عالم الذرّة

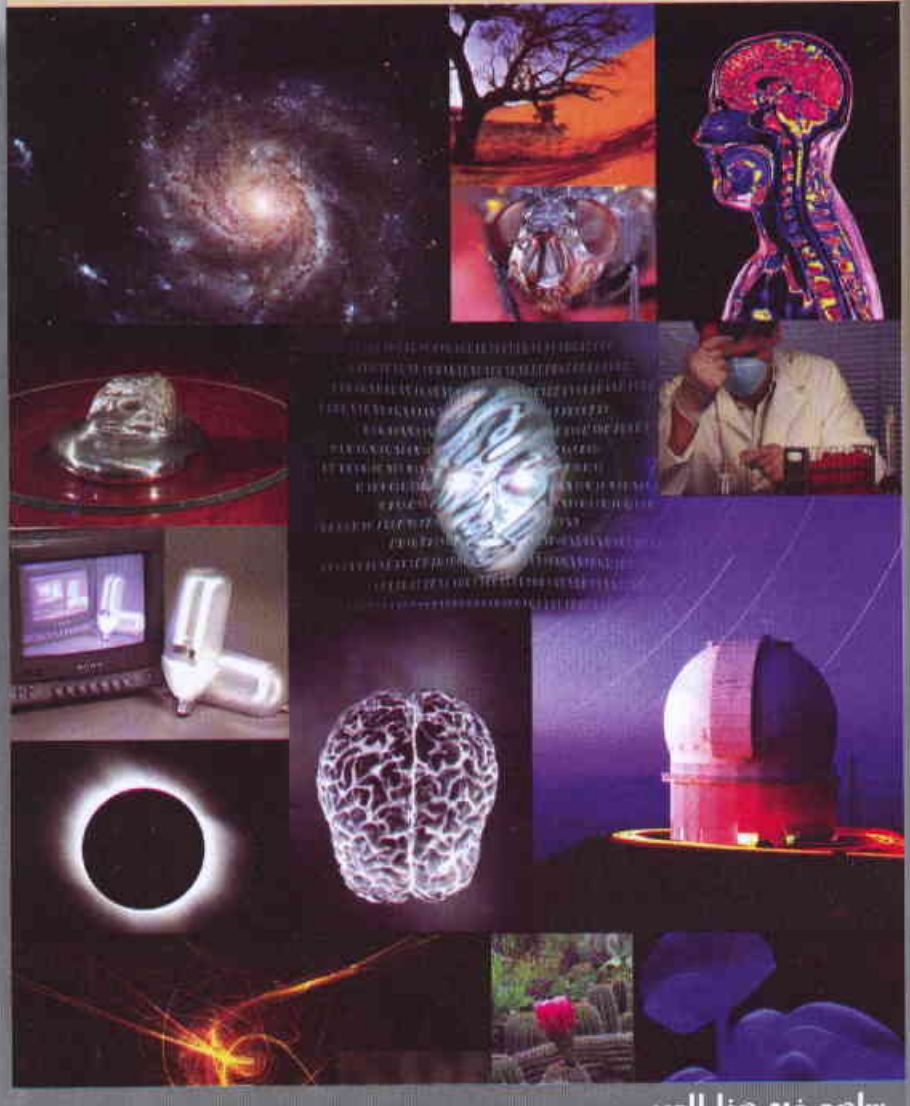
مجلة هيئة الطاقة الذرّية السورية

NO. 129

مجلة عالم الذرّة

مجلة دورية تصدر ست مرات في السنة عن هيئة الطاقة الذرّية في الجمهورية العربية السورية.

وتهدف إلى الإسهام في نشر المعرفة العلمية باللغة العربية في الميدانين الذرّي والنووي، وفي كل ما يتعلق بهما من تطبيقات.



ساهم في هذا العدد:

الإخراج الفني: بشار مسعود - نبيل إبراهيم - مهند البيضة

التدقيق اللغوي: نوال الحلح - ريما سنديان

المتابعة والتنسيق: حسان بقلة

المدير المسؤول

أ. د. إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

(رئاسة هيئة التحرير)

أ. د. عادل حرفوش

أ. د. محمد قعقع

(الأعضاء)

أ. د. أحمد حاج سعيد

أ. د. مصطفى حمو ليلا

أ. د. نجم الدين شرابي

أ. د. فوزي عوض

أ. د. فواز كردعلي

أ. د. توفيق ياسين

هيئة الطاقة الذرية السورية

مكتب نظم المعلومات

http://serversmiso.aecs.sy

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

1- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحبر بخط واضح على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.

2- يُكتب على ورقة مستقلة عنوان مادة النشر واسم الكاتب وصفته العلمية وعنوانه مع ملخصين لها أحدهما بالعربية والآخر باللغة الإنكليزية حصراً، في حدود عشرة أسطر لكل منهما، ويطلب من كل من المؤلف أو المترجم كتابة اسمه كاملاً، باللغتين العربية والأجنبية، ولقبه العلمي وعنوان مراسلته.

3- يُقدم المؤلف (أو المترجم) في ورقة مستقلة قائمة بالعبارات التي تشكل الكلمات المفتاحية " Key Words" (والتي توضح أهم ما تضمنته المادة من حيث موضوعاتها وغايتها ونتائجها والطرق المستخدمة فيها) وبما لا يتجاوز خمس عبارات باللغة الإنكليزية وترجمتها بالعربية.

4- إذا سبق نشر هذا المقال أو البحث في مجلة أجنبية، ترسل الترجمة مع صورة واضحة عن هذه المادة المنشورة ويستحسن إرسال نسخة الأصل المطبوع والأشكال (الرسوم) الأصلية إن وجدت، ولو على سبيل الإعارة.

5- إذا كانت المادة مؤلفة أو مجمعة من مصادر عدة، يذكر الكاتب ذلك تحت العنوان مباشرة كأن يقول " تأليف، جمع، إعداد، مراجعة " وترفق المادة بقائمة مرقمة للمراجع التي استقاها منها.

6- إذا تضمنت المادة صوراً أو أشكالاً، ترسل الصورة الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالحبر الأسود على أوراق مستقلة، إلا إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة "4") مرقمة حسب أماكن ورودها.

7- يُرسل مع المادة قائمة بالمصطلحات العلمية العربية المستخدمة فيها مع مقابلاتها الأجنبية إذا لم تكن واردة في معجم الهيئة للمصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة الذرية الذي تم نشره في أعداد المجلة (2-18).

8- تكتب المصطلحات وكذلك أسماء الأعلام باللغتين العربية والأجنبية عند ورودها في النص أول مرة ومن ثم يكتفى بإيراد المقابل العربي وحده سواء أكان هذا المقابل كاملاً أو غير كامل وتستعمل في النص المؤلف أو المترجم الأرقام العربية (1، 2، 3) أينما وردت مع مراعاة كتابتها بالترتيب العربي من اليمين إلى اليسار وإذا وردت في نص معادلة أو قانون أحرف أجنبية وأرقام نكتب المعادلة أو القانون كما هي في الأصل الأجنبي.

9- يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالة (*، +، X، ...) في الصفحة ذاتها، كما يشار في المتن إلى أرقام المصادر والمراجع المدرجة في الصفحة الأخيرة، وذلك بوضعها ضمن قوسين متوسطين [ ].

10- ترقم مقاطع النص الأجنبي والنص العربي بترتيب واحد في حالة الترجمة.

11- يرجى من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.

12- تخضع مادة النشر للتقييم ولا ترد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.

13- يمنح كل من الكاتب أو المترجم أو المراجع مكافأة مالية وفق القواعد المقررة في الهيئة.

جميع المراسلات توجه إلى العنوان التالي:

الجمهورية العربية السورية- هيئة الطاقة الذرّية - مكتب الترجمة والتأليف والنشر - دمشق : ص.ب : 6091

هاتف 6111926-11(963+) فاكس 6112289-11(963+)

E-mail: tapo@aec.org.sy

ISSN 1607-985X

رسوم الاشتراك السنوي

-يمكن للمشتركين من خارج القطر إرسال رسم الاشتراك إلى العنوان التالي:

المصرف التجاري السوري - فرع رقم 13- مزة جبل- دمشق- ص.ب: 16005، رقم الحساب 2/3012 أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية.

-يمكن للمشتركين من داخل القطر دفع قيمة الاشتراك بحوالة بريدية على العنوان التالي:

مجلة عالم الذرّة-مكتب الترجمة والتأليف والنشر-هيئة الطاقة الذرّية السورية-دمشق- ص.ب:6091 مع بيان يوضح عنوان المراسلة المفضل.

أو يدفع رسم الاشتراك مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة: دمشق-شارع 17نيسان

-رسم الاشتراك من داخل القطر: للطلاب (200) ل.س. للأفراد (300) ل.س. للمؤسسات (1000) ل.س.

-رسم الاشتراك من خارج القطر: للأفراد (30) دولاراً أمريكياً. للمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً.

سعر العدد الواحد

سوريا : 50 ل.س مصـر : 3 جنيهات لبـنان : 3000ل.ل الجزائر : 100 دينار

الأردن : 2 دينار السعودية : 10 ريالات وفي البلدان الأخرى : 6 دولارات

الإعلانات

تود مجلة عالم الذرّة إعلام الشركات والمؤسسات العاملة في قطاع التجهيزات العلمية والمخبرية كافة والصناعات المتعلقة بها عن فتح باب الإعلان التجاري فيها، للمزيد من الاستفسار حول رغبتكم بنشر إعلاناتكم التجارية يرجى الكتابة إلينا أو الاتصال بنا وفق العنوان الوارد أعلاه.

يُسمح بالنسخ والنقل عن هذه المجلة للاستخدام الشخصي بشرط الإشارة إلى المرجع، أما النسخ والنقل لأهداف تجارية فغير مسموح به إلا بموافقة خطية مسبقة من الهيئة.

القائمة الشاملة لمحطات الطاقة النووية في العالم

ترجمة
أ. د. مصطفى حموليلا*

القائمة العالمية 7
الخرائط 23
الجداول 29

* عن مجلة NUCLEAR NEWS March 2010.

تخضع القائمة العالمية إلى بعض التغيّرات

تطالب مجلة Nuclear News مرة في العام من كل من يملك مفاعلاً في هذه القائمة أن يقدم التصحيحات أو الإضافات الطارئة على المعلومات المدرجة في القائمة. وفي حالات عدم استلام الاستجابة المباشرة، تقوم بجمع المعلومات المتاحة من قبل المالك بالطرائق الأخرى (مثل أخذ المعلومات من موقع المالك على الشبكة، أو مما يقدمه المالك من وثائق إلى الوكالات الحكومية أو المنظمات الدولية).

ولكي يُدرَج المفاعل القادر على العمل في القائمة، يجب أن يُزوِّدَ بقدر فائض من الطاقة للاستخدام خارج المفاعل ذاته –يُستَخدم عادة لإنتاج الكهرباء ولكن يحتمل استخدامه أيضاً لتدفئة المنطقة ولحرارة المعالجة، ولتحلية المياه، وغير ذلك. أما مفاعلات البحث، ومفاعلات الاختبار، وكذلك المنشآت التجريبية ذات الدور المحدود، مثل إنتاج النظائر، فكلها غير مدرجة في هذه القائمة.

ومن أجل المفاعلات الوشيكة الإنجاز (التي هي قيد البناء أو تحت الطلب) التي ستدرج في القائمة، فيجب أن يتحقق تعهد رسمي للمشروع من قبل كل الأطراف ذات العلاقة. وفي أغلب الحالات، نحن نحتاج أن يكون العقد الهندسي، وعقد المشتريات، وعقد البناء للمشروع بأكمله قد وُقِعَ وأنه ساري المفعول. ومن أجل عدد قليل من البلدان، حيث تكون إضافات القدرة النووية مقررة مركزياً والبرامج النووية منجزة بشكل جيد، فإن المفاعل الوشيك الإنجاز يمكن أن يُضاف للقائمة على أساس أنه قد حصل على الموافقة الحكومية العالية المستوى، حتى ولو لم يوقع العقد بعد، إلا أنه في مثل هذه الحالة يجب أن يكون موقع المشروع محدداً بشكل واضح، وقد ذكر التاريخ المحدد للتشغيل، كما حدد انتقاء المفاعل المفضل.

المفاعلات التي تقرر إغلاقها بشكل دائم ليست مدرجة في القائمة الرئيسية. وهناك في الصفحة 32 قائمة منفصلة بالمفاعلات المغلقة.

نجد في الجدول (الصفحة 33) العدد الكلي للمفاعلات والوسعيّة التوليدية الإجمالية لكل بلد. وقد أدرجت بعد قائمة كل بلد الأعطال حسب نموذج المفاعل، حيث هناك أكثر من نموذج واحد للمفاعلات. ومن أجل المفاعلات في الولايات المتحدة، اعتمدت الوسعية التوليدية (بصافي MWe) التي أدرجت في القائمة، بأنها القيمة الكهربائية المقدرة للتصميم. وتضم القائمة الحالية الأعطال الإضافية في سعة التوليد كما هو موضح أدناه.

ولقد اختصرت هنا أسماء الكثير من المزودين ومؤسسات الخدمات وكذلك أسماء أنواع المفاعلات ونماذجها بقصد الاقتصاد في المكان. ومن ثم أدرجت الأسماء الكاملة في الصفحة 33 حسب الترتيب الهجائي للأسماء المختصرة.

إن البنية التصميمية لهذه القائمة تغيّرت بطرق متعددة. أولاً، لقد تبدلت حقول المعطيات السالفة الخاصة "بمزود المولدات" Generator supplier، و"المهندس المعماري" Architect Engineer و"الإنشائي" constructor وحلّ محلها حقل وحيد سُمي "المشاركون" Participants. ومع مرور الزمن تغير المالكون للعديد من المحطات وكذلك المتعاقدون، والأجهزة والمعدات. وهكذا، فإن الاستمرار فقط بإدراج المزود بالمُوَلِّد التوربيني (العنفي) الأصلي، فيما لو أن هذه المعدات قد استبدلت بتجهيزات من مصنع مختلف، لا يعكس الحالة الراهنة للمفاعل. والغاية من عمود "المشاركين" هو بيان المؤسسات التي ولِجَتْ إلى حدٍّ كبير بالمفاعل المعنى.

ثانياً، لقد أضيف عمود جديد، بحيث يوجد تحت عمود "مفاعل" أعمدة لكلٍّ من النوع (BWR, PWR, …etc) والنموذج حسب الحالة. فالمفاعلات المطلوبة الآن والتي يجري بناؤها هي بشكل عام معيارية (قياسية)، وفق النماذج الخاصة، وهذه المعلومات هي لذلك مهمّة بشكل متزايد. وكثير من المفاعلات الأقدم الأخرى قد صنعت أو عدلت وفق تحديدات فردية أو شخصية على نطاق واسع، حتى يمكن أن لا يوجد هناك نموذج أو علامة مخصوصة، إلا ما كان متوفراً، وقد أعطيت بعض المعلومات الوصفية (مثل "two-loop" من أجل PWR ذي مولِّدي البخار).

ثالثاً، أضيفت المعطيات إلى المحطة، وكذلك خطوط الاتصال على اسم المالك (أو كذلك الخطوط الكبرى على اسم المالك owner name lines التي تبين وسعية التوليد الإجمالية لها إذا لم يكن ذلك واضحاً بطريقة أخرى. ولكل محطة إلى جانب اسمها وسعية التوليد الإجمالية لها. وفي بلد فيها مالك واحد، ومحطة واحدة، ومفاعل واحد، تكون وسعية هذا المفاعل الواحد هي ذاتها للمحطة وللمالك وللبلد. ولمحطة تتألف من عدة وحدات. أصبحت القائمة الآن تبين الوسعية الإجمالية إلى جانب اسم المحطة، وفي حالة مالك لأكثر من محطة واحدة تكون الوسعية الكلية ظاهرة بعد اسم المحطة.

تشير الأرقام باللون الأخضر، إلى الوسعيات العاملة، وتشير تلك التي باللون البرتقالي، إلى الوسعيات الوشيكة، في حين تشير الأرقام ذات اللون الأزرق، إلى المفاعلات العاملة والمفاعلات الوشيكة مجتمعة. وهذه الأرقام مع الأرقام الكلية النهائية لكل بلد مُدرَجة في القائمة، وفي الصفحة 37، تشير إلى تنوّع أوسع للانقطاعات العددية.

وهذا الشكل للقائمة يمثل عملاً جارياً، ونحن نرحب باقتراحات القراء حول كيفية إعداد هذه القائمة العالمية لتكون أكثر فائدة لهم.

ميشيل ميخائيل بلاكه E. Michael Blake

ملاحظات حول قائمة محطات الطاقة النووية العالمية لعام 2010

فيما يلي نجد خلاصة التغييرات والتطويرات التي حدثت خلال العام 2009، وتحديثاً لحالة المشاريع المعلقة (غير المقرر بشأنها) مع توضيحات اجتهادية لما تضمنته (أو لم تتضمنه)، لعدم وجود قاعدة أو مبدأ يساعد على اتخاذ القرار. وفي بعض الحالات، أدمجت معلومات من أوائل العام 2010.

وبما أن ملكية بعض المحطات قد تغيرت، فإن العمل المنجز من المالك السابق يُنسَب إلى تلك المؤسسة في عمود "المشاركين". وفي بعض الحالات، كأن يكون المالك الحالي مسؤولاً عن صفقة كبيرة من العمل في مشروع ما (كأن يكون هو المهندس المنفذ –المعماري والإنشائي)، وحيثما وجدت هذه الحالة، أدرجت كلمة "المالك" في عمود "المشاركين".

الأرجنتين: أعلنت نيوكليو إلكتريكا أرجنتينا Nucleoelctrica Argentina في 13 كانون الثاني/يناير أنه سينتهي العمل على أتوشا-2 Atucha-2 في هذه السنة، وأنه قد خطط لتحميل الوقود في تشرين الأول/أكتوبر. والقائمة الآن تبين حرجية ابتدائية في كانون الأول/ديسمبر والتشغيل التجاري في العام 2011.

كندا: ستتحول أصول (موجودات) الشركة برونسويك الجديدة لتوليد الطاقة New Brunswick Power Caorporation إلى هيدرو كويبيك Hydro Québec خلال العام 2010 فيما عدا بوينت ليبرو Point Lepreau، التي ستتحول ملكيتها بعد الانتهاء من تجديد المفاعل، ربما في أوائل 2011. وقد بقي هذان المرفقان في القائمة هنا منفصلين، كل واحد منهما مع مفاعل القدرة الخاص به (بوينت ليبرو والجينتيلي-2 على التوالي).

الصين: في كل عام هناك العديد من الإعلانات عن تطوير محطات ومشاريع جديدة مشتركة، إلا أنه انطلاقاً مما رأيناه، لا نضيف إلا أربعة مفاعلات جديدة للقائمة: نَينجدً-3 و-4 (Niingde-3 and-4) وشيا نجيانغ-1 و-2 (chiangiiang-1 and-2). وسننتظر تطورات أكثر قبل القرار بشأن شيداووان Shidaowan HTR، تيانوان-3 و-4 (Tianwan-3 and-4) وعشرات غيرها من المشاريع المقترحة.

فرنسا: لقد توقف فينيكس Phénix عن إنتاج الكهرباء في آذار/مارس 2009 وحُذِف من القائمة، هو ومالكه، هيئة الطاقة الذرّية الفرنسية.

الهند: لقد أضيف إلى القائمة كل من رهجاستان-7 و-8 (Rajasthan-7 and-8) وكاكرابار-3 و-4 (Kakrapar-3 and-4)، إذ جرى الإعلان عن عقود بعض التجهيزات لهذه المشاريع، ولكن لم يجرِ بناء ملحوظ حتى نهاية 2009. إلا أن بناء راجاستان-5 و-6 قد أنجز. وقد انطلق راجاستان-5 تجارياً في 4 شباط/فبراير 2010، ولكنه لا يظهر على أنه تجاري في القائمة أو الجداول العددية بسبب توقفنا في كانون الأول/ديسمبر 2009. ومن المتوقع أن ينطلق راجاستان-6 تجارياً قبل منتصف العام الحالي. وقد أرسي وعاء المفاعل PFBR في 5 كانون الأول/ديسمبر وتقرر أن يكون مشروع المفاعل بهافيني BHAVINI ضمن الخطة.

إيران: إن مفاعل بوشهر قد أنجز بصورة أساسية. وقد استلم الوقود ويتوقع أن يبدأ العمل خلال 2010.

اليابان: لقد دخل مفاعل توماري-3 (Tomari-3) الحرجية في آذار/مارس الماضي وبدأ عمله في 22 كانون الأول/ديسمبر 2009. وقد أنهت وكالة الطاقة الذرّية اليابانية مهمة اختبارات النظام في مونجو خلال العام 2009، ورغم أن اختبارات بدء التشغيل كان مخطط لها في الربع الأول من العام 2010، فنحن ما زلنا ندرج تاريخ تشغيله التجاري تحت "غير محدد" بسبب الصعوبات المتعددة التي يلاقيها هذا المشروع على مدى سنوات. فنحن لم نعتبر أياً من مشاريع المفاعلات الجديدة المعلقة (التي لم يتخذ بشأنها قرار نهائي) في اليابان، أنها قد تقدمت إلى النقطة التي يمكننا معها إدراجها في القائمة، ولكن أقربها إلى الإدراج هي مفاعلات شركة الطاقة الذرّية اليابانية تسوروغا-3 و-4 (Tsuruga-3 and-4) ومفاعلات شركة طوكيو للطاقة الكهربائية فوكوشيما دايتشي-7 و-8 (Fukushima-7 and-8) وكذلك هيغا شيدوري-1 و-2 (Higashidori-1 and 2) (2- (اللذان يجب أن لا يلتبسا مع هيغا شيدوري-1 الذي يجري تشغيله الآن من قبل شركة توهوكو للطاقة الكهربائية).

