرعات – الإنجازات والاتجاهات؛ واستخدام النظائر المشعة لتيسير إدارة الأنهار والمستجمعات المائية العابرة للحدود؛ وأساليب التشييد المتقدمة لمحطات القوى النووية الجديدة؛ التشابك بين محاطات القوى النووية والشبكات الكهربائية؛ وتحقيق التكامل بين الاستراتيجيات الخاصة بالمناخ والأراضي والطاقة والمياه.

- ويمكن أيضاً الاطلاع على معلومات عن أنشطة الوكالة المتعلقة بالعلوم والتكنولوجيا النووية في التقرير السنوي لعام ٢٠٠٨ (الوثيقة GC(53)/7)، خاصة في القسم الذي يتناول "التكنولوجيا"، وفي تقرير التعاون التقني لعام ٢٠٠٨ (الوثيقة GC(53)/INF/4)؛ الصادرين عن الوكالة.

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

١ http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC53/Agenda/index.html.

استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٩

تقرير من المدير العام

موجز جامع

١- كان عام ٢٠٠٨ حافلاً بالمتناقضات في مجال القوى النووية. فقد نـُقحت إسقاطات النمو المستقبلي فأصبحت أعلى، ولكن لم تربط بالشبكة الكهربائية أي مفاعلات جديدة. وكانت هذه أول سنة منذ عام ١٩٥٥ لم يبدأ فيها تشغيل مفاعل جديد واحد على الأقل. بيد أنه كانت هناك عشر حالات بدء تشييد، وهذا أكبر عدد منذ عام ١٩٨٥.

٢- وإلى أن بدأت الأزمة المالية العالمية، على الأقل، كانت تقديرات التكاليف المبلغ بها للمفاعلات النووية الجديدة أعلى في كثير من الأحيان مما كانت عليه في الأعوام السابقة، ولاسيما في المناطق التي لديها خبرة أقل حداثة في مجال تشييد المفاعلات الجديدة. بيد أن الأهداف الخاصة بنمو القوى النووية رُفعت في الاتحاد الروسي واعتبارات مشابهة كانت قيد الاستعراض في الصين. وتفاوضت الهند في آب/أغسطس على اتفاق ضمانات مع الوكالة، ثم أعفت مجموعة الموردين النوويين الهند لاحقا من القيود التي كانت مفروضة سابقا على التجارة النووية، الأمر الذي ينبغي أن يتيح للهند أن تعجّل توسيعها المعتزم للقوى النووية.

٣- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، تلقت الهيئة الرقابية النووية طلبات رخص مجمّعة بشأن ٢٦ مفاعلاً جديداً. وتلقت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة ١٩ طلباً من 'طلبات الجزء الأول' للحصول على ضمانات اتحادية لقروض لبناء ٢١ مفاعلاً جديداً.

٤- ومع ذلك، وما زالت عمليات التوسع الراهنة، وكذلك احتمالات النمو في الأجلين القصير والطويل، تتركز في آسيا. ومن بين العمليات العشر لبدء التشييد في عام ٢٠٠٨، كانت ثماني عمليات توجد في آسيا وكان يوجد في آسيا في نهاية السنة ثمانية وعشرون من المفاعلات الأربعة والأربعين التي هي قيد التشييد، وكذلك ثمانية وعشرون من آخر تسعة وثلاثين مفاعلاً جديداً رُبطت بالشبكة الكهربائية.

٥- وانضمت أرمينيا إلى الاتحاد الروسي وكازاخستان كأعضاء في المركز الدولي لإثراء اليورانيوم في أنغارسك بسيبيريا. وأعلنت الحكومة الأوكرانية أن أوكرانيا ستنضم أيضاً. وقدم كل من مجموعة شركات أريفا وشركة يوسيك طلباً إلى وزارة الطاقة في الولايات المتحدة للحصول على ضمانات قروض لتشييد مرفقين مقترحين هما مرفق إيغيل روك للإثراء، التابع لمجموعة شركات أريفا، ومحطة الطاردات المركزية الأمريكية، التابعة لشركة يوسيك.

٦- وبدأ تشييد مستودع جوفي للنفايات المشعة الضعيفة الإشعاع والمتوسطة الإشعاع في منجم كونراد السابق للحديد في ألمانيا. وقدمت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة طلباً رسمياً لبناء وتشغيل مستودع النفايات القوية الإشعاع، المخطط له منذ أمد طويل، في جبل يوكا في نيفادا.

٧- وطلبت رسمياً المنظمة الدولية لطاقة الاندماج، المعنية بالمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي، إذن تشييد لبناء ذلك المفاعل الاندماجي التجريبي في كاداراش بفرنسا.

٨- وإدارة الوارد المائية، والأمن الغذائي، والصحة البشرية، وحماية البيئة، واستخدام النظائر المشعة والإشعاعات، هي جميعاً مجالات تقدم فيها التقنيات النووية والنظيرية مساهمات قيمة في التنمية الاجتماعية-الاقتصادية على نطاق العالم.

٩- وفي مجال الأغذية والزراعة، تُستخدم التقنيات النووية، مع تقنيات تكميلية، لتعزيز إنتاجية الماشية، وكذلك لمنع انتشار الأمراض الحيوانية الخطرة العابرة للحدود، مثل أنفلونزا الطيور. ومع توسع التجارة الدولية، تتزايد أيضاً الحاجة إلى توكيد أمان الأغذية. وتُستخدم التقنيات النظيرية لتتبع منشأ الأغذية وتتبع تسرّب الملوّثات باعتبار ذلك وسيلة لتوكيد جودة المنتجات الغذائية.

١٠- ويؤدي التصوير النووي دوراً متزايداً في تطوير العقاقير الجديدة. وأصبحت التدخلات الرامية إلى تحسين التغذية تشكل، بقدر متزايد، جزءاً من استراتيجيات التنمية؛ ويمكن أن يمثل استخدام النظائر المستقرة لتقييم الجوانب الغذائية الرئيسية، مثل تكوين الجسم، جزءاً من الاستراتيجيات الرامية إلى مكافحة التطور اللاحق للأمراض المزمنة. وأخذت 'الرصاصة السحرية' التي طال البحث عنها، حيث تقوم مادة موجهة توجيهاً حقيقياً نحو الهدف بقتل الخلايا السرطانية دون إلحاق الضرر بالأنسجة السليمة، تشكل باطّراد، وإن كان ببطء، حقيقة في الطب النووي العلاجي.

١١- وفي ميدان إدارة الموارد الطبيعية، تساعد التقنيات النووية على تقييم 'الجسيمات الساخنة' – التي هي نوع من النويدات المشعة يمكن أن ينطلق إلى البيئة من عدد من المصادر يشمل تجارب الأسلحة والحوادث النووية. وتُستخدم النظائر المستقرة للحصول على فهم أفضل للشبكات الغذائية المعقدة ودوران الكربون في البيئة البحرية. وتُستخدم أدوات مقتفيات النشاط الإشعاعي لقياس آثار تغير المناخ، مثل احمضاض المحيطات، على التنوع الحيوي البحري. ويتزايد استخدام الأساليب النظيرية للمساعدة على التعرّف بسهولة على الطبقات الصخرية المائية ذات المياه القديمة غير المتجددة، أو المياه الحديثة ذات التجدد القوي، وهذه معلومات هامة لإدارة فعالة للمياه العذبة.

١٢- ويتزايد الطلب العالمي على مصادر النظائر المشعة والمصادر الإشعاعية بسبب استعمالها في الطب والصناعة، مع توسع مناظر في المراكز الإقليمية لإنتاج مقتفيات النشاط الإشعاعي الإكلينيكية اللازمة للتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني. وخلال السنة الماضية، كان لحالات الانقطاع في إمدادات النظير المشع الموليبدينوم-٩٩، الذي هو مصدر التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر المستخدم على نطاق واسع لأغراض التصوير التشخيصي، أثر سلبي على تقديم الخدمات للمرضى في مراكز الطب النووي حول العالم. وسيلزم دعم حكومي وتعاون أقوى بين صانعي النظائر، بما في ذلك إقامة شراكات بين القطاعين العام والخاص، لضمان قيام المفاعلات المناسبة بتشعيع كبسولات مستهدفة من اليورانيوم الضعيف الإثراء من أجل إنتاج الموليبدينوم-٩٩ في المستقبل.

ألف- تطبيقات القوى

ألف-١- القوى النووية اليوم

١٣- في نهاية عام ٢٠٠٨، كان يوجد على نطاق العالم ٤٣٨ مفاعل قوى نووية عامل. ولم تربط أي مفاعلات جديدة بالشبكة الكهربائية، وتم إخراج المفاعل بوهونيتسه-٢ من الخدمة بنهاية عام ٢٠٠٨، وفقاً لاتفاق

انضمام سلوفاكيا إلى الاتحاد الأوروبي. وظلت قدرة توليد القوى النووية على نطاق العالم فضلاً عن حصة القوى النووية لتوليد الكهرباء في العالم دون تغيير أساساً، إذا كانت عند مستوى ٣٧٢ غيغاواط كهربائي و١٤% بالتوالي (انظر الجدول ألف-١).

١٤- وشهد عام ٢٠٠٨ البدء في تشييد عشر منشآت: فانغجيشان-١ وفوكينغ-١ وهونغيانهي-٢ ونينغدي-١ ونينغدي-٢ ويانغجيانغ-١ (قدرة كل منها ١٠٠٠ ميغاواط كهربائي) في الصين، ونوفوفورونيتسه ٢-١ ولينينغراد ٢-١ (قدرة كل منها ١٠٨٥ ميغاواط كهربائي) في الاتحاد الروسي، وشين-ولسونغ-٢ (٩٦٠ ميغاواط كهربائي) وشين-كوري-٣ (١٣٤٠ ميغاواط كهربائي) في جمهورية كوريا. ومقارنة بذلك، بدأ العمل في تشييد ثمانية مفاعلات، علاوة على العودة إلى التشييد النشط في مفاعل واحد، في عام ٢٠٠٧. وفي عام ٢٠٠٦، كانت هناك أربع حالات بدء تشييد، علاوة على العودة إلى التشييد في مفاعل واحد.

١٥- وما زالت عمليات التوسع الراهنة، وكذلك احتمالات النمو في الأجلين القصير والطويل، تتركز في آسيا. ومن بين عمليات بدء التشييد العشر في عام ٢٠٠٨، كانت ثماني عمليات توجد في آسيا. وكما هو مبين في الجدول ألف-١، كان يوجد في آسيا ٢٨ من المفاعلات البالغ عددها ٤٤ مفاعلاً الجاري تشييدها في نهاية السنة، وكذلك ٢٨ من آخر ٣٩ مفاعلاً جديداً ربطت بالشبكة الكهربائية. والصين بصدد النظر في رفع هدفها الخاص بحصة القوى النووية من التوليد الكهربائي بحلول عام ٢٠٢٠. وتفاوضت الهند على اتفاق ضمانات مع الوكالة، ثم أعفت مجموعة الموردين النوويين الهند لاحقاً من القيود التي كانت مفروضة سابقاً على التجارة النووية. وينبغي أن يتيح تخفيف القيود على التجارة للهند أن تعجّل توسيعها المعتزم للقوى النووية.

١٦- ورُفعت الأهداف في الاتحاد الروسي – لتصل إلى ٥٢-٥٩ غيغاواط كهربائي من القدرة على توليد القوى النووية في موعد لا يتجاوز عام ٢٠٢٠. ورخّص الاتحاد الروسي أيضاً للتشغيل الممدّد لمحطة القوى النووية كولا-١ حتى تموز/يوليه ٢٠١٨، أي بعمر مرخص يبلغ حالياً ٤٥ سنة.

١٧- وفي أوروبا أيضاً، نشرت المملكة المتحدة في كانون الثاني/يناير ٢٠٠٨ ورقة بيضاء شددت على أن المصلحة العامة تقتضي أن تبقى الطاقة النووية تشكل جزءاً من خليط الطاقة ذي المعدلات المنخفضة من انبعاثات الكربون الذي تعتمده المملكة المتحدة، وذلك للمساعدة على تحقيق أهداف تخفيض الكربون وضمان إمدادات آمنة من الطاقة. وأعربت عدة مرافق عامة أوروبية عن اهتمامها ببناء مفاعلات جديدة في المملكة المتحدة. وأعلنت إيطاليا خططا لإعادة إنشاء البنى الأساسية القانونية والرقابية والتقنية اللازمة لإعادة العمل ببرنامجها الخاص بالقوى النووية، الذي أوقف بعد إجراء استفتاء في عام ١٩٨٧. ووافق مجلس النواب في البرلمان في أوائل تشرين الثاني/نوفمبر على مشروع قانون يلغي الوقف المؤقت للقوى النووية. وفي رومانيا، وقع الشركاء على اتفاق استثماري لتمويل تشييد المفاعلين تشيرنافودا-٣ وتشيرنافودا-٤. وفي بلغاريا، وقع الشركاء على عقود لتشييد المفاعلين بيليني-١ وبيليني-٢. وفي فنلندا، قدمت مؤسسة "تيوليسويدين فويما أوي" (Teollisuuden Voima Oyj) طلباً إلى مجلس الدولة للموافقة المبدئية على بناء المفاعل أولكيلوتو-٤، وتقوم شركتان أخريان بإعداد طلبين آخرين. وفي سويسرا، قدمت شركات أتيل وأكسبو وBKW FMB Energy طلبات لبناء محطات قوى نووية جديدة في نيدرآمت وبيزناو وغيزغن. وفي سلوفاكيا، طرحت مؤسسة سلوفينسكي إيليكترارني مناقصة لاستئناف التشييد في المفاعلين موشوفتش-٣ وموشوفتش-٤.

١٨- وفي كندا، اختارت الحكومة الإقليمية لمقاطعة أونتاريو مدينة دارلينغتون موقعاً لوحدتي مفاعل جديدتين، بعد أن قدمت شركة Ontario Power Generation طلباً في عام ٢٠٠٦ للحصول على رخصة لتهيئة

الموقع. وحصلت الشركة أيضاً على رخصتين لتشغيل المفاعلين دارلينغتون وبيكرينغ-باء لمدة خمس سنوات أخرى، أي حتى عام ٢٠١٣.

١٩- وفي الولايات المتحدة وافقت الهيئة الرقابية النووية، على عشر عمليات رفع قدرات مفاعلات قوى، ويبلغ مجموع تلك العمليات ٢١٧٨ ميغاواط حراري. ووافقت الهيئة على تجديد ثلاث رخص لمدة ٢٠ سنة (ليصبح مجموع العمر المرخص ٦٠ سنة)، بحيث بلغ العدد الإجمالي للتجديدات المعتمدة للرخص ٥١ تجديداً في نهاية ٢٠٠٨. وفيما يتعلق بعمليات التشييد الجديدة، تلقت الهيئة طلبات للحصول على رخص مجمَّعة لـ٢٦ مفاعلاً جديداً. وتلقت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة ١٩ طلباً من 'طلبات الجزء الأول' للحصول على ضمانات اتحادية لقروض لبناء ٢١ مفاعلاً جديداً. وكان المبلغ الإجمالي المطلوب هو ١٢٢ بليون دولار، بما يزيد كثيراً على المبلغ المعروض وهو ١٨,٥ بليون دولار.

٢٠- ومازال الاهتمام ببدء برامج جديدة للقوى النووية عالياً. ففي السنتين الأخيرتين، أعربت ٥٥ دولة عضواً، من خلال طلبات مقدمة إلى الوكالة للمشاركة في مشاريع تعاون تقني، عن اهتمامها بالنظر في الأخذ بالقوى النووية.

٢١- وساعدت الوكالة الدول الأعضاء المهتمة في تحليل خيارات الطاقة وفي الاستعداد للأخذ بالقوى النووية و/أو إنتاج اليورانيوم. وازداد عدد مشاريع التعاون التقني المعتمدة بشأن تحليل خيارات الطاقة من ٢٩ إلى ٤١ لدورة مشاريع التعاون التقني التي تبدأ في عام ٢٠٠٩. وازداد عدد المشاريع المتعلقة بالتنقيب عن اليورانيوم وتعدينه من ٤ إلى ١٠، وازداد عدد المشاريع المتعلقة بالأخذ بالقوى النووية من ١٣ إلى ٤٤. واستحدثت الوكالة خدمة جديدة توفر مشورة متكاملة للبلدان التي تنظر في الأخذ بالقوى النووية. وفي عامي ٢٠٠٧ و٢٠٠٨، أوفدت عشر بعثات من هذا النوع، إلى الأردن وبيلاروس وتايلند والسودان والفلبين ومصر ونيجيريا، وإلى أعضاء مجلس التعاون الخليجي (ثلاث مرات). وتوفر الوكالة أيضاً وثائق إرشادية. ونشرت الوكالة في عام ٢٠٠٨ الوثيقة *تقييم حالة تطور البنية الأساسية النووية الوطنية (Evaluation of the Status of National Nuclear Infrastructure Development)* والوثيقة *تمويل محطات القوى النووية الجديدة (Financing of New Nuclear Power Plants)*، تكميلاً لمنشورين أساسيين صدرا في عام ٢٠٠٧، وهما *اعتبارات تلزم مراعاتها عند استهلال برنامج قوى نووية (Considerations to Launch a Nuclear Power Programme)* و*المعالم البارزة لتطوير بنية أساسية وطنية للقوى النووية (Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power)*.

الجدول ألف-١- مفاعلات القوى النووية الجاري تشغيلها أو تشييدها في العالم (حتى ٣١ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٨) [أ]

البلد	المفاعلات الجاري تشغيلها		المفاعلات الجاري تشييدها		إمدادات الكهرباء النووية في عام ٢٠٠٨		إجمالي الخبرة التشغيلية حتى نهاية عام ٢٠٠٨	
	عدد الوحدات	المجموع بالميغاواط الكهربائي	عدد الوحدات	المجموع بالميغاواط الكهربائي	تيراواط-ساعة	% من المجموع	السنوات	الشهور
الاتحاد الروسي	٣١	٢١ ٧٤٣	٨	٥ ٨٠٩	١٥٢,١	١٦,٩	٩٦٣	٤
الأرجنتين	٢	٩٣٥	١	٦٩٢	٦,٩	٦,٢	٦٠	٧
أرمينيا	١	٣٧٦			٢,٢	٣٩,٤	٣٤	٨
أسبانيا	٨	٧ ٤٥٠			٥٦,٥	١٨,٣	٢٦١	٦
ألمانيا	١٧	٢٠ ٤٧٠			١٤٠,٩	٢٨,٨	٧٣٤	٥
أوكرانيا	١٥	١٣ ١٠٧	٢	١ ٩٠٠	٨٤,٥	٤٧,٤	٣٥٣	٦
إيران (جمهورية-الإسلامية)			١	٩١٥				
باكستان	٢	٤٢٥	١	٣٠٠	١,٧	١,٩	٤٥	١٠
البرازيل	٢	١ ٧٦٦			١٣,٢	٣,١	٣٥	٣
بلجيكا	٧	٥ ٨٢٤			٤٣,٤	٥٣,٨	٢٢٦	٧
بلغاريا	٢	١ ٩٠٦	٢	١ ٩٠٦	١٤,٧	٣٢,٩	١٤٥	٣
الجمهورية التشيكية	٦	٣ ٦٣٤			٢٥,٠	٣٢,٥	١٠٤	١٠
جمهورية كوريا	٢٠	١٧ ٦٤٧	٥	٥ ١٨٠	١٤٤,٣	٣٥,٦	٣١٩	٨
جنوب أفريقيا	٢	١ ٨٠٠			١٢,٨	٥,٣	٤٨	٣
رومانيا	٢	١ ٣٠٠			١٠,٣	١٧,٥	١٣	١١
سلوفاكيا	٤	١ ٧١١			١٥,٥	٥٦,٤	١٢٨	٧
سلوفينيا	١	٦٦٦			٦,٠	٤١,٧	٢٧	٣
السويد	١٠	٨ ٩٩٦			٦١,٣	٤٢,٥	٣٦٢	٦
سويسرا	٥	٣ ٢٢٠			٢٦,٣	٣٩,٢	١٦٨	١٠
الصين	١١	٨ ٤٣٨	١١	١٠ ٢٢٠	٦٥,٣	٢,٢	٨٨	٣
فرنسا	٥٩	٦٣ ٢٦٠	١	١ ٦٠٠	٤١٩,٨	٧٦,٢	١ ٦٤١	٢
فنلندا	٤	٢ ٦٩٦	١	١ ٦٠٠	٢٢,١	٢٩,٧	١١٩	٤
كندا	١٨	١٢ ٥٧٧			٨٨,٣	١٤,٨	٥٦٤	٢
ليتوانيا	١	١ ١٨٥			٩,١	٧٢,٩	٤٢	٦
المكسيك	٢	١ ٣٠٠			٩,٤	٤,٠	٣٣	١١
المملكة المتحدة	١٩	١٠ ٠٩٧			٤٨,٢	١٣,٥	١ ٤٣٨	٨
الهند	١٧	٣ ٧٨٢	٦	٢ ٩١٠	١٣,٢	٢,٠	٣٠١	٤
هنغاريا	٤	١ ٨٥٩			١٣,٩	٧٣,٢	٩٤	٢
هولندا	١	٤٨٢			٣,٩	٣,٨	٦٤	٠
الولايات المتحدة الأمريكية	١٠٤	١٠٠ ٦٨٣	١	١ ١٦٥	٨٠٦,٧	١٩,٧	٣ ٣٩٥	٩
اليابان	٥٥	٤٧ ٢٧٨	٢	٢ ١٩١	٢٤١,٣	٢٤,٩	١ ٣٨٦	٨
المجموع [ب، ج]	٤٣٨	٣٧١ ٥٦٢	٤٤	٣٨ ٩٨٨	٢ ٥٩٧,٨	١٤٪	١٣ ٤٧٥	٧

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

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

- ٦ وحدات، ٤٩٤٩ ميغاواط كهربائي، جارٍ تشغيلها؛ ووحدتان، ٢٦٠٠ ميغاواط كهربائي، جارٍ بناؤهما؛
- ٣٩,٣ تيراواط ساعة من الكهرباء المولدة نووياً، بما يمثل ١٧,٥% من إجمالي حجم الكهرباء المولدة هناك؛
- خبرة تشغيلية مجموعها ١٦٤ سنة وشهر واحد في نهاية عام ٢٠٠٨.

ج يشمل إجمالي الخبرة التشغيلية أيضاً المحطات المغلقة في إيطاليا (٨١ سنة) وكازاخستان (٢٥ سنة و١٠ شهور).

ألف-٢- النمو المتوقّع للقوى النووية

٢٢- تقوم الوكالة سنوياً بتحديث توقعاتها المنخفض وتوقعها المرتفع بشأن النمو العالمي في القوى النووية. وفي عام ٢٠٠٨، نُقّح التوقع المنخفض والتوقع المرتفع كلاهما إلى الأعلى. وفي التوقع المنخفض المحدّث، تصل القدرة العالمية للقوى النووية إلى ٤٧٣ غيغاواط كهربائي في عام ٢٠٣٠، مقارنة بـ٣٧٢ غيغاواط كهربائي في نهاية عام ٢٠٠٨. أمّا في التوقع المرتفع المحدّث، فتبلغ ٧٤٨ غيغاواط كهربائي.