ليتوانيا: لقد أغلق مفاعل إغنالينا-2 (Ignalina-2) في 31 كانون الأول/ديسمبر 2009 كشرط لدخول ليتوانيا في الاتحاد الأوربي. وقد كان هذا المفاعل الوحيد في الخدمة في ليتوانيا، وهكذا جرى حذف كل من ليتوانيا ومفاعلها الوحيد من القائمة.

باكستان: بالرغم من أن هناك تقارير في العام 2009 عن عقود من صنف فرعي وضعت في الصين تتعلق بالمفاعلين الثالث والرابع المخطط لهما في تشاشما Chashma، لم نرَ ما يقنعنا بإضافة هذه المفاعلين المقترحين إلى القائمة.

روسيا: لقد بدأ تحميل الوقود في المفاعل روستوف-2 (Rostov-2) في 19 كانون الأول/ديسمبر 2009. وكان من المتوقع أن يبدأ إنتاج الكهرباء في شباط/فبراير مع التشغيل التجاري الذي يأتي لاحقاً في 2010. أما المفاعل كالينين-4 (Kalinin-4) فقد أرسيت قبة حاويته في أوائل كانون الثاني/يناير 2010، ومن المخطط الآن أن يكون التشغيل التجاري في 2011. وقد أضيف المفاعلان روستوف-3 و-4 إلى القائمة بسبب الإعلانين عن شراء التجهيزات لهذا المشروع، ولم يبلغ أي من المفاعلات المخططة الأخرى في روسيا النقطة التي تجعلنا نضيفها إلى القائمة. والمفاعلات المحمولة على السفن والتي كان يشار إليها سابقاً كـ سيفيرود فينسك Severedvinsk والآن يشار إليها بـ فيليوتشينسك Vilyuchinsk، كما سميت على اسم الموقع في كامتشاتكا Kamchatka، إذ كانت ستوضع في الخدمة بعد إنجازها. وقد جرى حذف المفاعلين بالاكوفو-(Balakovo-5) 5 وكورسك-5 (Kursk-5) من القائمة لأن "روس أتوم" Rosatom لم تعد تشير إليهما كمشاريع نشطة.

تايوان، الصين: لقد أعلنت شركة تايوان للطاقة أنها تريد تحميل الوقود في المفاعل لونغمن-1 (Lungmen-1) فيما بعد خلال هذه السنة وأن تبدأ تشغيل الطاقة الأولي في كانون الأول/ديسمبر، مع بدء التشغيل التجاري في 2011. ونحن ندرج التاريخين التجاريين 2011 و2012 للوحدتين 1 و2 بالرغم من أن المؤسسة تعترف بأن المشروع المتأخر حتى الآن يمكن ألا يلتزم بهذا المخطط.

الإمارات العربية المتحدة: لقد جرى توقيع العقود مع اتحاد المؤسسات المالية الكورية الجنوبية من أجل بناء، وإلى حدٍّ ما، تشغيل أربعة مفاعلات للطاقة، وهكذا جرت إضافة هذه المفاعلات (وهذه البلد) إلى القائمة. ولم يُعلن حتى الآن عن موقعي المحطتين المؤلف كلٍّ منهما من وحدتين (مفاعلين)، وكان من المتوقع صدور القرار في شباط/فبراير 2010. وقد أعلنت مؤسسة الطاقة النووية الإماراتية عن نيتها وضع الوحدة الأولى في الخدمة في 2017 والوحدات الأخرى حتى 2020، وحتى تتوفر مخططات أكثر تفصيلاً، ندرج العام 2017 لمفاعل واحد والعام 2020 للمفاعلات الأخرى. ونحن ندرج دووسان Doosan كبائع للمفاعلات لأنها ملأت هذا الدور من أجل APR-1400s في كوريا الجنوبية، ولأنها عضو في المؤسسات المالية، ويمكن أن يكون هذا موضعاً للتغيير عندما تدخل المشاريع حيّز التدقيق.

الولايات المتحدة: لقد أضيفت الوحدتان الثالثة والرابعة في مشروع موقع جنوب تكساس إلى القائمة، بناءً على الهندسة والتدبيرات، وعقد البناء الموقَّع من قبل شركة التشغيل النووي بدرجة الحرارة والضغط المعياريين STP وشركة توشيبا في شباط/فبراير 2009. وقد أعلمتنا سلطة وادي تينيسي TVA النووية أن مفاعل Watts Bar-2 قد أنجز إلى نحو 80 بالمئة مع نهاية العام 2009 وأن الخطة يجري تنفيذها "حتى وضع الوحدة على الخط (الشبكة) قبل نهاية العام 2012". ولذلك نحن نستخدم الآن 2012 كتاريخ للتشغيل التجاري، بالرغم من أن التقديرات السابقة للإنجاز في العام 2013 تبقى ممكنة.

الأخبار النووية

القائمة العالمية لمحطات الطاقة النووية

القابلة للتشغيل، قيد الإنشاء، أو تحت أمر التنفيذ حتى 31 كانون الأول/ديسمبر 2009

		صافي القدرة	المفاعل: النوع	المفاعل: النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل: الحرجية البدائية	التشغيل: البداية التجارية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
Argentina									
Nucleoeléctrica Argentina SA [935 + 692 = 1627]									
1A	Atucha (Lima, Buenos Aires) [335 + 692 = 1027]								
	● Unit 1	335	PHWR	(two-loop)	100	1/74	6/74	Siemens	Siemens
	Unit 2	692	PHWR	(two-loop)	95	12/10	/11	Siemens	Owner/Siemens
1B	Embalse (Rio Tercero, Cordoba) [600]								
	● Unit 1	600	PHWR	CANDU-6	100	3/83	1/84	AECL	Ansaldo, Italimpianti
Armenia									
Ministry of Energy, Department of Atomic Energy									
2A	Metzamor (Metzamor, Armavir) [376]								
	● Unit 2	376	PWR	VVER-440/V270	100	1/80	5/80	MTM	Electrosila, AEP, Armgidroenergostroi
Belgium									
Electrabel [5801]									
3A	Doel (Doel, East Flanders) [2816]								
	● Unit 1	392	PWR	(two-loop)	100	7/74	2/75	ACECOWEN	Tosi, TEE, Franki/Engema, MHI
	● Unit 2	433	PWR	(two-loop)	100	8/75	12/75	ACECOWEN	Tosi, TEE, Franki/Engema, MHI
	● Unit 3	1006	PWR	(three-loop)	100	6/82	10/82	FRAMACECO	Alstom, TEE, AMGC
	● Unit 4	985	PWR	(three-loop)	100	3/85	7/85	ACECOWEN	Alstom, TEE, TVBB, Siemens
3B	Tihange (Huy, Liege) [2985]								
	● Unit 1	962	PWR	(three-loop)	100	2/75	10/75	ACLF	Alstom, TEE, others
	● Unit 2	1008	PWR	(three-loop)	100	10/82	6/83	FRAMACECO	Alstom, TEE, MHI, others
	● Unit 3	1015	PWR	(three-loop)	100	6/85	9/85	ACECOWEN	Brown Boveri, Alstom, TEE, Siemens, others
Brazil									
Eletronuclear-Eletrobras Termonuclear SA									
4A	Angra (Itaorna, Rio de Janeiro) [1901 + 1275 = 3176]								
	● Unit 1	626	PWR	(two-loop)	100	3/82	1/85	W	G&H, Furnas, Nuclep
	● Unit 2	1275	PWR	(four-loop)	100	7/00	12/00	KWU	Owner
	Unit 3	1275	PWR	(four-loop)	10	indef	indef	KWU	Owner
Bulgaria									
Natsionalna Elektricheska Kompania EAD [1906 + 2000 = 3906]									
5A	Belene (Belene, Pleven) [2000]								
	Unit 1	1000	PWR	AES-92	0	-----	/14	ASE	Parsons E&C Europe
	Unit 2	1000	PWR	AES-92	0	-----	/15	ASE	Parsons E&C Europe
5B	Kozloduy (Kozloduy, Vratsa) [1906]								
	● Unit 5	953	PWR	VVER-1000/V320	100	11/87	12/88	AEE/OKG Gidropress	Electrosila, TEP/Moskva, Promishleno Stroiteltsvo/Montaji
	● Unit 6	953	PWR	VVER-1000/V320	100	5/91	12/93	AEE/OKG Gidropress	Electrosila, TEP/Moskva, Promishleno Stroiteltsvo/Montaji

يتبع الأزرق: الوسعية العاملة والوشيكة. البرتقالي: الوسعية الوشيكة. الأخضر: وسعية التشغيل. ● الوحدات في حالة التشغيل التجاري

	المشاركون الرئيسيون	المزود بالمفاعل	التشغيل: البداية التجارية	التشغيل: البداية المرجعية	مرحلة البناء النسبية	المفاعل: النموذج	المفاعل: النوع	صافي القدرة
Canada								
Bruce Power								
6A	**Bruce (Kincardine, Ont.) [6246]**							
	● Unit 1 (Block A)	AECL	9/77	12/76	100	CANDU	PHWR	769
	● Unit 2 (Block A)	AECL	9/77	7/76	100	CANDU	PHWR	769
	● Unit 3 (Block A)	AECL	2/78	11/77	100	CANDU	PHWR	750
	● Unit 4 (Block A)	AECL	1/79	12/78	100	CANDU	PHWR	750
	● Unit 5 (Block B)	AECL	3/85	11/84	100	CANDU	PHWR	790
	● Unit 6 (Block B)	AECL	9/84	5/84	100	CANDU	PHWR	822
	● Unit 7 (Block B)	AECL	4/86	1/86	100	CANDU	PHWR	806
	● Unit 8 (Block B)	AECL	5/87	2/87	100	CANDU	PHWR	790
Hydro-Québec								
6B	**Gentilly (Becancour, Que.) [635]**							
	● Unit 2	AECL	10/83	9/82	100	CANDU-6	PHWR	635
New Brunswick Power Corp.								
6C	**Point Lepreau (Bay of Fundy, N.B.) [635]**							
	● Unit 1	AECL	2/83	7/82	100	CANDU-6	PHWR	635
Ontario Power Generation [7648]								
6D	**Darlington (Clarington, Ont.) [3524]**							
	● Unit 1	AECL	11/92	10/90	100	CANDU	PHWR	881
	● Unit 2	AECL	10/90	11/89	100	CANDU	PHWR	881
	● Unit 3	AECL	2/93	11/92	100	CANDU	PHWR	881
	● Unit 4	AECL	6/93	3/93	100	CANDU	PHWR	881
6E	**Pickering (Pickering, Ont.) [4124]**							
	● Unit 1 (Block A)	AECL	7/71	2/71	100	CANDU	PHWR	515
	● Unit 2 (Block A)	AECL	12/71	9/71	100	CANDU	PHWR	515
	● Unit 3 (Block A)	AECL	6/72	4/72	100	CANDU	PHWR	515
	● Unit 4 (Block A)	AECL	6/73	5/73	100	CANDU	PHWR	515
	● Unit 5 (Block B)	AECL	5/83	10/82	100	CANDU	PHWR	516
	● Unit 6 (Block B)	AECL	2/84	10/83	100	CANDU	PHWR	516
	● Unit 7 (Block B)	AECL	1/85	10/84	100	CANDU	PHWR	516
	● Unit 8 (Block B)	AECL	2/86	12/85	100	CANDU	PHWR	516
China								
China Guangdong Nuclear Power Co. [3764 + 19 200 = 29 964]								
7A	**Daya Bay (Shenzhen, Guangdong) [1888]**							
	● Unit 1	Fra	2/94	7/93	100	CPY/M310	PWR	944
	● Unit 2	Fra	5/94	1/94	100	CPY/M310	PWR	944
7B	**Fangchenggang (Fangchenggang, Guangxi) [2000]**							
	Unit 1	CNNC	/16	-----	0	CPR-1000	PWR	1000
	Unit 2	CNNC	/16	-----	0	CPR-1000	PWR	1000
7C	**Hongyanhe (Dalian, Liaoning) [4000]**							
	Unit 1	CNNC	/12	-----	30	CPR-1000	PWR	1000
	Unit 2	CNNC	/14	-----	5	CPR-1000	PWR	1000
	Unit 3	CNNC	/14	-----	5	CPR-1000	PWR	1000
	Unit 4	CNNC	/15	-----	0	CPR-1000	PWR	1000
7D	**Ling Ao (Ling Ao, Guangdong) [1876 + 2000 = 3876]**							
	● Unit 1	Fra	5/02	2/02	100	CPY/M310	PWR	938
	● Unit 2	Fra	12/02	8/02	100	CPY/M310	PWR	938
	Unit 3	CNNC	12/10	-----	80	CPR-1000	PWR	1000
	Unit 4	CNNC	/11	-----	70	CPR-1000	PWR	1000
7E	**Ningde (Fuding, Fujian) [4000]**							
	Unit 1	CNNC	/12	-----	20	CPR-1000	PWR	1000
	Unit 2	CNNC	/14	-----	15	CPR-1000	PWR	1000
	Unit 3	CNNC	/14	-----	5	CPR-1000	PWR	1000
	Unit 4	CNNC	/15	-----	0	CPR-1000	PWR	1000
7F	**Taishan (Taishan, Guangdong) [3200]**							
	Unit 1	Areva	/14	-----	5	EPR	PWR	1600
	Unit 2	Areva	/15	-----	0	EPR	PWR	1600

		صافي القدرة	المفاعل النوع	النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل الحرجية	التشغيل البداية التجارية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
7G	**Yangjiang (Dongping, Guangdong) [4000]**								
	Unit 1	1000	PWR	CPR-1000	20	-----	/13	CNNC	----------
	Unit 2	1000	PWR	CPR-1000	10	-----	/14	CNNC	----------
	Unit 3	1000	PWR	CPR-1000	0	-----	/15	CNNC	----------
	Unit 4	1000	PWR	CPR-1000	0	-----	/16	CNNC	----------
China National Nuclear Corp. [4930 + 8640 = 13 570]									
7H	**Chiangjiang (Chiangjiang, Hainan) [1220]**								
	Unit 1	610	PWR	CNP-600	0	-----	/14	CNNC	----------
	Unit 2	610	PWR	CNP-600	0	-----	/15	CNNC	----------
7I	**Fangjiashan (Haiyan, Zhejiang) [2000]**								
	Unit 1	1000	PWR	CPR-1000	10	-----	/14	CNNC	----------
	Unit 2	1000	PWR	CPR-1000	10	-----	/14	CNNC	----------
7J	**Fuqing (Fuqing, Fujian) [2000]**								
	Unit 1	1000	PWR	CPR-1000	5	-----	/16	CNNC	----------
	Unit 2	1000	PWR	CPR-1000	5	-----	/16	CNNC	----------
7K	**Qinshan (Haiyan, Zhejiang) [2930 + 1220 = 4150]**								
	● Unit I-1	310	PWR	CNP-300	100	12/91	4/94	MHI	SBF, CNNC
	● Unit II-1	610	PWR	CNP-600	100	11/01	4/02	CNNC	CNNC
	● Unit II-2	610	PWR	CNP-600	100	3/04	6/04	CNNC	CNNC
	Unit II-3	610	PWR	CNP-600	70	-----	3/11	CNNC	CNNC
	Unit II-4	610	PWR	CNP-600	70	-----	9/11	CNNC	CNNC
	● Unit III-1	700	PHWR	CANDU-6	100	9/02	12/02	AECL	Hitachi, Bechtel, CNNC
	● Unit III-2	700	PHWR	CANDU-6	100	4/03	7/03	AECL	Hitachi, Bechtel, CNNC
7L	**Sanmen (Sanmen, Zhejiang) [2200]**								
	Unit 1	1100	PWR	AP1000	10	-----	8/13	W	MHI
	Unit 2	1100	PWR	AP1000	10	-----	/14	W	MHI
7M	**Tianwan (Lianyungang, Jiangsu) [2000]**								
	● Unit 1	1000	PWR	AES-91	100	12/05	5/07	ASE	----------
	● Unit 2	1000	PWR	AES-91	100	/07	8/07	ASE	----------
China Power Investment Corp.									
7N	**Haiyang (Haiyang, Shandong) [2200]**								
	Unit 1	1100	PWR	AP1000	10	-----	/14	W	----------
	Unit 2	1100	PWR	AP1000	0	-----	/15	W	----------

PHWRs: 2 operating (1400 MWe). **PWRs:** 9 operating (7294 MWe), 30 forthcoming (30 040 MWe).

Czech Republic

CEZ, a.s. (Czech Power Co.) [3574]

8A	**Dukovany (Trebic, Jihomoravsky) [1648]**								
	● Unit 1	412	PWR	VVER-440/V213	100	2/85	8/85	Skoda	----------
	● Unit 2	412	PWR	VVER-440/V213	100	1/86	9/86	Skoda	----------
	● Unit 3	412	PWR	VVER-440/V213	100	10/86	5/87	Skoda	----------
	● Unit 4	412	PWR	VVER-440/V213	100	6/87	12/87	Skoda	----------
8B	**Temelin (Temelin, Jihocesky) [1926]**								
	● Unit 1	963	PWR	VVER-1000/V320	100	10/00	10/04	Skoda	EGP, VS/VJET
	● Unit 2	963	PWR	VVER-1000/V320	100	3/02	10/04	Skoda	EGP, VS/VJET

Finland

Fortum Corp.

9A	**Loviisa (Loviisa, Uusimaa) [976]**								
	● Unit 1	488	PWR	VVER-440/V213	100	1/77	5/77	AEE	Imatran Voima
	● Unit 2	488	PWR	VVER-440/V213	100	10/80	1/81	AEE	Imatran Voima
Teollisuuden Voima Oyj (Industrial Power Co., Ltd.)									
9B	**Olkiluoto (Eurajoki, Turku-Pori) [1720 + 1600 = 3320]**								
	● Unit 1	860	BWR	BWR 75	100	7/78	10/79	ASEA-Atom	SL, Atomirakennus
	● Unit 2	860	BWR	BWR 75	100	10/79	7/82	ASEA-Atom	SL, Tyoyhtyma, Jukola
	Unit 3	1600	PWR	EPR	60	/13	/13	Areva	Siemens, Bouygues, Heitkamp

BWRs: 2 operating (1720 MWe). **PWRs:** 2 operating (976 MWe), 1 forthcoming (1600 MWe).