٢٣- ونقحت الوكالة الدولية للطاقة أيضاً توقعها المرجعي للقوى النووية في عام ٢٠٣٠ إلى الأعلى بنحو ٥%.[٢] غير أن السيناريو المرجعي للوكالة الدولية للطاقة مازال، عند ٤٣٣ غيغاواط كهربائي من القدرة النووية المنشأة في عام ٢٠٣٠، أقل من التوقع المنخفض للوكالة. ونشرت الوكالة الدولية للطاقة أيضاً سيناريوين للسياسات الخاصة بالمناخ. فـ'سيناريو السياسات ٥٥٠'، المناظر لتحقيق استقرار تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي عند مستوى ٥٥٠ جزءاً للمليون من ثاني أكسيد الكربون، يعادل ازدياداً في درجة الحرارة العالمية قدره نحو ٣ درجات مئوية. أما 'سيناريو السياسات ٤٥٠' فيعادل ازدياداً بنحو درجتين مئويتين. وفي سيناريو السياسات ٥٥٠، تكون القدرة النووية المنشأة ٥٣٣ غيغاواط كهربائي في عام ٢٠٣٠. أما في سيناريو السياسات ٤٥٠ فتكون ٦٨٠ غيغاواط كهربائي.

٢٤- ونشرت وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي في عام ٢٠٠٨ وثيقة عن *توقعات الطاقة النووية*، اشتملت على توقعات منخفضة ومرتفعة لقدرات القوى النووية حتى نهاية عام ٢٠٥٠.[٣] والمدى المتوقع لعام ٢٠٣٠ هو ٤٠٤-٦٢٥ غيغاواط كهربائي، أي أقل قليلاً من توقع الوكالة. والمدى المتوقع لعام ٢٠٥٠ هو ٥٨٠-١٤٠٠ غيغاواط كهربائي.

٢٥- ونقحت إدارة معلومات الطاقة بالولايات المتحدة أيضاً توقعها المرجعي للقوى النووية في عام ٢٠٣٠ إلى الأعلى قليلاً ليصبح ٤٩٨ غيغاواط كهربائي[٤]. وبذلك يكون أعلى قليلاً من توقع الوكالة المنخفض.

٢٦- وقد أعدت كل هذه التوقعات قبل الأزمة المالية في أواخر عام ٢٠٠٨. وفي وقت كتابة هذه الوثيقة، لم يتم نشر أي توقع يحلل عواقب الأزمة على القوى النووية.

---

٢ الوكالة الدولية للطاقة، التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، *توقعات الطاقة العالمية لعام ٢٠٠٨* ، باريس، فرنسا، ٢٠٠٨.

٣ الوكالة الدولية للطاقة، التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، *توقعات الطاقة العالمية لعام ٢٠٠٨* ، باريس، فرنسا، ٢٠٠٨.

٤ إدارة معلومات الطاقة، *توقعات الطاقة الدولية ٢٠٠٨* ، وزارة الطاقة بالولايات المتحدة، واشنطون العاصمة، ٢٠٠٨.

ألف-٣- دورة الوقود[٥]

٢٧- ازدادت عضوية الشراكة العالمية في مجال الطاقة النووية، التي بدأت في عام ٢٠٠٧، إلى ٢٥ شريكاً في عام ٢٠٠٨. واستهل الفريق العامل المعني بتطوير البنى الأساسية، التابع للشراكة، مكتبة مصادر تحتوي على مراجع وبرامج وأدوات وموارد مجمّعة من أجل دعم تبادل الموارد التعليمية، وتعزيز فرص التعليم التقني، وإنشاء برامج تدريبية وتعليمية جديدة. واستهل الفريق أيضا عددا من دراسات الجدوى للدول الأعضاء في الشراكة العالمية في مجال الطاقة النووية التي تنظر في الأخذ بالطاقة النووية للمرة الأولى. وأكمل الفريق العامل المعني بخدمات الوقود النووي التي يمكن التعويل عليها والتابع للشراكة دراسة استقصائية للأطر القانونية والمؤسسية الخاصة بدورة الوقود في الدول الأعضاء، بغية التعرف على التحديات المشتركة. وسينصب تركيزه بعد ذلك على القضايا المتعلقة بالمرحلة الختامية من دورة الوقود.

ألف-٣-١- موارد اليورانيوم وإنتاجه

٢٨- أفادت الطبعة الثانية والعشرين من 'الكتاب الأحمر'[٦]، الذي يصدر بالتشارك بين وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والوكالة، بحدوث ازدياد في موارد اليورانيوم، انعكاسا للنمو الأخير في أنشطة التنقيب على نطاق العالم. والتزايد في الموارد المبلغ بها هو اتجاه مستمر. فخلال السنوات الأربع عشرة الماضية (سبع طبعات من الكتاب الأحمر)، ازدادت موارد اليورانيوم المتبقية المبلغ بها بأكثر من ٢,٤ مليون طن، على الرغم من تعدين ما يزيد على ٠,٥ مليون طن منها.

٢٩- وستدوم الموارد المحدّدة المبلغ عنها (٥,٥ ملايين طن من اليورانيوم الطبيعي) لمدة ٨٣ سنة بمعدل الاستهلاك الراهن البالغ ٠٠٠ ٧٠ طن في السنة. غير أن هذا الرقم ٨٣ سنة يمكن أن يكون مضللاً، لأن كل أرقام الموارد المعدنية تتغير مع التطورات في أسعار السلع الأساسية، واليورانيوم ليس استثناء من ذلك. ويناظر الازدياد في الموارد من عام ٢٠٠٥ إلى عام ٢٠٠٧ طلب إحدى عشرة سنة على اليورانيوم بمعدلات عام ٢٠٠٦، وهذا بيان قوي لأثر ازدياد أسعار اليورانيوم على أرقام الموارد الإجمالية. وفضلاً عن ذلك فإن الأرقام المعروضة في الكتاب الأحمر الخاصة بموارد اليورانيوم المبلغ عنها ليست سوى جزء من الموارد المعروفة حاليا ولا تمثل جردا للكمية الإجمالية لليورانيوم الذي يمكن استخلاصه. ومن الأمثلة على البلدان التي يُعرف وجود موارد اليورانيوم فيها، ولكن لا يبلغ عنه، الاتحاد الروسي والولايات المتحدة الأمريكية وأستراليا.

٣٠- وترجح كفة العمر المتوقع لموارد اليورانيوم المحددة المبلغ بها، والبالغ ٨٣ سنة *بمعدلات الاستهلاك الراهنة*، لدى مقارنته بالعمر المتوقع البالغ ٣٠-٥٠ سنة لاحتياطيات سلع أساسية أخرى (مثل النحاس والزنك والنفط والغاز الطبيعي). بيد أن الطلب يُتوقع له أن يزداد، والموارد الموجودة في الأرض تحتاج إلى تعدين. ويمكن في ضوء التوقع المرتفع للوكالة أن تلبي مرافق إنتاج اليورانيوم الحالية والمكرسة والمعتزمة والمقبلة

---

٥ ترد معلومات أكثر إسهاباً عن أنشطة الوكالة بشأن دورة الوقود في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي للوكالة على الموقع (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html) والموقع http://www.iaea.org/OurWork/ST/NE/NEFW/index.html.

٦ وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والوكالة الدولية للطاقة الذرية، *اليورانيوم في عام ٢٠٠٧: موارده وإنتاجه والطلب عليه (Uranium 2007: Resources, Production and Demand)*، منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، باريس، ٢٠٠٨.

الاحتياجات من اليورانيوم، حسب توقع الوكالة المرتفع، حتى عام ٢٠٢٥ تقريبا، شريطة توسيع المناجم الحالية وفتح مناجم جديدة كما هو معتزم. وسيتعين أن يلبَّى الطلب الإضافي على اليورانيوم بإنشاء المزيد من القدرة التعدينية فوق ما هو معتزم. ويتوقع أن يتيسر ذلك عند تقديم طلبات مؤكدة لبناء مفاعلات نووية جديدة (في حالة توقّع الوكالة المرتفع) بما يمنح منتجي اليورانيوم الثقة في احتمالات التزايد الطويل الأجل للمبيعات. وبعض عدم اليقين بشأن حجم اليورانيوم الطازج اللازم لتلبية الطلب ينشأ من التوافر المستمر، وإن كان متناقصاً، للموارد الثانوية. وتوفر المصادر الثانوية الآن زهاء ٤٠% من الكميات المطلوبة.

٣١- وفي عام ٢٠٠٨، بدأت كازاخستان عدة عمليات نضّ موقعي جديدة ووسعت عدة عمليات نض موقعي أخرى لكي تصل إلى قدرتها المستهدفة القصوى وفقا للإنتاج المستهدف للبلد والبالغ ٠٠٠ ١٠ طن من اليورانيوم في السنة في عام ٢٠١٠. وتبلغ قدرة العديد من عمليات النض الموقعي ما لا يقل عن ١٠٠٠ طن من اليورانيوم في السنة. وبدأ في عام ٢٠٠٨ تشييد محطة جديدة لمعالجة اليورانيوم في تومالبالي في أندرا براديش في الهند بقدرة مصممة قدرها ٢٢٠ طنا من اليورانيوم في السنة.

ألف-٣-٢- التحويل والإثراء وصنع الوقود

٣٢- تبلغ القدرة التحويلية العالمية الإجمالية نحو ٠٠٠ ٧٥ طنا من اليورانيوم الطبيعي في السنة فيما يخص سادس فلوريد اليورانيوم، و٤٥٠٠ طن من اليورانيوم الطبيعي في السنة فيما يخص ثاني أكسيد اليورانيوم. ويبلغ الطلب الحالي نحو ٠٠٠ ٧٠ طن من اليورانيوم الطبيعي في السنة. وتعتزم مجموعة شركات أريفا بدء تشييد مرفقها التحويلي الجديد كومورهيكس-الثاني في عام ٢٠٠٩، بقدرة أولية معتزمة على إنتاج سادس فلوريد اليورانيوم تبلغ ٠٠٠ ١٥ طن من اليورانيوم الطبيعي في السنة في عام ٢٠١٢.

٣٣- وتبلغ القدرة الإثرائية العالمية الإجمالية حاليا نحو ٥٠ مليون وحدة فصل في السنة، مقارنة بطلب إجمالي قدره نحو ٤٥ وحدة فصل في السنة. ويجري تشييد ثلاثة مرافق إثراء جديدة ذات نطاق تجاري، وهي محطة جورج بيس الثانية، في فرنسا، ومحطة الطاردات المركزية الأمريكية ومرفق الإثراء الوطني، في الولايات المتحدة الأمريكية وتستخدم كل هذه المرافق الإثراء بواسطة الطرد المركزي، ومن المقرر أن يبدأ تشغيلها جميعا في عام ٢٠٠٩. والمقصود من محطة جورج بيس الثانية ومحطة الطاردات المركزية الأمريكية أن تتيحا إخراج محطتين حاليتين للإثراء بالانتشار الغازي من الخدمة. وقدم كل من مجموعة شركات أريفا وشركة يوسيك طلبا إلى وزارة الطاقة في الولايات المتحدة للحصول على ضمانات قروض لتشييد محطة الطاردات المركزية الأمريكية، التابعة لشركة يوسيك، ومرفق إيغيل روك المقترح للإثراء، التابع لمجموعة شركات أريفا. وانضمت أرمينيا إلى الاتحاد الروسي وكازاخستان كأعضاء في المركز الدولي لإثراء اليورانيوم في أنغارسك بسيبيريا، وأعلنت الحكومة الأوكرانية في كانون الأول/ديسمبر أن أوكرانيا ستنضم أيضاً.

٣٤- وتبلغ القدرة العالمية الإجمالية على صنع الوقود حاليا زهاء ٥٠٠ ١١ طن من اليورانيوم في السنة (اليورانيوم المثرى) لوقود مفاعلات الماء الخفيف، وزهاء ٤٠٠٠ طن من اليورانيوم في السنة (اليورانيوم الطبيعي) لمفاعلات الماء الثقيل المضغوط. ويبلغ الطلب الإجمالي نحو ٠٠٠ ١٢ طن من اليورانيوم في السنة. ويجري بعض التوسيع للمرافق الحالية، وذلك مثلا في جمهورية كوريا والصين. ويجري تشييد مرفق جديد لصنع وقود خليط الأكسيدين (وقود موكس) في روكاشو باليابان، ومن المقرر أن يكتمل في عام ٢٠١٢.

ألف-٣-٣- المرحلة الختامية من دورة الوقود

٣٥- كان يتوقع أن تصل الكمية الإجمالية من الوقود المستهلك المفرّغة على نطاق العالم إلى ٠٠٠ ٣٢٤ طن من الفلز الثقيل بنهاية عام ٢٠٠٨. ومن هذه الكمية، تمت إعادة معالجة ٠٠٠ ٩٥ طن من الفلز الثقيل، ويوجد ٠٠٠ ١٦ طن من الفلز الثقيل مخزونة لإعادة معالجتها، ويوجد ٠٠٠ ٢١٣ طن من الفلز الثقيل مخزونة في أحواض خزن الوقود المستهلك في المفاعلات أو في مرافق خزن بعيدة عن المفاعلات. ويجري توسيع مرافق الخزن البعيدة عن المفاعلات بانتظام بإضافة وحدات نمطية إلى مرافق الخزن الجاف الحالية وببناء مرافق جديدة.

٣٦- وتبلغ القدرة العالمية الإجمالية على إعادة المعالجة نحو ٦٠٠٠ طن من الفلز الثقيل في السنة. وفي المملكة المتحدة، بدأت محطة ثورب لإعادة معالجة الوقود النووي في سيلافيلد عملياتها التجارية مجدداً في عام ٢٠٠٧، بعد ثلاث سنوات من إغلاقها عقب تسرب مواد مشعة. واستغرقت الاختبارات في محطة روكاشو لإعادة المعالجة أكثر مما كان متوقعا، وتأجل التشغيل التجاري إلى عام ٢٠٠٩.

٣٧- وبدأ تشييد مستودع جوفي للنفايات المشعة الضعيفة الإشعاع والمتوسطة الإشعاع في منجم كونراد للحديد سابقا في ألمانيا. ومن المقرر بدء استقبال النفايات في أوائل عام ٢٠١٤.

٣٨- وافتتح في عام ٢٠٠٨ مستودع باتاباتي الهنغاري الدائم للنفايات المشعة الضعيفة الإشعاع والقوية الإشعاع. وستُخزن النفايات مؤقتاً في منطقة استقبال إلى حين افتتاح التجاويف الصخرية الخاصة بالتخلص الدائم في عام ٢٠١٠.

٣٩- ومُنحت الشركة السويدية للتصرف في الوقود والنفايات النووية، المسؤولة عن تخزين النفايات النووية السويدية، رخصة تشغيل من أجل توسيع المرفق المركزي للتخزين المؤقت للوقود النووي المستهلك في أوسكارشامن من سعة ٥٠٠٠ طن من الفلز الثقيل إلى ٨٠٠٠ طن من الفلز الثقيل.

٤٠- وقدمت وزارة الطاقة في الولايات المتحدة طلبا رسميا إلى الهيئة الرقابية النووية للحصول على رخصة لبناء وتشغيل مستودع النفايات القوية الإشعاع، المخطط له منذ أمد طويل، في جبل يوكا في نيفادا. والمستودع مصمم ليحتوي على ٠٠٠ ٧٠ طن من الفلز الثقيل من الوقود النووي المستهلك، منها ٧٠٠٠ طن من الفلز الثقيل من النفايات العسكرية.

٤١- وظلت إحصاءات الإخراج من الخدمة على نطاق العالم دون تغيير في عام ٢٠٠٨. فقد أُخرجت من الخدمة تماما عشرة مفاعلات قوى على نطاق العالم واستُغني عن مواقعها لأغراض الاستعمال غير المشروط؛ وفُكك سبعة عشر مفاعلا تفكيكا جزئيا وتم احتواؤها بأمان، ويجري تفكيك اثنين وثلاثين مفاعلا تمهيدا للاستغناء عن مواقعها في نهاية المطاف؛ ويخضع أربعة وثلاثون مفاعلاً لحد أدنى من التفكيك تمهيدا للاحتواء الطويل الأجل.

ألف-٤- العوامل الإضافية المؤثّرة في مستقبل القوى النووية

ألف-٤-١- الاقتصاديات

٤٢- كانت آخر مرة احتوى فيها *استعراض التكنولوجيا النووية* على ملخص لتقديرات تكاليف محطات القوى النووية الجديدة هي في عام ٢٠٠٦. وقورنت في ذلك الملخص تقديرات مستمدة من سبع دراسات نُشرت بين عام ٢٠٠٣ وعام ٢٠٠٥. وتراوحت تقديراتها للتكاليف الفورية بين ١٢٠٠ دولار و٢٥١٠ دولارات للكيلوواط الكهربائي.[٧]

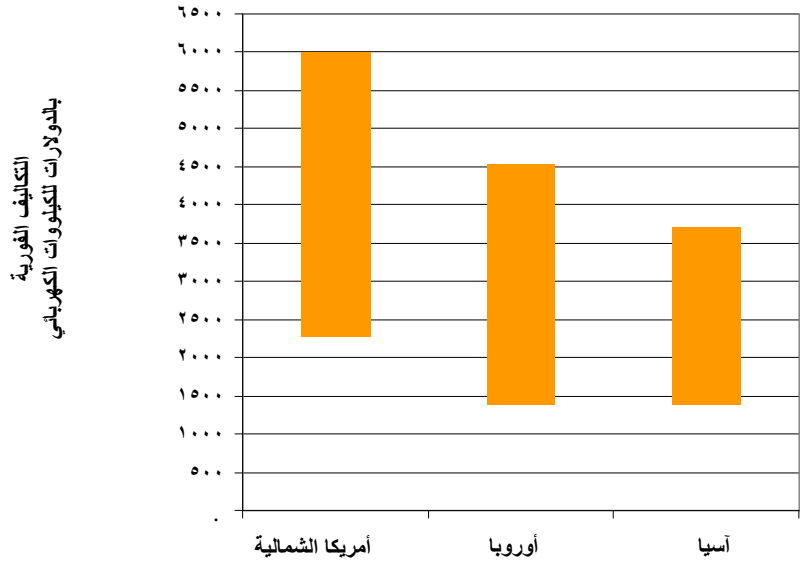
٤٣- وفي السنة الماضية، اتسع مدى التقديرات في حدّه الأعلى. ويبين الشكل ألف-١ القيم الدنيا والقصوى للتقديرات الأخيرة التي جمعتها الوكالة من المصادر المتاحة للجمهور.

٤٤- ولا يوجد تفسير قطعي لازدياد عدم اليقين في تقديرات التكاليف (أي اتساع المدى) ولا للتصاعد في تقديرات التكاليف (أي ازدياد علو المدى) مع أنه اقتُرحت عدة عوامل مساهمة ممكنة. وفضلاً عن ذلك فقد أعدت تقديرات التكاليف المبينة في الشكل ألف-١ قبل الأزمة المالية التي حدثت في أواخر عام ٢٠٠٨. وفي وقت كتابة هذا التقرير، كان أثر الأزمة المالية على تقديرات تكاليف القدرة النووية لا يزال غير واضح. ولذلك يلخص هذا القسم العوامل التي ربما أسهمت في ازدياد تقديرات التكاليف وازدياد عدم اليقين، ولكنه لا يمكن أن يقدم، في غياب الدراسات الدقيقة، تفسيراً قطعياً.

٤٥- ويركز هذا القسم على التكاليف الفورية، ولكن الفوائد أثناء التشييد هي أيضاً عنصر رئيسي في تكاليف المفاعلات النووية. ويميل الممولون والملاك وحملة الأسهم إلى المحافظة بتشدد أكثر على سرية تقديرات الفوائد أثناء التشييد، وتخص هذه التقديرات كل مشروع بعينه أكثر من التكاليف الفورية. ولذلك يصعب تجميع رسم بياني مجدٍ للتكاليف الإجمالية (بما فيها الفوائد أثناء التشييد) مماثل للشكل ألف-١ الخاص بالتكاليف الفورية. غير أن إضافة الفوائد أثناء التشييد يمكن أن ترفع تكاليف المشروع الإجمالية إلى ما يصل إلى الضعف، لاسيما إذا تغيرت عوامل مثل زمن التشييد أو سعر الفائدة أو أحوال السوق تغير سلبيا في غمرة تنفيذ المشروع. ولذلك لا ينبغي أن يؤدي تركيز هذا القسم على التكاليف الفورية إلى التعتيم على الفوائد أثناء التشييد.

---

٧ 'التكاليف الفورية' تستبعد تكاليف الفوائد والتمويل وتصاعد الأسعار – كأن المنشأة تُبنى بين عشية وضحاها. وتعكس تكاليف تصاعد الأسعار الزيادات في الأسعار أثناء التشييد. ولا ينبغي الخلط بينها وبين التكاليف الطارئة، التي تتعلق بالأعمال غير المتوقعة فقط.



الشكل ألف-١ – التقديرات الدنيا والقصوى للتكاليف الفورية لمفاعلات القوى النووية الجديدة، حسب المناطق: ٢٠٠٧-٢٠٠٨.

أوجه عدم اليقين في تقديرات التكاليف

٤٦- من أسباب التباين في تقديرات التكاليف أن الناس المختلفين يستخدمون تعاريف متباينة. فمن عناصر التكاليف التي تُستبعد أحياناً وتضمّن في أحيان أخرى التكاليف المرتبطة بتقييم العطاءات، واختيار الموقع وإعداده، وتكاليف الترخيص، والتكاليف التي يتكبدها الملاك والتكاليف الطارئة، وبعض تكاليف التمويل.

٤٧- ويرجع بعض أوجه التباين إلى الفوارق المحلية. فالبناء في موقع بكر يكون عادة أكثر تكلفة من البناء في موقع توجد فيه مفاعلات. والبناء في موقع أنشط زلزاليا يكون أكثر تكلفة. وتتفاوت تكاليف الأيدي العاملة والمواد، ويتفاوت أثر تلك التكاليف حسب نسبة إضفاء الطابع المحلي، أي النسبة المئوية من مكونات المنشأة التي تصنع أو تشترى محلياً. وتختلف الإعانات وضمانات التمويل لاستثمارات القوى النووية في البلدان والمناطق المختلفة. ويمكن أن تتباين المتطلبات الرقابية، وكذلك إمكانية التنبؤ بتلك المتطلبات. وعادة ما تؤدي الخبرة إلى التقليل من عدم اليقين – وهذه حقيقة يبدو أنها تتجلى في الشكل ألف-١. فالمنطقة ذات الخبرة الأقرب عهداً في بناء المفاعلات الجديدة، أي آسيا، هي التي توجد فيها أدنى تقديرات التكلفة وأقل قدر من عدم اليقين. والمنطقة ذات الخبرة الأبعد عهدا، أي أمريكا الشمالية، هي التي توجد فيها أعلى التقديرات وأكبر قدر من عدم اليقين.

٤٨- وتؤثر الترتيبات التعاقدية أيضا على تقديرات التكاليف. فقد يكون عقد 'تسليم المفتاح' أكثر تكلفة من عقد 'التكاليف زائد نسبة' إذا أدرج البائع في سعر عقد 'تسليم المفتاح' أي مخاطر تتعلق بعدم الإنجاز. وينشأ مزيد من التباين من أسعار الصرف ومن التوقعات بشأن التضخم وما لهذين العاملين من آثار متفاوتة على عناصر التكاليف المختلفة.

٤٩- وللتكنولوجيات المختلفة تكاليف متباينة. فقد تكون المفاعلات ذات التصاميم المجرّبة بنجاح أقل تكلفة من المفاعلات الأولى من نوعها، ويحتمل أن يكلف بناء مفاعل أول من نوعه أكثر من بناء مفاعلات لاحقة

بنفس التصميم. وتندرج في التقديرات المتباينة أيضا معدلات تعلّم متباينة في توقع مدى انخفاض التكاليف لدى ازدياد الخبرة.

٥٠- كما أن اختلاف وجهات النظر قد يؤدي إلى اختلاف التقديرات. وقد ورد في تقرير صدر في عام ٢٠٠٦ عن لجنة التنمية المستدامة في المملكة المتحدة أن لدى بائعي نظم المفاعلات حافز سوقي واضح، وخصوصا قبل الدخول في التزامات تعاقدية، على تقدير التكاليف بأقل من قيمتها الحقيقية.[٨] وربما تميل المرافق العامة إلى أن تكون أكثر تحفظا.

حالات الازدياد في تقديرات التكاليف

٥١- من العوامل التي ربما تكون قد ساهمت في ازدياد تقديرات تكاليف المفاعلات الجديدة اشتداد جساءة أسواق السلع الأساسية والزيادات الحادة طوال جزء كبير من عام ٢٠٠٨ في الأسعار الدولية للحديد الصلب والأسمنت والطاقة ومدخلات التشييد الأخرى. وأثرت هذه الزيادات أيضاً على تقديرات تكاليف الأنواع الأخرى من محطات القوى، ولكن محطات القوى النووية تأثرت أكثر لأن تكاليفها الرأسمالية أعلى.[٩] وفي أواخر عام ٢٠٠٨، تلاشى الارتفاع الذي حدث في أسعار معظم السلع الأساسية،[١٠] ويرجع ذلك في جانب منه إلى أسباب تتعلق بالدورة الاقتصادية (حفزت الأسعار العالية السابقة على زيادة القدرات الإنتاجية وخفضت الطلب) وفي الجانب الآخر إلى الأزمة المالية.

٥٢- كما أن التقلب الشديد في أسعار السلع الأساسية، في حد ذاته، ربما يكون قد أسهم في زيادة احتياطيات الطوارئ، وبالتالي في ارتفاع تقديرات الأسعار. وربما كان للأزمة المالية تأثير مماثل.

٥٣- وربما تكون تقديرات التكاليف قد ارتفعت أيضاً بسبب أن السوق النووية العالمية تحولت، خلال السنوات القليلة الماضية، من سوق في صالح المشترين إلى سوق في صالح المورّدين، وهذا تحول يفرض بصفة عامة ضغطا إلى الأعلى على الأسعار. فقد وصلت سجلات طلبات الشراء لدى البائعين مستوى لم يُشهد منذ أواخر السبعينات. وقدرات تشكيل المصنوعات الثقيلة بالحدادة محدودة، وأصبحت مهلات الإنجاز التي تزيد على ٥٠ شهراً أمراً عادياً الآن.

٥٤- ويمكن أن يتمثل عامل آخر من العوامل المساهمة في تقديرات التكاليف العامة العالية في أن القسط الأعظم من هذه التقديرات يأتي من أوروبا، ومن أمريكا الشمالية بوجه خاص، حيث يحتمل أن يسهم الافتقار إلى الخبرة القريبة العهد في التشييد، مقارنة بآسيا، وفي التصاميم الجديدة للمفاعلات، في التقديرات الأعلى المبينة في الشكل ألف-١.

---

٨ لجنة الطاقة المستدامة بالمملكة المتحدة، *دور القوى النووية في الاقتصاد المنخفض الكربون – الورقة رقم ٤: اقتصاديات القوى النووية*، أعدتها بحوث سياسات العلوم والتكنولوجيا (بجامعة سسكس) ومؤسسة نيرا للاستشارات الاقتصادية، آذار/مارس ٢٠٠٦.

٩ بيد أن محطات القوى النووية هي الأقل تأثرا، على أساس الدورة العمرية ومن حيث تكاليف التوليد، لأن متطلباتها المحددة من المواد لكل كيلوواط ساعة يتم توليده هي الأقل.

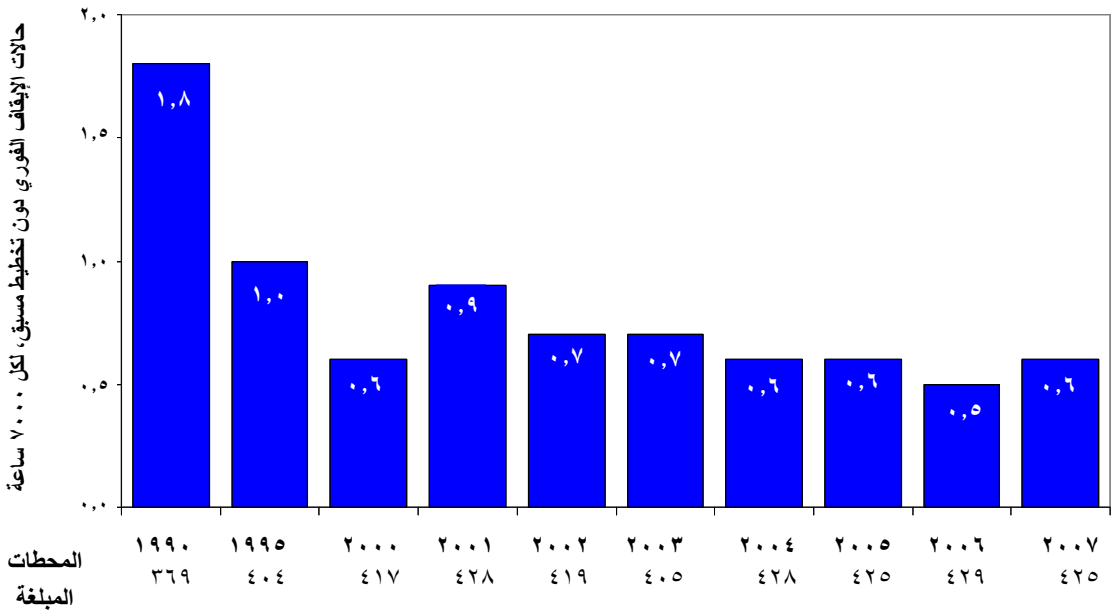
١٠ حتى تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٨، نقص السعر المرجعي للنحاس إلى النصف منذ أيلول/سبتمبر ٢٠٠٨، وهبطت أسعار الحديد الصلب العالمية بنحو ٨٠% منذ تموز/يوليه ٢٠٠٨.

٥٥- وأخيراً فمع اقتراب المشاريع من التنفيذ يمكن أن تتجلى في نسبة أكبر من التقديرات القريبة العهد للتكاليف محافظة المرافق العامة في تقدير التكاليف أكثر مما يتجلى فيها تفاؤل البائعين في التقدير والتفاؤل التكنولوجي لبعض الحكومات وبعض الدراسات الأكاديمية.

ألف-٤-٢- الأمان[١١]

٥٦- خلال عقد التسعينات، طرأ تحسُّن ملحوظ على مؤشرات الأمان، كتلك التي تنشرها الرابطة العالمية للمشغلين النوويين وترد مستنسخة في الشكلين ألف-٢ وألف-٣. وفي الأعوام الأخيرة، استقر الوضع في بعض المجالات. بيد أن الفجوة ما زالت واسعة بين الأفضل أداءً والأسوأ أداءً، بما يتيح متّسعاً ضخماً لمواصلة التحسين.

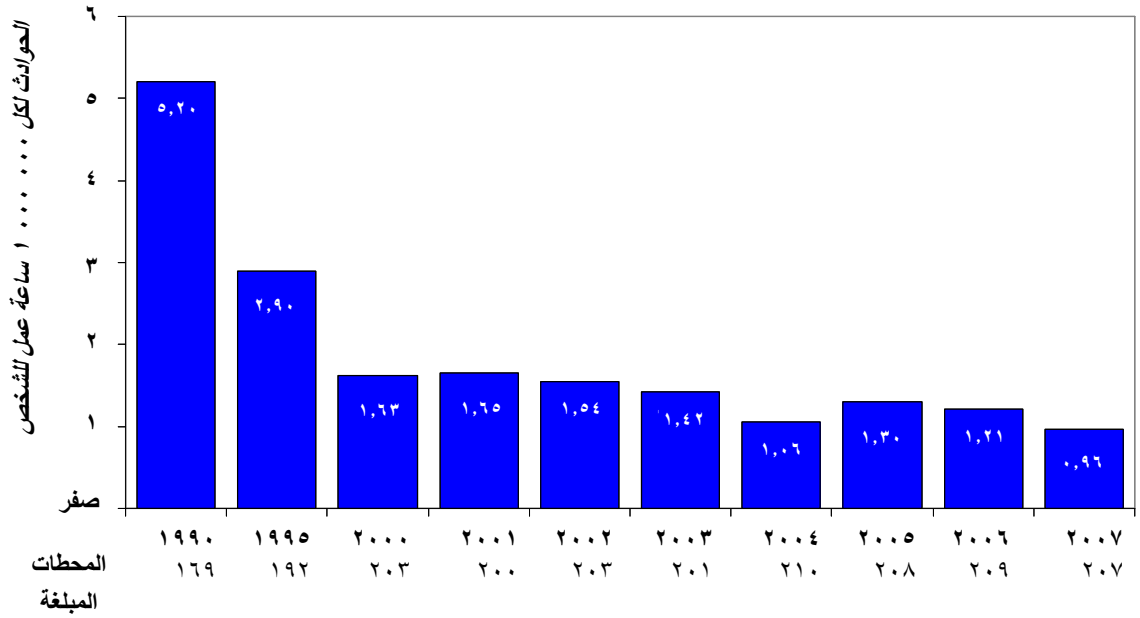
٥٧- وترد في *استعراض الأمان النووي لعام ٢٠٠٨*، الصادر عن الوكالة (GC(53)/INF/2). المزيد من المعلومات بشأن الأمان والتطورات الأخيرة المتعلقة بجميع التطبيقات النووية.



الشكل ألف-٢ - حالات الإيقاف الفوري دون تخطيط مسبق لكل ٧٠٠٠ ساعة حرجة. المصدر: مؤشرات أداء الرابطة العالمية للمُشغّلين النوويين لعام ٢٠٠٧.

---

١١ ترد معلومات أكثر إسهاباً عن أنشطة الوكالة بشأن الأمان النووي في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html) وعلى الموقع http://www-ns.iaea.org/.



الشكل ألف-٣- الحوادث الصناعية في محطات القوى النووية لكل ١ ٠٠٠ ٠٠٠ ساعة عمل للشخص.
المصدر: مؤشرات أداء الرابطة العالمية للمُشغّلين النوويين لعام ٢٠٠٧.

ألف-٤-٣- تنمية الموارد البشرية

٥٨- لا تتوفر بسهولة تقديرات للمتطلبات من الموارد البشرية المرتبطة بأي من التوقعات المناقشة في القسم ألف-٢. وعلاوة على ذلك فالبيانات شحيحة عن عدد من لديهم اليوم المهارات المختلفة اللازمة في الصناعة النووية وعن عددهم في البرامج التعليمية والتدريبية ذات الصلة.

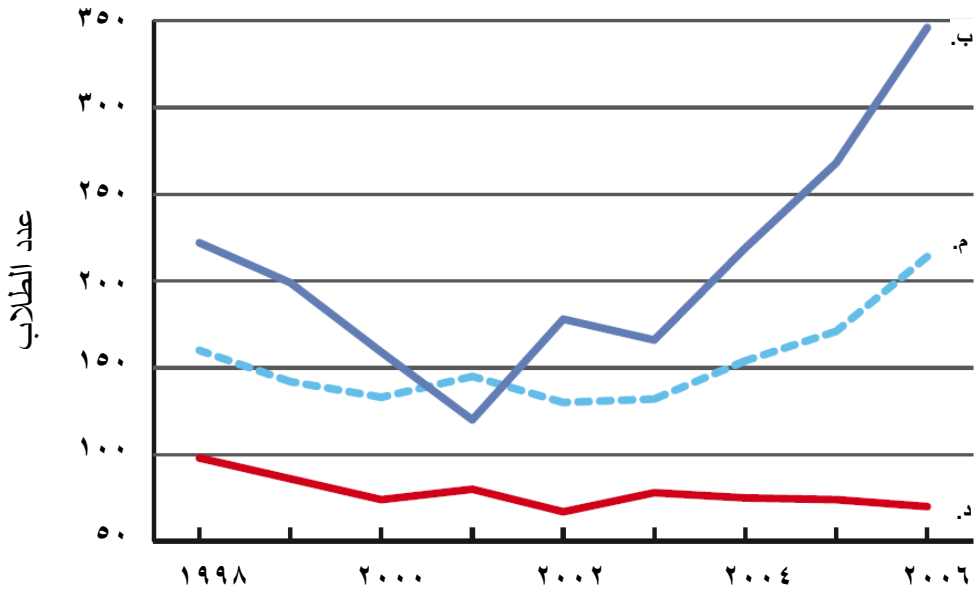
٥٩- وقد أعرب في عدد من البلدان عن شواغل بشأن احتمال وجود حالات عجز في عدد من لديهم المهارات التي تحتاجها صناعة القوى النووية. واحتوى تقرير من وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي نُشر في عام ٢٠٠٠ على تقييم، لأول مرة، لحالة التعليم النووي في الدول الأعضاء في تلك الوكالة، أشار إلى أن التعليم تدنّى في معظم الحالات إلى حد أن الحفاظ على الدراية والكفاءة في التكنولوجيات النووية الجوهرية أصبح متزايد الصعوبة.[١٢] إلا أن تلك الوكالة أشارت أيضا في تقريرها إلى أن الخسائر العامة في الكفاءات والمهارات التقنية تتفاوت من بلد إلى آخر تبعا لقوة برنامج القوى النووية.[١٣] والنتيجة المتناقضة هي أنه يبدو أن الشواغل بشأن أوجه العجز في القوى العاملة يُعرب عنها بتواتر أقل في البلدان التي لديها برامج أسرع نمواً.

---

١٢ وكالة الطاقة النووية، التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، *Nuclear Education and Training: Cause for Concern?* باريس، فرنسا، ٢٠٠٠.

١٣ الوكالة الدولية للطاقة، التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، *توقعات الطاقة العالمية لعام ٢٠٠٨*، باريس، فرنسا ٢٠٠٨.

٦١- وقد أدت الشواغل المتعلقة بإمكانية وجود عجز إلى اتخاذ الحكومات والصناعة مبادرات لاجتذاب الطلاب إلى التعليم والتدريب في الميادين ذات الصلة بالمجال النووي والتوسع في ذلك التعليم والتدريب. وحيثما تتوافر البيانات، يبدو أن هذه المبادرات ناجحة. ويبين الشكل ألف-٤ الزيادة في عدد الخريجين حملة الدرجات الجامعية في الهندسة النووية في الولايات المتحدة الأمريكية، وهي زيادة ناتجة أساسا من البرنامج الجامعي للبنية الأساسية للمفاعلات وللمساعدات التعليمية.



الشكل ألف-٤ . الدرجات في الهندسة النووية في جامعات الولايات المتحدة. (المصدر: الوكالة الدولية للطاقة، التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، توقعات الطاقة العالمية لعام ٢٠٠٨، باريس، ٢٠٠٨ .)
ب. = بكالوريوس العلوم، م. = ماجستير العلوم، د. = الدكتوراة

٦١- وإذا تحققت التوقعات الأعلى للقوى النووية، المبينة في القسم ألف-٢، فسيتعين تكرار النجاح المسجل في الشكل ألف-٤ عدة مرات. وسيكون ذلك التحدي كبيرا، ولكن لن يكون غير مسبوق. وعلى سبيل المثال، سيتطلب توقع الوكالة المرتفع إدخال ١٧ مفاعلا جديدا في الخدمة كل سنة، وهذا هو أساساً نفس المتوسط السنوي البالغ ١٦ مفاعلاً جديداً خلال السبعينات. وفضلا عن ذلك ففي التوقع المرتفع تظل حصة القوى النووية من الكهرباء في العالم ثابتة تقريبا حتى نهاية عام ٢٠٣٠، وهذا يعني أن المصادر الأخرى للكهرباء – ومتطلباتها من القوى العاملة – ستظل تنمو بنفس معدل نمو القوى النووية. فالتحدي الذي تواجهه القوى النووية ليس استثنائيا.

ألف-٤-٤- تقبّل الجمهور للقوى النووية

٦٢- تسمى المسألة الأولى في إرشادات الوكالة للبلدان التي تنظر في الأخذ بالقوى النووية[١٤] "الموقف الوطني"، وتنص على ما يلي: "ينبغي أن تعتمد الحكومة إعلانا واضحا لنيتها وضع برنامج للقوى النووية وأن تبلغ بنيتها تلك على الأصعدة المحلي والوطني والإقليمي والدولي." ويمكن بنفس القدر إسداء مشورة مماثلة إلى البلدان التي لديها حاليا قوى نووية، وينبغي أن تسعى جميع الحكومات التي تؤيد القوى النووية إلى الحصول على تأييد وطني أوسع.

٦٣- وأشيع طريقة لمعرفة ما إن كان هناك تأييد وطني واسع للقوى النووية من أجل تلبية التطلعات المتصاعدة التي نوقشت في القسم ألف-٢ هي استقصاءات الرأي العام. غير أن لهذه الاستطلاعات نقاط ضعفها. فالردود يمكن أن تتوقف على الطريقة التي يصاغ بها السؤال، وحتى الخبراء قد يختلفون حول الكيفية التي ينبغي أن تفسر بها بعض الإجابات. ومع ذلك، توجد تقنيات ذات مكانة مرموقة لاستبعاد التحيز من اختيار العينات ومن صياغة الأسئلة ومن تفسير النتائج.

٦٤- ويمثل الشكلان ألف-٥ وألف-٦ الاتجاهات الأخيرة أو، حيثما لا تتوافر بيانات السلاسل الزمنية، صوراً آنية لتقبل الجمهور للطاقة النووية في البلدان التي تستخدم القوى النووية حاليا (الشكل ألف-٥) وفي بضعة بلدان لا توجد فيها قوى نووية (الشكل ألف-٦). والقيمة المبينة على المحور الرأسي، أي الرقم القياسي لتقبّل الجمهور، هي المتوسط للاستقصاءات التي تم استعراضها الخاصة ببلد معين وسنة ومعينة، مبينة على مقياس يمتد من الصفر (الرفض التام) إلى ١٠٠ (القبول التام).

٦٥- والأرقام القياسية لتقبل الجمهور في البلدان التي لديها حاليا قوى نووية (الشكل ألف-٥) أعلى عموماً منها في تلك التي ليست لديها قوى نووية (الشكل ألف-٦).

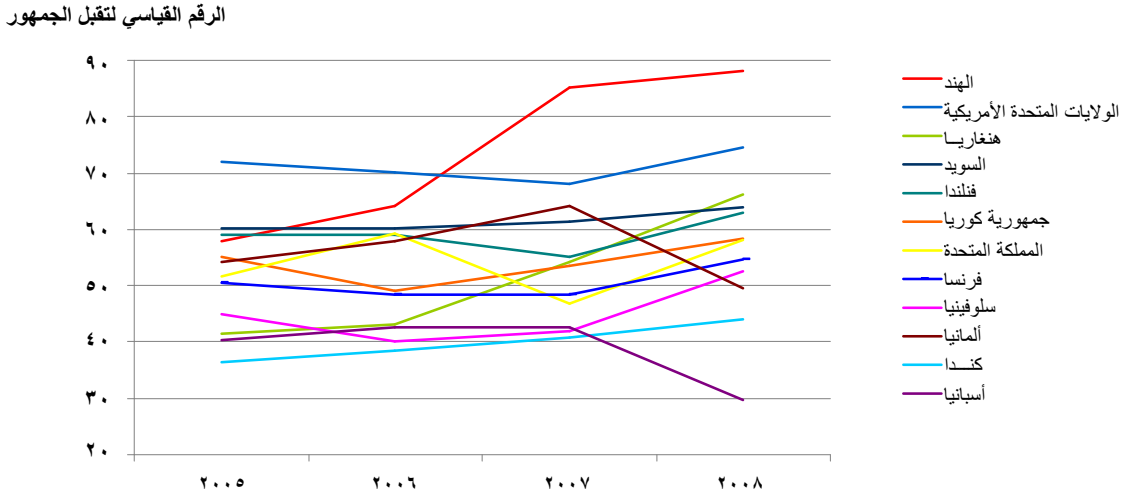
٦٦- وفي البلدان الإثني عشر التي لديها برامج قوى نووية المبينة في الشكل ألف-٥، ازداد تقبل الجمهور في عام ٢٠٠٨ في معظم الحالات. والاستثناءان من ذلك هما أسبانيا وألمانيا، اللتين لدى كل منهما سياسة ترمي إلى التخلي التدريجي عن القوى النووية. والبلد الثالث الوارد في الشكل ألف-٥ والذي لديه سياسة ترمي إلى التخلي التدريجي عن القوى النووية، وهو السويد، يتجلى فيه تأييد أكثر استقرارا، ومتزايد تزايدا طفيفا، للقوى النووية.

٦٧- ومن بين البلدان السبعة التي لا توجد فيها برامج قوى نووية والمبينة في الشكل ألف-٦، تنظر خمسة بلدان في بدء برامج للقوى النووية أو إعادة بدئها، وهي: إندونيسيا وإيطاليا وبولندا وتايلند ومصر. والأرقام القياسية لتقبّل الجمهور في هذه البلدان الخمسة أعلى من ٥٠% أو قريبة منها.