يتبع

الأزرق: الوسعية العاملة والوشيكة. البرتقالي: الوسعية الوشيكة. الأخضر: وسعية التشغيل. ● الوحدات في حالة التشغيل التجاري

	المشاركون الرئيسيون	المزود بالمفاعل	التشغيل: البداية التجارية	التشغيل: الحرجية البدائية	مرحلة البناء النسبية	المفاعل: النموذج	المفاعل: النوع	صافي القدرة
France								
	Electricité de France [63 130 + 1600 = 64 730]							
10A	**Belleville (Belleville s/Loire, Cher) [2620]**							
	● Unit 1	Fra	6/88	9/87	100	P'4	PWR	1310
	● Unit 2	Fra	1/89	5/88	100	P'4	PWR	1310
10B	**Blayais (Blaye, Gironde) [3640]**							
	● Unit 1	Fra	12/81	5/81	100	CP1	PWR	910
	● Unit 2	Fra	2/83	6/82	100	CP1	PWR	910
	● Unit 3	Fra	11/83	7/83	100	CP1	PWR	910
	● Unit 4	Fra	10/83	5/83	100	CP1	PWR	910
10C	**Bugey (Loyettes, Ain) [3580]**							
	● Unit 2	Fra	3/79	4/78	100	CP0	PWR	910
	● Unit 3	Fra	3/79	8/78	100	CP0	PWR	910
	● Unit 4	Fra	7/79	2/79	100	CP0	PWR	880
	● Unit 5	Fra	1/80	7/79	100	CP0	PWR	880
10D	**Cattenom (Cattenom, Moselle) [5200]**							
	● Unit 1	Fra	4/87	10/86	100	P'4	PWR	1300
	● Unit 2	Fra	2/88	8/87	100	P'4	PWR	1300
	● Unit 3	Fra	2/91	2/90	100	P'4	PWR	1300
	● Unit 4	Fra	1/92	5/91	100	P'4	PWR	1300
10E	**Chinon (Chinon, Indre-et-Loire) [3620]**							
	● Unit B1	Fra	2/84	10/82	100	CP2	PWR	905
	● Unit B2	Fra	8/84	9/83	100	CP2	PWR	905
	● Unit B3	Fra	3/87	9/86	100	CP2	PWR	905
	● Unit B4	Fra	4/88	10/87	100	CP2	PWR	905
10F	**Chooz (Chooz, Ardennes) [3000]**							
	● Unit B1	Fra	5/00	4/96	100	N4	PWR	1500
	● Unit B2	Fra	9/00	12/96	100	N4	PWR	1500
10G	**Civaux (Civaux, Vienne) [2990]**							
	● Unit 1	Fra	1/02	9/97	100	N4	PWR	1495
	● Unit 2	Fra	4/02	9/99	100	N4	PWR	1495
10H	**Cruas (Cruas, Ardeche) [3660]**							
	● Unit 1	Fra	4/84	4/83	100	CP2	PWR	915
	● Unit 2	Fra	4/85	8/84	100	CP2	PWR	915
	● Unit 3	Fra	9/84	4/84	100	CP2	PWR	915
	● Unit 4	Fra	2/85	10/84	100	CP2	PWR	915
10I	**Dampierre (Ouzouer, Loiret) [3560]**							
	● Unit 1	Fra	9/80	3/80	100	CP1	PWR	890
	● Unit 2	Fra	2/81	12/80	100	CP1	PWR	890
	● Unit 3	Fra	5/81	1/81	100	CP1	PWR	890
	● Unit 4	Fra	11/81	8/81	100	CP1	PWR	890
10J	**Fessenheim (Fessenheim, Haut-Rhin) [1760]**							
	● Unit 1	Fra	12/77	3/77	100	CP0	PWR	880
	● Unit 2	Fra	3/78	6/77	100	CP0	PWR	880
10K	**Flamanville (Flamanville, Manche) [2660 + 1600 = 4260]**							
	● Unit 1	Fra	12/86	9/85	100	P4	PWR	1330
	● Unit 2	Fra	3/87	6/86	100	P4	PWR	1330
	Unit 3	Areva	/13	/12	40	EPR	PWR	1600
10L	**Golfech (Valence, Tarn et Garonne) [2620]**							
	● Unit 1	Fra	2/91	4/90	100	P'4	PWR	1310
	● Unit 2	Fra	3/94	5/93	100	P'4	PWR	1310
10M	**Gravelines (Gravelines, Nord) [5460]**							
	● Unit B1	Fra	11/80	2/80	100	CP1	PWR	910
	● Unit B2	Fra	12/80	8/80	100	CP1	PWR	910
	● Unit B3	Fra	6/81	11/80	100	CP1	PWR	910
	● Unit B4	Fra	10/81	5/81	100	CP1	PWR	910
	● Unit B5	Fra	1/85	8/84	100	CP1	PWR	910
	● Unit B6	Fra	10/85	7/85	100	CP1	PWR	910
10N	**Nogent s/Seine (Nogent s/Seine, Aube) [2620]**							
	● Unit 1	Fra	2/88	9/87	100	P'4	PWR	1310
	● Unit 2	Fra	5/89	10/88	100	P'4	PWR	1310

		صافي القدرة	المفاعل النوع	المفاعل النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل البداية التجارية	التشغيل البداية الحرجية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
10O	**Paluel (Veulettes, Seine-Maritime) [5320]**								
	● Unit 1	1330	PWR	P4	100	2/85	5/84	Fra	Alstom, CM/Ballot/Chag
	● Unit 2	1330	PWR	P4	100	12/85	8/84	Fra	Alstom, CM/Ballot/Chag
	● Unit 3	1330	PWR	P4	100	2/86	8/85	Fra	Alstom, CM/Ballot/Chag
	● Unit 4	1330	PWR	P4	100	6/86	3/86	Fra	Alstom, CM/Ballot/Chag
10P	**Penly (Saint-Martin-en-Campagne, Seine-Maritime) [2660]**								
	● Unit 1	1330	PWR	P'4	100	12/90	4/90	Fra	Alstom, CM/Ballot/Chag
	● Unit 2	1330	PWR	P'4	100	11/92	1/92	Fra	Alstom, CM/Ballot/Chag
10Q	**Saint-Alban (Auberives, Isere) [2670]**								
	● Unit 1	1335	PWR	P4	100	5/86	8/85	Fra	Alstom, Bouygues/Bruyeres
	● Unit 2	1335	PWR	P4	100	3/87	6/86	Fra	Alstom, Bouygues/Bruyeres
10R	**Saint-Laurent (Saint-Laurent-des-Eaux, Loir-et-Cher) [1830]**								
	● Unit B1	915	PWR	CP2	100	8/83	1/81	Fra	Alstom, GTM
	● Unit B2	915	PWR	CP2	100	8/83	5/81	Fra	Alstom, GTM
10S	**Tricastin (Pierrelatte, Drome) [3660]**								
	● Unit 1	915	PWR	CP1	100	12/80	2/80	Fra	Alstom, C-B
	● Unit 2	915	PWR	CP1	100	12/80	7/80	Fra	Alstom, C-B
	● Unit 3	915	PWR	CP1	100	5/81	11/80	Fra	Alstom, C-B
	● Unit 4	915	PWR	CP1	100	11/81	5/81	Fra	Alstom, C-B

Germany

E.ON Kernkraft GmbH [7668]

11A	**Brokdorf (Brokdorf, S.-H.) [1410]**								
	● Unit 1	1410	PWR	(four-loop)	100	12/86	10/86	KWU	KWU
11B	**Grafenrheinfeld KKG (Grafenrheinfeld, Ba.) [1275]**								
	● Unit 1	1275	PWR	(four-loop)	100	6/82	12/81	KWU	KWU
11C	**Grohnde (Emmerthal, Nied.) [1360]**								
	● Unit 1	1360	PWR	(four-loop)	100	2/85	9/84	KWU	KWU
11D	**Isar (Essenbach, Ba.) [2278]**								
	● Unit 1	878	BWR	BWR-69	100	3/79	11/77	KWU	KWU
	● Unit 2	1400	PWR	Konvoi	100	4/88	1/88	KWU	KWU
11E	**Unterweser (Stadland, Nied.) [1345]**								
	● Unit 1	1345	PWR	(four-loop)	100	9/79	9/78	KWU	Arge/Kernkraftwerk Unterweser GmbH

EnBW Kernkraft GmbH

11F	**Neckar (Neckarwestheim, B.-W.) [2054]**								
	● Unit 1	785	PWR	(three-loop)	100	12/76	5/76	KWU	KWU
	● Unit 2	1269	PWR	Konvoi	100	4/89	12/88	KWU	KWU

EnBW Kraftwerke AG

11G	**Philippsburg (Philippsburg, B.-W.) [2282]**								
	● Unit 1	890	BWR	BWR-69	100	2/80	3/79	KWU	KWU
	● Unit 2	1392	PWR	(four-loop)	100	4/85	12/84	KWU	KWU

Kernkraftwerk Gundremmingen GmbH

11H	**Gundremmingen (Gundremmingen, Ba.) [2572]**								
	● Block B	1284	BWR	BWR-72	100	7/84	3/84	KWU	Hochtief
	● Block C	1288	BWR	BWR-72	100	1/85	10/84	KWU	Hochtief

Kernkraftwerk Lippe-Ems GmbH

11I	**Emsland (Lingen, Nied.) [1329]**								
	● Unit 1	1329	PWR	Konvoi	100	7/88	4/88	KWU	KWU

RWE Power AG

11J	**Biblis (Biblis, Hessen) [2407]**								
	● Block A	1167	PWR	(four-loop)	100	2/75	7/74	KWU	Hochtief
	● Block B	1240	PWR	(four-loop)	100	1/77	3/76	KWU	Hochtief

Vattenfall Europe Nuclear Energy GmbH [2117]

11K	**Brunsbuettel (Brunsbuettel, S.-H.) [771]**								
	● Unit 1	771	BWR	BWR-69	100	6/76	2/77	KWU	KWU
11L	**Kruemmel (Geesthacht, S.-H.) [1346]**								
	● Unit 1	1346	BWR	BWR-69	100	9/83	3/84	KWU	KWU

BWRs: 6 operating (6457 MWe). **PWRs:** 11 operating (13 972 MWe).

يتبع

الأزرق: الوسعية العاملة والوشيكة. البرتقالي: الوسعية الوشيكة. الأخضر: وسعية التشغيل. ● الوحدات في حالة التشغيل التجاري

		صافي القدرة	المفاعل: النوع	المفاعل: النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل: الحرجية البدائية	التشغيل: البداية التجارية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
Hungary									
Hungarian Power Companies, Ltd.									
12A	**Paks (Paks, Tolna) [1829]**								
	● Unit 1	470	PWR	VVER-440/V213	100	12/82	8/83	AEE/Skoda	GVM, Eroterv
	● Unit 2	443	PWR	VVER-440/V213	100	8/84	11/84	AEE/Skoda	GVM, Eroterv
	● Unit 3	443	PWR	VVER-440/V213	100	9/86	12/86	AEE/Skoda	GVM, Eroterv
	● Unit 4	473	PWR	VVER-440/V213	100	8/87	11/87	AEE/Skoda	GVM, Eroterv
India									
Bharatiya Nabhikiya Vidyut Nigam Ltd.									
13A	**PFBR (Kalpakkam, Tamil Nadu) [500]**								
	Unit 1	500	LMFBR		55	9/11	3/12	Owner/L&T/BHEL	Owner, BHEL
Nuclear Power Corporation of India Ltd. [3732 + 5000 = 8732]									
13B	**Kaiga (Kaiga, Karnataka) [606 + 202 = 808]**								
	● Unit 1	202	PHWR	(four-loop)	100	9/00	11/00	Owner/others	Owner, BHEL
	● Unit 2	202	PHWR	(four-loop)	100	9/99	3/00	Owner/others	Owner, BHEL
	● Unit 3	202	PHWR	(four-loop)	100	/07	5/07	Owner/others	Owner, BHEL
	Unit 4	202	PHWR	(four-loop)	97.1	/10	5/10	Owner/others	Owner, BHEL
13C	**Kakrapar (Kakrapar, Gujarat) [404 + 1280 = 1684]**								
	● Unit 1	202	PHWR	(four-loop)	100	9/92	5/93	Owner/others	Owner, BHEL, HCC
	● Unit 2	202	PHWR	(four-loop)	100	1/95	9/95	Owner/others	Owner, BHEL, HCC
	Unit 3	640	PHWR	----------	0	-----	/14	Owner/others	Owner, L&T
	Unit 4	640	PHWR	----------	0	-----	/15	Owner/others	Owner, L&T
13D	**Kalpakkam (Kalpakkam, Tamil Nadu) [357]**								
	● Unit 1	155	PHWR	(eight-loop)	100	7/83	1/84	Owner/others	Owner, BHEL, EEC
	● Unit 2	202	PHWR	(eight-loop)	100	8/85	3/86	Owner/others	Owner, BHEL, EEC
13E	**Kudankulam (Kudankulam, Tamil Nadu) [1834]**								
	Unit 1	917	PWR	AES-92	94.2	/10	9/10	ASE	----------
	Unit 2	917	PWR	AES-92	85.4	/10	3/11	ASE	----------
13F	**Narora (Narora, Uttar Pradesh) [404]**								
	● Unit 1	202	PHWR	(four-loop)	100	3/89	1/91	Owner/others	Owner, BHEL, HCC
	● Unit 2	202	PHWR	(four-loop)	100	10/91	7/92	Owner/others	Owner, BHEL, HCC
13G	**Rajasthan (Kota, Rajasthan) [681 + 1684 = 2365]**								
	● Unit 1	90	PHWR	CANDU	100	8/72	2/73	AECL/DAE	Owner, BHEL, HCC
	● Unit 2	187	PHWR	CANDU	100	10/80	4/81	AECL/DAE	Owner, BHEL, HCC
	● Unit 3	202	PHWR	(four-loop)	100	12/99	6/00	Owner/others	Owner, BHEL
	● Unit 4	202	PHWR	(four-loop)	100	11/00	12/00	Owner/others	Owner, BHEL
	Unit 5	202	PHWR	(four-loop)	100	11/09	2/10	Owner/others	Owner, BHEL
	Unit 6	202	PHWR	(four-loop)	100	1/10	4/10	Owner/others	Owner, BHEL
	Unit 7	640	PHWR	----------	0	-----	/14	Owner/others	Owner, L&T
	Unit 8	640	PHWR	----------	0	-----	/15	Owner/others	Owner, L&T
13H	**Tarapur (Tarapur, Maharashtra) [1280]**								
	● Unit 1	150	BWR	BWR-1/Mark II	100	2/69	10/69	GE	Bechtel
	● Unit 2	150	BWR	BWR-1/Mark II	100	2/69	10/69	GE	Bechtel
	● Unit 3	490	PHWR	(two-loop)	100	5/06	8/06	Owner/others	Owner, BHEL
	● Unit 4	490	PHWR	(two-loop)	100	3/05	9/05	Owner/others	Owner, BHEL, others

BWRS: 2 operating (300 MWe). **LMFBRs:** 1 forthcoming (500 MWe). **PHWRs:** 15 operating (3432 MWe), 7 forthcoming (3166 MWe). **PWRs:** 2 forthcoming (1834 MWe).

Iran

Nuclear Power Production and Development Company of Iran/Atomic Energy Orçanization of Iran

14A	**Bushehr (Bushehr, Bushehr) [915]**								
	Unit 1	915	PWR	VVER-1000	99	/10	/10	ASE	ASE

Japan

Chubu Electric Power Co., Inc.

15A	**Hamaoka (Omaezaki, Shizuoka) [3473]**								
	● Unit 3	1056	BWR	BWR-5	100	11/86	8/87	Toshiba	Hitachi, Kajima/Tak/Shim/others
	● Unit 4	1092	BWR	BWR-5	100	12/92	9/93	Toshiba	Hitachi, Kajima/Tak/Shim/others
	● Unit 5	1325	BWR	ABWR	100	3/04	1/05	Toshiba	Hitachi, Kajima/Tak/Shim/others

		صافي القدرة	المفاعل النوع	المفاعل النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل الحرجية البداية	التشغيل التجارية البداية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
Chugoku Electric Power Co., Inc.									
15B	**Shimane (Matsue-shi, Shimane) [1228 + 1373 = 2601]**								
	● Unit 1	439	BWR	BWR-3	100	6/73	3/74	Hitachi	Kajima/Taisei/Goyou/Maeda/Kum
	● Unit 2	789	BWR	BWR-5	100	5/88	2/89	Hitachi	Kajima/Shim/Okumura
	Unit 3	1373	BWR	ABWR	76.7	-----	12/11	Hitachi	----------
Hokkaido Electric Power Co., Inc.									
15C	**Tomari (Tomari-mura, Hokkaido) [1966]**								
	● Unit 1	550	PWR	(two-loop)	100	11/88	6/89	MHI	MAPI, Taisei/Obay/Shim
	● Unit 2	550	PWR	(two-loop)	100	7/90	4/91	MHI	MAPI, Taisei/Obay/Shim
	● Unit 3	866	PWR	(three-loop)	100	3/09	12/09	MHI	MAPI, Taisei/Obay/Shim
Hokuriku Electric Power Co.									
15D	**Shika (Shika-machi, Ishikawa) [1809]**								
	● Unit 1	505	BWR	BWR-5	100	11/92	7/93	Hitachi	Kajima
	● Unit 2	1304	BWR	ABWR	100	5/05	3/06	Hitachi	Kajima
J-Power									
15E	**Ohma (Ohma, Aomori) [1383]**								
	Unit 1	1383	BWR	ABWR	0	-----	11/14	Toshiba/Hitachi	----------
Japan Atomic Energy Agency									
15F	**Monju FBR (Tsuruga, Fukui) [246]**								
	Unit 1	246	LMFBR	----------	100	4/94	indef.	Toshiba/Hitachi/MHI/Fuji	Owner, FBEC, Obay/Taisei/Kajima
Japan Atomic Power Co. [2512]									
15G	**Tokai (Tokai-mura, Ibaraki) [1056]**								
	● Unit 2	1056	BWR	BWR-5	100	1/78	11/78	GE	Ebasco, Shim/Kajima
15H	**Tsuruga (Tsuruga-shi, Fukui) [1456]**								
	● Unit 1	341	BWR	BWR-2	100	10/69	3/70	GE	Ebasco, Tak/Kum
	● Unit 2	1115	PWR	(four-loop)	100	5/86	2/87	MHI	MAPI, Obay/Tak/Tobishima/ Shim/Kum/Maeda/Haz
Kansai Electric Power Co., Inc. [9284]									
15I	**Mihama (Mihama-cho, Fukui) [1570]**								
	● Unit 1	320	PWR	(two-loop)	100	7/70	11/70	W	MHI, Owner, Gilbert, Maeda/Kum/Obay
	● Unit 2	470	PWR	(two-loop)	100	4/72	7/72	MHI	Owner, MAPI, Maeda/Kum/Obay
	● Unit 3	780	PWR	(three-loop)	100	1/76	12/76	MHI	Owner, MAPI, Haz/Tak
15J	**Ohi (Ohi-cho, Fukui) [4494]**								
	● Unit 1	1120	PWR	(four-loop)	100	12/77	3/79	W	MHI, Owner, Gilbert, Kum/Obay
	● Unit 2	1120	PWR	(four-loop)	100	9/78	12/79	W	MHI, Owner, Gilbert, Kum/Obay
	● Unit 3	1127	PWR	(four-loop)	100	5/91	12/91	MHI	Owner, MAPI
	● Unit 4	1127	PWR	(four-loop)	100	6/92	2/93	MHI	Owner, MAPI
15K	**Takahama (Takahama-cho, Fukui) [3220]**								
	● Unit 1	780	PWR	(three-loop)	100	3/74	11/74	W	MHI, Owner, Gilbert, Maeda/Haz/Taisei
	● Unit 2	780	PWR	(three-loop)	100	12/74	11/75	MHI	Owner, MAPI, Maeda/Haz/Taisei
	● Unit 3	830	PWR	(three-loop)	100	4/84	1/85	MHI	Owner, MAPI, Maeda/Haz/Kum/Tak/Obay/Taisei
	● Unit 4	830	PWR	(three-loop)	100	10/84	6/85	MHI	Owner, MAPI, Maeda/Haz/Kum/Tak/Obay/Taisei
Kyushu Electric Power Co., Inc. [5004]									
15L	**Genkai (Genkai, Saga) [3312]**								
	● Unit 1	529	PWR	(two-loop)	100	1/75	10/75	MHI	MAPI, Obay
	● Unit 2	529	PWR	(two-loop)	100	5/80	3/81	MHI	MAPI, Obay
	● Unit 3	1127	PWR	(four-loop)	100	5/93	3/94	MHI	MAPI, Obay/Shim/Tak
	● Unit 4	1127	PWR	(four-loop)	100	10/96	7/97	MHI	MAPI, Obay/Shim/Tak
15M	**Sendai (Satsumasendai, Kagoshima) [1692]**								
	● Unit 1	846	PWR	(three-loop)	100	8/83	7/84	MHI	MAPI, Taisei
	● Unit 2	846	PWR	(three-loop)	100	3/85	11/85	MHI	MAPI, Taisei
Shikoku Electric Power Co., Inc.									
15N	**Ikata (Ikata-cho, Ehime) [1922]**								
	● Unit 1	538	PWR	(two-loop)	100	1/77	9/77	MHI	MAPI, Taisei/Tak/Kajima
	● Unit 2	538	PWR	(two-loop)	100	7/81	3/82	MHI	MAPI, Taisei/Kajima/Okumura
	● Unit 3	846	PWR	(three-loop)	100	2/94	12/94	MHI	MAPI, Taisei/Nish/Haz/Okumura

يتبع

الأزرق: الوسعية العاملة والوشيكة. البرتقالي: الوسعية الوشيكة. الأخضر: وسعية التشغيل. ● الوحدات في حالة التشغيل التجاري

JAPAN, cont'd	صافي القدرة	المفاعل النوع	المفاعل النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل الحرجية البدائية	التشغيل البداية التجارية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
Tohoku Electric Power Co., Inc. [3157]								
Higashidori (Higashidori, Aomori) [1067]								
15O ● Unit 1	1067	BWR	BWR-5	100	1/05	12/05	Toshiba	Kajima/Obay
Onagawa (Onagawa, Miyagi) [2090]								
15P ● Unit 1	498	BWR	BWR-5	100	10/83	6/84	Toshiba	Kajima
● Unit 2	796	BWR	BWR-5	100	11/94	7/95	Toshiba	Kajima/Haz/Nish
● Unit 3	796	BWR	BWR-5	100	4/01	1/02	Toshiba	Hitachi, Kajima/Haz/Nish
Tokyo Electric Power Co. [16 779]								
Fukushima Daiichi (Ohkuma, Fukushima) [4546]								
15Q ● Unit 1	439	BWR	BWR-3	100	10/70	3/71	GE	Ebasco, Kajima
● Unit 2	760	BWR	BWR-4	100	5/73	7/74	GE	Ebasco, Kajima
● Unit 3	760	BWR	BWR-4	100	9/74	3/76	Toshiba	Kajima
● Unit 4	760	BWR	BWR-4	100	1/78	10/78	Hitachi	Kajima
● Unit 5	760	BWR	BWR-4	100	8/77	4/78	Toshiba	Kajima
● Unit 6	1067	BWR	BWR-5	100	3/79	10/79	GE	Ebasco, Kajima
Fukushima Daini (Naraha, Fukushima) [4268]								
15R ● Unit 1	1067	BWR	BWR-5	100	6/81	4/82	Toshiba	Kajima
● Unit 2	1067	BWR	BWR-5	100	4/83	2/84	Hitachi	Kajima
● Unit 3	1067	BWR	BWR-5	100	10/84	6/85	Toshiba	Kajima
● Unit 4	1067	BWR	BWR-5	100	10/86	8/87	Hitachi	Tak/Shim
Kashiwazaki Kariwa-1 (Kashiwazaki, Niigata) [7965]								
15S ● Unit 1	1067	BWR	BWR-5	100	12/84	9/85	Toshiba	Kajima
● Unit 2	1067	BWR	BWR-5	100	11/89	9/90	Toshiba	Kajima
● Unit 3	1067	BWR	BWR-5	100	10/92	8/93	Toshiba	Kajima
● Unit 4	1067	BWR	BWR-5	100	11/93	8/94	Hitachi	Tak/Shim
● Unit 5	1067	BWR	BWR-5	100	7/89	4/90	Hitachi	Tak/Shim
● Unit 6	1315	BWR	ABWR	100	12/95	11/96	Toshiba/GE	Hitachi, Kajima/Haz/Kum
● Unit 7	1315	BWR	ABWR	100	11/96	7/97	Hitachi/GE	Toshiba, Shim/Tak/Maeda

BWRs: 30 operating (27 843 MWe), 2 forthcoming (2756 MWe). **LMFBRs:** 1 forthcoming (246 MWe). **PWRs:** 24 operating (19 291 MWe).