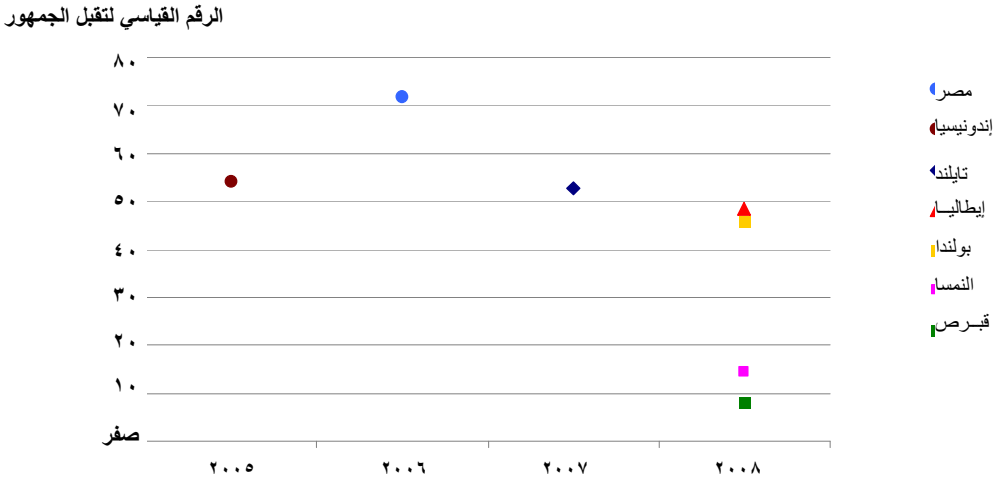
٦٨- وتحتوي تفاصيل الاستقصاءات التي تم استعراضها لإعداد الشكلين ألف-٥ وألف-٦ على معلومات، علاوة على تلك المبينة في النتائج الإجمالية للشكلين، يمكن أن تساعد على تصميم برامج إعلامية للجمهور من أجل أحوال محددة. فمثلا تبين النتائج الخاصة بهنغاريا تعافيا سريعا إلى حدٍ ما من المستويات المنخفضة التي هبط إليها تقبّل الجمهور بعد وقوع حادث متعلق بتنظيف الوقود في عام ٢٠٠٣. ويوحي ذلك بما لتشغيل جميع المرافق النووية بأمان ودون حوادث من أهمية لتقبل الجمهور.

---

١٤ الوكالة الدولية للطاقة الذرية، *المعالم البارزة لتطوير بنية أساسية وطنية للقوى النووية*، الوثيقة رقم NG-G-3.1 من سلسلة وثائق الطاقة النووية، فيينا، النمسا، ٢٠٠٧.



الشكل ألف-٥- تقبّل الجمهور في عدد من البلدان التي تستخدم القوى النووية.



الشكل ألف-٦- تقبّل الجمهور في عدد من البلدان التي ليست لديها برامج للقوى النووية.

باء- الانشطار والاندماج المتقدّمان

باء-١- الانشطار المتقدّم[١٥]

باء-١-١- المفاعلات المبرَّدة بالماء

٦٩- كل المفاعلات الستة التي بدأت الصين تشييدها في عام ٢٠٠٨ هي من نوع مفاعلات الماء المضغوط PWR ذات قدرة ١٠٠٠ ميغا واط كهربائي، وذات تصميم متطور قائم على أساس تكنولوجيا الجيل الثاني مع بعض التعديلات. والمشاريع الأولى من الجيل الثالث لمفاعلات الماء المضغوط، القائمة على أساس تكنولوجيا AP-1000، يجري تطويرها على نحو سلس وقد تم الشروع في تشييدها في ٢٠٠٩.

٧٠- في اليابان، طوّرت شركة ميتسوبيشي للصناعات الثقيلة نموذجاً بقدرة ١٧٠٠ ميغاواط كهربائي لمفاعل متقدّم يعمل بالماء المضغوط خاص بسوق الولايات المتحدة، وهو المفاعل US-APWR، الذي بدأت عملية اعتماد تصميمه من قبل الهيئة الرقابية النووية للولايات المتحدة في عام ٢٠٠٨. وتم في عام ٢٠٠٨ أيضا تقديم النسخة الأوروبية من المفاعل المتقدّم الذي يعمل بالماء المضغوط، وهو المفاعل EU-APWR، لتقييمها من حيث الامتثال لمتطلبات المرافق الأوروبية.

٧١- في جمهورية كوريا، بدأ في عام ٢٠٠٨ العمل على تشييد أول مفاعل قوى متقدّم من طراز APR-1400، وهو مفاعل شين-كوري ٣.

٧٢- في الاتحاد الروسي، بدأ تشييد الوحدتين الأوليين من المفاعلات من طراز WWER-1200، وهما نوفوفورونيز ٢-١ ولينينغراد ٢-١. وجرى تغيير المقاول والموقع لأول مفاعلين عائمين من طراز KLT-40S (قدرة كل منهما ٣٥ ميغاواط كهربائي)، اللذين بدأ العمل على تشييدهما في عام ٢٠٠٧. وتم تأجيل الموعد المتوقع لنشرهما من عام ٢٠١٠ إلى عام ٢٠١٢.

٧٣- وفي عام ٢٠٠٨، استهلت الهيئة الرقابية النووية للولايات المتحدة عملية اعتماد التصميم للنموذج المخصص للولايات المتحدة من مفاعل الماء المضغوط الأوروبي (EPR)، كما استُهلت عملية تقديم طلب لتعديل اعتماد التصميم الخاص بمفاعلات AP-1000. وقُدمت وثائق جديدة كجزء من العملية التمهيدية لتقديم الطلب إلى الهيئة الرقابية النووية فيما يخص مفاعل شركة وستينغهاوس المتكامل الذي يعمل بالماء المضغوط والذي تبلغ قدرته ٣٣٥ ميغاواط كهربائي، وهو "المفاعل الدولي المبتكر والمأمون" (إيريس) (IRIS).

٧٤- في كندا، تعكف شركة الطاقة الذرية الكندية المحدودة على استحداث مفاعل كندو (مفاعل كندي يُوقد بخليط من الديوتريوم واليورانيوم) متقدّم ينطوي على مستوى عالٍ جداً من التوحيد القياسي للمكوّنات وعلى استخدام يورانيوم طفيف الإثراء للتعويض عن استخدام الماء الخفيف باعتباره المبرّد الأساسي. وفي عام ٢٠٠٨، استهلت هيئة الأمان النووي الكندية استعراضها لتصميم مفاعل كندو المتقدّم طراز ACR-1000.

---

١٥ ترد معلومات أكثر تفصيلاً عن أنشطة الوكالة بشأن المفاعلات الانشطارية المتقدّمة في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي للوكالة وذلك على الموقع (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html).

٧٥- ويوجد قيد التشغيل في الهند مفاعلان يعملان بالماء الثقيل بقوة ٥٤٠ ميغاواط كهربائي لكل منهما. وتعكف الهند على تصميم مفاعل ماء ثقيل متطور، قدرته ٧٠٠ ميغاواط كهربائي، وكذلك مفاعل ماء ثقيل متقدّم سيستخدم الثوريوم مع التهدئة بالماء الثقيل، ومبرِّد يعمل بالماء الخفيف المغلي في أنابيب ضغط رأسية، ونظم أمان خاملة.

باء-١-٢- النظم النيوترونية السريعة

٧٦- أكملت في عام ٢٠٠٨ أعمال تركيب المكوّنات في المفاعل التجريبي الصيني السريع الحوضي بقدرة ٦٥ ميغاواط حراري (٢٠ ميغاواط كهربائي). والعمل جارٍ حالياً في أنشطة إزالة الأخطاء. وتم شحن مائتين وخمسين طناً من الصوديوم الصالح للاستعمال في المفاعلات النووية إلى المحطة، وتم ملء الأنشوطتين الأساسية والثانوية في نيسان/أبريل ٢٠٠٩.

٧٧- وشهد عام ٢٠٠٨ استكمال قبو المفاعل النموذجي السريع التوليد البالغة قدرته ٥٠٠ ميغاواط كهربائي في كالباكام في الهند، وتم تركيب وعاء الأمان داخل القبو. وتوشك أعمال البناء المدنية على الاكتمال بالنسبة إلى أبنية المفاعل المذكور التي تشكل جزءاً من المباني المحتوية على المكونات النووية (الجزيرة النووية). وتم الانتهاء من تركيب العارضة الحرارية، وصفائح العزل الحراري، وأحواض خزن الصوديوم، وأحواض عزل غاز الأرغون، وحوض التقاط قلب المفاعل، وهيكل دعم قلب المفاعل، كما أن الحوض الرئيسي يشارف الاكتمال.

٧٨- وأكملت اليابان تجديد المفاعل مونجو (MONJU) واختبار مكوّناته. وتم أيضاً إكمال معظم اختبارات النظام الكامل. بيد أن إعادة بدء تشغيل المفاعل المخطط لها تأجلت من عام ٢٠٠٨ إلى عام ٢٠٠٩. واستهلت اليابان أيضاً مشروعاً وطنياً لتطوير تكنولوجيا دورة المفاعلات السريعة من أجل تسويق تكنولوجيا المفاعلات السريعة.

٧٩- في الاتحاد الروسي، أكمل بناء صفائح الأساس لمقصورة المفاعل وردهة التوربين في المفاعل السريع طراز BN-800 في بيلويارسك. ومن المزمع إدخال المفاعل في الخدمة في عام ٢٠١٢.

٨٠- وواصلت بلجيكا إحراز تقدّم في أعمال التصميم الخاصة بالنظام الابتدائي، وتصميم قلب المفاعل، والترتيب النسقي للمحطة لنظام MYRRHA الذي هو مفاعل سريع تجريبي من الطراز دون الحرج، من أجل مواءمته مع مشروع المفوضية الأوروبية الخاص بنظام تجريبي مدفوع بالمعجّلات (طراز XT-ADS). ولاختبار رصد المستويات دون الحرجة، يجري تشييد مرفق اختباري، هو مرفق GUINEVERE، يجمع بين معجّل ديوتيروني متواصل وبين هدف مصنوع من مزيج التيتانيوم والتريتيوم مركّب داخل نظام مضاعفة دون حرجي سريع مبرّد بالرصاص. ويتوقع أن يصبح مرفق GUINEVERE قيد التشغيل في آذار/مارس ٢٠١٠.

باء-١-٣- المفاعلات المبرَّدة بالغاز

٨١- بفضل مرفق اختبار الهيليوم، الذي أدخل في الخدمة عام ٢٠٠٧ لمفاعل جنوب أفريقيا النمطي الحصوي القاع، بات من الممكن إجراء أول اختبارات تشغيلية شاملة النطاق بشأن المكوّنات الحرجة في نظام التحكم بالتفاعلية، ونظام الإيقاف الاحتياطي، ونظام مناولة الوقود. وفي عام ٢٠٠٨، منحت الهيئة الرقابية

الوطنية في جنوب أفريقيا رخصة إدخال في الخدمة بالحالة الساخنة للمرفق المتقدم للطلي في بيليندابا، متيحة بذلك للمشروع البدء بتصنيع كريات الوقود.

٨٢- وفي اليابان، من المزمع أن يتم قبل أواخر عام ٢٠٠٩ إخضاع مفاعل الاختبارات الهندسية العالي الحرارة لاختبارات أكثر صرامة ستدوم لفترة إجمالية قدرها ٩٠ يوماً، منها ٥٠ يوماً عند حرارة ٩٥٠ درجة مئوية. وفي عام ٢٠٠٧، كان قد استكمل أول اختبار للقوى القصوى على مدى ٣٠ يوماً بلغت خلالها حرارة المبرّد الخارجة ٨٥٠ درجة مئوية، ممّا أكد حدوث تحسينات في تصنيع جسيمات الوقود المكسوة.

٨٣- وفي الولايات المتحدة، بلغ مشروع المحطة النووية من الجيل المقبل معلماً مرحلياً رئيسياً في عام ٢٠٠٨ بفضل الانعدام التام لحالات أعطال الوقود أثناء فترات التشعيع الطويلة الأمد (بمعدل حرق يبلغ ٩%) في المفاعل الاختباري المتقدّم في مختبر آيداهو الوطني. وهذا إنجاز رئيسي في البرهنة على أمان الوقود النظيري الثلاثي الهيكل. والهدف المقبل هو تحقيق معدل حرق يتراوح بين ١٦ و١٨% قبل شهر أيلول/سبتمبر ٢٠٠٩.

٨٤- وفي الصين، وافق مجلس الدولة لجمهورية الصين الشعبية على خطة تنفيذ تفعيل المفاعل العالي الحرارة المبرّد بالغاز. ويجري دراسة رخصة المشروع ويتوقع الشروع في بنائه في أواخر العام المقبل.

باء-١-٤- المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (إنبرو) والمحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات

٨٥- أكمل المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية، التابع للوكالة، إعداد دليل مستفيض لوسائل تقييم نظم الطاقة النووية الابتكارية بعنوان *إرشادات لتطبيق منهجية تقييمية لنظم الطاقة النووية الابتكارية*، الذي نشر في مطلع عام ٢٠٠٩ في الوثيقة التقنية IAEA-TECDOC-1575. وأكملت دراسة تقييمية مشتركة وست دراسات تقييمية وطنية باستخدام وسائل إنبرو لتعيين الحلقات الضعيفة في السلسلة التطويرية، أي المجالات ذات الأولوية في كلّ حالة لمواصلة البحوث التطويرية. ونشر مشروع إنبرو في مطلع عام ٢٠٠٩ تقريراً بشأن *الاعتبارات المشتركة الخاصة بالمستخدمين التي تنظر فيها البلدان النامية من أجل وضع نظم محطات القوى النووية في المستقبل*، شارك في صياغته ٢٦ بلداً إضافياً إلى جانب أعضاء مشروع إنبرو البالغ عددهم الآن ٣٠ عضواً. وقررت الحكومة الروسية للمرة الأولى توفير دعم متعدد السنوات لمشروع إنبرو في الفترة ٢٠٠٨-٢٠١٢.

٨٦- وينسّق المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات (محفل الجيل الرابع)، من خلال نظام قائم على عقود واتفاقات، أنشطة الأبحاث بشأن النظم الستة للطاقة النووية من الجيل المقبل التي اختيرت في عام ٢٠٠٢ وهي مبينة في *خارطة الطريق لتكنولوجيا الجيل الرابع من نظم الطاقة النووية:* أي المفاعلات السريعة المبردة بالغاز، والمفاعلات السريعة المبردة بالرصاص، ومفاعلات الملح المصهور، والمفاعلات السريعة المبردة بالصوديوم، والمفاعلات فوق الحرجة المبردة بالماء، والمفاعلات الفائقة الحرارة. وفي عام ٢٠٠٨، وقّعت الصين 'ترتيب نظام' للانضمام إلى العمل المشترك في ميدان المفاعلات الفائقة الحرارة. وتدأب فرنسا والولايات المتحدة الأمريكية واليابان على مواءمة الأعمال المتعلقة بالمفاعلات السريعة المبرّدة بالصوديوم النموذجية، بما يشمل الأهداف التصميمية، ومبادئ الأمان، ونسق النظم، ومستوى القدرة، ونوع الوقود، وتخفيض التكاليف من خلال الابتكار، والجداول الزمنية والتواريخ المستهدفة للنماذج الأولية، والبنى الأساسية ذات الصلة. وثمة مشاريع

معيّنة جارية تعنى بتكامل النظم، والأمان والتشغيل، والوقود المتقدم، وتوازن المحطات، و'العرض الإيضاحي الدولي للدورة الأكتينية الشاملة'.

باء-٢- الاندماج

٨٧- في شباط/فبراير ٢٠٠٨، تقدّمت المنظمة الدولية لطاقة الاندماج المعنية بالمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي بطلب رسمي للحصول على رخصة بناء لتشييد ذلك المفاعل الاندماجي التجريبي في كاداراش بفرنسا.

٨٨- وفي تشرين الأول/أكتوبر ٢٠٠٨، تم خلال مؤتمر الوكالة الثاني والعشرين المعني بطاقة الاندماج (FEC 2008) المقام في جنيف، بسويسرا الاحتفال بالذكرى الخمسين لبدء البحوث الدولية في مجال الاندماج. وقد نُظِّم المؤتمر المذكور في المرافق ذاتها التي شهدت مؤتمر الأمم المتحدة الدولي الثاني المعني بالاستخدامات السلمية للطاقة الذرية في عام ١٩٥٨، الذي كان المرة الأولى التي تم فيها كشف النقاب عن الاندماج وفتح باب المناقشة العامة حوله. وقُدم خلال المؤتمر المعني بطاقة الاندماج لعام ٢٠٠٨ رقم قياسي من الأوراق العلمية تجاوز عددها ٥٠٠ ورقة.

٨٩- ووُقع خلال المؤتمر المذكور على اتفاق تعاون بين الوكالة والمنظمة المعنية بالمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي. ويشمل نطاق التعاون تبادل المعلومات، وتحليل مساهمة الاندماج في السيناريوهات المستقبلية للقوى النووية، والتدريب، والمنشورات، وتنظيم المؤتمرات العلمية، والبحوث في ميدان فيزياء البلازما ونمذجتها، وأمان الاندماج وأمنه. وقد صُمِّم الاتفاق بحيث يضمن تسهيل التفاعلات بين أطراف مشروع المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي وسائر الدول الأعضاء في الوكالة المهتمة ببحوث الاندماج ولكنها ليست أعضاء في منظمة المشروع.

٩٠- وفضلاً عن التقدّم المحرز في مشروع المفاعل المذكور، تعمل مختبرات اندماج في كل من الاتحاد الروسي وجمهورية إيران الإسلامية والبرازيل والبرتغال وبلجيكا وتايلند والجمهورية التشيكية والصين وكندا والمملكة المتحدة على تطوير شبكة بحثية تضم مستخدمي أجهزة اندماجية صغيرة. كما أن الوكالة تشارك في بحوث مفاعلات توكاماك الصغيرة وتعمل، في جملة أمور، على تنسيق هذه البحوث من خلال التجارب المشتركة الرامية إلى تعزيز التعاون الدولي وتخطيط الشبكات وتعليم العلماء الناشئين.

جيم- البيانات الذرية والنووية

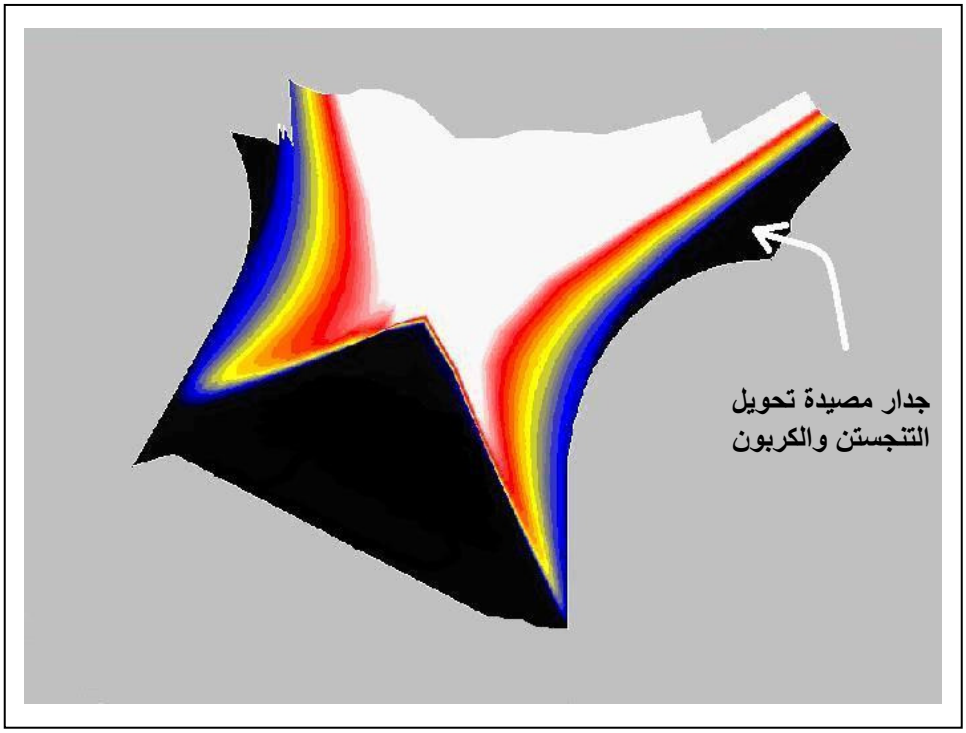
٩١- مع تصاعد التوقعات بالنسبة للقوى النووية، وتحقيق تقدّم على صعيد الاندماج، واستحداث جيل جديد من المفاعلات الانشطارية، سلّط عدد من الأوراق والمناقشات التي دارت خلال المؤتمر الدولي المعني بفيزياء المفاعلات لعام ٢٠٠٨ الضوء على الجهود المبذولة حالياً، بما في ذلك ضمن الوكالة، لتلبية الحاجة إلى بيانات مقطع عرضي جديدة ومستوفاة عن الانشطار والاحتجاز فيما يخص الأكتينات، والحاجة إلى تقليص أوجه عدم اليقين، والحاجة إلى البيانات المطلوبة لتطبيق إعادة تدوير الوقود المستهلك.

٩٢- وخلال اجتماع عام ٢٠٠٨ الذي عقدته اللجنة الفرعية المعنية بالبيانات الذرية والجزيئية للاندماج، التابعة للمجلس الدولي لبحوث الاندماج النووي، نوقشت مسائل التفاعل بين البلازما والجدران داخل المفاعلات

الاندماجية الذي يؤدي إلى تكوّن جسيمات الغبار، وقضايا الأمان المرتبطة بذلك والمتمثلة في احتباس التريتيوم، وسلوك الاشتعال التلقائي، والمناولة، والاستنشاق. وأوصي بأن تستهل الوكالة مشاريع بحثية منسقة متعددة الجنسيات لدراسة حجم الغبار وتكوينه ومنشئه، والبيانات الخاصة بالقياس الطيفي والاصطدام والرشرشة في ما يخص التنجستن بوصفه مادة مرشّحة للاستخدام في أجهزة الاندماج (أنظر الشكل جيم-١ للاطلاع على مثال لكيفية استخدام هذه البيانات). وفضلاً عمّا تقدّم يلزم، من أجل تقدير الضرر الإشعاعي الذي يصيب المكوّنات البنيوية لأجهزة الاندماج الجديدة وتنشيطها، تحديث وتوسيع مكتبة البيانات النووية المقيمة المتعلقة بالاندماج المستخدمة في الدراسات التصميمية وفي تحديد القيم المرجعية لخصائص المواد ذات الصلة بالمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي.

٩٣- وكجزء من الدعم بالحواسيب الفائقة لنمذجة الأجهزة الاندماجية الذي يجري تطويره بموجب الاتفاق الأوروبي لتطوير الطاقة الاندماجية، تم في أيار/مايو ٢٠٠٩ تدشين في مركز يوليخ للحوسبة الفائقة بألمانيا مركز معني بالحوسبة العالية الأداء في ميدان الاندماج.

٩٤- ويوفّر التشعيع المباشر لمواضع الأورام لدى المرضى، باستخدام جسيمات مشحونة مولّدة بواسطة المعجلات، جرعة عالية الدقة تصيب الهدف مع تفادي إصابة الأنسجة السليمة المحيطة. وسيبدأ قريباً تشغيل مركزين جديدين للعلاج الهدروني في كل من هايدلبرغ بألمانيا، وبافيا بإيطاليا. واعترافاً بالحاجة إلى بيانات دقيقة لتصميم مرافق علاج المرضى وتخطيطها، تعطى الأولوية لإرساء جهود دولية منسّقة من أجل التقدير الكمي للتفاعل بين الجسيمات المشحونة والتوصية ببيانات محدّثة بشأنها لأغراض التطبيقات الطبية.



الشكل جيم-١ . المحاكاة الحاسوبية لنمط الحرارة في منطقة مصيدة التحويل في جهاز اندماجي. وتتراوح درجات الحرارة بين ٠٠٠ ٢٠٠ كلفن (مبينة بالأزرق) و٠٠٠ ٠٠٠ ١ كلفن (مبينة بالأحمر)، بما يناهز درجات الحرارة في قلب الشمس. وقد حُسبت هذه الدراسة باستخدام النموذج الحاسوبي B2-IRENE *(مركز بحوث يوليخ)، وتطلبت قدراً هائلاً من البيانات الذرية والجزيئية الموثوقة، حيث تم استخلاص الكثير من هذه البيانات وتجميعها عبر سلسلة من المشاريع البحثية المنسّقة التي اضطلعت بها الوكالة مؤخراً.*

دال- التطبيقات الخاصة بالمعجلات ومفاعلات البحوث

دال-١- المُعجّلات

٩٥- من الطرائق الهامة لبناء الكفاءة في ميدان العلوم النووية في البلدان النامية إقامة مرفق معجّلات، وكذلك استخدام هذا المرفق على نحو فعال للتعليم والتدريب النوويين، فضلاً عن الخبرة العملية في جميع التطبيقات المتصلة به. ولزيادة توسيع الفرص التعليمية في المناطق النامية، تحفز الوكالة التعاون الدولي من أجل تحقيق الاستفادة القصوى من الخبرات والمرافق القائمة، في جنوب أفريقيا مثلاً، بما يعود بالفائدة على الشركاء الإقليميين المحتملين، مثل غانا ونيجيريا.

٩٦- وتؤدي الأساليب التحليلية التي تطوَّر في مصادر الإشعاعات السينكروترونية إلى تحسين فهم المواد المبتكرة والبيولوجية. وتطبق حاليا في سينكروترونات مثل سينكروترون آنكا في ألمانيا، وستستخدم أيضاً في مرفق إيليترا بإيطاليا، تقنيات جديدة طوِّرت باستخدام مصادر الأشعة السينية التقليدية الأصغر حجماً. ويستفيد هذا النهج من السمات الفائقة التي تتميز بها الأشعة السينية المتاحة من الإشعاعات السينكروترونية، وبذلك سيزيد من حساسية التحليلات وموثوقيتها.

٩٧- وستؤدي أوجه التقدّم المحرزة في ميدان تكنولوجيا الحزم الأيونية وأجهزتها إلى ازدياد استخدام الحزم البروتونية الأيونية المركّزة في البحوث الطبية الحيوية، ولاسيما البحوث الخاصة بآثار الإشعاعات على الخلايا الحيّة. وللمرة الأولى في العالم، دخلت حزمة إشعاعية نانومترية مركّزة خاصة بالمسح الرأسي لأغراض البحوث الأساسية حيز التشغيل في المملكة المتحدة في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٨. وستوفّر الحزمة بيانات جديدة حول حساسية الأورام السرطانية إزاء الإشعاعات، وحول العمليات التي قد تؤدي إلى السرطان، وحول المخاطر الناجمة عن التعرض لمستويات ضعيفة من الإشعاعات. وللمرة الأولى، ستزود الحزمة الباحثين بحزم إشعاعية بروتونية نانومترية الحجم لاستهداف وتشعيع مواضع معيّنة في الخلايا البشرية بقدر عالٍ من الدقة. وستوضح الحزمة التفاعلات بين العقاقير العلاجية الكيميائية والأشعة، فتساعد الأطباء الإكلينيكيين على اختبار فعالية الاستراتيجيات المختلفة لعلاج السرطان.

دال-٢- مفاعلات البحوث

٩٨- من أهم استخدامات مفاعلات البحوث إنتاج النظائر المشعّة. وفي عام ٢٠٠٨، أدى عدم توافر المفاعلات الكبيرة القليلة المتقادمة المستخدمة لإنتاج النظائر إلى قيام مشاكل وإثارة شواغل بشأن أمن إمدادات النظائر المشعة (بالأخص الموليبدينوم-٩٩) للتطبيقات الطبية والصناعية الضرورية. ومفاعل الماء الخفيف الأسترالي الجديد المفتوح الحوض، الذي وصل للمرة الأولى إلى قدرته الكاملة في عام ٢٠٠٦، هو الإضافة الفورية المحتملة الوحيدة إلى القدرات القائمة. ويبحث عدد من مراكز المفاعلات الوطنية، مع الوكالة، إمكانية إضافة مزيد من القدرات عن طريق زيادة استخدام المفاعلات غير المستغلّة استغلالاً كاملاً في الوقت الراهن. ويتضمن القسم الأول مزيداً من المعلومات حول النظائر المشعة.

٩٩- وبلغ مفاعل البحوث النووي الأول في المغرب، وهو مفاعل من طراز تريغا مارك-٢ (٢ ميغاواط)، أول مرحلة حرجية في أيار/مايو ٢٠٠٧؛ وبلغ في حزيران/يونيه قدرته الكاملة وأنجز كافة الاختبارات المطلوبة. ويوجد هذا المفاعل في مركز معمورة للبحوث النووية، على بعد حوالي ٢٥ كلم شمال الرباط. ويستخدم المفاعل وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء، وهو مصمم لعملية ارتقاء مستقبلية مخطط لها لتوليد

٣ ميغاواط. وسيستخدم هذا المرفق لتدريب القوى العاملة، وإنتاج النظائر، وتوفير خدمات تحليلية مثل التحليل بتنشيط النيوترونات والفحص غير المتلف، والبحوث الأساسية في فيزياء الحالة الصلبة وفيزياء المفاعلات.

١٠٠- ونظراً للانخفاض المتوقع في عدد مفاعلات البحوث من ٢٤٥ مفاعلاً الآن إلى ما بين ١٠٠ و١٥٠ مفاعلاً في عام ٢٠٢٠، سيلزم مزيد من التعاون الدولي بغية ضمان إمكانية الاستفادة الواسعة النطاق من هذه المرافق وفعالية استخدامها. وتحقيقاً لتلك الغاية، بدأت الوكالة عملية إنشاء عدد من الشبكات الإقليمية، وهي: مبادرة أوروبا الشرقية المعنية بشأن مفاعلات البحوث، والتحالف الكاريبي بشأن مفاعلات البحوث، والشبكة المتوسطية لاستخدام مفاعلات البحوث، والشبكة البلطيقية لاستخدام مفاعلات البحوث. وتوجد شبكة إضافية، معنية بتحليل الإجهاد المتبقي والبنى للشركاء الصناعيين، تركّز على تطبيق معين بدلاً من التركيز على منطقة معيّنة. وستساهم هذه الشبكات أيضاً في الارتقاء بالمرافق القائمة واستحداث مرافق جديدة وتحسين إمكانية استفادة البلدان التي ليست لديها مفاعلات بحوث من تلك المرافق. وسيتاح المفاعل المغربي الجديد لأوساط المستخدمين الوطنيين والدوليين على السواء على أساس تقاسم الوقت، كما سيساهم في تحسين التعاون الإقليمي والتشبيك والتحالفات الخاصة بمفاعلات البحوث.

١٠١- ويعمل برنامج الإثراء المنخفض لوقود مفاعلات البحوث والاختبارات، المنفّذ في إطار المبادرة العالمية لتقليص التهديدات، على تحويل المفاعلات البحثية التي تستخدم وقود اليورانيوم الشديد الإثراء إلى استخدام وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء. وبنهاية عام ٢٠٠٨، أغلق على الصعيد العالمي ٦٢ مفاعل بحوث يستخدم وقود اليورانيوم الشديد الإثراء أو تم تحويلها إلى استخدام وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء، ومن المخطط له أيضاً تحويل ٣٩ مفاعلاً آخر إلى استخدام أنواع الوقود المؤهلة الموجودة. واحتفل برنامج الإثراء المنخفض لوقود مفاعلات البحوث والاختبارات بالذكرى الثلاثين لإطلاقه، خلال اجتماعه السنوي المعقود في واشنطن العاصمة في تشرين الأول/أكتوبر ٢٠٠٨.

١٠٢- وستلزم لتحويل ٢٨ مفاعل بحوث آخر ضروب متقدّمة وذات كثافة عالية جداً من وقود اليورانيوم-موليبدينوم، ما زال يتعين تطويرها وتأهيلها. وكان العمل المتعلق بهذه الأنواع من الوقود قد بدأ في أوائل التسعينات ولكنه واجه صعوبات نتيجة لانتفاخ طبقة التفاعل التي تتشكل بين الوقود وبين مصفوفة الألومنيوم خلال عملية التشعيع. ويجري حالياً بحث هذه الصعوبات على نحو تعاوني في إطار الفريق العامل الدولي المعني بتطوير الوقود، المكوّن من الاتحاد الروسي والأرجنتين وألمانيا وبلجيكا وفرنسا وكندا وجمهورية كوريا والولايات المتحدة الأمريكية. وقد أحرز تقدّم كبير على عدة جبهات، ولكن ما زال من الضروري تحقيق المزيد من التقدّم وإجراء الكثير من الاختبارات من أجل تحقيق هدف برنامج الإثراء المنخفض لوقود مفاعلات البحوث والاختبارات، المتمثل في التوصل إلى وقود مؤهل بنهاية عام ٢٠١١.

هاء- التكنولوجيات النووية في مجال الأغذية والزراعة

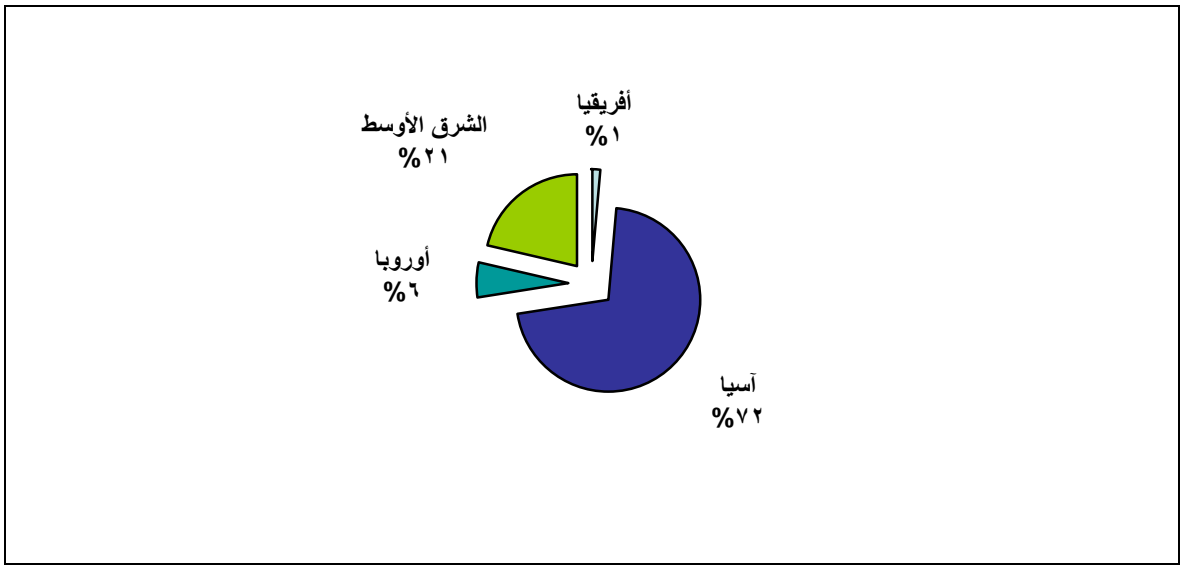
هاء-١- تحسين إنتاجية الماشية والصحة البيطرية

١٠٣- تساعد التكنولوجيات النووية والتكنولوجيات المرتبطة بها على تحسين إنتاجية المواشي. وتستخدم نظائر الكربون أو الهيدروجين أو الكبريت أو الفوسفور أو النيتروجين لدراسة عمليات تحويل وامتصاص المغذّيات من الأعلاف، ولتقييم الدور الذي تؤديه ميكروبات معدة المواشي في الاستفادة من الأعلاف. فالحيوانات المجترّة

تعتمد على هذه الكائنات الصغرية التي تعيش في جهازها الهضمي لتحويل مكوّنات الأعلاف إلى مصادر قابلة للاستخدام توفّر الطاقة والبروتينات.

١٠٤- ويمكن تعيين وانتقاء الخصائص الوراثية المرغوبة، كطراوة اللحم أو زيادة إنتاج الحليب أو القدرة على مقاومة الأمراض، عن طريق الوسم المباشر للحمض النووي. وتستخدم الأوسام النظيرية لتعيين أصل المنتجات أو تحديد منشئها، وتساهم في مساعدة البلدان النامية على النفاذ إلى أسواق التصدير.

١٠٥- والنظائر المستقرة، بوصفها 'المسجِّلات الإيكولوجية' للطبيعة، مفيدة في دراسة حركة الحيوانات. إذ يمكن لأنساق الكربون-١٣ والنيتروجين-١٥ أن تشير إلى منشأ الطيور المهاجرة والبيئة التي ترعرعت فيها، بما يتيح تقييم المخاطر والتنبؤ بانتشار الأوبئة (كانفلونزا الطيور مثلاً). وأكثر المقتفيات فعالية في الوقت الحالي هي نظائر الهيدروجين الموجودة في الأنسجة الخامدة التي تتجدد موسمياً، كالريش والمخالب. وفور الانتهاء من تحديد النسق النظيري لمجموعة معيّنة من الطيور أو لنظام إيكولوجي ما، يمكن لأي شخص توفير معلومات عن الهجرة العالمية لتلك المجموعة أو من تلك النقطة المرجعية. وتُبنى شبكات عالمية من نظائر الهيدروجين والأوكسجين المائية باستخدام قاعدة بيانات 'الشبكة العالمية لاستخدام النظائر في دراسة الأمطار'، المشتركة بين الوكالة والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية، ومن ثم تجري مقارنتها مع أنساق ريش أجناس الطيور المهاجرة في مواقع مختلفة لتعيين مكان نمو الريش وبالتالي تحديد منشأ الطيور المهاجرة.[١٦]



الشكل واو-١ – التوزيع الجغرافي لحالات تفشي أنفلونزا الطيور (النوع الفرعي H5N1) في الدواجن بين عامي ٢٠٠٣ و٢٠٠٨؛ المصدر: المنظمة العالمية لصحة الحيوان.

هاء-٢- بحوث اللقاحات

١٠٦- يشكل شل نشاط العوامل المُمرضة بواسطة التشعيع ثورة في بحوث اللقاحات. فاللقاحات المعالجة بهذه الطريقة تحفز رد مناعي حمائي مشابه للرد الذي تثيره العوامل المُمرضة الحية، ومستوى جودتها يفوق المستوى الذي يمكن تحقيقه عن طريق المعالجة الحرارية أو الكيميائية. ويتيح التشعيع إمكانيات جديدة للوقاية من

١٦ للمزيد من المعلومات عن عمل الوكالة في هذا المجال، يرجى زيارة الموقع الشبكي التالي: http://www.naweb.iaea.org/nafa/aph/index.htm.

أمراض مثل داء ناغانا (داء المثقبيات)، أو داء الحمى القلاعية، أو داء الوشائع، أو داء نيوسبورا الذي يصيب الأبقار، فشلت عموما اللقاحات المصممة وراثياً في الوقاية منها. وتُظهر دراسات أجريت مؤخراً أن الحماية تعززت بفضل جرعاتِ تشعيع تعطى بتأنٍّ من أجل تغيير تأثير الجينات في العوامل الممرضة.

١٠٧- وتوفّر الأدلة الجيدة على الاختلافات الوراثية في قدرة الأفراد والأنواع الحيوانية على مقاومة الأمراض المعدية وسيلة بديلة للتصدي للأمراض الحيوانية عن طريق تعيين الواسمات الوراثية المرتبطة بهذه القدرة على المقاومة. وتشمل هذه الوسائل استخدام نوكليوتيدات مرقومة إشعاعياً في تهجين الحمض النووي، مثل تحديد خصائص هذا الحمض، وفي إجراءات رسم الخرائط بالهجين الإشعاعي. والحصول على المعلومات الوراثية لأجناس المواشي ضروري لاستغلال الفوائد الناتجة من التباين الوراثي بغية الحصول على سمات ذات أهمية اقتصادية. وتتيسّر هذه العملية كثيرا بترتيب الواسمات الجزيئية على طول الكروموسومات المنتقاة.

١٠٨- ويمكن اختبار الخرائط المرسومة بالهجين الإشعاعي المستخلصة عن طريق التجزئة الإشعاعية للكروموسومات في خطوط الخلايا الهجينة للتحقق من وجود واسمات الحمض النووي أو عن طريق الرسم المقارن لخرائط الجينات من أجل إتاحة تعيين الجينات المرشّحة لإحداث سمات معيّنة. وعلى الرغم من إحراز تقدّم ملموس في عملية تحديد متواليات الجينوم البقري، فإن ذلك لا يصحّ بالنسبة إلى الخراف والماعز. وهناك حاجة ماسة إلى رسم خرائط بالهجين الإشعاعي لمواقع السمات النوعية والارتباط بينها وبين الإنتاجية (إنتاج الحليب، ونوعية اللحم والصوف) والقدرة على مقاومة الأمراض. ومن شأن الاستثمار في هذه التكنولوجيات، مقروناً بقياسات تستخدم الفوسفور-٣٢ والكبريت-٣٥ ومثيونين الكبريت-٣٥ واليود-١٢٥، لرصد الإنتاجية والتكاثر، أن يتيح تحسين الأداء.

هاء-٣- مكافحة الآفات الحشرية

هاء-٣-١- التشعيع بالأشعة السينية لتعقيم الحشرات

١٠٩- نتيجة للمصاعب الحالية في الحصول على أجهزة التشعيع النظيرية وشحنها، بات من الملحّ بقدر أكبر تقييم التشعيع بالأشعة السينية كبديل عن الأشعة الجيمية. وقد تقدّم العمل في مجال تطويع جهاز تشعيع بالأشعة السينية من طراز RS2400 ليلائم تعقيم الحشرات بفضل استخدام نظام دوران داخلي محسّن وعبوات جديدة مصنوعة من الراتينج المقوّى بألياف الكربون أدرجت فيها خاصية ترشيح الفولاذ، ممّا نتج عنه معدل تجانس جرعات مقبول لا يزيد عن ١,٣. وفضلاً عن ذلك، يتيح تنقيح برنامج التحكم انتقاءَ كمية مسبقة التحديد من الطاقة المسلّطة على الحشرات.

١١٠- واستخدمت القياسات الحيوية لتقييم الفعالية النسبية لنظم التشعيع بالأشعة السينية ونظم الأشعة الجيمية فيما يتعلق بنوعية الحشرات التي تستهدفها تقنية الحشرة العقيمة. فجرى تشعيع مجموعة من خادرات ذبابة الفاكهة من نفس العمر باستخدام نفس الجرعات الإسمية داخل آلة الأشعة السينية أو في جهاز تشعيع بالأشعة الجيمية، ثم تم تقييم أدائها في ظل نفس الظروف بغية مقارنة معدلات ظهور الحشرات البالغة وقدرتها على البقاء وعقمها. وأجريت أيضاً اختبارات قفصية ميدانية لقياس التنافس التناسلي بين الذكور المعالجة بالأشعة الجيمية وتلك المعالجة بالأشعة السينية، وذلك من أجل تقييم الاختلافات الناجمة عن المعالجة في ظل ظروف ميدانية محاكاة. وبفضل إجراءات قياس الجرعات التي أجريت بعد المعالجة، تم تعيين الجرعات الفعلية التي

تلقـّتها الخـادرات [١٧]. وتـشير البيانـات الأوليـة الخاصـة بذبابـة البطـيخ *Bactrocera cucurbitae*، وذبابـة الفاكهـة المتوسطية *Ceratitis capitata*، وذبابة فاكهة جنوب-أمريكـا *Anastrepha fraterculus*، التـي تمثل آفـات حشرية هامة في كل من آسيا وأفريقيا والأمريكتين، بشأن الخصوبة المتبقية والمعدلات الطبيعية لظهور الحشرات البالغة وسلوكها، إلى عدم وجود أي اختلافات بين الأشعة الجيمية والأشعة السينية في حالة كل من الأجناس الثلاثة.

هاء-٣-٢- استخدام تقنية الحشرة العقيمة لمكافحة ذباب تسي تسي

١١١- تتواصل الجهود الرامية إلى دعم البلدان الأعضاء الأفريقية في نقل تقنيـة الحشرة العقيمـة إليهـا لمكافحـة ذبـاب تـسي تـسي فـي المجـالات ذات الأولويـة. ويـشمل ذلـك إثيوبيـا (النـوع *Glossina pallidipes*)، ومقاطعـة كوازولـو-ناتـال فـي جنـوب أفريقيـا وموزامبيق (النوعـان *G. austeni* و *G. Brevipalpis*)، والسنغال حيـث تـدير الحكومة برنامجاً يهدف إلى القضاء على النوع *G. palpalis* في منطقـة نيـابيس الواقعـة شمال شرق داكـار وذات الكثافة العالية من المواشي.

١١٢- وفـي السنغال، أظهر جمع البيانـات الحشرية الأساسية الـذي أتـاح، بمـساعدة الأدوات الفضائية الحديثـة والنمذجة الرياضية والدراسات الوراثية لمجموعات الحشرات، إعداد خرائط دقيقـة عن توزيـع ذبـاب تـسي تـسي، أن مجموعات ذباب تسي تسي في منطقـة نيـابيس معزولـة كليـاً عن بـاقي الشريط الأرضـي الموبـوء بـذباب تـسي تسي. ويتيح ذلك الفرصة لإنشاء منطقة خالية من ذبـاب تـسي تـسي بـصفة مستدامة. وتظهـر المسوحات أن تقنيـة الحشرة العقيمة ستكون أحد المكوّنـات الأساسية لـنهج متكامل؛ وستجري فـي مطلـع عـام ٢٠٠٩ عمليـات إطـلاق تجريبية لذباب عقيم وارد من بوركينا فاصو.

هاء-٤- جودة الأغذية وأمانها

هاء-٤-١- إمكانية التتبع كنهج لمكافحة الملوّثات الغذائية وتحسين الأمان الغذائي

١١٣- إن استخدام الكيميائيـات الزراعيـة، كالمبيدات والعقـاقير البيطريـة، ضـروري للإنتـاج الزراعـي، لاسيما بالنظر إلى الحاجة إلى زيادة الإنتاجية بغية التصدّي للأزمة الغذائيـة العالميـة الحاليـة. بيد أن بقايـا هذه المـواد فـي الأغذية، وغير هذه البقايا من الملوّثات الطبيعية والبيئية مثل الذيفانات الفطرية والملوّثات العضوية الثابتـة، تـشكل خطراً على الصحة البشرية ويمكن أن تنشئ حواجز فـي وجـه تجـارة المنتجـات الزراعيـة. وتتفـاقم مـشاكل تلـوّث الأغذية أيضاً نتيجة لعوامل عالمية مثل التغيّر المناخي والتغير في ممارسات إنتاج المحاصيل والمواشي.