Mexico

Comision Federal de Electricidad

Laguna Verde (Laguna Verde, Veracruz) [1360]								
16A ● Unit 1	680	BWR	BWR-5	100	11/88	7/90	GE	MHI, Owner, Ebasco
● Unit 2	680	BWR	BWR-5	100	9/94	4/95	GE	MHI, Owner, Ebasco

Netherlands

N.V. Elektriciteits-Produktiemaatschappij Zuid - Nederland

Borssele (Borssele, Zeeland) [485]								
17A ● Unit 1	485	PWR	(two-loop)	100	6/73	10/73	KWU/RDM	Stork, KWU/Bredero

Pakistan

Pakistan Atomic Energy Commission [425 + 300 = 725]

Chasnupp (Mianwali, Punjab) [300 + 300 = 600]								
18A ● Unit 1	300	PWR	CNP-300	100	5/00	9/00	CNNC	CNNC
Unit 2	300	PWR	CNP-300	50	-----	9/11	CNNC	CNNC
Kanupp (Karachi, Sind) [125]								
18B ● Unit 1	125	PHWR	CANDU	100	8/71	12/72	GE Can	Hitachi

PHWRs: 1 operating (125 MWe). **PWRs:** 1 operating (300 MWe), 1 forthcoming (300 MWe).

Romania

Societatea Nationala "Nuclearelectrica" S.A.

Cernavoda (Cernavoda, Constanta) [1412 + 1860 = 3272]								
19A ● Unit 1	706	PHWR	CANDU-6	100	4/96	12/96	AECL/Vickers	GE, AAC
● Unit 2	706	PHWR	CANDU-6	100	5/07	10/07	AECL/Vickers	GE-SUA, General Turbo-Romania, ISPE
Unit 3	620	PHWR	CANDU-6	23	-----	/16	----------	----------
Unit 4	620	PHWR	CANDU-6	12	-----	/17	----------	----------
Unit 5	620	PHWR	CANDU-6	8	-----	indef.	----------	----------

		صافي القدرة	المفاعل النوع	المفاعل النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل الحرجية البداية	التشغيل التجارية البداية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
Russia									
Rosenergoatom [21 743 + 9210 = 30 953]									
20A	Balakovo (Balakovo, Saratov) [3800]								
	● Unit 1	950	PWR	VVER-1000/V320	100	12/85	5/86	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 2	950	PWR	VVER-1000/V320	100	10/87	1/88	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 3	950	PWR	VVER-1000/V320	100	12/88	4/89	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 4	950	PWR	VVER-1000/V320	100	3/93	4/93	MTM	KTZ, AEP, MPS
20B	Beloyarsk (Zarechnyy, Sverdlovsk) [560 + 750 = 1310]								
	● Unit 3	560	LMFBR	BN-600	100	2/80	11/81	MTM	Electrosila, AEP, MPS
	Unit 4	750	LMFBR	BN-800	12	-----	/12	OKMB	----------
20C	Bilibino (Bilibino, Chukotka) [44]								
	● Unit A	11	LGR	EGP-6	100	12/73	4/74	MTM	----------
	● Unit B	11	LGR	EGP-6	100	12/74	2/75	MTM	----------
	● Unit C	11	LGR	EGP-6	100	12/75	2/76	MTM	----------
	● Unit D	11	LGR	EGP-6	100	12/76	1/77	MTM	----------
20D	Kalinin (Udomlya, Tver) [2850 + 950 = 3800]								
	● Unit 1	950	PWR	VVER-1000/V338	100	4/84	6/85	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 2	950	PWR	VVER-1000/V338	100	11/86	3/87	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 3	950	PWR	VVER-1000/V338	100	11/04	11/05	MTM	KTZ, AEP, MPS
	Unit 4	950	PWR	VVER-1000/V338	70	-----	/11	MTM	KTZ, AEP, MPS
20E	Kola (Polyarnyye Zori, Murmansk) [1644]								
	● Unit 1	411	PWR	VVER-440/V230	100	6/73	12/73	MTM	Electrosila, AEP, MPS
	● Unit 2	411	PWR	VVER-440/V230	100	11/74	2/75	MTM	Electrosila, AEP, MPS
	● Unit 3	411	PWR	VVER-440/V230	100	2/81	12/82	MTM	Electrosila, AEP, MPS
	● Unit 4	411	PWR	VVER-440/V230	100	10/84	12/84	MTM	Electrosila, AEP, MPS
20F	Kursk (Kurchatov, Kursk) [3700]								
	● Unit 1	925	LGR	RBMK-1000	100	10/76	10/77	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 2	925	LGR	RBMK-1000	100	12/78	8/79	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 3	925	LGR	RBMK-1000	100	8/83	3/84	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 4	925	LGR	RBMK-1000	100	10/85	2/86	MTM	KTZ, AEP, MPS
20G	Leningrad (Sosnovyy Bor, St. Petersburg) [3700 + 2300 = 6000]								
	● Unit I-1	925	LGR	RBMK-1000	100	9/73	11/74	MTM	KTZ, MPS
	● Unit I-2	925	LGR	RBMK-1000	100	5/75	2/76	MTM	KTZ, MPS
	● Unit I-3	925	LGR	RBMK-1000	100	9/79	6/80	MTM	KTZ, MPS
	● Unit I-4	925	LGR	RBMK-1000	100	12/80	8/81	MTM	KTZ, MPS
	Unit II-1	1150	PWR	AES-2006	20	-----	/13	AEP	----------
	Unit II-2	1150	PWR	AES-2006	0	-----	/16	AEP	----------
20H	Novovoronezh (Novovoronezh, Voronezh) [1720 + 2300 = 4020]								
	● Unit I-3	385	PWR	VVER-440/V230	100	12/71	12/71	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit I-4	385	PWR	VVER-440/V230	100	12/72	12/72	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit I-5	950	PWR	VVER-1000/V320	100	4/80	4/80	MTM	KTZ, AEP, MPS
	Unit II-1	1150	PWR	AES-2006	30	-----	/12	AEP	----------
	Unit II-2	1150	PWR	AES-2006	0	-----	/15	AEP	----------
20I	Rostov (Volgodonsk, Rostov) [950 + 2850 = 3800]								
	● Unit 1	950	PWR	VVER-1000/V320	100	2/01	12/01	MTM	KTZ
	Unit 2	950	PWR	VVER-1000/V320	100	-----	/10	MTM	KTZ
	Unit 3	950	PWR	VVER-1000/V320	0	-----	/14	AEP	----------
	Unit 4	950	PWR	VVER-1000/V320	0	-----	/16	AEP	----------
20J	Smolensk (Desnogorsk, Smolensk) [2775]								
	● Unit 1	925	LGR	RBMK-1000	100	9/82	9/83	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 2	925	LGR	RBMK-1000	100	4/85	7/85	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 3	925	LGR	RBMK-1000	100	12/89	1/90	MTM	KTZ, AEP, MPS
20K	Vilyuchinsk (Vilyuchinsk, Kamchatka) [60]								
	Unit 1	30	PWR	(ship-borne)	40	-----	/12	OKBM	Owner
	Unit 2	30	PWR	(ship-borne)	40	-----	/12	OKBM	Owner

LGRs: 15 operating (10 219 MWe). **LMFBRs:** 1 operating (560 MWe), 1 forthcoming (750 MWe). **PWRs:** 15 operating (10 964 MWe), 10 forthcoming (8460 MWe)

Slovakia

Slovenske Elektrarne, a.s. [1705 + 810 = 2515]

21A	Bohunice (Trnava, Trnavsky kraj) [833]								
	● Unit 3	408	PWR	VVER-440/V213	100	8/84	2/85	Skoda	EGP, Hydrostav
	● Unit 4	425	PWR	VVER-440/V213	100	8/85	12/85	Skoda	EGP, Hydrostav

يتبع

الأزرق: الوسعية العاملة والوشيكة. البرتقالي: الوسعية الوشيكة. الأخضر: وسعية التشغيل. ● الوحدات في حالة التشغيل التجاري

		صافي القدرة	المفاعل النوع	المفاعل النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل الحرجية البدائية	التشغيل البداية التجارية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
SLOVAKIA, cont'd									
Slovenske Elektrarne, a.s., cont'd									
21B	**Mochovce (Mochovce, Nitriansky kraj) [872 + 810 = 1682]**								
	● Unit 1	436	PWR	VVER-440/V213	100	6/98	10/98	Skoda	EGP, Hydrostav
	● Unit 2	436	PWR	VVER-440/V213	100	12/99	4/00	Skoda	EGP, Hydrostav
	Unit 3	405	PWR	VVER-440/V213	40	-----	indef.	Skoda	EGP, Hydrostav
	Unit 4	405	PWR	VVER-440/V213	30	-----	indef.	Skoda	EGP, Hydrostav
Slovenia									
Nuklearna Elektrarna Krsko									
22A	**Krsko (Krsko, Vrbina) [666]**								
	● Unit 1	666	PWR	(two-loop)	100	9/81	1/83	W	Gilbert
South Africa									
Eskom									
23A	**Koeberg (Melkbosstrand, Cape) [1800]**								
	● Unit 1	900	PWR	(two-loop)	100	3/84	8/84	Fra	Alstom, W, Framateg
	● Unit 2	900	PWR	(two-loop)	100	7/85	11/85	Fra	Alstom, W, Framateg
South Korea									
Korea Hydro & Nuclear Power Co. [16 810 + 9600 = 26 410]									
24A	**Kori (Gijang, Busan) [2951]**								
	● Unit 1	556	PWR	(two-loop)	100	6/77	4/78	W	GEC, Gilbert
	● Unit 2	605	PWR	(two-loop)	100	4/83	7/83	W	GEC, Gilbert
	● Unit 3	895	PWR	(three-loop)	100	1/85	9/85	W	GEC, Bechtel, Hyundai
	● Unit 4	895	PWR	(three-loop)	100	10/85	4/86	W	GEC, Bechtel, Hyundai
24B	**Shin-Kori (Gijang, Busan) [4800]**								
	Unit 1	1000	PWR	OPR-1000	93	/10	12/10	Doosan	KOPEC, Hyundai/Daelim/SK
	Unit 2	1000	PWR	OPR-1000	93	/11	12/11	Doosan	KOPEC, Hyundai/Daelim/SK
	Unit 3	1400	PWR	APR-1400	44	/13	9/13	Doosan	KOPEC, Hyundai, SK
	Unit 4	1400	PWR	APR-1400	44	/14	9/14	Doosan	KOPEC, Hyundai, SK
24C	**Shin-Ulchin (Ulchin-gun, Gyeongsangbuk-do) [2800]**								
	Unit 1	1400	PWR	APR-1400	0	/15	12/15	Doosan	KOPEC
	Unit 2	1400	PWR	APR-1400	0	/16	12/16	Doosan	KOPEC
24D	**Shin-Wolsong (Gyeongjiu-si, Gyeongsangbuk-do) [2000]**								
	Unit 1	1000	PWR	OPR-1000	65	/11	3/12	Doosan	KOPEC, Daewoo/Samsung/LG
	Unit 2	1000	PWR	OPR-1000	65	/12	1/13	Doosan	KOPEC, Daewoo/Samsung/LG
24E	**Ulchin (Ulchin-gun, Gyeongsangbuk-do) [5680]**								
	● Unit 1	920	PWR	CP1	100	2/88	9/88	Fra	Alstom, Dong Ah/Hanjung
	● Unit 2	920	PWR	CP1	100	2/89	9/89	Fra	Alstom, Dong Ah/Hanjung
	● Unit 3	960	PWR	System 80	100	12/97	8/98	Hanjung/C-E	GE, KOPEC/S&L, Dong Ah/Hanjung
	● Unit 4	960	PWR	System 80	100	12/98	12/99	Hanjung/C-E	GE, KOPEC/S&L, Dong Ah/Hanjung
	● Unit 5	960	PWR	OPR-1000	100	11/03	7/04	Doosan	KOPEC, Dong Ah/Doosan/Samsung
	● Unit 6	960	PWR	OPR-1000	100	12/04	6/05	Doosan	KOPEC, Dong Ah/Doosan/Samsung
24F	**Wolsong (Gyeongjiu-si, Gyeongsangbuk-do) [2579]**								
	● Unit 1	629	PHWR	CANDU-6	100	11/82	4/83	AECL	NEI-P
	● Unit 2	650	PHWR	CANDU-6	100	1/97	7/97	AECL/Hanjung	GE, AECL, KOPEC, Hyundai
	● Unit 3	650	PHWR	CANDU-6	100	2/98	7/98	AECL/Hanjung	GE, AECL, KOPEC, Daewoo
	● Unit 4	650	PHWR	CANDU-6	100	4/99	10/99	AECL/Hanjung	GE, AECL, KOPEC, Daewoo
24G	**Yonggwang (Yonggwang-gun, Geonnam) [5600]**								
	● Unit 1	900	PWR	(three-loop)	100	1/86	8/86	W	Bechtel, Hyundai
	● Unit 2	900	PWR	(three-loop)	100	10/86	6/87	W	Bechtel, Hyundai
	● Unit 3	950	PWR	OPR-1000	100	10/94	3/95	Hanjung/C-E	GE, KOPEC/S&L, Hyundai
	● Unit 4	950	PWR	OPR-1000	100	7/95	1/96	Hanjung/C-E	GE, KOPEC/S&L, Hyundai
	● Unit 5	950	PWR	OPR-1000	100	11/01	5/02	Doosan	KOPEC, Hyundai/Daelim
	● Unit 6	950	PWR	OPR-1000	100	9/02	12/02	Doosan	KOPEC, Hyundai/Daelim

PHWRs: 4 operating (2579 MWe). **PWRs:** 16 operating (14 231 MWe), 8 forthcoming (9600 MWe).

Spain

Almaraz-Trillo, A.I.E. [2897]

25A	**Almaraz (Almaraz, Caceres) [1897]**								
	● Unit 1	947	PWR	(three-loop)	100	4/81	10/81	W	EA/others
	● Unit 2	950	PWR	(three-loop)	100	9/83	2/84	W	EA/others

		صافي القدرة	المفاعل النوع	المفاعل النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل الحرجية البدائية	التشغيل البداية التجارية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
25B	**Trillo (Trillo, Guadalajara) [1000]**								
	● Unit 1	1000	PWR	(three-loop)	100	5/88	8/88	KWU/ENSA	ENB, EA/others
	Asociación Nuclear Ascó-Vandellos II, A.I.E. [3033]								
25C	**Asco (Asco, Tarragona) [1988]**								
	● Unit 1	996	PWR	(three-loop)	100	6/83	12/84	W	ENB, Bechtel, Initec, IyP, Fra, Siemens
	● Unit 2	992	PWR	(three-loop)	100	9/85	3/86	W	ENB, Bechtel, Initec, IyP, Fra, Siemens
25D	**Vandellos (Vandellos, Tarragona) [1045]**								
	● Unit 2	1045	PWR	(three-loop)	100	11/87	3/88	W	ENB, Initec/Bechtel, VANEA
	Iberdrola, S.A.								
25E	**Cofrentes (Cofrentes, Valencia) [1063]**								
	● Unit 1	1063	BWR	BWR-6	100	8/84	3/85	GE	EA/Sener/G&H, EyT
	Nuclenor, S.A.								
25F	**Santa Maria de Garona (Santa Maria de Garona, Burgos) [446]**								
	● Unit 1	446	BWR	BWR-3	100	11/70	5/71	GE	Ebasco

BWRs: 2 operating (1509 MWe). **PWRs:** 6 operating (5930 MWe).

Sweden

Forsmark Kraftgrupp AB

26A	**Forsmark (Forsmark, Uppsala) [3152]**								
	● Unit 1	1011	BWR	BWR 75	100	4/80	12/80	ABB-Atom	AA/SV/SL
	● Unit 2	951	BWR	BWR 75	100	11/80	7/81	ABB-Atom	AA/SV/SL
	● Unit 3	1190	BWR	BWR 75	100	10/84	8/85	ABB-Atom	AA/SV/SL
	OKG Aktiebolag								
26B	**Oskarshamn (Oskarshamn, Kalmar) [2229]**								
	● Unit 1	467	BWR	----------	100	12/70	2/72	ABB-Atom	AA, SL, Armerad-Betong
	● Unit 2	602	BWR	----------	100	3/74	1/75	ABB-Atom	SL, VBB, Owner, Armerad-Betong
	● Unit 3	1160	BWR	BWR 75	100	12/84	8/85	ABB-Atom	AA/SL/Owner/VBB, ABV/SCG/Boliden-WP-Contech
	Ringhals AB								
26C	**Ringhals (Varberg, Halland) [3535]**								
	● Unit 1	830	BWR	----------	100	8/73	1/76	ABB-Atom	EE, AA/SV
	● Unit 2	875	PWR	(three-loop)	100	6/74	5/75	W	SV/G&H/SL
	● Unit 3	915	PWR	(three-loop)	100	7/80	9/81	W	SL, VBB-TE, Fra, Siemens, SV
	● Unit 4	915	PWR	(three-loop)	100	5/82	11/83	W	VBB-TE/SL, SV

BWRs: 7 operating (6211 MWe). **PWRs:** 3 operating (2705 MWe).

Switzerland

BKW FMB Energie AG

27A	**Muehleberg (Muehleberg, Bern) [355]**								
	● Unit 1	355	BWR	BWR-4	100	3/71	11/72	GETSCO	BBC/E&B/GETSCO
	Kernkraftwerk Goesgen-Daeniken AG								
27B	**Goesgen (Daeniken, Solothurn) [970]**								
	● Unit 1	970	PWR	(three-loop)	100	1/79	11/79	KWU	KWU
	Kernkraftwerk Leibstadt AG								
27C	**Leibstadt (Leibstadt, Aargau) [1165]**								
	● Unit 1	1165	BWR	BWR-6	100	3/84	12/84	GETSCO	BBC/GETSCO/EWI
	Nordostschweizerische Kraftwerk AG								
27D	**Beznau (Doettingen, Aargau) [730]**								
	● Unit 1	365	PWR	(two-loop)	100	6/69	12/69	W	ABB, G&H/BBC, Zschokke
	● Unit 2	365	PWR	(two-loop)	100	10/71	3/72	W	ABB, G&H/BBC, Zschokke

BWRs: 2 operating (1520 MWe). **PWRs:** 3 operating (1700 MWe).

Taiwan, China

Taiwan Power Co. [4884 + 2600= 7484]

28A	**Chinshan (Chinshan, Taipei) [1208]**								
	● Unit 1	604	BWR	BWR-4	100	10/77	12/78	GE	W, Ebasco, Owner
	● Unit 2	604	BWR	BWR-4	100	11/78	7/79	GE	W, Ebasco, Owner

يتبع

الأزرق: الوسعية العاملة والوشيكة. البرتقالي: الوسعية الوشيكة. الأخضر: وسعية التشغيل. ● الوحدات في حالة التشغيل التجاري

		صافي القدرة	المفاعل النوع	المفاعل النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل الحرجية البدائية	التشغيل البداية التجارية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
TAIWAN, CHINA, cont'd									
Taiwan Power Co., cont'd									
28B	**Kuosheng (Kuosheng, Wang-Li, Taipei) [1896]**								
	● Unit 1	948	BWR	BWR-6	100	2/81	12/81	GE	W, Bechtel, Owner
	● Unit 2	948	BWR	BWR-6	100	3/82	3/83	GE	W, Bechtel, Owner
28C	**Lungmen (Kungliao, Taipei) [2600]**								
	Unit 1	1300	BWR	ABWR	95	-----	/11	GE	MHI, S&W, Owner
	Unit 2	1300	BWR	ABWR	85	-----	/12	GE	MHI, S&W, Owner
28D	**Maanshan (Hengchun, Pingtung) [1780]**								
	● Unit 1	890	PWR	(three-loop)	100	3/84	7/84	W	GE, Bechtel, Owner
	● Unit 2	890	PWR	(three-loop)	100	2/85	5/85	W	GE, Bechtel, Owner

BWRs: 4 operating (3104 MWe), 2 forthcoming (2600 MWe). **PWRs:** 2 operating (1780 MWe).