١١٤- ويتطلب ضبط هذه المخاطر نهجاً شمولياً يتصدّى لكامل سلسلة إنتـاج الأغذيـة، ويعتمـد هـذا النـهج علـى تطبيق المبادئ التوجيهيـة من الخاصـة بتقليص المخـاطر وبآليـات الإفـادة التعقيبيـة بغيـة ضـمان فعاليـة الـضوابط. ومن العناصر الأساسية لهذا النهج القدرة على اقتفاء المنتجات الغذائية وصولاً إلى مـصدرها – أي إمكانيـة التتبـع – بغية تيسير الإجراءات التصحيحية عند الكشف عن وجود تلـوّث. وتقدّم التقنيـات النظيريـة مزايـا جليـة فـي هـذا المجـال، ويـصبح بالإمكـان، عنـد اسـتخدامها مقرونـة بالتكنولوجيـا التقليديـة، تطبيقهـا لتوفـّر، فـي آن واحـد، آليـات اقتفائية قوية ومنهجية جيدة لرصد الملوّثات في الغذاء. وحتى عندما لا يشكل أمـان الأغذيـة مسألة أساسية، يمكن أن تكون القدرة على إثبات منشأ الأغذية وصحتها – من خلال تطبيق تقنيـات معـدلات النظـائر المستقرة – مهمـة

---

١٧ للمزيد من المعلومات عن تعقيم الحشرات والولوج إلى قاعدة البيانات الخاصة بذلك، يرجى زيارة الموقع الشبكي التالي: http://www.naweb.iaea.org/nafa/ipc/index.html.

بالنسبة إلى البلدان المصدّرة نظراً للقيمة المضافة العالية التي قد تتسم بها السلع الواردة من مناطق معيّنة. ويمكن استخدام التقنيات النظيرية، على نحو فريد، لفحص العوامل البيئية المؤدية إلى تلوّث السلع الغذائية، وهذا أمر ذو أهمية متزايدة بالنظر إلى معدلات التغير المناخي المتوقعة.

١١٥- وقد برهنت تقنيات القياس المقارن لنظائر مستقرة مثل السترونتيوم عن أنها أدوات ممتازة لاقتفاء منشأ طائفة من المنتجات الغذائية. وتخضع الوفرة النسبية لنظائر السترونتيوم في النباتات للتكوين النظيري للسترونتيوم في البيئة التي تنمو فيها النبتة. وتوفّر المعدلات المقاسة لنظائر السترونتيوم في النبتة 'بصمة' لمكان المنشأ. وقد تمت البرهنة على ذلك بالنسبة للمنتجات النباتية (كالهليون مثلاً) والحيوانية على حد سواء، حيث يرتبط نسق نظائر السترونتيوم الموجودة في الحليب بالمواضع التي رعت فيها الأبقار. ويمكن أيضاً استخدام معدلات نظيرية أخرى مثل معدل الهيدروجين/الديوتيريوم/التريتيوم، ومعدل النيتروجين-١٤/النيتروجين-١٥، ومعدل الكربون-١٣/الكربون-١٢، ومعدل الأوكسجين-١٨/الأوكسجين-١٦، بالطريقة ذاتها، أو لتوفير بيانات تكميلية.

هاء-٥- تحسين المحاصيل

١١٦- تؤدي الطافرات المستحثة ذات الخصائص المرغوب فيها دوراً هاماً في زيادة إنتاج مختلف المحاصيل الغذائية.[١٨] وفي السنوات الأخيرة، أدّت التطوّرات السريعة في ميدان البيولوجيا الجزيئية إلى توافر على الصعيد العام للمعلومات المرتبطة بالتكوين الجيني للكائنات الحية. وفي 'عصر المجيِّنات' هذا، يعمل العلماء على فك لغز الشفرة الوراثية لعدد متزايد من الكائنات، بما في ذلك المحاصيل.

١١٧- وما يتّسم بقيمة خاصة هو تطبيق وسائل تدفع الطّفر الطبيعي قدماً، فتعزّز أو تزيل سمات وراثية بغية إنتاج أنواع محسّنة من المحاصيل. وقد أخذ التشديد على حث الطفرات ينتقل من التوسيع التقليدي للقاعدة الوراثية للمحاصيل من أجل تحسين السلالات النباتية ليشمل بحوث البيولوجيا الجزيئية، الأمر الذي أدى إلى زيادة ملموسة في العمل العلمي المتعلق بالطفرات الوراثية المستحثة.

١١٨- ويهدف التوجه الحالي نحو تعزيز مستويات الفعالية في عمليات تحسين السلالات النباتية بمساعدة الحث الطفري إلى تحقيق إدماج استراتيجي ضمن تلك العمليات للجوانب ذات الصلة من التكنولوجيات البيولوجية المبتكرة. وفيما يلي استعراض لاثنتين من هذه الاستراتيجيات تتناول أولاهما التعيين السريع للأجزاء الطافرة من التكوين الوراثي خدمة لأغراض البحوث التمهيدية، فيما تعالج الأخرى موضوع الإدماج التام للتكنولوجيات البيولوجية في أعمال استحداث الأنواع الطافرة والتعرف عليها.

هاء-٥-١- تعيين الجينات وإيضاح وظائفها باستخدام الطافرات المستحثة

١١٩- كانت الاستراتيجية التقليدية للحث الطفري في مجال تحسين المحاصيل، المعروفة باسم 'علم الوراثة الأمامي'، تنطوي على إعادة تحديد أدوار الجينات على أساس مراقبة التغييرات الحاصلة في خصائص الطافرات. ومع توافر معلومات البيولوجيا الجزيئية، أخذ يصبح من الشائع العمل في الاتجاه العكسي، أي انطلاقاً

---

١٨ معلومات إضافية متاحة في الأقسام ذات الصلة من التقرير السنوي الأخير، انظر: (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html) أو (http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC53/Agenda/index.html)

من دراسة التغييرات التي تحدث على المستوى الجزيئي وربط هذه التغييرات بتلك التي تشهدها خصائص المحاصيل.

١٢٠- وهذه الاستراتيجية الأحدث، المعروفة باسم 'علم الوراثة العكسي'، تعتمد على توافر مجموعات طافرة من طوائف ذات خصائص محددة تحديدا جيداً من المحاصيل الرئيسية، مثل الأرز والذرة والشعير والقمح. وقد وُضعت بروتوكولات تتيح توسيعاً كبيرا للإجراءات يتيح الاستقصاء المتزامن لآلاف الطافرات بشأن الطفرات التي تحدث في مواضع مستهدفة من التكوين الوراثي. وأصبح علم الوراثة المعاكس أداة ذات أهمية حاسمة في اكتشاف الجينات وإيضاح وظائفها.

هاء-٥-٢- التكنولوجيات المتكاملة للحث الطفري المعزّز

١٢١- تشمل الأهداف الرئيسية في مجال تعزيز فعالية التطبيق الروتيني للحث الطفري استيلاد أعداد كبيرة من الطافرات وتعيين الطافرات المرغوب فيها في أقصر وقت ممكن. وبفضل أوجه التقدّم المحرزة في ميدان بيولوجيا الخلايا والأنسجة، لاسيما تلك التي تستغل قدرة كل خلية على حدة على إحداث نبتة كاملة (وهي ظاهرة تسمى 'القدرة الكلية')، يتسنى الاستيلاد السريع لمجموعات كبيرة من الطافرات.

١٢٢- ويمكن استيلاد عشرات الآلاف من الطافرات في ظروف معقمة داخل أنابيب مختبرية، وفور استخلاص الحمض النووي منها، يتم إمّا اختبارها للتحقق من سمات معيّنة (كالقدرة على مقاومة سم وباء ما أو على تحمل الملوحة) داخل الأنبوب المختبري، أو التحري فيها عن وجود طفرات في أجزاء مسبقة التعيين من التكوين الوراثي باستخدام أدوات بيولوجية جزيئية حيادية. وفي الحالتين كلتيهما، ينخفض بقدر ملموس عدد النباتات التي تخضع للتقييم في الميدان. ويتيح ذلك اقتصاد الوقت، وأيضاً الموارد البشرية والمالية. وتنطوي التوجهات البحثية الحالية على استخدام مجموعة منوّعة من هذه الأدوات فيما يتعلق بالمحاصيل الرئيسية ضمن حزم تكنولوجية، الأمر الذي يعزز فعالية تحسين السلالات النباتية بمساعدة الحث الطفري.

هاء-٦- الإدارة المستدامة للأراضي والمياه

هاء-٦-١- فهم دور الكائنات الصغرية في جودة التربة وخصوبتها في ظروف مناخية متغيّرة[١٩]

١٢٣- تؤدي التجمّعات الميكروبية دوراً هاماً في خصوبة التربة عن طريق التسبب في تحلل بقايا المحاصيل، والسماد العضوي الناتج من زبل المواشي، والمواد العضوية الموجودة في التربة. وغالباً ما تتأثر هذه الميكروبات بالتغيرات في أنماط الأمطار والحرارة الناتجة عن التغيّر المناخي. وتتسم أوجه التقدّم المحرزة مؤخراً في استخدام النظائر المستقرة، مثل الكربون-١٣ والنيتروجين-١٥ والأوكسجين-١٨، كواسمات بيولوجية لتحديد خصائص التجمعات الميكروبية وتفاعلاتها مع العمليات المرتبطة بالمغذيات والمواد العضوية الموجودة في التربة، أي ما يعرف باسم سبر النظائر المستقرة، بالأهمية لإدارة التربة والمياه والمغذيات.

١٢٤- ويساعد سبر النظائر المستقرة على فهم التفاعلات بين التجمّعات الميكروبية المختلفة الموجودة في التربة، ووظائفها المعيّنة في عزل الكربون الموجود في التربة، وتثبيت المواد العضوية الموجودة في التربة،

---

١٩ يرجى زيارة الموقع الشبكي التالي http://www.naweb.iaea.org/nafa/swmnindex.html للاطلاع على عملنا بخصوص إدارة التربة والمياه.

وخصوبة التربة وقدرتها على التكيّف، فضلاً عن القدرة الإنتاجية للتربة فيما يتعلق بالتكثيف المستدام لإنتاج المحاصيل والإنتاج الحيواني.

١٢٥- وينطوي سبر النظائر المستقرة على إدخال طبقة تحتية مرقومة بنظير مستقر على أحد التجمعات الميكروبية الموجودة في التربة بغية دراسة ما ستؤول إليه حالة الطبقة التحتية. ويتيح ذلك مراقبة مباشرة لعملية الاستيعاب في الطبقة التحتية يتم تنفيذها بطريقة لا تسبب سوى حد أدنى من الاضطراب في تجمعات الكائنات الصغرية. ويمكن تعيين الكائنات الحية التي تشارك فعلياً في عمليات أيضية محدّدة في ظروف قريبة من تلك التي تحدث في الموقع.

هاء-٦-٢- استخدام المقتفيات النظيرية المستقرة لدعم التحكم في انبعاثات غازات الدفيئة من الأراضي الزراعية

١٢٦- يمكن أن يؤدي تسرّب النيتروجين من الأسمدة الكيميائية واستخدام مياه الصرف في الري الزراعي واستعمال الأسمدة العضوية إلى تلوّث المياه. ويمكن تقليص هذا التلوّث باعتماد ممارسات فضلى في إدارة المزارع من خلال استخدام الأسمدة النيتروجينية بأساليب ملائمة وباستخدام المناطق الواقعة على مقربة من ضفاف الأنهار أو المنخفضات الدائمة الرطوبة في أخاديد سفوح الهضاب الزراعية لإزالة مواد النيترات من المياه الجارية على السطح وتحته. فمواد النيترات التي تتحرك عبر ضفاف الأنهار أو في المنخفضات الرطبة تخضع لعملية ميكروبية في التربة تؤدي إلى تحويل هذه النيترات إلى أكسيد نيتري (N_2O) ونيتروجين ثنائي (N_2). والأكسيد النيتري هو أحد غازات الدفيئة ذات الأثر الطويل الأمد وأحد الغازات التي يحتمل أن تستنفد طبقة الأوزون. وتم مؤخراً بنجاح استخدام أنواع من النيترات المعززة بالنيتروجين-١٥ لا لتقدير معدل نزع النيترات وحسب بل أيضا لتقدير معدّلات توليد الأكسيد النيتري والنيتروجين الثنائي في المنخفضات الدائمة الرطوبة داخل المستجمعات الزراعية. وباستخدام النيتروجين-١٥، تبين أن المنخفضات الرطبة هي مصدر لانبعاثات الأكسيد النيتري عندما تكون معدلات تركيز النيترات من نوع NO_3^- غير محدودة، ولكن يمكن لهذه المستنقعات أن تعمل بكفاءة كبؤرة لاستيعاب الأكسيد النيتري عندما تكون مستويات النيترات من نوع NO_3^- منخفضة. وتوفّر هذه الاستنباطات حلاً لاستخدام المنخفضات الرطبة يتسم بالتوازن بين الأهداف الخاصة بجودة المياه (إزالة النيترات من نوع NO_3^-) والتحكم في انبعاثات غازات الدفيئة (الحد من انبعاثات الأكسيد النيتري) من خلال استخدام تدفقات ثانوية مصممة لتنظيم حمولات النيترات التي تصل إلى المنخفضات الرطبة أثناء أحداث نسب التدفق العالية. ويعزز ذلك مدة الاحتجاز فضلاً عن ظروف الحد من النيترات دون التسبب في انبعاثات الأكسيد النيتري. ولولا استخدام النيتروجين-١٥ لا يتسنى للمخططين الزراعيين ومديري الموارد التمييز بين انبعاثات الأكسيد النيتري وانبعاثات النيتروجين الثنائي الناتجة من إزالة النيترات من نوع NO_3^-.

واو- الصحة البشرية

واو-١- أوجه الارتباط بين التصوير الطبي النووي وصناعة المستحضرات الصيدلانية

١٢٧- يشهد استخدام التصوير كواسم حيوي لتقويم استنباط عقاقير جديدة زيادة مطردة ومع اتجاه البلدان النامية أكثر فأكثر إلى إجراء تجارب إكلينيكية لاستنباط العقاقير، بات الأخذ بنُهُج ابتكارية لاستنباط مستحضرات صيدلانية جديدة ذا أهمية أساسية.

١٢٨- وللتصوير دور جوهري في اكتشاف العقاقير واستنباط تطبيقات إكلينيكية في وقت مبكر. وفي هذا الصدد، فإن استخدام الغلوكوز المنزوع الفلور، وكذلك التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني مقترناً بالتصوير المقطعي الحاسوبي، يتسمان بالفعالية ليس فقط لتشخيص الأمراض وتحديد أطوارها وإنما أيضاً لرصد فوائد العلاج وقياسها كمياً. وفيما يتعلق باستنباط العقاقير، يمكن ترجمة ذلك إلى تحديد وتصنيف المرضى المؤهَّلين لإجراء التجارب الإكلينيكية ثم القياس الكمي لنتائج العلاج. والمقاربة بين التصنيف والتشخيص، أو القياس الكمي لفوائد العلاج في مجالي البحث والعلاج الإكلينيكي، هو أحد التطورات المهمة الجديدة التي ربما حققت فوائد جمة لصناعة المستحضرات الصيدلانية وللمرضى في نهاية المطاف [٢٠].

واو-٢- تطبيق التقنيات النووية لدعم التغذية

١٢٩- يؤدي تزايد معدل انتشار الأمراض غير المُعدية إلى تحديات صحية خطيرة. والبلدان الصناعية، شأنها شأن البلدان التي تجتاز مرحلة انتقالية، كلاهما يصارع مجموعة متزايدة من الأمراض، بما فيها النوع الثاني من داء السكري وأمراض القلب والأوعية الدموية. وفي المقابل، تواجه البلدان النامية نقص التغذية وفرط التغذية معاً. وربما كانت هذه هي أهم القضايا المطروحة على جدول أعمال الصحة العالمية، كما أنها تزداد تعقيداً من جراء أزمة فيروس نقص المناعة البشرية/متلازمة نقص المناعة المكتسب (الإيدز) التي تشهدها بلدان كثيرة.

١٣٠- والفئات السكانية الأكثر تعرضاً للخطر هي الحوامل والمرضعات وصغارهن. وتَنصَبّ التطورات التقنية الحديثة على معالجة الحلقة المفقودة في تغذية الأطفال وصحتهم، أي تقويم تكوين الجسم من أجل فهم أفضل لنوعية النمو أثناء الطفولة وصلة ذلك بالإصابة بأمراض مزمنة لاحقاً. وتوفر التقنيات النووية الأدوات الضرورية لتقويم تكوين الجسم، خاصة فيما يتعلق بتقويم مجمل المياه في الجسم بواسطة تقنيات النظائر المستقرة، وتقويم كتلة العظام عن طريق قياس الامتصاص بالأشعة السينية المزدوجة الطاقة. وتوفر هذه التقنيات أعلى معيار متاح لتقويم تكوين الجسم، وتُستخدَم بالتالي لاعتماد صحة تقنيات بديلة مثل تحليل المقاومة الكهربائية الحيوية.

١٣١- وفي المراحل المبكرة من العمر، تحدد بنية الجسم ووظائفه المردود الصحي في كلٍّ من الأجل القصير والأطول أمداً. وتشمل 'الفرص السانحة' التي يمكن أن تتأثر خلالها بيولوجيا النمو البدني والحالة الصحية بالتغذية (إما إيجاباً أو سلباً) الأوقات الحرجة للنمو السريع وأثناء نمو الجنين، وكذلك خلال السنتين الأوليين من عمر الطفل. وتوفر تدخلات التغذية خلال هذه 'الفرص السانحة' أفضل فرصة لمنع العواقب الأطول أمداً لنقص التغذية المبكر، بما فيها العواقب الناشئة عن تقييد النمو داخل الرحم والتقزُّم. وثمة حاجة عاجلة لاستنباط استراتيجيات فعالة من أجل التدخل خلال هذا الوقت الحرج لمنع الإصابة بأمراض مزمنة لاحقاً [٢١].

---

٢٠ يقدم الموقع الشبكي التالي أجوبة عن الأسئلة الشائعة عن التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني والتكنولوجيا ذات الصلة: http://www.naweb.iaea.org/nahu/nm/faqanswers.asp#pet.

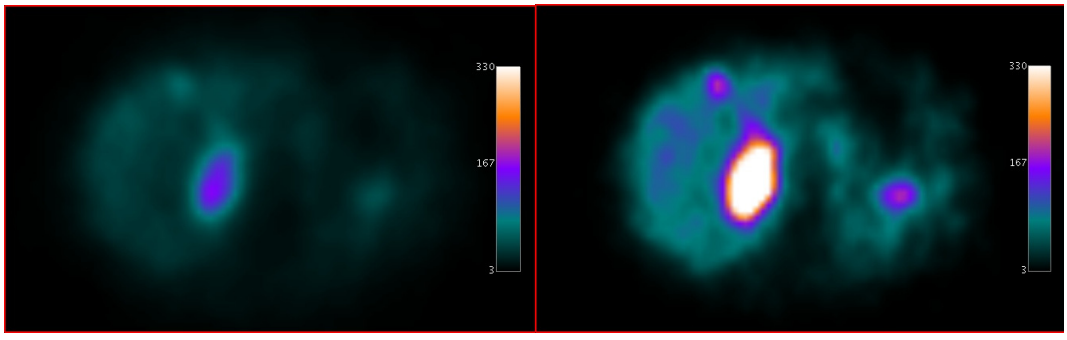
٢١ من أجل مساعدة الدول الأعضاء في تحديد مستويات التغذية، شكل كل من الوكالة الدولية للطاقة الذرية ووكالة التنمية الدولية التابعة للولايات المتحدة وهرفستبلاس والفريق الاستشاري الدولي المعني بفيتامين ألف فرقة عمل لتقفي مدى استخدام فيتامين ألف، قصد إعداد وثيقة عن منهجية تقفي الاستخدام الملائم لفيتامين ألف (النظائر المستقرة) ودليل عن أساليب التخفيف بمحلول كاشف للفيتامين ألف لتقدير الوضع وتقييم برامج التدخل.

واو-٣- جوانب التقدم في التصوير الكمي والقياس الداخلي للجرعات لأغراض الطب النووي

١٣٢- إن البحث الذي طال عن 'رصاصة سحرية'، حيث تقوم مادة موجهة توجيهاً حقيقياً نحو الهدف بقتل الخلايا السرطانية دون إلحاق الضرر بالأنسجة السليمة، يشكل باطّراد، وإن كان ببطء، حقيقة في الطب النووي العلاجي. وعلى مدى أكثر من ٥٠ عاماً، أثبت هذا المبدأ جدواه بنجاح، وذلك باستخدام نظير اليود-١٣١ المشع لعلاج شتى أمراض الغدة الدرقية. واليوم، تعالج بيولوجياً مواد أكثر تعقيداً لاستهداف نطاق أوسع من الأمراض. والقليل من هذه المواد معتمَد للاستخدام الإكلينيكي، بينما يجري حالياً اختبار الكثير منها في تجارب إكلينيكية، بعضها تضلع فيه الوكالة مباشرةً. ويتمثل أحد الجوانب الأساسية لتقييم فعالية هذه المركبات الجديدة المرقومة إشعاعياً في القياس الكمي للتوزُّع وتحديد جرعة الإشعاع الممتصة التي تصيب موضع المرض، والنسيج السليم الحرج أيضاً.

١٣٣- وعادةً ما تُستخدَم صور الطب النووي إما لمهام الكشف، كتحديد عيوب السَيب، أو لمهام كمية، كحساب نسبة القذف في البطين الأيسر، أو قيم الامتصاص المعيارية، أو الجرعة الممتصة في العضو[٢٢]. وخلال السنوات الخمس عشرة الماضية، أحرز تقدم كبير في استنباط أساليب تكفل دقة القياس الكمي لصور الطب النووي. بيد أن مَد هذه الأساليب إلى مجالات الطب الإكلينيكي يتم ببطء، ولا توجد حتى الآن أساليب معيارية بغرض القياس الكمي للتصوير المقطعي الحاسوبي بالانبعاث الفوتوني المفرد أو بيانات التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني.

١٣٤- ويتطلب الحصول على صور مناسبة للمهام الكمية في أحيان كثيرة معالجة إضافية مقارنة بتلك المستخدمة للتأويل البصري. وهذه المعالجة الإضافية غالباً ما تفضي إلى تحليل وتباين أفضل وإلى الحد من الأشياء الاصطناعية (الشكل واو-١). كما يمكن لهذه التحسينات في الصورة أن تترجَم مباشرةً إلى أداء أفضل لمهام الكشف في أحوال كثيرة، لكن ذلك قد لا يحدث دائماً. وثمة ميزة أخرى لاستخدام مثل هذه الصور وهي أنها ربما وفرت اتساقاً أفضل للقياس فيما يخص المجال، بالتقليل إلى أدنى حد من التباين عبر مراكز التصوير ومعدات التصوير وبروتوكولات الفحص والمرضى.



الشكل واو-١ - المستحضر الصيدلاني Iodine-123 metaiodobenzylguanidine (I-123 MIBG) القائم على اليود-١٢٣: قطاع عبر محوري لأعلى البطن لدى مريض يعاني من ورم متكرر كَهَبيّ الخلايا. وتبيِّن الصورة اليسرى الصورة الأصلية الملتقطة بواسطة التصوير المقطعي الحاسوبي بالانبعاث الفوتوني المفرد. أما الصورة اليمنى فهي مصحَّحة باستخدام بيانات تم الحصول عليها بالتصوير المقطعي الحاسوبي تخص كثافة الأنسجة. وهذا النوع من التصحيح للصور الملتقطة بواسطة التصوير المقطعي الحاسوبي بالانبعاث الفوتوني المفرد يمكن أن يوفر معلومات تشخيصية أفضل وأن يفيد في القياس الكمي الأدق لامتصاص المستحضر الصيدلاني الإشعاعي. (كلية الطب التابعة لجامعة بيزا، إيطاليا)

٢٢ معلومات إضافية متاحة على الموقع الشبكي التالي: http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC53/Agenda/index.html

واو-٤- التحسُّن في تطبيقات العلاج الإشعاعي للأورام

١٣٥- في معظم حالات السرطان الأكثر شيوعاً، يؤدي العلاج بطرائق مجمَّعة (الجراحة، العلاج بالأشعة، العلاج الكيميائي، المعالجة المستهدفة بالعقاقير) إلى تحسُّن معدل البقاء على قيد الحياة. وقد أدى التقدم في العلاج الإشعاعي بالأشعة الخارجية إلى زيادة متطلبات الدقة في إيصال الجرعات للمرضى. ويُعتبَر العلاج الإشعاعي الممتثل الثلاثي الأبعاد هو المعيار القياسي في معظم دواعي استعمال العلاج الإشعاعي الشفائي، وفي كثير من المراكز يعالَج عدد لا يُستهان به من المرضى باستخدام العلاج الإشعاعي المعدل الكثافة.

١٣٦- وجارٍ استحداث تقنيات جديدة في الممارسة الإكلينيكية، مثل العلاج القوسي المعدل حجمياً، والابتكارات المجمَّعة لتصوير الأورام وعلاجها، والعلاج الإشعاعي التكتيكي للحيز الفردي للجسم، والعلاج الإشعاعي الرباعي الأبعاد الموجه تصويرياً (الذي يوسع حجم الهدف ليشمل نطاق حركة الورم). وهذه التقنيات تتيح أعلى اتساق فضلاً عن توفير فائق للبنية الحرجة عند التقليل إلى أدنى حد من الجرعة التي تصيب النسيج السوي المجاور. وقد أصبحت البرمجيات المحسَّنة لتسجيل نظم الجودة والتحقق منها متاحة لتحسين العمل في مجال العلاج الإكلينيكي بالأشعة.

١٣٧- ويجري باطراد إنشاء مراكز بروتونات بغرض استنباط تطبيقات عالية الدقة لتوفير الأنسجة السوية. وفي معظم الحالات، سيلزم وجود دلائل أكثر لإثبات تفوق هذه النُهُج مقارنة بالعلاج التقليدي بالأشعة.

١٣٨- يضاف إلى ذلك أن تكنولوجيا المعلومات أحدثت تغييرات في أساليب العمل في مجال العلاج الإشعاعي للأورام. وتشهد عملية استحداث سجلات لحفظ بيانات الحالات والملفات الإلكترونية للمرضى على مستوى المستشفيات في أرجاء الدول تطوراً سريعاً على نطاق العالم [٢٣].

زاي- البيئة

زاي-١- 'الجسيمات الساخنة' في البيئة

١٣٩- عند تقدير الجرعات الإشعاعية وتأثير الإشعاع على البيئة، يتبين أن الجسيمات المشعة المنبعثة تلعب دوراً مهماً في هذا المضمار. و'الجسيمات الساخنة' هي أجسام مشعة صغيرة تحوي عدداً كبيراً من النويدات المشعة التي يكون نشاطها الإشعاعي عالياً جداً في بعض الأحيان. وهذه الجسيمات الساخنة، الناشئة عن مصادر محتملة متعددة تشمل تجارب الأسلحة النووية والانبعاثات الناتجة عن دورة الوقود النووي والحوادث المنطوية على مواد نووية، تتضمن مستويات نشاط إشعاعي أعلى كثيراً من المواد السائبة أو من مجموعة الجسيمات الأخرى المتناثرة من هذه المصادر.

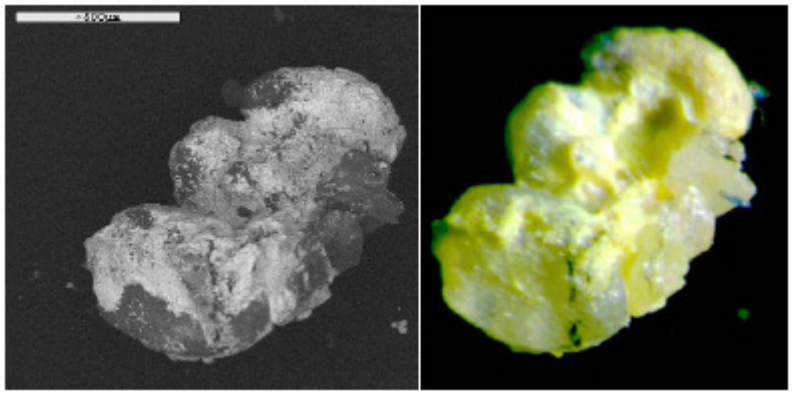
١٤٠- وخواص النويدات المشعة المرتبطة بالجسيمات وسلوكها البيئي محكومان بتكوينها وبالهيكل المصفوفي، وهذان العاملان كلاهما مرتبط بأجَل المصدر ومعتمِد على سيناريو التخلص منه. (الشكل زاي-١ والشكل زاي-٢). وقابلية النويدات المشعة للحركة وسلوكها البيئي وتوافرها الحيوي وتأثيرها على البيئة

---

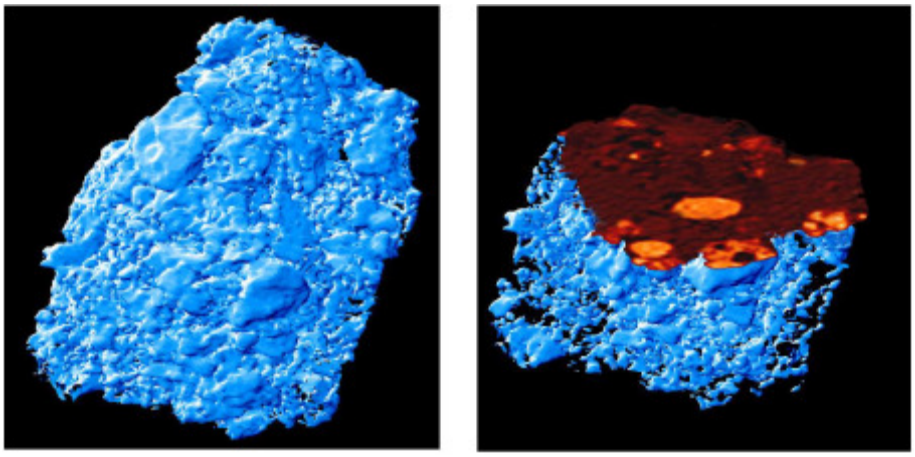
٢٣ في نيسان/أبريل ٢٠٠٩ بمناسبة مؤتمر دولي برعاية الوكالة بشأن التقدم المحرز في مجال العلاج الإشعاعي للأورام، شجعت الوكالة الصناع المتقدمين في العالم في مجال صناعة معدات العلاج الإشعاعي للأورام على إنتاج معدات أكثر دقة وأقل تكلفة، ومعدات محمولة للعلاج الإشعاعي للأورام لاستخدامها في المناطق الفقيرة والريفية.

والصحة تتحدد أساساً بخواص الجسيمات مثل بنيتها المجهرية وتكوينها الكيميائي وتوصيفها. ورغم ضآلة المعلومات المتوافرة حالياً بشأن تأثير الجسيمات الساخنة على البيئة، فإن هذا الجانب سيصبح أكثر أهمية مع توافر تقنيات جديدة لتحديد خصائص هذه الجسيمات.

١٤١- وبسبب ضآلة حجم الجسيمات الساخنة العالقة في الهواء، التي غالباً ما يتراوح حجمها بين بضعة ميكرومترات وأقل، فإنه يصعب عزلها. وقد استُنبطت طريقة بسيطة جديدة لمعالجة وعزل جسيمات مفردة يتراوح حجمها بين ا ميكرومتر وأكثر يدوياً باستخدام مجهر ضوئي، بل وحتى لمعالجة وعزل جسيمات أصغر مباشرةً داخل مجهر إلكتروني مسحي (الشكل زاي-١). وبمجرد عزل أحد الجسيمات، يمكن فحصه باستخدام مجموعة متنوعة من التقنيات التي يمكن تطبيقها على نطاق مجهري مثل الفحص المجهري الإلكتروني المسحي، وكشف جسيمات ألفا، وقياس الطيف الكتلي البلازمي المقرون بالحث في عمليات الاستئصال بالليزر وغيرها من تقنيات قياس الطيف الكتلي، فضلاً عن المسح السطحي المجهري بالأشعة السينية.



الشكل زاي-١ -صورتان مجهريتان باستخدام الفحص المجهري الإلكتروني المسحي (يساراً)، والمجهر الضوئي (يميناً) لحبة رمل توضحان شكل الجُسَيم وتغطيته بيورانيوم مستنفد مصدره حريق اندلع في مخزن الذخائر بمنطقة الدوحة، الكويت. مقياس الرسم: ٥٠٠ ميكرومتر (Lind).



الشكل زاي-٢ - رسم سطحي مجهري باستخدام امتصاص الأشعة السينية لجُسَيم وقود مؤكسد انبعث أثناء الحريق الذي أعقب الانفجار الذي وقع في حادث مفاعل تشرنوبل. معالجة شرائح سطحية ثلاثية الأبعاد تبين سطح الجُسَيم (يساراً) وتشريح (افتراضي) بالحاسوب للصورة الثلاثية الأبعاد، تعرض بنيتها الداخلية المتغايرة الخواص (يميناً). عرض الجُسَيم: حوالي ٣٠٠ ميكرومتر (Salbu et al., 2000)

زاي-٢- الاطلاع الشبكي المباشر على بيانات النشاط الإشعاعي البحري في سائر أنحاء العالم

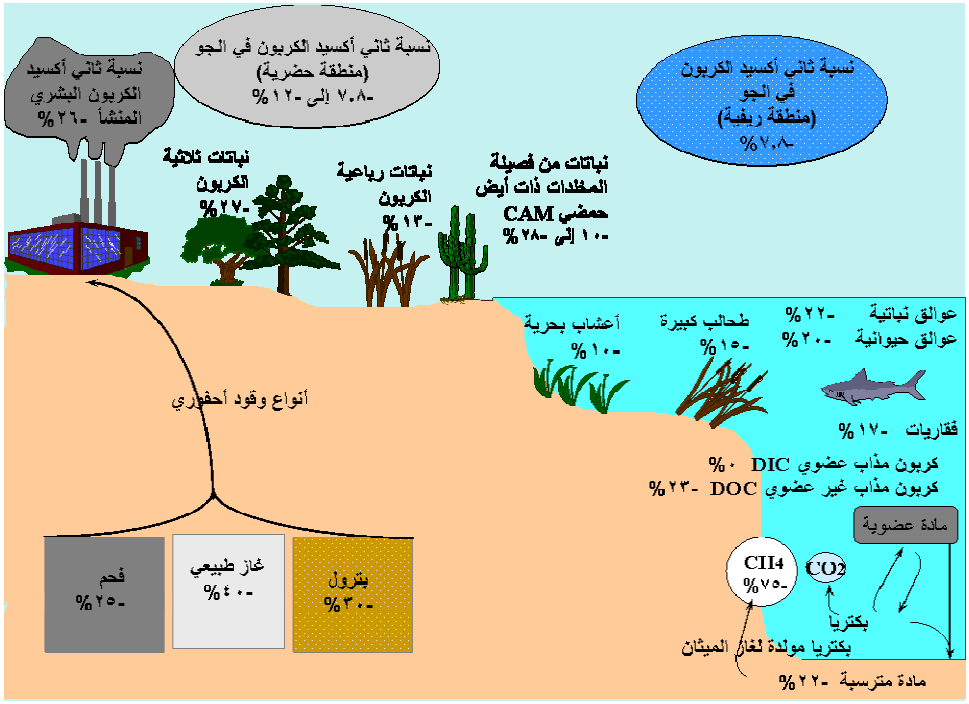
١٤٢- الغرض الأساسي من نظام المعلومات البحرية (http://maris.iaea.org) (MARIS)، الذي يضم أكثر من ١١٠ر٠٠٠ قيد للبيانات، هو إتاحة الاطلاع بسهولة على بيانات النشاط الإشعاعي البحري. وفضلاً عن ذلك، فإن النظام المذكور هو مصدر مرجعي دولي بشأن مستويات النويدات المشعة واتجاهاتها في البيئة البحرية، يمكن بدلالته تقييم أية مساهمات أخرى من انبعاثات محتملة إلى البيئة البحرية. وقد زوَّد هذا النظام واضعي السياسات في المناطق الساحلية ببيانات محسَّنة تُعينهم على اتخاذ القرارات المطلوبة.

١٤٣- ويتضمن نظام المعلومات البحرية بيانات النشاط الإشعاعي في الماضي والحاضر بشأن أهم النويدات المشعة البشرية المنشأ والطبيعية في محيطات وبحار العالم، وفي الأحواض العميقة والمناطق الساحلية ومياه البحار، وكذلك في المادة الجزيئية والرواسب والكائنات الحية البحرية. وتُستمَدُّ هذه البيانات من الأوراق العلمية المنشورة والتقارير وقواعد البيانات الموجودة ضمن المعاهد أو البرامج العلمية في الدول الأعضاء.

١٤٤- وتُستخدَم البيانات التي يحويها نظام المعلومات البحرية في دراسات أساسية تستهدف تقييم مستويات النويدات المشعة وأرصدتها واتجاهاتها في البيئة البحرية؛ وتقدير الأثر البيئي؛ وتقدير الجرعات الناتجة عن مسارات التعرض البحري. وتُستخدَم بيانات هذا النظام، جنباً إلى جنب مع البيانات الأوقيانوغرافية، للتمكن بشكل أفضل من تحديد خواص تيارات المحيطات والعمليات الخاصة بالأعمدة المائية وديناميات الرواسب، ولدراسة مصير الملوثات في البيئة البحرية باستخدام النويدات المشعة كمُناظِرات. كما تُستخدَم بيانات النظام المذكور لاعتماد صحة نماذج الدوران والتشتت على النطاقين الإقليمي والعالمي، وهذه النماذج مفيدة، على سبيل المثال، للتنبؤ بتغيُّر المناخ وتحمُّض المحيطات.

زاي-٣- الوسم بالنظائر المستقرة في دراسات شبكة الأغذية البحرية

١٤٥- تُستخدَم تركيبات النظائر المستقرة الكربون على نطاق واسع لدراسة مصادر الكربون العضوي في النظم البيئية واستخدامها في شبكة الأغذية. ويُعَدُّ فهم انتقال الكربون والمغذيات بين البيئة والمتعضيات البحرية عنصراً أساسياً لتعزيز المعرفة بطريقة عمل الدورات البيوجيوكيميائية والنظام الإيكولوجي. وتتوفر معلومات قيِّمة من الإضافة المتعمَّدة لمقتفٍ من قبيل مُرَكَّب موسوم بالكربون-١٣ في ظل ظروف محكومة، واقتفائه عبر شتى المكونات. ومن شأن ذلك أن يتيح كشف أي المسارات ذات أهمية لتحديد دور المتعضيات المهمة في نطاق النظام الإيكولوجي. ويعرض الشكل زاي-٣ مخططاً يبيِّن توزُّع أشعة دلتا الكربون-١٣ ($\delta^{13}C$) في البيئة. ومن خلال تحليل الصفة المميِّزة لواسمات الشحم الحيوية في مجموعات معينة من المتعضيات ووجود بصمات نظائر مشعة في هذه المواد، يمكن الآن حل التفاعلات التي تختص بها أنواع محددة باستخدام النظائر المستقرة على المستوى الجزيئي. كما يمكن استخدام مثل هذه البيانات، مقترنة بالنمذجة الرياضية، لتقدير معدلات إنتاج وتحول نواتج التمثيل الضوئي من المتعضيات البحرية المختلفة. وتعكف الوكالة على معاونة الدول الأعضاء في اقتفاء انتقال المُرَكَّبات الموسومة وغير الموسومة بالكربون-١٣ عبر السلاسل الغذائية البحرية، مثل المرجانيات والعوالق والبكتريا، استناداً إلى تحليل نسب النظائر في مُرَكَّبات محددة بواسطة الفصل الكروماتوغرافي الغازي – قياس الطيف الكتلي النسبي. ومن شأن تطبيق هذه التكنولوجيا النووية المستنبطة حديثاً أن يسهم في تحقيق فهم أفضل لتفاعلات الشبكة الغذائية ودوران الكربون في البيئة البحرية.



الشكل زاي-٣- مخطط يبيِّن توزيع أشعة دلتا الكربون-١٣ في البيئة (الأرقام معدَّلة بحسب Tolosa, Oceanis, vol. 30 n.2, 2004, pp. 239–259) (CAM = أيض حمضي لنباتات من فصيلة المخلَّدات؛ DIC = كربون مذاب غير عضوي؛ DOC = كربون مذاب عضوي).

زاي-٤- استخدام المقتفيات الإشعاعية لقياس تأثير تَحمُّض المحيطات على التنوع الحيوي البحري في القطب الشمالي والبحر المتوسط

١٤٦- أوضحت دراسات النمذجة بجلاء أن المناطق القطبية عرضة بصفة خاصة لتأثيرات تغيُّر المناخ المُرَكَّبة متمثلة في ارتفاع الحرارة وتَحَمُّض المحيطات. وللتنبؤ بشكل أفضل بتأثير هذين العاملين على التنوع الحيوي البحري، استحدثت الوكالة مرافق تجريبية متنقلة لدراسة تَحَمُّض المحيطات. ويُستخدَم في ذلك نظير الكالسيوم-٤٥ لقياس معدلات التَكَلُّس في الفراشات البحرية والحلزونيات من القطب الشمالي التي تمثل أغذية أساسية للحيتان وحيوانات الفَظّ والطيور البحرية المقيمة. وفي إطار عمليات تعرُّض تجريبي تحاكي ظروف التَحَمُّض المتوقعة في المستقبل لمياه القطب الشمالي، أيدت الوكالة دولاً أعضاء في اعتزامها تقليص معدلات التَكَلُّس في الفراشات البحرية على نحو ملحوظ بمعامِلات مشابهة لتلك التي تم قياسها بالفعل فيما يخص المرجانيات المكوِّنة لشعب مرجانية.

١٤٧- وتعكف الوكالة على معاونة الدول الأعضاء في إجراء دراسات باستخدام المقتفيات الإشعاعية على الأسماك التجارية وأسماك الحَبّار والأخطبوط في البحر المتوسط لتحديد مدى تأثير تَحَمُّض المحيطات على مراحل عمرها المبكرة. ومن شأن ذلك أن يسهم بدرجة أكبر في فهم تَحَمُّض المحيطات والتنبؤ إلى أي مدى سيؤثر على الموارد البحرية، فضلا عن الأثر الاجتماعي-الاقتصادي لهذه التغييرات.

حاء- الموارد المائيّة

١٤٨- إن تقلب المناخ وتغيره يمثلان، بالإضافة إلى عاملي السكان والنمو الاقتصادي، عوامل لا يُستهان بها تضغط على موارد المياه العذبة. فواحد من كل ثلاثة تقريباً من البشر على وجه الأرض يعتمد على المياه المستمدة من الأنهار التي تغذيها أنهار الجليد وذوبان الثلوج. ومع تزايد حجم التقلبات والمخاطر التي تكتنف تدفقات الأنهار في ظل مناخ أدفأ (نتيجة زيادة تدفقات الذوبان والتغيرات في أنماط هطول المطر)، سيلزم تغيير ممارسات استعمال وإدارة المياه. ولما كانت التنمية تقتضي زيادة إنتاج الطاقة المتجددة وغير المتجددة، فإن استخدام المياه لأغراض الطاقة سيكون أيضاً أحد الاعتبارات المهمة في تخطيط الموارد المائية. وربما شملت عمليات إدارة المياه تلبية لتزايد الطلب على موارد المياه العذبة الاعتماد بدرجة أكبر على موارد المياه الجوفية الواقعة بالفعل تحت وطأة ضغوط.

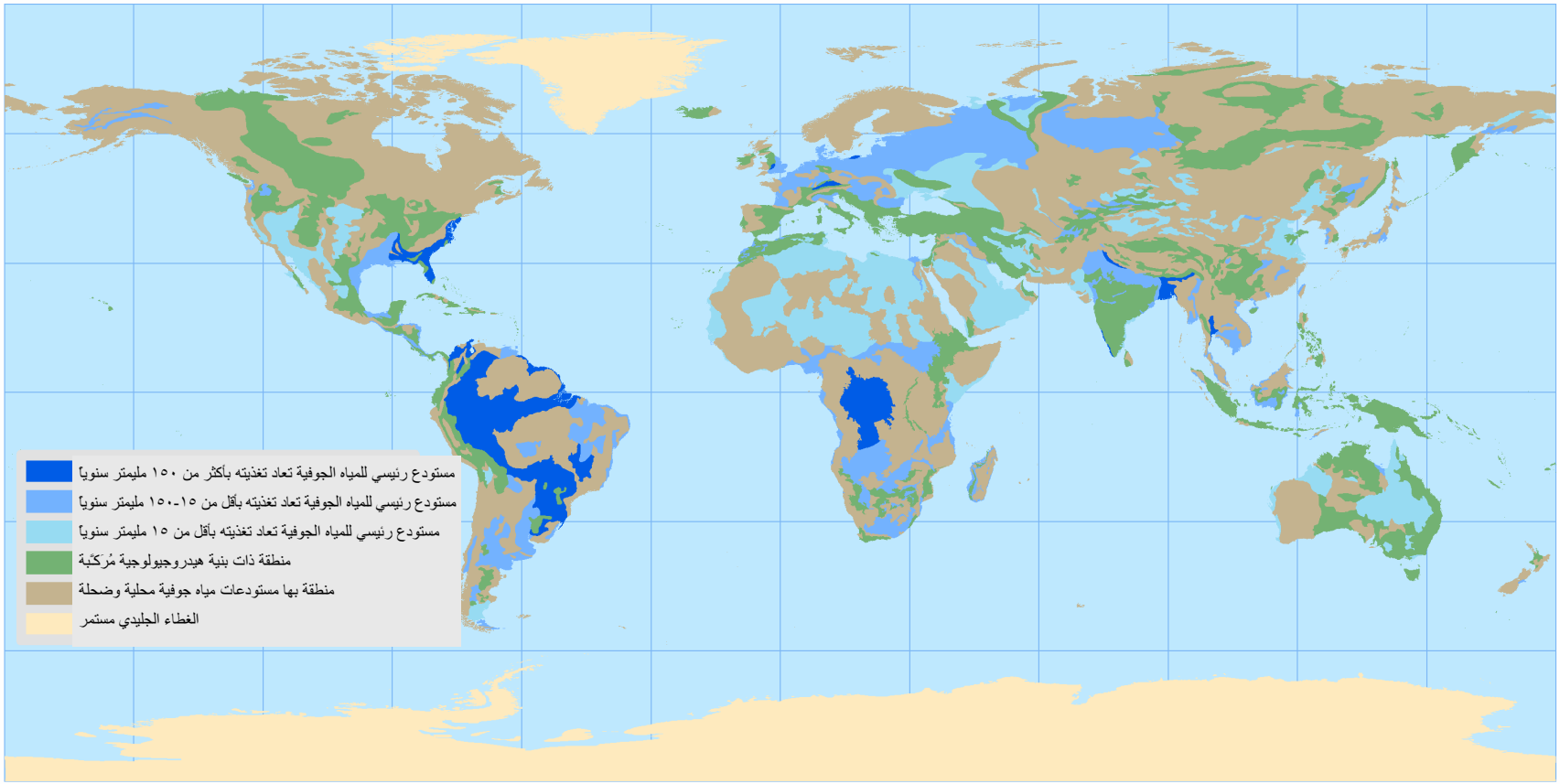
١٤٩- غير أن ثمة فجوة هائلة في فهمنا لتوزُّع وتجدُّد موارد المياه الجوفية. ويبرز على رأس الجهود المبذولة لتحسين تقويم المياه الجوفية برنامج رسم الخرائط وتقييم المصادر الجيولوجية في العالم (http://www.whymap.org/). ويُذكَر أن هذا الجهد التآزري بين كلٍّ من برنامج الموارد المائية التابع للوكالة، والبرنامج الهيدرولوجي الدولي التابع لليونسكو، والمعهد الاتحادي الألماني للعلوم الجيولوجية والموارد الطبيعية، والرابطة الدولية لعلماء الجيولوجيا المائية، وغيرها، قد استُهلَّ في عام ١٩٩٩ بهدف جمع المعلومات المتعلقة بالجيولوجيا المائية والمياه الجوفية ومقارنتها وعرضها على نطاق عالمي. وتصف خريطة موارد المياه الجوفية (الشكل حاء-١) التي عُرِضت في عام ٢٠٠٨ خلال المؤتمر الجيولوجي الدولي الثالث والثلاثين المعقود في أوسلو، ثلاثة أنواع رئيسية لأماكن وجود المياه الجوفية: في الأحواض الرئيسية ذات المستودعات الإقليمية (الظلال الزرقاء)؛ وفي المناطق ذات البنية الهيدروجيولوجية المُرَكَّبة (الظلال الخضراء)؛ وفي المناطق ذات المستودعات المحلية والضحلة (الظلال البُنّيّة). ويمثل تظليل كل لون معدلات تَجَدُّد أو إعادة تغذية المياه الجوفية. ويعرض الشكل حاء-٢ خريطة لموارد المياه الإقليمية في جنوبي آسيا.