Ukraine

Energoatom [13 095 + 2850 = 15 945]

29A	**Khmelnitsky (Neteshin, Khmelnitsky) [1900 + 1900 = 3800]**								
	● Unit 1	950	PWR	VVER-1000/V320	100	12/87	8/88	MTM	LMZ, AEP, MPS
	● Unit 2	950	PWR	VVER-1000/V320	100	/04	12/05	MTM	LMZ, AEP, MPS
	Unit 3	950	PWR	VVER-1000/V320	30	-----	indef.	MTM	LMZ, AEP, MPS
	Unit 4	950	PWR	VVER-1000/V320	15	-----	indef.	MTM	LMZ, AEP, MPS
29B	**Rovno (Kuznetsovsk, Rovno) [2645]**								
	● Unit 1	361	PWR	VVER-440/V213	100	12/80	9/81	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 2	384	PWR	VVER-440/V213	100	12/81	7/82	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 3	950	PWR	VVER-1000/V320	100	11/86	5/87	MTM	LMZ, AEP, MPS
	● Unit 4	950	PWR	VVER-1000/V320	100	10/01	4/06	MTM	LMZ, AEP, MPS
29C	**South Ukraine (Konstantinovka, Nikolaev) [2850 + 950 = 3800]**								
	● Unit 1	950	PWR	VVER-1000/V302	100	12/82	10/83	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 2	950	PWR	VVER-1000/V338	100	12/84	4/85	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 3	950	PWR	VVER-1000/V320	100	9/89	12/89	MTM	LMZ, AEP, MPS
	Unit 4	950	PWR	VVER-1000/V320	-----	-----	indef.	MTM	LMZ, AEP, MPS
29D	**Zaporozhye (Energodar, Zaporozhye) [5700]**								
	● Unit 1	950	PWR	VVER-1000/V320	100	11/84	4/85	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 2	950	PWR	VVER-1000/V320	100	6/85	10/85	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 3	950	PWR	VVER-1000/V320	100	12/86	1/87	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 4	950	PWR	VVER-1000/V320	100	12/87	1/88	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 5	950	PWR	VVER-1000/V320	100	6/89	10/89	MTM	KTZ, AEP, MPS
	● Unit 6	950	PWR	VVER-1000/V320	100	10/95	9/96	MTM	KTZ, AEP, MPS

United Arab Emirates

Emirates Nuclear Energy Corp. [5600]

30A	**Plant A (site to be determined) [2800]**								
	Unit 1	1400	PWR	APR-1400	0	-----	/17	Doosan	KOPEC, Hyundai, Samsung, W
	Unit 2	1400	PWR	APR-1400	0	-----	/20	Doosan	KOPEC, Hyundai, Samsung, W
30B	**Plant B (site to be determined) [2800]**								
	Unit 1	1400	PWR	APR-1400	0	-----	/20	Doosan	KOPEC, Hyundai, Samsung, W
	Unit 2	1400	PWR	APR-1400	0	-----	/20	Doosan	KOPEC, Hyundai, Samsung, W

United Kingdom

British Energy Group plc [9568]

31A	**Dungeness (Lydd, Kent) [1110]**								
	● Unit B1	555	GCR	AGR	100	12/82	4/85	APC	CAP
	● Unit B2	555	GCR	AGR	100	12/85	12/85	APC	CAP
31B	**Hartlepool (Hartlepool, Cleveland) [1210]**								
	● Unit 1	605	GCR	AGR	100	6/83	8/83	NNC	GEC
	● Unit 2	605	GCR	AGR	100	9/84	10/84	NNC	GEC
31C	**Heysham (Heysham, Lancashire) [2400]**								
	● Unit A1	575	GCR	AGR	100	4/83	7/83	NNC	GEC
	● Unit A2	575	GCR	AGR	100	6/84	10/84	NNC	GEC
	● Unit B1	625	GCR	AGR	100	6/88	7/88	NNC	NEI, CEGB
	● Unit B2	625	GCR	AGR	100	11/88	11/88	NNC	NEI, CEGB
31D	**Hinkley Point (Hinkley Point, Somerset) [1220]**								
	● Unit B1	610	GCR	AGR	100	9/76	10/78	NPC	AEI/GEC
	● Unit B2	610	GCR	AGR	100	2/76	9/76	NPC	AEI/GEC

		صافي القدرة	المفاعل النوع	المفاعل النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل الحرجية البدائية	التشغيل البداية التجارية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
31E	**Hunterston (Ayrshire, Strathclyde) [1190]**								
	● Unit B1	595	GCR	AGR	100	1/76	6/76	TNPG	CAP
	● Unit B2	595	GCR	AGR	100	3/77	3/77	TNPG	CAP
31F	**Sizewell (Sizewell, Suffolk) [1188]**								
	● Unit B	1188	PWR	(four-loop)	100	1/95	5/95	PPP	GEC, NNC, JL
31G	**Torness (Dunbar, East Lothian) [1250]**								
	● Unit 1	625	GCR	AGR	100	9/87	5/88	NNC	GEC
	● Unit 2	625	GCR	AGR	100	12/88	2/89	NNC	GEC
Magnox North Ltd. [1414]									
31H	**Oldbury (Oldbury, Avon) [434]**								
	● Unit 1	217	GCR	Magnox	100	8/67	12/67	TNPG	AEI/CAP, McAlpine
	● Unit 2	217	GCR	Magnox	100	12/67	9/68	TNPG	AEI/CAP, McAlpine
31I	**Wylfa (Anglesey, Wales) [980]**								
	● Unit 1	490	GCR	Magnox	100	12/69	11/71	EE/B&W/TW	EE/BPL/TW
	● Unit 2	490	GCR	Magnox	100	9/70	1/72	EE/B&W/TW	EE/BPL/TW

GCRs: 18 operating (9794 MWe). **PWRs:** 1 operating (1188 MWe).

United States

AmerenUE

1	**Callaway (Fulton, Mo.) [1228]**								
	● Unit 1	1228	PWR	SNUPPS	100	10/84	4/85	W	GE, Bechtel, Daniel

Arizona Public Service Co.

2	**Palo Verde (Wintersburg, Ariz.) [4003]**								
	● Unit 1	1333	PWR	System 80	100	5/85	1/86	C-E	GE, Bechtel
	● Unit 2	1336	PWR	System 80	100	4/86	9/86	C-E	GE, Bechtel
	● Unit 3	1334	PWR	System 80	100	10/87	1/88	C-E	GE, Bechtel

Constellation Nuclear [4031.3]

3	**Calvert Cliffs (Lusby, Md.) [1690]**								
	● Unit 1	845	PWR	(two-loop)	100	10/74	5/75	C-E	GE, Bechtel
	● Unit 2	845	PWR	(two-loop)	100	11/76	4/77	C-E	GE, Bechtel
4	**Ginna (Ontario, N.Y.) [585]**								
	● Unit 1	585	PWR	(two-loop)	100	11/69	7/70	W	Gilbert, Bechtel
5	**Nine Mile Point (Scriba, N.Y.) [1756.3]**								
	● Unit 1	613	BWR	BWR-2	100	9/69	12/69	GE	NiMo, S&W
	● Unit 2	1143.3	BWR	BWR-5	100	5/87	4/88	GE	S&W

Detroit Edison Co.

6	**Fermi (Newport, Mich.) [1150]**								
	● Unit 2	1150	BWR	BWR-4	100	6/85	1/88	GE	Alstom, Owner, Daniel

Dominion Generation [6088.5]

7	**Kewaunee (Carlton, Wis.) [574]**								
	● Unit 1	574	PWR	(two-loop)	100	3/74	6/74	W	Pioneer
8	**Millstone (Waterford, Conn.) [2112.5]**								
	● Unit 2	883.5	PWR	(two-loop)	100	10/75	12/75	C-E	GE, Bechtel
	● Unit 3	1229	PWR	(four-loop)	100	1/86	4/86	W	GE, S&W
9	**North Anna (Mineral, Va.) [1826]**								
	● Unit 1	913	PWR	(three-loop)	100	4/78	6/78	W	S&W
	● Unit 2	913	PWR	(three-loop)	100	6/80	12/80	W	S&W
10	**Surry (Gravel Neck, Va.) [1576]**								
	● Unit 1	788	PWR	(three-loop)	100	7/72	12/72	W	S&W
	● Unit 2	788	PWR	(three-loop)	100	3/73	5/73	W	S&W

Duke Power Co. [7308]

11	**Catawba (Clover, S.C.) [2290]**								
	● Unit 1	1145	PWR	(four-loop)	100	1/85	6/85	W	GE, Owner
	● Unit 2	1145	PWR	(four-loop)	100	5/86	8/86	W	GE, Owner
12	**McGuire (Cornelius, N.C.) [2360]**								
	● Unit 1	1180	PWR	(four-loop)	100	8/81	12/81	W	Owner
	● Unit 2	1180	PWR	(four-loop)	100	5/83	3/84	W	Owner

يتبع

الأزرق: الوسعية العاملة والوشيكة. البرتقالي: الوسعية الوشيكة. الأخضر: وسعية التشغيل. ● الوحدات في حالة التشغيل التجاري

	UNITED STATES, cont'd	صافي القدرة	المفاعل النوع	المفاعل النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل الحرجية البدائية	التشغيل البداية التجارية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
	Duke Power Co., cont'd								
13	**Oconee (Seneca, S.C.) [2658]**								
	● Unit 1	886	PWR	(two-loop)	100	4/73	7/73	B&W	GE, Bechtel, Owner
	● Unit 2	886	PWR	(two-loop)	100	11/73	9/74	B&W	GE, Bechtel, Owner
	● Unit 3	886	PWR	(two-loop)	100	9/74	12/74	B&W	GE, Bechtel, Owner
	Energy Northwest								
14	**Columbia (Richland, Wash.) [1153]**								
	● Unit 1	1153	BWR	BWR-5	100	1/84	12/84	GE	W, B&R, Bechtel
	Entergy [10 312]								
15	**Arkansas Nuclear One (Russellville, Ark.) [1882]**								
	● Unit 1	850	PWR	(two-loop)	100	8/74	12/74	B&W	W, Bechtel
	● Unit 2	1032	PWR	(two-loop)	100	12/78	3/80	C-E	GE, Bechtel
16	**FitzPatrick (Scriba, N.Y.) [816]**								
	● Unit 1	816	BWR	BWR-4	100	11/74	7/75	GE	S&W
17	**Grand Gulf (Port Gibson, Miss.) [1279]**								
	● Unit 1	1279	BWR	BWR-6	100	8/82	7/85	GE	Allis, Bechtel
18	**Indian Point (Buchanan, N.Y.) [2083]**								
	● Unit 2	1035	PWR	(four-loop)	100	5/73	8/74	W	GE, UE&C, Wedco
	● Unit 3	1048	PWR	(four-loop)	100	4/76	8/76	W	UE&C, Wedco
19	**Palisades (South Haven, Mich.) [805]**								
	● Unit 1	805	PWR	(two-loop)	100	5/71	12/71	C-E	W, Bechtel
20	**Pilgrim (Plymouth, Mass.) [690]**								
	● Unit 1	690	BWR	BWR-3	100	6/72	12/72	GE	Bechtel
21	**River Bend (St. Francisville, La.) [967]**								
	● Unit 1	967	BWR	BWR-6	100	10/85	6/86	GE	S&W
22	**Vermont Yankee (Vernon, Vt.) [617]**								
	● Unit 1	617	BWR	BWR-4	100	3/72	11/72	GE	Ebasco
23	**Waterford (Taft, La.) [1173]**								
	● Unit 3	1173	PWR	(two-loop)	100	3/85	9/85	C-E	W, Ebasco
	Exelon Generation [17 652]								
24	**Braidwood (Braidwood, Ill.) [2342]**								
	● Unit 1	1187	PWR	(four-loop)	100	5/87	7/88	W	S&L, ComEd
	● Unit 2	1155	PWR	(four-loop)	100	3/88	10/88	W	S&L, ComEd
25	**Byron (Byron, Ill.) [2342]**								
	● Unit 1	1187	PWR	(four-loop)	100	2/85	9/85	W	S&L, ComEd
	● Unit 2	1155	PWR	(four-loop)	100	1/87	8/87	W	S&L, ComEd
26	**Clinton (Clinton, Ill.) [1062]**								
	● Unit 1	1062	BWR	BWR-6	100	4/87	11/87	GE	S&L, Baldwin
27	**Dresden (Morris, Ill.) [1734]**								
	● Unit 2	867	BWR	BWR-3	100	1/70	6/70	GE	S&L, UE&C
	● Unit 3	867	BWR	BWR-3	100	1/71	11/71	GE	S&L, UE&C
28	**LaSalle (Seneca, Ill.) [2308]**								
	● Unit 1	1154	BWR	BWR-5	100	6/82	1/84	GE	S&L, ComEd
	● Unit 2	1154	BWR	BWR-5	100	3/84	10/84	GE	S&L, ComEd
29	**Limerick (Pottstown, Pa.) [2382]**								
	● Unit 1	1191	BWR	BWR-4	100	12/84	2/86	GE	Bechtel
	● Unit 2	1191	BWR	BWR-4	100	8/89	1/90	GE	Bechtel
30	**Oyster Creek (Forked River, N.J.) [650]**								
	● Unit 1	650	BWR	BWR-2	100	5/69	12/69	GE	B&R
31	**Peach Bottom (Delta, Pa.) [2276]**								
	● Unit 2	1138	BWR	BWR-4	100	9/73	7/74	GE	Bechtel
	● Unit 3	1138	BWR	BWR-4	100	8/74	12/74	GE	Bechtel
32	**Quad Cities (Cordova, Ill.) [1737]**								
	● Unit 1	866	BWR	BWR-3	100	10/71	2/73	GE	S&L, UE&C
	● Unit 2	871	BWR	BWR-3	100	4/72	3/73	GE	S&L, UE&C
33	**Three Mile Island (Londonderry Twp., Pa.) [819]**								
	● Unit 1	819	PWR	(two-loop)	100	6/74	9/74	B&W	GE, Gilbert, UE&C, Areva

		صافي القدرة	المفاعل النوع	المفاعل النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل الحرجية البدائية	التشغيل البداية التجارية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
FirstEnergy Nuclear Operating Co. [3991]									
34	**Beaver Valley (Shippingport, Pa.) [1815]**								
	● Unit 1	911	PWR	(three-loop)	100	5/76	10/76	W	S&W/Duquesne
	● Unit 2	904	PWR	(three-loop)	100	8/87	11/87	W	S&W/Duquesne
35	**Davis-Besse (Oak Harbor, Ohio) [908]**								
	● Unit 1	908	PWR	(two-loop)	100	8/77	7/78	B&W	GE, Bechtel
36	**Perry (North Perry, Ohio) [1268]**								
	● Unit 2	1268	BWR	BWR-6	100	6/86	11/87	GE	Gilbert, CEI
FPL Group (including Florida Power & Light Co., NextEra Energy Resources) [6063.91]									
37	**Arnold (Palo, Iowa) [621.9]**								
	● Unit 1	621.9	BWR	BWR-4	100	3/74	2/75	GE	Bechtel
38	**Point Beach (Two Rivers, Wis.) [1044]**								
	● Unit 1	522	PWR	(two-loop)	100	11/70	12/70	W	Bechtel
	● Unit 2	522	PWR	(two-loop)	100	5/72	10/72	W	Bechtel
39	**Seabrook (Seabrook, N.H.) [1246]**								
	● Unit 1	1246	PWR	(four-loop)	100	6/89	8/90	W	GE, UE&C
40	**St. Lucie (Hutchinson Island, Fla.) [1712]**								
	● Unit 1	856	PWR	(two-loop)	100	4/76	12/76	C-E	W, Ebasco
	● Unit 2	856	PWR	(two-loop)	100	6/83	8/83	C-E	W, Ebasco
41	**Turkey Point (Florida City, Fla.) [1440]**								
	● Unit 3	720	PWR	(three-loop)	100	10/72	12/72	W	W, Bechtel
	● Unit 4	720	PWR	(three-loop)	100	6/73	9/73	W	W, Bechtel
Indiana Michigan Power Co.									
42	**Cook (Bridgman, Mich.) [2191]**								
	● Unit 1	1084	PWR	(four-loop)	100	1/75	8/75	W	GE, Siemens, Owner
	● Unit 2	1107	PWR	(four-loop)	100	3/78	7/78	W	BBC, Owner
Luminant Power									
43	**Comanche Peak (Glen Rose, Tex.) [2300]**								
	● Unit 1	1150	PWR	(four-loop)	100	4/90	8/90	W	Allis, G&H, Brown
	● Unit 2	1150	PWR	(four-loop)	100	3/93	8/93	W	Allis, G&H, Brown
Nebraska Public Power District									
44	**Cooper (Brownville, Nebr.) [815]**								
	● Unit 1	815	BWR	BWR-4	100	2/74	7/74	GE	W, B&R
Northern State Power Co.–Minnesota [1672]									
45	**Monticello (Monticello, Minn.) [600]**								
	● Unit 1	600	BWR	BWR-3	100	12/70	6/71	GE	Bechtel
46	**Prairie Island (Red Wing, Minn.) [1072]**								
	● Unit 1	536	PWR	(two-loop)	100	12/73	12/73	W	Pioneer
	● Unit 2	536	PWR	(two-loop)	100	12/74	12/74	W	Pioneer
Omaha Public Power District									
47	**Fort Calhoun (Fort Calhoun, Nebr.) [502]**								
	● Unit 1	502	PWR	(two-loop)	100	9/73	9/73	C-E	GE, G&H
Pacific Gas and Electric Co.									
48	**Diablo Canyon (Avila Beach, Calif.) [2289]**								
	● Unit 1	1138	PWR	(four-loop)	100	4/84	5/85	W	Owner
	● Unit 2	1151	PWR	(four-loop)	100	8/85	3/86	W	Owner
PPL Susquehanna LLC									
49	**Susquehanna (Berwick, Pa.) [2470]**								
	● Unit 1	1235	BWR	BWR-4	100	9/82	6/83	GE	Bechtel, Siemens
	● Unit 2	1235	BWR	BWR-4	100	5/84	2/85	GE	Bechtel, Siemens
Progress Energy [4529.7 + 2200 = 6729.7]									
50	**Brunswick (Southport, N.C.) [1963]**								
	● Unit 1	983	BWR	BWR-4	100	10/76	3/77	GE	UE&C, Brown
	● Unit 2	980	BWR	BWR-4	100	3/75	11/75	GE	UE&C, Brown
51	**Crystal River (Red Level, Fla.) [860]**								
	● Unit 3	860	PWR	(two-loop)	100	1/77	3/77	B&W	Siemens, Gilbert, Jones

يتبع

الأزرق: الوسعية العاملة والوشيكة. البرتقالي: الوسعية الوشيكة. الأخضر: وسعية التشغيل. ● الوحدات في حالة التشغيل التجاري