١٥٠- وتساعد أساليب النظائر في التعرُّف بسهولة على المستودعات الحاوية لمياه قديمة (والتي لا تعاد تغذيتها أو يتم ذلك بمعدلات لا تُذكَر)، والمستودعات التي توجد بها مياه حديثة (والتي تعاد تغذيتها بمعدلات كبيرة)[٢٤]. وعندما تُستخدَم المياه الجوفية القديمة للإمداد بالمياه لأغراض الري أو للأغراض المحلية أو الصناعية، يُعتبَر ذلك 'استنزافاً' للمياه الجوفية حيث لن يتم إحلال المياه المستخرَجة طبيعياً في ظل الظروف المناخية الراهنة. ومستودعات المياه الجوفية هذه تحتاج إلى إدارتها بحرص أكبر مقارنة بالمستودعات التي تعاد تغذيتها حديثاً. وفي بلدان كثيرة حول العالم يحدث استنزاف لمستودعات المياه الجوفية.

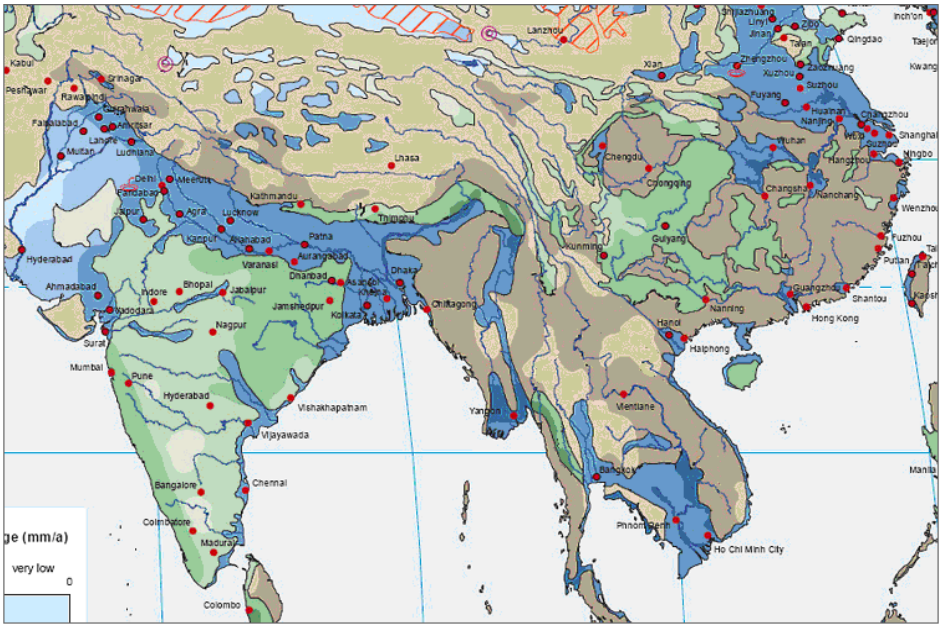
١٥١- ومن شأن توافر تقديرات سليمة للموارد المائية، بما فيها المياه الجوفية، أن يساعد على زيادة توافر المياه بدرجة كبيرة. ويؤدي وضع مثل هذه التقديرات على الصعيد الوطني إلى تحسين قدرة البلدان على الاستفادة بشكل أفضل من مواردها المقتسَمة إقليمياً عبر برامج عمل استراتيجية محسَّنة. والوكالة بصدد التخطيط لإطلاق شراكة هدفها تفعيل مَواطِن قوتها التقنية واستكمال الولايات والأنشطة الخاصة بهيئات أخرى، مثل البنك الدولي وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية، وذلك بغية وضع نهج علمي نموذجي لتقدير الموارد المائية يمكن تكراره في دول أعضاء كثيرة. ومن شأن هذا الجهد التشاركي، المعروف باسم I-WAVE (شراكة الوكالة من أجل تعزيز توافر المياه)، أن يؤسس نهجاً شاملاً لتقدير الموارد المائية، بما فيها موارد المياه السطحية والجوفية، وأن يساعد على وضع استراتيجيات أفضل للتأقلم مع تغيُّر المناخ.

---

٢٤ ترد معلومات أكثر تفصيلاً في الأقسام ذات الصلة من آخر تقرير سنوي للوكالة وذلك على الموقع (http://www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html).



الشكل حاء-١ - موارد المياه الجوفية في العالم، برنامج رسم الخرائط وتقييم المصادر الجيولوجية في العالم (WHYMAP) (بمقياس رسم ١: ٥٠ ٠٠٠ ٠٠٠). المناطق الزرقاء هي نظم مياه جوفية في أحواض رئيسية؛ والمناطق الخضراء تمثل نظم مياه جوفية ذات بنية هيدروجيولوجية مُرَكَّبة؛ والمناطق البُنّيّة تمثل أماكن بها نظم مستودعات مياه جوفية محلية وضحلة. وتعكس ظلال الألوان الأساسية الثلاثة معدلات تجدُّد (إعادة تغذية) المياه الجوفية.



الشكل حاء-٢ - تفاصيل خريطة موارد المياه الجوفية بمقياس رسم ١: ٢٥ ٠٠٠ ٠٠٠ توضح منطقة جنوبي آسيا. المناطق الزرقاء هي نظم مياه جوفية في أحواض رئيسية؛ والمناطق الخضراء تمثل نظم مياه جوفية ذات بنية هيدروجيولوجية مُرَكَّبة؛ والمناطق البُنّيّة تمثل أماكن بها نظم مستودعات محلية وضحلة. وتعكس ظلال الألوان الأساسية الثلاثة معدلات تجدُّد (إعادة تغذية) المياه الجوفية.

طاء- إنتاج وتوافر النظائر المشعة

١٥٢- يشهد الطلب العالمي على النظائر المشعة والمصادر الإشعاعية تزايداً مستمراً نتيجة استخدامهما في مجالي الطب والصناعة. وقد أبرز المؤتمر الدولي السادس المعني بالنظائر الذي عُقِد في أيار/مايو ٢٠٠٨ في سول، بجمهورية كوريا، الحاجة الماسة إلى المضي في عمليات التطوير لهذا المجال وتعزيز التعاون الدولي بشأنه. ويجري تطوير المجلس العالمي بشأن النظائر ليكون ملتقى ملائماً لجميع أصحاب المصلحة المعنيين بغية تيسير إنتاج النظائر المشعة واستخدامها بشكل مستدام ومأمون.

١٥٣- وقد ازدادت الطاقة الإنتاجية للنظائر المشعة باستخدام السيكلوترونات. كما يتنامى عدد المراكز الإقليمية المختصة بإنتاج المقتفيات الإشعاعية الإكلينيكية لأغراض التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني. واستجابة للطلب المتنامي على الغلوكوز المنزوع الفلور، يجري تطوير سيكلوترونات صغيرة (~ ٧,٥ مليون إلكترون فلط) جنباً إلى جنب مع وحدات نمطية توليفية من المقتفيات الإشعاعية تعتمد على مُسيّلات مجهرية، ويُتوقع أن تُقِرَّها كبرى المستشفيات في أنحاء العالم. وإضافة إلى ذلك، يزداد تفضيل استخدام بعض المقتفيات الخاصة بالتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني، غير الغلوكوز المنزوع الفلور، لكونها أدق في تصوير إصابات السرطان مقارنة بالغلوكوز المنزوع الفلور، الذي يتراكم أيضاً في أماكن الإصابة.

١٥٤- كما أدى تنامي عدد مراكز التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني-التصوير المقطعي الحاسوبي إلى زيادة جدوى المقتفيات الخاصة بالتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني التي تعتمد على مولدات لأغراض التصوير الأشمل. وعلى سبيل المثال، فإن الغاليوم-٦٨، المُحَضَّر من الجرمانيوم-٦٨، يُستخدَم في التصوير

التشخيصي لإصابات السرطان، والروبيديوم-٨٢، المُحَضَّر من الاسترنتيوم-٨٢، يُستخدَم في تصوير سَيب عضلة القلب.

١٥٥- ويشهد العلاج بالنويدات المشعة تنامياً نتيجة التحسينات في تحديد الهدف استناداً إلى مبادئ الطب النووي الجزيئي. وبشكل مُناظِر، يُتوقع أن يتنامى الطلب على النويدات المشعة العلاجية بدرجة كبيرة. كما يُتوقع أن يؤدي تطوير منهجية لاستخدام مولد كيميائي كهربائي في تحضير الإيتريوم-٩٠ العالي النقاء (وهو ما تَيَسَّر عبر أحد مشاريع البحوث التنسيقية الخاصة بالوكالة) إلى زيادة توافر الإيتريوم-٩٠ استناداً إلى عملية قابلة للتشغيل المأمون عن بُعد داخل وحدة نمطية. وتشير التوقعات إلى أن اللوتيتيوم-١٧٧ سيكتسب نفس الأهمية مثل اليود-١٣١، وقد بدأت بالفعل بلدان عديدة في إنتاج هذا النظير المشع على نطاق يتراوح بين المتوسط والكبير، أو هي بصدد التخطيط لذلك.

طاء-١- أمن إمدادات الموليبدينوم-٩٩

١٥٦- خلال العام الماضي، تسبَّبت الاضطرابات في إمدادات النظير المشع الموليبدينوم-٩٩ – وهو مصدر التكنيتيوم-٩٩ شبه المستقر المستخدَم لأغراض التصوير التشخيصي – في تأخُّر تقديم الخدمات للمرضى في مراكز الطب النووي حول العالم. ويجري عادةً تلبية الاحتياجات من الموليبدينوم-٩٩ (حوالي ٤٥٠ ٠٠٠ غيغا بكريل أسبوعياً) عن طريق عمليات التشعيع داخل خمسة مفاعلات في بلجيكا وكندا وفرنسا وهولندا وجنوب أفريقيا، إلى جانب المعالجة بواسطة أربعة مرافق صناعية. ويُنتَج أكثر من ٩٥% من مجمل الموليبدينوم-٩٩ باستخدام كبسولات مستهدفة من اليورانيوم الشديد الإثراء. وفي كانون الثاني/يناير ٢٠٠٩ أصدرت الأكاديمية الوطنية للعلوم في الولايات المتحدة، في إطار ولاية الكونغرس، تقرير دراسة جدوى استخدام الكبسولات المستهدفة من اليورانيوم الضعيف الإثراء، ويُتوقَّع إعلان النتائج قريباً [٢٥].

١٥٧- ومن المعروف أن الأعداد المحدودة من المفاعلات التي تنتج الموليبدينوم-٩٩ جميعها متقادمة وحان وقت إغلاقها لصيانتها، مما أدى إلى مشاكل في أكثر من موقع إنتاجي. وفي آب/أغسطس ٢٠٠٨، أُرجئت عملية إعادة تشغيل مفاعل (في بيتين، بهولندا) إثر إغلاقه لصيانته بسبب مشكلة تقنية غير متوقعة. وحدث ذلك بالتزامن مع إغلاق مفاعلين آخرين في أوروبا لصيانتهما حسب الجدول الزمني الموضوع، فضلاً عن وقوع حادثة إشعاعية في مرفق للمعالجة، مما أفضى إلى نقص كبير في كميات الموليبدينوم-٩٩ في أوروبا ومناطق أخرى. وتضاعفت الهواجس حول أمن إمدادات الموليبدينوم-٩٩ ونظائر مشعة أخرى قائمة على المفاعلات من جراء القيام، في أيار/مايو ٢٠٠٨، بإنهاء مشروع مفاعل MAPLE في كندا، وإدراك أنه ليس من المرجح أن تبدأ مفاعلات جديدة في الإنتاج حتى عام ٢٠١٥ على الأقل.

١٥٨- ويرجَّح أن يأتي أكبر مصدر إضافي واسع النطاق للموليبدينوم-٩٩ من المنظمة الأسترالية للعلم والتكنولوجيا النوويين (ANSTO). وفي الولايات المتحدة الأمريكية، أحرز تقدم هائل في التخطيط التحضيري وفي تدبير الموارد اللازمة ليصبح مركز البحوث التابع لجامعة ميزوري في الولايات المتحدة الأمريكية (MURR) منتِجاً محلياً داخل الولايات المتحدة بهدف تلبية نسبة تتراوح بين ٣٠ و٥٠% من الطلب، وإن كان إنشاؤه سيستغرق ما بين ثلاث إلى أربع سنوات بعد استصدار الموافقات المطلوبة. وهناك مرفقان جديدان آخران

---

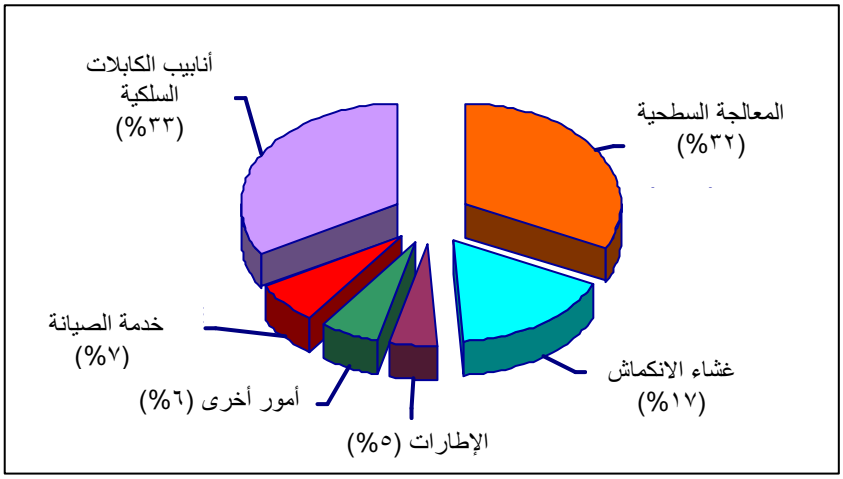
٢٥ انظر : http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12569.

قيد الإنشاء، في مصر (المُورِّد هو شركة INVAP بالأرجنتين) وفي باكستان (المُورِّد هو شركة تكنولوجيات النظائر بألمانيا)، لإنتاج الموليبدينوم-٩٩، لكن الخطط المحددة للإنتاج لم تُعلَن بعد.

١٥٩- وثمة حاجة عاجلة لتوسيع القدرة التشعيعية للمفاعلات في ظل توزيع جغرافي جيد، فضلاً عن زيادة عدد مرافق المعالجة المختصة بإنتاج الموليبدينوم-٩٩. وسيقتضي الأمر دعماً حكومياً وتعاوناً أقوى فيما بين منتجي النظائر، بما يشمل الشراكات بين القطاعين العام والخاص، بما يكفل إسناد عملية تشعيع الكبسولات المستهدفة من اليورانيوم الضعيف الإثراء بغرض إنتاج الموليبدينوم-٩٩ إلى مفاعلات مناسبة لهذا الغرض.

طاء-٢- معالجة حزم الأشعة الإلكترونية

١٦٠- تُستخدَم معجلات حزم الأشعة الإلكترونية العالية التيار في صناعات شتى لتعزيز الخواص الفيزيائية والكيميائية للمواد (الشكل طاء-١) وللحد من الملوثات غير المرغوبة. وهناك أكثر من ١٤٠٠ وحدة حزم أشعة إلكترونية عالية التيار قيد الاستخدام التجاري توفر للعديد من المنتجات قيمة مضافة باليورو تقدَّر بالمليارات. هذا بالإضافة إلى المعجلات المنخفضة التيار التي يصل عددها إلى نحو ١٠٠٠ معجل تُستخدَم لأغراض البحوث.



الشكل طاء-١ - نمط نموذجي لأسواق الاستخدام النهائي لمعجلات حزم الأشعة الإلكترونية الصناعية. الاستخدام في معظمه ينصبّ على الكابلات ومقلّصات الحرارة والمعالجة السطحية (أكثر من ٨٠%)، بينما يُتوقع أن تزداد تطبيقات الأجهزة الطبية والمنتجات الغذائية في المستقبل.

١٦١- ومع ظهور معجلات حزم الأشعة الإلكترونية العالية الطاقة (٥-١٠ مليون إلكترون فلط) والعالية القدرة (حتى حوالي ٧٠٠ كيلوواط)، أصبح تحويل قدرة حزم الأشعة الإلكترونية إلى أشعة سينية في الآونة الحالية بديلاً تجارياً مجدياً يُغني عن استخدام أشعة غاما للأغراض الصناعية. ويبيِّن الشكل طاء-٢ الحاويات القادرة على الاحتفاظ بالمنتجات الغذائية، مثل صناديق اللحم المحفوظ أو علب المواد الطبية المُعَدّة للطرح بعد الاستعمال، جاهزةً لنقلها أمام كبسولات تنتالوم مستهدفة بالأشعة السينية ومبرَّدة بالماء يبلغ ارتفاعها مترين.

الشكل طاء-٢- حاويات بها مواد (مواد طبية مُعَدّة للطرح بعد الاستعمال، أو منتجات غذائية مثلاً) تُنقَل لمعالجتها بواسطة الأشعة السينية المنبعثة من حزم أشعة إلكترونية تتراوح شدتها بين ٥ و ٧,٥ مليون إلكترون فلط.

١٦٢- ورغم تنامي استخدام معجلات حزم الأشعة الإلكترونية المنخفضة الطاقة (أقل من ٥٠٠ كيلو إلكترون فلط) لمعالجة الأحبار والدهانات ومواد اللصق بغرض إزالة المركَّبات العضوية الطيارة، فإن ثمة ضرورة لوجود مرافق حزم أشعة إلكترونية متنقلة من أجل تطبيقات معينة مثل معالجة مياه الصرف الصناعية، وتطهير البذور، وإزالة الروائح الكريهة من الهواء. ويتمثل أحد المجالات الناشئة لمعجلات حزم الأشعة الإلكترونية المنخفضة الطاقة في إزالة التلوث السطحي، فيما يخص قنينات التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني والعبوات التي تُملأ بمواد معقمة مثلاً.

طاء-٣- المعالجة الإشعاعية في مجال العلوم النانومترية

١٦٣- يمكن استخدام التكنولوجيات الإشعاعية لاستحداث مواد جديدة وتحديد خواصها على النطاق النانومتري. وتتسم التقنيات الإشعاعية بأهمية جوهرية للتكنولوجيا النانومترية حيث يمكن تركيز حزمة الأشعة لبضعة نانوأمتار ومسحها بسرعة عالية. وقد ثبتت جدوى تكنولوجيا جديدة في هولندا: وهي الطباعة الحجرية دون قناع بواسطة حزم أشعة إلكترونية متعددة، وذلك باستخدام ما يصل إلى ٠٠٠ ١٣ حزمة أشعة إلكترونية متوازية لنقش أشكال دائرية إلكترونية على الرقاقات، بما تنتفي معه الحاجة إلى الأقنعة. وهذه التقنية تجمع بين الدقة العالية للغاية وعمق مجال حزمة الأشعة الإلكترونية مع الخرج العالي، بما يوفر طريقة فعالة التكلفة لصنع الجيل التالي من الرقائق.

١٦٤- وطريقة عمل الطباعة الحجرية باستخدام حزم الأشعة الأيونية المنخفضة الطاقة شبيهة بمثيلتها التي تُستخدَم فيها حزم الأشعة الإلكترونية، لكنها تتسم بمزايا مثل تدني الاستطارة وفقد الطاقة بشكل يكاد يكون منتظماً على طول المسار. وقد استُحدِثت مؤخراً طريقة جديدة باستخدام فتحة متباينة الحجم تشكل موضع حزمة

الأشعة فوق العينة. وعن طريق الجمع بين أحجام مختلفة للفتحة المذكورة مع أوضاع مختلفة للعينة، يمكن تعريض بنى مُرَكَّبة للأشعة في وقت قصير. ويمكن استخدام حزمة أشعة أيونية ثقيلة تصل طاقتها التعجيلية إلى أكثر من ١ مليون إلكترون فلط لصنع أغشية أيونية المسار من البوليمرات واستخدامها بدورها كقالب لتركيب بنى مجهرية وبنى نانومترية على شكل أسلاك. وبهذه الطريقة تم صنع أسلاك نانومترية وأنابيب صغيرة نانومترية مُوَصِّلة ومُفرطة المُوَصِّلية، منفردة أو في طائفة. وإلى جانب استخدام تكنولوجيات حزم الأشعة الإلكترونية وحزم الأشعة الأيونية في صناعة الإلكترونيات، فإن هذه التكنولوجيات تُستخدَم كأدوات لاستقصاء الظواهر الطبيعية على أبعاد نانومترية النطاق من أجل دعم البحث في مجالات الفيزياء وعلم الضوء النانومتري والتكنولوجيا الحيوية النانومترية والطب الحيوي النانومتري.