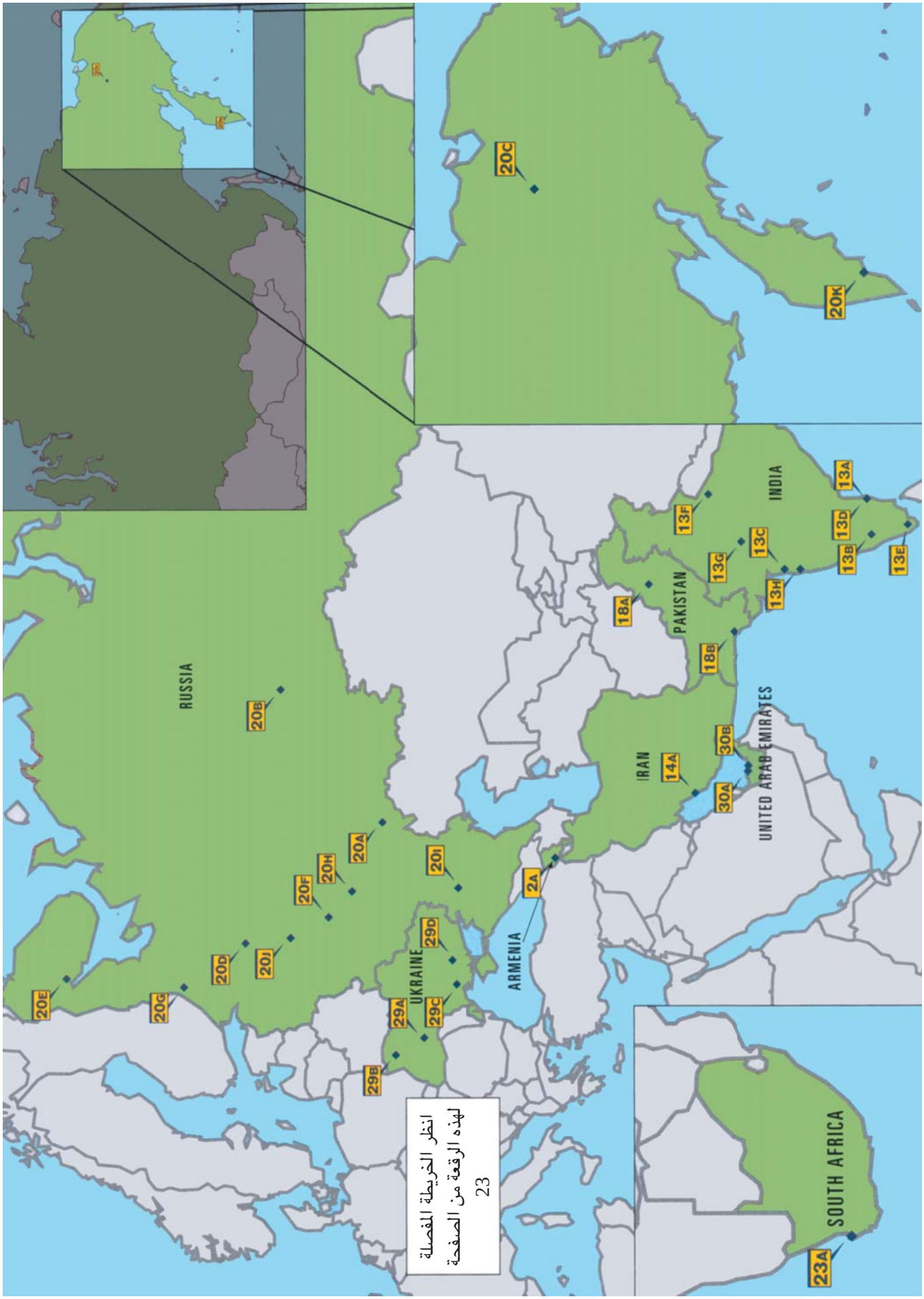
	UNITED STATES, cont'd	صافي القدرة	المفاعل النوع	المفاعل النموذج	مرحلة البناء النسبية	التشغيل الحرجية البدائية	التشغيل البداية التجارية	المزود بالمفاعل	المشاركون الرئيسيون
	Progress Energy, cont'd								
52	**Harris (New Hill, N.C.) [941.7]**								
	● Unit 1	941.7	PWR	(three-loop)	100	1/87	5/87	W	Ebasco, Daniel
53	**Levy (Levy County, Fla.) [2200]**								
	Unit 1	1100	PWR	AP1000	0	-----	/16	W	Shaw/S&W
	Unit 2	1100	PWR	AP1000	0	-----	/16	W	Shaw/S&W
54	**Robinson (Hartsville, S.C.) [765]**								
	● Unit 2	765	PWR	(three-loop)	100	9/70	3/71	W	Ebasco
	PSEG Nuclear LLC								
55	**Hope Creek/Salem (Salem, N.J.) [3578.1]**								
	● Hope Creek	1228.1	BWR	BWR-4	100	6/86	12/86	GE	Bechtel
	● Salem-1	1169	PWR	(four-loop)	100	12/76	6/77	W	Owner, UE&C, Siemens
	● Salem-2	1181	PWR	(four-loop)	100	8/80	10/81	W	Owner, UE&C, GE, Siemens
	South Carolina Electric & Gas Co.								
56	**Summer (Parr, S.C.) [972.7 + 2200 = 3172.7]**								
	● Unit 1	972.7	PWR	(three-loop)	100	10/82	1/84	W	GE, Gilbert, Daniel
	Unit 2	1100	PWR	AP1000	0	-----	/16	W	Shaw/S&W
	Unit 3	1100	PWR	AP1000	0	-----	/19	W	Shaw/S&W
	Southern California Edison Co.								
57	**San Onofre (San Clemente, Calif.) [2150]**								
	● Unit 2	1070	PWR	(two-loop)	100	7/82	8/83	C-E	Bechtel, GEC/Alstom, MHI
	● Unit 3	1080	PWR	(two-loop)	100	8/83	4/84	C-E	Bechtel, GEC Alstom
	Southern Nuclear Operating Co. [5840 + 2200 = 8040]								
58	**Farley (Dothan, Ala.) [1709]**								
	● Unit 1	854	PWR	(three-loop)	100	8/77	12/77	W	Owner, Bechtel, Daniel
	● Unit 2	855	PWR	(three-loop)	100	5/81	7/81	W	Owner, Bechtel, Daniel
59	**Hatch (Baxley, Ga.) [1793]**								
	● Unit 1	885	BWR	BWR-4	100	9/74	12/75	GE	Owner, Bechtel
	● Unit 2	908	BWR	BWR-4	100	7/78	9/79	GE	Owner, Bechtel
60	**Vogtle (Waynesboro, Ga.) [2338 + 2200 = 4538]**								
	● Unit 1	1169	PWR	(four-loop)	100	3/87	6/87	W	Owner, GE, Bechtel
	● Unit 2	1169	PWR	(four-loop)	100	3/89	5/89	W	Owner, GE, Bechtel
	Unit 3	1100	PWR	AP1000	0	-----	/16	W	Shaw/S&W
	Unit 4	1100	PWR	AP1000	0	-----	/16	W	Shaw/S&W
	STP Nuclear Operating Co.								
61	**South Texas (Palacios, Tex.) [2501.2 + 2700 = 5201.2]**								
	● Unit 1	1250.6	PWR	(four-loop)	100	3/88	8/88	W	Bechtel, Ebasco
	● Unit 2	1250.6	PWR	(four-loop)	100	3/89	6/89	W	Bechtel, Ebasco
	Unit 3	1350	BWR	ABWR	0	-----	/15	Toshiba	----------
	Unit 4	1350	BWR	ABWR	0	-----	/16	Toshiba	----------
	TVA Nuclear [6839 + 1177 = 8016]								
62	**Browns Ferry (Decatur, Ala.) [3360]**								
	● Unit 1	1120	BWR	BWR-4	100	8/73	8/74	GE	Owner
	● Unit 2	1120	BWR	BWR-4	100	7/74	3/75	GE	Owner
	● Unit 3	1120	BWR	BWR-4	100	8/76	3/77	GE	Owner
63	**Sequoyah (Soddy-Daisy, Tenn.) [2324]**								
	● Unit 1	1173	PWR	(four-loop)	100	7/80	7/81	W	Owner
	● Unit 2	1151	PWR	(four-loop)	100	11/81	6/82	W	Owner
64	**Watts Bar (Spring City, Tenn.) [1155 + 1177 = 2332]**								
	● Unit 1	1155	PWR	(four-loop)	100	2/96	5/96	W	Owner
	Unit 2	1177	PWR	(four-loop)	80	-----	/12	W	Owner/Bechtel
	Wolf Creek Nuclear Operating Corp.								
65	**Wolf Creek (Burlington, Kans.) [1170]**								
	● Unit 1	1170	PWR	SNUPPS	100	5/85	9/85	W	GE, Bechtel/S&L, Daniel

BWRs: 35 operating (34 696.3 MWe), 2 forthcoming (2700 MWe). **PWRs:** 69 operating (68 104.1 MWe), 7 forthcoming (7777 MWe).

الأزرق: السعة العاملة والوشيكة. البرتقالي: السعة الوشيكة. الأخضر: سعة التشغيل. ● الوحدات في حالة التشغيل التجاري

خرائط المحطات النووية التجارية في العالم

(حتى 31 كانون الأول/ديسمبر 2009. تميز المحطات بأرقام ترتبط بالمعلومات المطبوعة في القائمة العالمية الموازية)

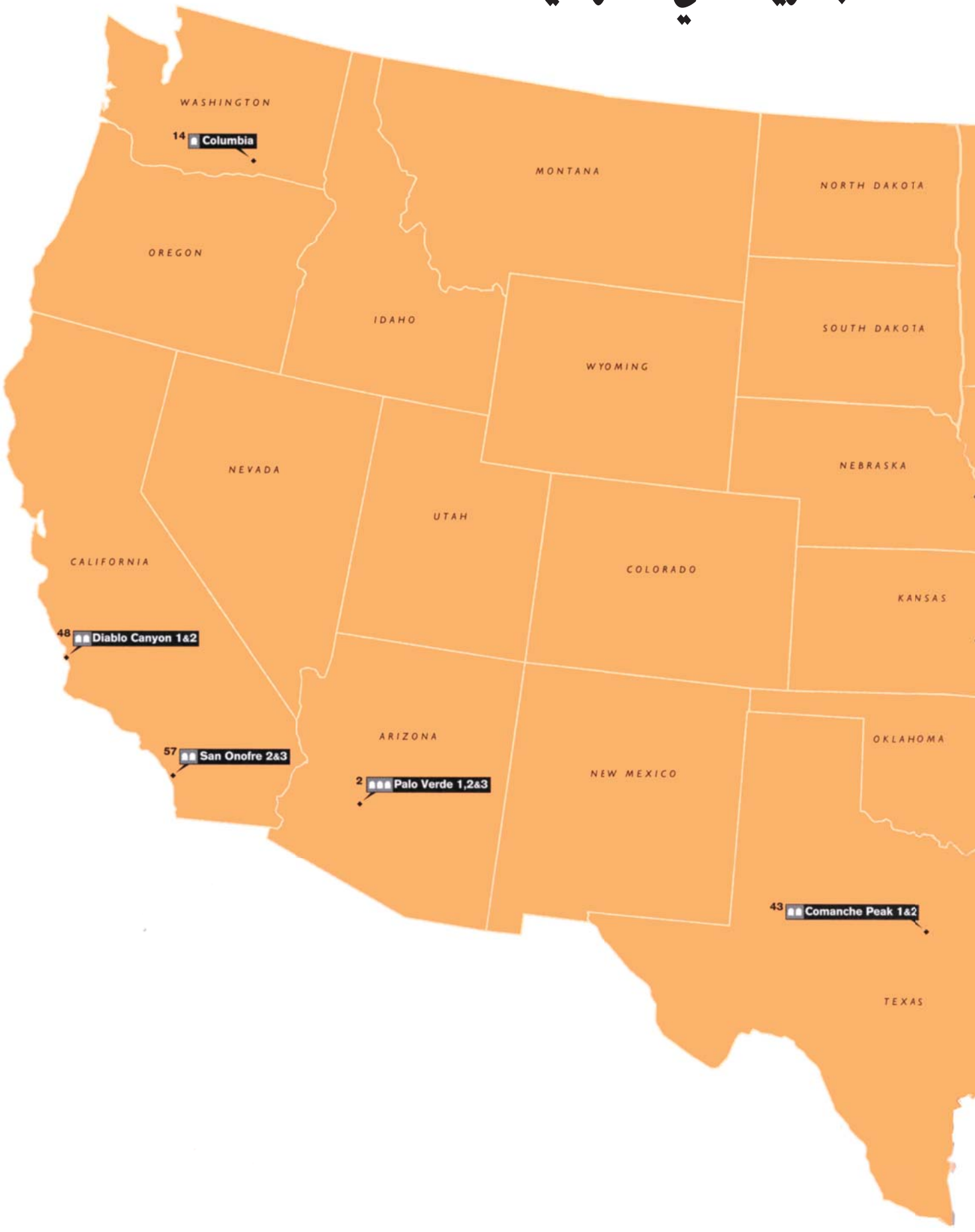


انظر الخريطة المفصلة
لهذه الرقعة من الصفحة
23

انظر هنا إلى الخريطة
المفصلة لليابان
JAPAN
SOUTH
KOREA
CHINA
TAIWAN
15O
15P
15Q
15R
15F
15A
15C
15E
15S
15D
15G
15H
15I
15K
15J
15B
15N
15L
15M
24D
24E
24C
24F
24B
24A
24G
7C
7N
7M
7L
28B
28C
28D
7I
7K
7E
7J
28A
7D
7A
7G
7F
7H
7B

خريطة محطات الطاقة النووية

التجاريـة في الـولايــات المتحــدة



CANADA
6B
6C
6A
6D
6E
انظر الخريطة المفصلة للولايات المتحدة
الأمريكية في الصفحتين 26-27
MEXICO
16A
BRAZIL
4A
1B
1A
ARGENTINA

تجديد ترخيص مفاعلات الطاقة في الولايات المتحدة

المفاعل	انتهاء الترخيص الأصلي	تاريخ طلب التجديد	تاريخ التصديق على التجديد	انتهاء الترخيص المجدد
ANO-1	5/20/14	2/1/00	6/12/01	5/20/34
ANO-2	7/17/18	10/15/03	6/30/05	7/17/38
Arnold	*2/21/14*	*10/1/08*		
Beaver Valley-1	1/29/16	8/28/07	11/05/09	1/29/36
Beaver Valley-2	5/27/27	8/28/07	11/05/09	5/27/47
Braidwood-1	10/17/26			
Braidwood-2	12/18/27			
Browns Ferry-1	12/20/13	1/6/04	5/4/06	12/20/33
Browns Ferry-2	6/28/14	1/6/04	5/4/06	6/28/34
Browns Ferry-3	7/2/16	1/6/04	5/4/06	7/2/36
Brunswick-1	9/8/16	10/18/04	6/26/06	9/8/36
Brunswick-2	12/27/14	10/18/04	6/26/06	12/27/34
Byron-1	10/31/24			
Byron-2	11/6/26			
Callaway	*10/18/24*	*4Q2011*		
Calvert Cliffs-1	7/31/14	4/10/98	3/23/00	7/31/34
Calvert Cliffs-2	8/13/16	4/10/98	3/23/00	8/13/36
Catawba-1	1/17/25	6/14/01	12/3/03	12/5/43
Catawba-2	5/15/26	6/14/01	12/3/03	12/5/43
Clinton	9/29/26			
Columbia	*12/20/23*	*1/19/10*		
Comanche Peak-1	2/8/30			
Comanche Peak-2	2/2/33			
Cook-1	10/25/14	10/31/03	8/30/05	10/25/34
Cook-2	12/23/17	10/31/03	8/30/05	12/23/37
Cooper	*1/18/14*	*9/30/08*		
Crystal River-3	*12/3/16*	*12/18/08*		
Davis-Besse	*4/22/17*	*3Q2010*		
Diablo Canyon-1	*11/2/24*	*11/24/09*		
Diablo Canyon-2	*4/26/25*	*11/24/09*		
Dresden-2	12/22/09	1/3/03	10/28/04	12/22/29
Dresden-3	1/22/11	1/3/03	10/28/04	1/12/31
Farley-1	6/25/17	9/15/03	5/12/05	6/25/37
Farley-2	3/31/21	9/15/03	5/12/05	3/31/41
Fermi-2	3/20/25			
FitzPatrick	10/17/14	8/1/06	9/8/08	10/17/34
Fort Calhoun	8/9/13	1/11/02	11/4/03	8/9/33
Ginna	9/18/09	8/1/02	5/19/04	9/18/29
Grand Gulf-1	*6/16/22*	*3Q2011*		
Harris-1	10/24/26	11/14/06	12/17/08	10/24/46
Hatch-1	8/6/14	3/1/00	1/7/02	8/6/34
Hatch-2	6/13/18	3/1/00	1/7/02	6/13/38
Hope Creek	*4/11/26*	*8/18/09*		
Indian Point-2	*9/28/13*	*4/30/07*		
Indian Point-3	*12/12/15*	*4/30/07*		
Kewaunee	*12/21/13*	*8/14/08*		
LaSalle-1	4/17/22			
LaSalle-2	12/16/23			
Limerick-1	*10/26/24*	*3Q2011*		
Limerick-2	*6/22/29*	*3Q2011*		
McGuire-1	6/12/21	6/14/01	12/3/03	6/12/41
McGuire-2	3/3/23	6/14/01	12/3/03	3/3/43

المفاعل	انتهاء الترخيص	تاريخ طلب التجديد	تاريخ تصديق التجديد	انتهاء الترخيص المجدد
Millstone-2	7/31/15	1/22/04	11/28/05	7/31/35
Millstone-3	11/25/45	1/22/04	11/28/05	11/25/45
Monticello	9/8/10	3/24/05	11/8/06	9/8/30
Nine Mile Point-1	8/22/09	5/27/04	10/31/06	8/22/29
Nine Mile Point-2	10/31/26	5/27/04	10/31/06	10/31/46
North Anna-1	4/1/18	5/29/01	3/20/03	4/1/38
North Anna-2	8/21/20	5/29/01	3/20/03	8/21/40
Oconee-1	2/6/13	7/7/98	5/23/00	2/6/33
Oconee-2	10/6/13	7/7/98	5/23/00	10/6/33
Oconee-3	7/19/14	7/7/98	5/23/00	7/19/34
Oyster Creek	4/9/09	7/22/05	4/8/09	4/9/29
Palisades	3/24/11	3/31/05	1/17/07	3/24/31
Palo Verde-1	*12/31/24*	*12/15/08*		
Palo Verde-2	*12/9/25*	*12/15/08*		
Palo Verde-3	*3/25/27*	*12/15/08*		
Peach Bottom-2	8/8/13	7/2/01	5/7/03	8/8/33
Peach Bottom-3	7/2/14	7/2/01	5/7/03	7/2/34
Perry	*3/18/26*	*3Q2013*		
Pilgrim	*6/8/12*	*1/27/06*		
Point Beach-1	10/5/10	2/26/04	12/22/05	10/5/30
Point Beach-2	3/8/13	2/26/04	12/22/05	3/8/33
Prairie Island-1	*8/9/13*	*4/15/08*		
Prairie Island-2	*10/29/14*	*4/15/08*		
Quad Cities-1	12/14/12	1/3/03	10/28/04	12/14/32
Quad Cities-2	12/14/12	1/3/03	10/28/04	12/14/32
River Bend-1	*8/29/25*	*1Q2015*		
Robinson-2	7/31/10	6/17/02	4/19/04	7/31/30
Salem-1	*8/13/16*	*8/19/09*		
Salem-2	*4/18/20*	*8/19/09*		
San Onofre-2	2/16/22			
San Onofre-3	11/15/22			
Seabrook	*10/17/26*	*2Q2010*		
Sequoyah-1	*9/17/20*	*2Q2013*		
Sequoyah-2	*9/15/21*	*2Q2013*		
South Texas Project-1	8/20/27			
South Texas Project-2	12/15/28			
St. Lucie-1	3/1/16	11/30/01	10/2/03	3/1/36
St. Lucie-2	4/6/23	11/30/01	10/2/03	4/6/43
Summer-1	8/6/22	8/6/02	4/23/04	8/6/42
Surry-1	5/25/12	5/29/01	3/20/03	5/12/32
Surry-2	1/29/13	5/29/01	3/20/03	1/29/33
Susquehanna-1	7/17/22	9/15/06	11/24/09	7/17/42
Susquehanna-2	3/23/24	9/15/06	11/24/09	3/23/44
Three Mile Island-1	4/19/14	1/8/08	10/22/09	4/19/34
Turkey Point-3	7/19/12	9/11/00	7/17/02	7/19/32
Turkey Point-4	4/10/13	9/11/00	7/17/02	4/10/33
Vermont Yankee	*3/21/12*	*1/27/06*		
Vogtle-1	1/16/27	6/29/07	6/3/09	1/16/47
Vogtle-2	2/9/29	6/29/07	6/3/09	2/9/49
Waterford-3	*12/18/24*	*1Q2013*		
Watts Bar-1	11/9/35			
Wolf Creek	3/11/25	10/4/06	11/20/08	3/11/45

يشير المنضد بحرف أسود إلى المفاعلات ذات الرخص المجددة. ويشير المنضد بالحرف المائل الأسود إلى المفاعلات التي تدرس ترخيصها هيئة التنظيم النووي. ويشير المنضد بالحرف المائل العادي إلى المفاعلات التي خطت رسمياً طلبات تجديد ترخيصها، في مواعيد المحددة للتقديم. في حين يشير المنضد بالحرف العادي إلى المفاعلات التي لم تقدم طلبات تجديد ترخيصها بعد أو لم تعلن عنها جهاراً. وهناك مؤسستان –إكسلون -Exelon and the Straegic Teaming and Resource Sharing (STARS) alliance– قد أعلمتا NRC (هيئة التنظيم النووي) عن خططٍ لتقديم طلبات تجديد أكثر، إلا أن المفاعلات الخاصة بهذه الطلبات لم تعمل علناً (جهاراً).

مشاريع مفاعلات الطاقة الجديدة في الولايات المتحدة
(الطلبات المدونة لدى هيئة التنظيم النووي NRC في 31 كانون الأول/ديسمبر 2009)

مقدم الترخيص	المفاعلات	الموقع[1]	النموذج[2]	بداية التشغيل المنشود	حالة الترخيص	الحالة التجارية
AmerenUE	Callaway-2	Fulton, Mo. (R)	U.S. EPR	Indefinite	Suspended at applicant's request	Forgings procured
Dominion	North Anna-3	Mineral, Va. (R)	(TBD)	2017	Draft EIS, SER/OI; COL target 2011 (E)	Vendor bids under review
Detroit Edison	Fermi-3	Monroe, Mich. (R)	ESBWR	2018 or later	COL target 2012	Vendor negotiations
Duke Energy	Lee-1, -2	Gaffney, S.C. (C)	AP1000	2021 (Unit 1)	COL target 2013	Vendor negotiations
Entergy	River Bend-3	St. Francisville, La. (R)	(TBD)	Indefinite	Suspended at applicant's request	Vendor bids under review
FPL Energy	Turkey Point-6, -7	Florida City, Fla. (R)	AP1000	2020, 2022	Awaiting review schedule	Vendor negotiations
Luminant	Comanche Peak-3, -4	Glen Rose, Texas (R)	US-APWR	2016 or later	COL target 2012	Term sheet with vendor
NRG/STPNOC	South Texas-3, -4	Palacios, Texas (R)	ABWR	2016, 2017	COL target 2012	EPC contract signed
NuStart/Entergy	Grand Gulf-3	Port Gibson, Miss. (R)	(TBD)	Indefinite	Suspended at applicant's request (E)	Vendor bids under review; ESBWR forgings procured
NuStart/TVA	Bellefonte-3	Scottsboro, Ala. (C)	AP1000	Indefinite	Awaiting site technical data	Vendor negotiations
PPL	Bell Bend	Berwick, Pa. (R)	U.S. EPR	2018	COL target 2012	Vendor negotiations
Progress Energy	Harris-2, -3	New Hill, N.C. (R)	AP1000	2018 or later	COL target 2012	Vendor negotiations
	Levy-1, -2	Levy County, Fla. (G)	AP1000	2016, 2017	COL target 2012	EPC contract signed
SCANA/Santee Cooper	Summer-2, -3	Parr, S.C. (R)	AP1000	2016, 2019	COL target 2012	EPC contract signed
Southern Nuclear	Vogtle-3, -4	Waynesboro, Ga. (R)	AP1000	2016, 2017	COL target 2011 (E)	EPC contra(
UniStar Nuclear	Calvert Cliffs-3	Lusby, Md. (R)	U.S. EPR	2018 or later	COL target 2012	Term sheet with vendor
	Nine Mile Point-3	Scriba, N.Y. (R)	U.S. EPR	Indefinite	Suspended at applicant's request	Vendor negotiations

[1] يشير الحرف C إلى الموقع الذي ألغيت فيه المحطة، غير أن إذناً بالبناء قد سبق إقراره. وتشير G إلى حقل أخضر لم يسبق أن حُدد فيه موقع مفاعل أبداً. ويدل الحرف R على موقع تعمل فيه المفاعلات في الوقت الحاضر. وهذه القائمة تفكر ملياً بضريبة الحقل Levy الأخضر (الذي يبعد نحو ثمانية أميال عن نهر كريستال)، إلا أن موقع المفاعل Bell Bend قائم (وتجاور أرضه سسكويهانا). وتُعامل كذلك Summer كموقع مفاعل قائم رغم أن المفاعلات الجديدة ستبنى في منطقة صخرية صلبة مجاورة.

[2] يرمز ABWR، إلى مفاعل الماء المغلي المتاح إما من GE هيتاشي للطاقة النووية أو من توشيبا، South Texas-3 and-4 هي من توشيبا. وقد صودق على تصميم GE هيتاشي من قبل هيئة التنظيم النووي NRC، وقدِّم تصميم توشيبا كتغير خاص في طلب ترخيص المفاعل ساوث تكساس. وتشير AP1000، إلى مفاعل الماء المضغوط ويستنغهاروس المصدق تصميمه من NRC ولكن بعد ذلك أدخلت عليه تعديلات بعد دراسة الوكالة المكثفة. ويشير ESBWR إلى مفاعل GE هيتاشي ذي الماء المغلي، الذي يوجد طلب تصديق تصميمه تحت دراسة NRC. ويرمز US-APWR إلى مفاعل ميتسوبيشي ذو الماء المضغوط والذي يوجد طلب تصديق تصميمه تحت نظر (دراسة) NRC. وEPR هو مفاعل أريفا ذي الماء المضغوط والذي يقع طلب ترخيصه تحت أنظار NRC.

والمختصرات الأخرى: COL تعني ترخيص التشغيل المضموم إلى ترخيص البناء. وE موقع إيرلي الصادر. وEIS تعني وضع التحمل البيئي. وEPC تعني الهندسة، والتدبير وكذلك البناء. و TBD: تعني أنه سيجري تحديد نموذج المفاعل قريباً.

تغيرات المالك/ أو المشغل لمفاعلات الطاقة الأمريكية

تتقفى القائمة التالية آثار التغيرات في المفاعلات الموجودة في الخدمة حالياً، والتي اختلفت فيها تماماً المؤسسات التي استلمت الملكية، أو التشغيل أو كليهما، من أمثال شركات التشغيل المتخصصة التي أوجدت أساساً من قبل المالك الأصلي للمفاعلات (ومنها وولف كريك Wolf Creek) التي تتقفها القائمة.

1994

كانت River Bend مملوكة من قبل Entergy كجزء من المرافق للوحدة مع مالك المفاعل الأصلي Gulfs states utilities.

1998

تمتلك شركة First Energy Nuclear Operating Company (FENOC) من Davis-Besse شركة Toledo Edison. وأصبحت PECO Energy مشغلة Clinton.

1999

انبعثت شركة Amer Gen Energy Company كشريكة لكل من PECO و British Energy آخذة على عاتقها ملكية وتشغيل Clinton و Three Mile Island-1 بدلاً من Illinoir Power و GPU Nuclear على التوالي. و Entergy تشتري Pilgrim من Boston Edison company و FENOC تمتلك Beaver Valley من Duqueone Light.

2000

اتحدت الشركة الأم Commonwealth Edison لشركة Uniceon مع شركة PECO Energy ليشكلا شركة Exelon، موحدين الملكية والتشغيل لكلٍ من Braid Wood, Qyran, Dresden, lasdalle, Limerick, Peach Bottan and Qund Cities. وأصبحت Exelon كذلك مالكاً جزئياً لـ AmerGen، التي امتلكت خلال العام Oyster Creek من GPU Nuclear. وتمتلك Entergy شركتي Fitz-Patrick و Indian Point-3 من سلطة New York Power Aithority وتولدت شركة Nuclear Manangement Company (NMC) لتشكل وحدة تشغيل وحيدة لأجل Arnold, Kewounee, Montieello, point Beach and Prairie Island التي بقيت مملوكة للشركات الأربع المستقلة بعضها عن بعض.

2001

تنبثق/تتولد Dominion Generation كشركة أم لـ Virginia Power وتشتري Millstone من Northeast Utilities. وتشتري شركة Constellation Energy المنبثقة كشركة أم Baltimore Gas & Electric Point من شركة Niagara Mohawk Power وتشتري شركة Consolidated Edison من شركة Indian Point-2. وتضطلع شركة NMC بتشغيل Palisades.

2002

تنبثق EPL Energy كشركة أم لـ Florida Power & Light وتشتري Seabrook من شركة Public Service Company في New Hampshire وتشتري Entergy شركة Vermont Yankee من مؤسسة Vermont Yankee Nuclear Power Corporation.

2003

يولّد اتحاد شركتي Carolina Power & Light و Florida Power Corporation شركة Progress Energy، مضيفاً شركة Florida Power's Crystal River-5 إلى الملكية التي كانت لـ Carolina Power's Brunmswick, Harris, and Robinson-2.

2004

تشتري Constellation شركة Ginna من شركة Rochester Gas & Electric. وتشتري Exelon كامل حصة British Energy لتصبح المالك الوحيد لـ AmerGen ومفاعلها.

2005

تشتري Dominion شركة Kewaunee من مالكها الأصلي في ويسكونسن وتضع (وتعيد) NMC كمشغل. وتتعاقد Exelon مع PSEG لتشغيل Hope Creek و Salens بالتسليف على الاتحاد الذي أُلغي فيما بعد وقد انتهى عقد Exelon كمشغل في 2009.

2006

تشتري FPL ما مقداره 70% من الإشراف على Avnold من شركة Alliant Energy وترجع (تعيد) NMC كمشغل. وتشتري NRG Energy حصة شركة Texas Genco's share في مشروع South Texas project وتصبح في الواقع المدير المالك، مع الاحتفاظ بالشركة المشغلة على حالها.

2007

محطتان أخريان تشغلهما NMC نقلتا الملكية حيث اشترت Entergy شركة palisades من CMS Energy، واكتسبت FPL شركة point Beach من شركة We Energies وفي كلتا الحالتين، أُعيدت NMC كمشغل.

2008

والمفاعلات الثلاثة الباقية لـ NMC – هي Monticello ومفاعلي Prairie Island-1 and -2 كلها ممتلكة من قبل Xcel Energy. وقد استوعبت Xcel Energy شركة NMC مع طاقمها من العاملين (كادرها) المستمرين بشكل أساسي مع عملهم الجاري ولكن كمستخدمين كشركة تابعة لـ Xcel، هي، Northern STATES Power Company- Minnesota.

2009

في أوائل كانون الثاني/يناير تستوعب Exelon كلياً شركة Amergen مؤسسة شركة Clintan ومفاعلي three Mile Island-1, Oyster Greek كمفاعلين تابعين لـ Exelon. أما المحطات النووية لـ FPL خارج فلوريدا، Arnold و Point Beatch و Seabrook فقد انتقلت إلى شركة تابعة جديدة Nextera Energy Resources.

محطات طاقة نووية لم تعد في الخدمة

	صافي الطاقة MWe	النوع	البدء	الإغلاق
Armenia				
Metzamor-1 (Metsamor, Armenia)	440	PWR	10/77	2/89
Bulgaria				
Kozloduy-1 (Kozloduy, Vratsa)	408	PWR	10/74	12/02
Kozloduy-2 (Kozloduy, Vratsa)	408	PWR	11/75	12/02
Kozloduy-3 (Kozloduy, Vratsa)	408	PWR	1/81	12/06
Kozloduy-4 (Kozloduy, Vratsa)	408	PWR	6/82	12/06
Canada				
Douglas Point (Tiverton, Ont.)	216	PHWR	9/68	5/84
Gentilly-1 (Becancour, Que.)	250	PHWR	5/72	6/77
France				
Bugey-1 (Loyettes, Ain)	540	GCR	7/72	6/94
Chinon A1 (Chinon, Indre-et-Loire)	70	GCR	2/64	4/73
Chinon A2 (Chinon, Indre-et-Loire)	210	GCR	2/65	6/85
Chinon A3 (Chinon, Indre-et-Loire)	480	GCR	8/66	6/90
Creys-Malville (Bouvesse, Isere)	1200	LMFBR	1/86	12/98
Chooz A (Chooz, Ardennes)	310	PWR	4/67	10/91
Marcoule G2 (Marcoule, Gard)	38	GCR	4/59	2/80
Marcoule G3 (Marcoule, Gard)	38	GCR	4/60	6/84
Monts d'Arree (Brenilis, Finistere)	70	GCHWR	6/68	7/85
Phénix (Marcoule, Gard)	233	LMFBR	7/74	3/09
Saint-Laurent A1 (Saint-Laurent-des-Eaux, Loir-et-Cher)	480	GCR	6/69	4/90
Saint-Laurent A2 (Saint-Laurent-des-Eaux, Loir-et-Cher)	515	GCR	11/71	5/92
Germany				
Gundremmingen A (Gundremmingen, BA.)	237	BWR	4/67	1/80
Lingen (Lingen, Nied.)	256	BWR	10/68	5/79
Muelheim-Kaerlich (Muelheim-Kaerlich, R.-P.)	1219	PWR	10/87	6/01
Neideraichbach (Landshut, Ba.)	100	GCHWR	1/73	8/74
Nord-1 (Lubmin, Mecklenburg-West Pomerania)	408	PWR	7/74	12/90
Nord-2 (Lubmin, Mecklenburg-West Pomerania)	408	PWR	4/75	2/90
Nord-3 (Lubmin, Mecklenburg-West Pomerania)	408	PWR	5/78	2/90
Nord-4 (Lubmin, Mecklenburg-West Pomerania)	408	PWR	11/79	6/90
Nord-5 (Lubmin, Mecklenburg-West Pomerania)	408	PWR	11/89	11/89
Obrigheim (Obrigheim, B.-W.)	340	PWR	4/69	5/05
Rheinsberg-1 (Rheinsberg, Brandenberg)	70	PWR	10/66	10/90
Stade (Stade, Nied.)	630	PWR	5/72	11/03
THTR-300 (Hamm-Uentrop, N.-W.)	296	HTGR	6/87	10/89
Wuergassen (Lauenforde, Nied.)	640	BWR	12/72	5/95
Italy				
Caorso (Caorso, Piacenza)	860	BWR	12/81	6/90
Garigliano (Sessa Aurunca, Campania)	150	BWR	6/64	3/82
Latina (Borgo Sabotino, Latina)	153	GCR	1/64	12/87
Trino Vercellese (Trino, Vercelli)	260	PWR	1/65	6/90
Japan				
Fugen ATR (Tsuruga, Fukui)	148	HWLWR	3/79	3/03
Hamaoka-1 (Omezaki, Shizuoka)	515	BWR	3/76	1/09
Hamaoka-2 (Omezaki, Shizuoka)	806	BWR	3/76	1/09
Tokai-1 (Tokai-Mura, Ibaraki)	159	GCR	7/66	3/98
Kazakhstan				
Aktau (Aktau, Mangyshlak)	135	LMFBR	7/73	4/99
Lithuania				
Ignalina-1 (Ignalina, Visaginas)	1187	LGR	12/83	12/04
Ignalina-2 (Ignalina, Visaginas)	1185	LGR	8/87	12/09
Netherlands				
Dodewaard (Dodewaard, Gelderland)	55	BWR	1/69	3/97
Russia				
Beloyarsk-1 (Zarechnyy, Sverdlovsk)	102	LGR	4/64	/83
Beloyarsk-2 (Zarechnyy, Sverdlovsk)	146	LGR	12/69	1/90
Novovoronezh-1 (Novovoronezh, Voronezh)	265	PWR	12/64	2/88
Novovoronezh-2 (Novovoronezh, Voronezh)	336	PWR	4/70	8/90
Troitsk A (Troitsk, Chelyabinsk)	100	LGR	9/58	/89
Troitsk B (Troitsk, Chelyabinsk)	100	LGR	12/59	/89
Troitsk C (Troitsk, Chelyabinsk)	100	LGR	12/60	/89
Troitsk D (Troitsk, Chelyabinsk)	100	LGR	12/61	11/90
Troitsk E (Troitsk, Chelyabinsk)	100	LGR	12/62	11/90
Troitsk F (Troitsk, Chelyabinsk)	100	LGR	12/63	11/90
VK-50 (Dimitrovgrad, Ulyanovsk)	50	BWR	1/66	1/89
Slovakia				
Bohunice A1 (Trnava, Zapadoslovensky)	104	GCHWR	12/72	5/79
Bohunice 1 (Trnava, Zapadoslovensky)	408	PWR	4/80	12/06
Bohunice 2 (Trnava, Zapadoslovensky)	408	PWR	1/8'	12/08
Spain				
José Cabrera (Zorita, Guadalajara)	142	BWR	2/69	4/06
Vandellos-1 (Vandellos, Tarragona)	480	GCR	8/72	10/89
Sweden				
Barsebaeck-1 (Barsebaeck, Malmohus)	615	BWR	7/75	12/99
Barsebaeck-2 (Barsebaeck, Malmohus)	600	BWR	9/77	5/05
Ukraine				
Chernobyl-1 (Pripyat, Kiev)	950	LGR	5/78	11/96
Chernobyl-2 (Pripyat, Kiev)	950	LGR	5/79	8/91
Chernobyl-3 (Pripyat, Kiev)	950	LGR	6/82	12/00
Chernobyl-4 (Pripyat, Kiev)	950	LGR	4/84	4/86
United Kingdom				
Berkeley-1 (Berkeley, Gloucester)	138	GCR	11/62	3/89
Berkeley-2 (Berkeley, Gloucester)	138	GCR	11/62	10/88
Bradwell-1 (Bradwell, Essex)	123	GCR	8/62	3/02
Bradwell-2 (Bradwell, Essex)	123	GCR	12/62	3/02
Calder Hall-1 (Seaside, Cumbria)	50	GCR	10/56	3/03
Calder Hall-2 (Seaside, Cumbria)	50	GCR	3/57	3/03
Calder Hall-3 (Seaside, Cumbria)	50	GCR	4/59	3/03
Calder Hall-4 (Seaside, Cumbria)	50	GCR	5/59	3/03
Chapelcross-1 (Annan, Dumfriesshire)	50	GCR	3/59	6/04
Chapelcross-2 (Annan, Dumfriesshire)	50	GCR	8/59	6/04
Chapelcross-3 (Annan, Dumfriesshire)	50	GCR	12/59	6/04
Chapelcross-4 (Annan, Dumfriesshire)	50	GCR	3/60	6/04
Dounreay PFR (Dounreay, Highland)	250	LMFBR	8/76	3/94
Dungeness A1 (Lydd, Kent)	225	GCR	12/65	12/06
Dungeness A2 (Lydd, Kent)	225	GCR	12/65	12/06
Hinkley Point A1 (Hinkley Point, Somerset)	235	GCR	4/65	5/00
Hinkley Point A2 (Hinkley Point, Somerset)	235	GCR	5/65	5/00
Hunterston A1 (Ayrshire, Strathclyde)	160	GCR	3/64	3/90
Hunterston A2 (Ayrshire, Strathclyde)	160	GCR	9/64	12/89
Sizewell A1 (Sizewell, Suffolk)	210	GCR	3/66	12/06
Sizewell A2 (Sizewell, Suffolk)	210	GCR	9/66	12/06
Trawsfynydd-1 (Gwynedd, Wales)	195	GCR	3/65	2/91
Trawsfynydd-2 (Gwynedd, Wales)	195	GCR	4/65	2/91
Winfrith SGHWR (Winfrith Heath, Dorset)	92	HWLWR	2/68	9/90
United States				
Big Rock Point (Charlevoix, Mich.)	67	BWR	11/65	8/97
BONUS (Rincon, P.R.)	72	BWR	8/64	6/68
CVTR (Parr, S.C.)	17	PHWR	12/63	1/67
Dresden-1 (Morris, Ill.)	200	BWR	7/60	10/78
EBR-II (Idaho Falls, Ida.)	20	LMFBR	8/64	9/94
Elk River (Elk River, Minn.)	23*	BWR	7/64	2/68
Fermi-1 (Monroe, Mich.)	61	LMFBR	8/66	11/72
Fort St. Vrain (Platteville, Colo.)	330	HTGR	1/79	8/89
Haddam Neck (Haddam Neck, Conn.)	582	PWR	1/68	12/96
Hallam (Hallam, Neb.)	75	LMGMR	11/63	9/64
Hanford-N (Richland, Wash.)	860	LGR	7/66	2/88
Humboldt Bay-3 (Eureka, Calif.)	63	BWR	8/63	7/76
Indian Point-1 (Buchanan, N.Y.)	257*	PWR	1/63	10/74
LaCrosse (Genoa, Wis.)	50	BWR	11/69	4/87
Maine Yankee (Wiscasset, Me.)	860	PWR	12/72	8/97
Millstone-1 (Waterford, Conn.)	660	BWR	6/71	8/98
Pathfinder (Sioux Falls, S.D.)	59	BWR	7/66	10/67
Peach Bottom-1 (Delta, Pa.)	40	HTGR	6/67	11/74
Piqua (Piqua, Ohio)	12	OCR	11/63	1/66
Rancho Seco (Clay Station, Calif.)	913	PWR	4/75	6/89
San Onofre-1 (San Clemente, Calif.)	436	PWR	1/68	11/92
Shippingport (Shippingport, Pa.)	60	PWR/LWBR	12/57	10/82
Shoreham (Brookhaven, N.Y.)	809	BWR	—**	5/89
Three Mile Island-2 (Londonderry Twp., Pa.)	792	PWR	12/78	3/79
Trojan (Prescott, Ore.)	1095	PWR	5/76	11/92
Vallecitos (Pleasanton, Calif.)	5	BWR	10/57	12/63
Yankee (Rowe, Mass.)	175	PWR	7/61	9/91
Zion-1 (Zion, Ill.)	1040	PWR	12/73	1/98
Zion-2 (Zion, Ill.)	1040	PWR	9/74	1/98

* بما في ذلك خرج المسخنات الفائقة العاملة بحرق الوقود الأحفوري.
** لقد بلغت وحدة الحرجية وانتجت الطاقة، ولكنها أغلقت قبل أن تتمكن من بدء التشغيل التّجاري.

وحدات الطاقة النووية حسب الأمم

الدولة	عدد الوحدات	صافي الطاقة MWe قيد التشغيل	عدد الوحدات	صافي الطاقة MWe المجموع
Argentina	2	935	3	1 627
Armenia	1	376	1	376
Belgium	7	5 801	7	5 801
Brazil	2	1 901	3	3 176
Bulgaria	2	1 906	4	3 906
Canada	22	15 164	22	15 164
China	11	8 694	41	38 734
Czech Republic	6	3 574	6	3 574
Finland	4	2 696	5	4 296
France	58	63 130	59	64 730
Germany	17	20 429	17	20 429
Hungary	4	1 829	4	1 829
India	17	3 732	27	9 232
Iran	0	0	1	915
Japan	54	47 134	57	50 136
Mexico	2	1 360	2	1 360
Netherlands	1	485	1	485
Pakistan	2	425	3	725
Romania	2	1 412	5	3 272
Russia	31	21 743	42	30 953
Slovakia	4	1 705	6	2 515
Slovenia	1	666	1	666
South Africa	2	1 800	2	1 800
South Korea	20	16 810	28	26 410
Spain	8	7 439	8	7 439
Sweden	10	8 916	10	8 916
Switzerland	5	3 220	5	3 220
Taiwan, China	6	4 884	8	7 484
Ukraine	15	13 095	18	15 945
United Arab Emirates	0	0	4	5 600
United Kingdom	19	10 982	19	10 982
United States	104	102 800.4	113	113 277.4
TOTALS	**439**	**375 043.4**	**532**	**464 974.4**

عدد وحدات الطاقة حسب نوع المفاعل في أنحاء العالم

نوع المفاعل	عدد الوحدات	صافي الطاقة MWe قيد التشغيل	عدد الوحدات	صافي الطاقة MWe المجموع
Pressurized light-water reactors (PWR)	265	244 703.1	338	319 364.1
Boiling light-water reactors (BWR)	92	84 720.3	98	92 776.3
Gas-cooled reactors, all types	18	9 794	18	9 794
Heavy-water reactors, all types	48	25 047	59	30 765
Graphite-moderated light-water reactors (LGR)	15	10 219	15	10 219
Liquid-metal-cooled fast-breeder reactors (LMFBR)	1	560	4	2 056
TOTALS	**439**	**375 043.4**	**532**	**464 974.4**

تفصيل المختصرات المستخدمة في هذه القائمة

AA: ASEA-Atom (Sweden)
AAC: AECL/Ansaldo (Romania)
ABB: ASEA/Brown Boveri (Sweden, Switzerland)
ABWR: advanced boiling water reactor
ACEC: Ateliers de Constructions Electriques de Charleroi S.A. (Belgium)
ACECOWEN: ACEC/COP/Westinghouse (Belgium)
ACLF: ACEC/COP/C-L/Fra/Westinghouse (France)
ADF: Auxeltra-Delens-Francois (Belgium)
AECL: Atomic Energy of Canada Ltd.
AEE: Atomenergoexport (USSR)
AEG: Allgemeine Elektricitaets-Gesellschaft, AEG Telefunken (Germany)
AEI: Associated Electric Industries Ltd. (UK)
AEP: Atomenergoproject (Russia)
AGR: advanced gas-cooled reactor
Allis: Allis-Chalmers (US)
AMGC: Association Momentanee de Genie Civil (Belgium)
AMN: Ansaldo Meccanico Nucleare SpA (Italy)
APC: Atomic Power Construction Ltd. (UK)
Arge: Dyckerhoff & Widmann AG/Wayss & Freitag AG/Hedgkamp (Germany)
ASE: Atomstroyexport (Russia)

B&R: Burns and Roe, Inc. (US)
B&W: The Babcock & Wilcox Co. (US)
BAM: Bataafsche Aanneming Maatschappij (Netherlands)
BBC: Brown Boveri et Cie. (Switzerland)
BBR: Babcock-Brown Boveri Reaktor GmbH (Germany)
Bech: Bechtel Corp. (US)
BHEL: Bharat Heavy Electrical Ltd. (India)
BPL: Babcock Power Ltd. (UK)
Brown: Brown & Root, Inc. (US)
BWR: boiling water reactor

CAP: C.A. Parsons & Co., Ltd. (UK)
C-B: Campenon-Bernard (France)
CdA: Condotte d Acqua (Italy)
C-E: Combustion Engineering, Inc. (US)
CEGB: Central Electricity Generating Board (UK)
CEI: Cleveland Electric illuminating Co. (US)
CEM: Compagnie Electro Mechanique (France)
CFE: Cie. d'Enterprises CFE S.A. (Belgium)
Chag: Chagnaud (France)
Chuba EPCO: Chuba Electric Power Co., Inc.
CITRA: Compagnie Industrielle de Travaux (France)
C-L: Creusot-Loire (France)
CM: Chantiers Modernes (France)
CNIM: Constructions Navales et Industrielles de la Mediterranée (France)

CNNC: China National Nuclear Corporation
ComEd: Commonwealth Edison (US)
COP: Cockeril Ougree-Providence (Belgium)
CTAFMC: CFE/Travaux/Astrobel General Contractors/Francois et Fils/Maurice Delens/Campenon-Bernard (France)
CTL: Canatom Ltd. (Canada)

Doosan: Doosan Heavy Industries and Construction Company, Ltd. (South Korea)
DTP: Dragages Travaux Publiques
Duquesne: Duquesne Light Co. (US)

E&B: Emch & Berger (Switzerland)
EA: Empresarios Agrupados (Spain)
ECC: Engineering Construction Corp. (India)
EDF: Electricité de France
EE: English Electric Co., Ltd. (UK)
EEC: English Electric Co., Ltd. (Canada)
ENB: Empresa Nacional Bazan (Spain)
ENSA: Equipos Nucleares SA (Spain)
EPDC: Electric Power Development Co., Ltd. (Japan)
EROTERV: Power Station and Network Engineering Company (Hungary)
EW: Electrowatt Ltd. (Switzerland)
EyT: Entrecanales y Tavora (Spain)

FBEC: FBR Engineering Co., Ltd. (Japan)
FECNE: Nucelar Power Plant Equipment Factory (Romania)
Fou: Fougerolle (France)
Fra: Framatome ANP (France)
FRAMACECO: Framatome/ACEC/COP (Belgium)
FUE: Power Equipment Factory (Romania)

G&H: Gibbs & Hill, Inc. (US)
G&HE: Gibbs & Hill Espanola SA (Spain)
GCR: gas-cooled reactor (includes advanced gas-cooled reactors in the United Kingdom)
GE: General Electric Co. (US)
GE Can: GE Canada
GEC: General Electric Co. (UK)
GETSCO: General Electric Technical Services Co. (US)
Goyou: Penta-Ocean Construction Corp. (Japan)
GTM: Grands Travaux de Marseille (France)
GVM: GANZ Villamos Murek (Hungary)

Haz: Hazama Gumi Co. (Japan)
HCC: Hindustan Construction Co. (India)
HCCM: Huaxing (China)/China Construction Engineering Corp. (China)/Campenon-Bernard (France)/Maeda (Japan)

Hitachi: Hitachi Ltd. (Japan)
Hoch: Hochtief AG (Germany)
HWLWR: heavy-water/light-water reactor

Initec: Empresa Nacional de Ingeneria y Tecnologia SA (Spain)
ISPE: Institute for Power Studies and Design (Romania)
IyP: Informas y Projectas SA (Spain)

JL: John Laing Construction Ltd. (UK)
J-S: Jeumont-Schneider (France)

Kajima: Kajima Corp. (Japan)
KEPCO: Korea Electric Power Corporation
KHIC: Korea Heavy Industries and Construction Co.
KOPEC: Korea Power Engineering Co., Ltd.
KTZ: Kharkovsky Turbinny Zavod (Ukraine)
Kum: Kumagai Gumi Co. (Japan)
KWU: Kraftwerk Union AG (Germany)

L&T: Larson & Toubro (India)
LGR: light-water-cooled, graphite-moderated reactor
LMFBR: liquid metal fast breeder reactor
LMGMR: Liquid-metal-cooled gas-moderated reactor
LMZ: Leningradsky Metalichesky Zavod (Russia)
LOAEP: Filial Leningradense de Atomenergoprojekt (USSR/Cuba)
LWBR: light-water breeder reactor

Maeda: Maeda Corp. (Japan)
MAPI: Mitsubishi Atomic Power Industries, Inc. (Japan)
MECO: Montreal Engineering Co. (Canada)
MEL: Mitsubishi Electric Corp. (Japan)
MHI: Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (Japan)
MPS: Ministry of Power Stations (Russia)
MTM: Mintyazhmash (Russia)

NCC: Nuclear Civil Constructors (UK)
NEI: Northern Engineering Industries (UK)
NiMo: Niagara Mohawk Power Corp. (US)
NIRA: Nucleare Italiana Reattori Avanzati (Italy)
Nish: Nishimatso Construction Co., Ltd. (Japan)
NNC: National Nuclear Corporation (UK)
NPCIL: Nuclear Power Corporation of India, Ltd.
NSP: Northern States Power Co. (US)
Nuclen: Nuclebras Engenaria SA (Brazil)

Obay: Obayashi Gumi Co. (Japan)
OCR: Organically cooled reactor

OH: Ontario Hydro (Canada)

PARS TG: Parsons Turbine Generators Canada, Ltd. (Canada)
PH: Philip Holzman (Germany)
PHWR: pressurized heavy-water reactor
Pioneer: Pioneer Services & Engineering
PPP: PWR Power Projects (UK)
PWR: pressurized (light-) water reactor

R&C: Richardson & Cruddas (India)
RDM: Rotterdamse Drookdok Maatschappij (Netherlands)
RW: Richardsons Westgarth Ltd. (UK)

S&L: Sargent & Lundy Engineers (US)
S&W: Stone & Webster Engineering Corp. (US)
SAE: Société Auxiliaire d Entreprise (France)
SB: Spie Batignolles SA (France)
SBF: Shanghai Boiler Factory (China)
SC Electrosila: Stock Company Electrosila (Saint Petersburg, Russia)
SCG: Skanska Cementgjuteriet (Sweden)
SCREG: Société Chimique et Routière d'Entreprise Générale (France)
SeB: Sainrapt et Brice (France)
SGE: Société General d'Enterprises (France)
SHI: Sumitomo Heavy Industries Ltd. (Japan)
Shim: Shimizu Corp. (Japan)
SL: Stal-Laval Turbin AB (Sweden)
SV: Statens Vattenfallsverk (Sweden)

Tak: Takenaka Corp. (Japan)
TEE: Tractabel Energy Engineering (Belgium)
TNPG: The Nuclear Power Group (UK)
Toshiba: Toshiba Corp. (Japan)
Tosi: Franco Tosi SpA (Belgium)
TVBB: Tijdelijke Vereniging Burgerlijke Bouwkunde (Belgium)
TW: Taylor Woodrow Construction Ltd. (UK)

UE&C: United Engineers & Constructors (US)
UKAEA: United Kingdom Atomic Energy Authority

VBB: AB Vattenbyggnadsbryan (Sweden)

W: Westinghouse Electric Corp. (US)
Wedco: a subsidiary of Westinghouse (JS)
WIL: Walchandnagar Industries Ltd. (India)

ZAES: Zarubezhatomenergostroy (Russa)

استعراض التقانات النووية لعام 2010

من منظور الوكالة الدولية للطاقة الذرية

إعداد: أ. د مصطفى حموليلا*

IAEA
تسخير الذرّة من أجل السلام

المحتويات

-- تقرير المدير العام للوكالة عن التقانات النووية 2010 35
أ- تطبيقات القدرة النووية 36
أ-1 القدرة النووية 2007-2009 36
أ-2 النمو المتوقع للقدرة النووية 39
أ-3 دورة الوقود 39
أ-3-1 موارد اليورانيوم وإنتاجه 39
أ-3-2 تحويل اليورانيوم وتخصيبه وصنع الوقود 41
أ-3-3 المرحلة الختامية من دورة الوقود 41
أ-4 العوامل الإضافية المؤثرة في نمو القدرة النووية 42
أ-4-1 الجوانب الاقتصادية 42
أ-4-2 الأمان 42
أ-4-3 تنمية الموارد البشرية 43
ب- الانشطار والاندماج المتقدمان 43
ب-1 الانشطار المتقدم 43
ب-1-1 المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (إنبرو) والمحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات 43
ب-1-2 الشراكة العالمية في مجال الطاقة النووية 44
ب-1-3 مزيد من التطور في مجال الانشطار المتقدم 44
ب-2 الاندماج 44
ج – البيانات الذرّية والنووية 45
د– التطبيقات الخاصة بالمسرعات ومفاعلات البحوث 45
د-1 المسرِّعات /المعجلات/ 45
د-2 مفاعلات البحوث 45
هـ– التقانة النووية في مجال الأغذية والزراعة 46
هـ-1 تحسين انتاجية الماشيةوالصحة البيطرية 46
هـ-2 مكافحة الآفات الحشرية 46
هـ-3 جودة الأغذية وأمانها 47
هـ-4 تحسين المحاصيل 47
هـ-5 الإدارة المستدامة للأراضي والمياه 47
هـ-5-1 تحسين إدارة المياه الزرعية باستخدام الوسائل النظيرية 47
هـ-5-2 احتباس كربون التربة العضوي والتخفيف من شدة تغير المناخ ... 47
و– الصحة البشرية 48
و-1 مكافحة سوء التغذية بواسطة تقنيات نووية 48
و-2 تقنيتان للتصوير الاشعاعي الهجين 48
و-3 أوجه التقدم في تطبيقات العلاج الاشعاعي للأورام 49
و-4 أثر التقانة الرقمية على التصوير الاشعاعي بأشعة X 49
ز– البيئة 49
ز-1 التقنيات النووية لقياس كميات المياه الجوفية المصرفة تحت سطح البحر 49
ز-2 فهم دورة الكربو: تطبيق التقنيات النووية في تقييم تدفقات الجسيمات من سطح المحيط إلى القاع 50
ح– الموارد المائية 50
ح-1 معرفة الوقائع قبل التصرف 51
ح-1 استخدام النظائر المسقرة لفهم وفرة المياه الجوفية وجودتها 51
ط– إنتاج النظائر المشعة والتقانة الإشعاعية 52
ط-1 النظائر المشعة والمستحضرات الصيدلانية الاشعاعية 52
ط-1-1 منتجات النظائر المشعة وتوافرها 52
ط-1-2 أمن إمدادات الموليبيديوم-99 52
ط-2 تطبيقات التقانة الاشعاعية 53
ط-2-1 تعقيم مواد التغليف والحاويات المعقمة باستخدام حزم الالكترونات 53
ط-2-2 التوليف الاشعاعي للبنى النانوية القاتمة على الكربون 53

* بالاقتباس من التقرير المرفوع لمجلس المحافظين برقم (GOV/2010/5) وتاريخ 10/2/2010.

خلاصة الاستعراض

يبسط استعراض التقانات لعام 2010 بايجاز كلاً من المجالات التالية: تطبيقات القدرة النووية، وتقنيات الانشطار والاندماج المتقدمة والبيانات الذرية والنووية، وتطبيقات المسرعات ومفاعلات البحوث والتقنيات النووية المستخدمة في ميدان الأغذية والزراعة، والطاقة البشرية والبيئية، والموارد المائية، وإنتاج النظائر المشعة وتوافرها، والتقانة الإشعاعية، أضف إلى ذلك الوثائق الإضافية المرتبطة بوثيقة استعراض التقانة النووية لعام 2010 والمتاحة عبر الموقع الإلكتروني GOVATOM التي تتناول التطورات في مجال الطب النووي للسيطرة على السرطان، والتقنيات النووية للتصدي للأمراض الحيوانية العابرة للحدود، والتقنيات النووية لرصد التلوث البحري، وإخراج المرافق النووية من الخدمة، والموارد البشرية اللازمة لتوسيع الاستفادة من القدرة النووية، وكذلك البنية الأساسية اللازمة لبرامج محطات القدرة النووية وإنتاج وتوريد الموليبدنيوم-99 وغير ذلك وكلها ستعرض في هذا المقال بشكل مقتضب.

وستُعرض الوثيقة الأصل في دورة المؤتمر العام الرابعة والخمسين ربما بعد إدخال بعض التعديلات عليها على ضوء المناقشات التي ستدور في مجلس المحافظين.

تقرير المدير العام الموجز عن فحوى استعراض التقانات النووية لعام 2010

1 في عام 2009، بدأت أعمال التشييد في أحد عشر مفاعلاً جديداً من مفاعلات القدرة النووية، وهو أكبر عدد تم تحقيقه منذ عام 1987، وقد عُدِّلت التوقعات فيما يخص القدرة النووية في المستقبل مرة أخرى في اتجاه تصاعدي. بيد أنه لم يُربط بالشبكات سوى مفاعلين جديدين، في حين سُحبت ثلاثة مفاعلات خلال السنة، وانخفضت قدرة الطاقة النووية الإجمالية عبر العالم انخفاضاً طفيفاً للعام الثاني على التوالي.

2 ما زالت عمليات التوسع الراهنة، وكذلك احتمالات النمو في الأجلين القصير والطويل، تتركز في آسيا. وكانت أعمال التشييد في عشرة مفاعلات من أصل أحد عشر مفاعلاً جديداً في آسيا، ربط منها مفاعلان بشبكات كهربائية في آسيا أيضاً. ورغم أن الأزمة المالية العالمية التي بدأت في النصف الثاني من عام 2008 لم تُخفف من التوقعات الإجمالية المتعلقة بالقدرة النووية، فقد عُدت عاملاً مساهماً في حالات التأخير أو التأجيل على المدى القريب كما أنها أثرت في المشاريع النووية في بعض مناطق العالم.

3 وفي بعض البلدان الأوروبية التي كانت تُفرض فيها قيود فيما سبق على استخدام القدرة النووية في المستقبل المنظور برزت هناك ميول نحو إعادة النظر في هذه السياسات.

4 ما زال الاهتمامُ عالياً ببدء برامج جديدة للقدرة النووية. وأعربت للوكالة ما يربو على 60 دولة عضواً عن اهتمامها بالتفكير في الأخذ بخيار القوى النووية. وفي عام 2009، وجهت الوكالة أولى بعثاتها الخاصة بالاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية في الأردن وأندونسيا وفييتنام.

5 تزايدت التقديرات المتعلقة بالموارد التقليدية لليورانيوم (المعروفة بتكلفة إنتاج لاتزيد على 130 دولاراً للكيلوغرام الواحد من اليورانيوم) تزايداً طفيفاً، وهي تتعلق أساساً بالزيادات التي أفادت بها أستراليا وكندا وناميبيا. كما انخفضت أسعار التسليم الفوري لليورانيوم، ومن المتوقع أن تُظهر البيانات النهائية لعام 2009 انخفاضاً في وتيرة التنقيب عن اليورانيوم وتطويره.

6 أذن مجلس المحافظين لمدير عام الوكالة بالتوقيع على اتفاق مع الاتحاد الروسي يقضي بإنشاء احتياطي دولي من اليورانيوم الضعيف التخصيب. ومن شأن هذا الاحتياطي أن يتضمن 120 طناً من اليورانيوم الضعيف التخصيب الذي يمكن اتاحته لأي بلد يواجه حالة انقطاع غير تجاري في إمداداته من اليورانيوم الضعيف التخصيب، علماً بأن المدير العام يتمتع بالسلطة الوحيدة القادرة على تحرير أي مقدار من اليورانيوم الضعيف التخصيب من هذا الاحتياطي.

7 اختارت الشركة السويدية قرب مدينة أوسثامار موقعاً للتصرف في الوقود النووي والنفايات النووية واستخدامه مستودعاً جيولوجياً نهائياً خاصاً بالوقود المستهلك، بعد عملية اختيار دامت عشرين عاماً تقريباً. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، قررت الحكومة إنهاء أعمالها الخاصة باستحداث مستودع دائم للنفايات القوية الإشعاع في جبل يوكا. وفي الوقت نفسه مواصلة عملية منح الرخص. وهي تخطط لإنشاء لجنةٍ تُعنى بتقييم البدائل.

8 وفيما يتعلق بالاندماج النووي، استكملت تحضيرات الموقع للمفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي، وتمَّ التوقيع على ترتيبات المشتريات المتعلقة بالمرافق بما قيمته 1.5 بليون يورو تقريباً ، أي حوالي ثلث مجموع المشتريات المنتظرة. وقد استُكملت أعمال تركيب مرفق الإشعال الوطني في الولايات المتحدة الأمريكية.

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

10 وفي مجال الأغذية والزراعة، تُستخدم التقنيات النووية، مع تقنيات تكميلية، للتصدي لتزايد عدد الآفات الحشرية التي تهدد الإنتاج الزراعي وكذلك التجارة الدولية. ويُعد تحليل الموارد الوراثية للمواشي من الأولويات الدولية العالية لأن ذلك يوفِّر خيارات جوهرية لاستدامة توسع الإنتاج الحيواني. ويمكن أن تقدِّم التقنيات النووية المساعدة في هذه الجهود. ومع تزايد القلق إزاء انبعاثات الكربون، يتزايد الاهتمام بخيار اختزان الكربون في التربة، وتفيد الأدوات النظيرية في تقييم قدرة الاختزان في مساحات أراضٍ محددة.

11 وما زال التصوير التشخيصي يُعدُّ أحد أهم المجالات الإبداعية في الطب المعاصر. ويتزايد دمج التقنيات النووية، كالتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني، والتصوير المقطعي بالانبعاث الفوتوني المفرد، والتصوير المقطعي الحاسوبي، في نظم للتصوير هجينة كالتصوير المقطعي بالانبعاث الفوتوني المفرد/التصوير المقطعي المحوسب، والتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني/التصوير المقطعي المحوسب. وتسمح نظم التصوير الهجينة هذه بفحص حالة الهيكل العظمي للإنسان وكذلك وظيفة الأعضاء البشرية. وتتزايد أهمية هذا التصوير الهجين في مجالات طب القلب والسرطان. ومن شأن النتائج الأخيرة المستخلصة من تطبيق تقنيات النظائر المستقرة لتقييم مدى التوافر الحيوي للحديد والأصباغ الجزرانية وغيرها من أجسام سكانية ضعيفة أن تقدم مساعدة لصناعي القرارات والمهنيين، في المجال الصحي، وغيرهم من أصحاب المصالح، في تحديد الخطوات المقبلة وخيارات التصدي.

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

13 حظي التزايد المطرد في الطلب على النظائر المشعة لأغراض التطبيقات الطبية والصناعية، وكذلك التقدم الحاصل في التقنيّات ذات الصلة، اهتماماً عالمياً في عام 2009 نظراً للتغطية الإعلامية الرفيعة المستوى التي حظي بها النقص الشديد في إمدادات النظائر الطبية، لاسيما في إمدادات الموليبدنوم-99 المنتج بالانشطار. ويستمر العمل على تطوير تطبيقات جديدة للتقانة الإشعاعية، ويشهد على ذلك استخدام منهجية جديدة للأشعة الإلكترونية التي تمنح أيضاً خياراً خالياً من المواد الكيميائية لتعقيم أو تنظيف مواد التغليف أو الحاويات المعقمة.

أ- تطبيقات القدرة النووية

أ-1 القدرة النووية 2007-2009

كان عام 2009، فيما يتعلق بالقدرة النووية، العام الثاني على التوالي الذي يشهد عدداً مرتفعاً من عمليات تشييد مفاعلات جديدة وإجراء تنقيحات تصاعدية في توقعات نمو القدرة النووية في المستقبل. ورغم أن 2008 كان مميزاً باعتباره أول عام لم تربط فيه أي مفاعلات جديدة بالشكبات الكهربائية منذ عام 1955، فإن العام 2009 شهد ربط مفاعلين جديدين بالشبكات الكهربائية، هما المفاعل توماري-3 (866 ميغاواط كهربائي) في اليابان، والمفاعل راجاستان-5 (202 ميغاواط كهربائي في الهند).

ومنذ 1 كانون الثاني/يناير 2010، كان هناك 437 مفاعلاً للقدرة النووية يجري استثمارها عبر العالم، بقدرة إجمالية تبلغ 370 جيغاواط كهربائي (انظر الجدول ألف-1). وهي قدرة أقل من القدرة التي سجلت في نهاية عام 2008 بنحو 1.5 جيغاوط كهربائي، ويرجع ذلك جزئياً إلى سحب مفاعلات، هي هاماوكو-1 وهاماوكو-2 في اليابان وإغنالينا-2 في ليتوانيا، التي سُحبت في نهاية العام.

وهناك أحد عشر مفاعلاً بُدئ في تشييدها في الصين منها 9 مفاعلات بقدرة 1000 ميغاواط كهربائي للواحد، وفي كوريا مفاعل بقدرة 1340 ميغاواط كهربائي، وآخر في الاتحاد الروسي بقدرة 1085 ميغاواط كهربائي ومفاعلان صغيران في سلوفاكيا في حين أن العام 2008 شهد تشييد عشرة مفاعلات وشهد عام 2007 تشييد ثمانية مفاعلات.

يشمل العمل في هذه الفترة عمليات تشييد ما مجموعه 55 مفاعلاً حتى نهاية العام 2009 وهو أكبر عدد من المفاعلات جرت إشادتها منذ العام 1992.

وما زالت عمليات التوسع الراهنة، وكذلك احتمالات النمو في الأجلين القصير والطويل، تتركز في آسيا. فمن بين عمليات بدء التشييد التي تمت في المفاعلات الأحد عشر في عام 2009، كانت عشر عمليات توجد في آسيا. وكما هو مبين في الجدول ألف-1، يوجد في آسيا 36 مفاعلاً من أصل 55 مفاعلاً يجري تشييدها، كما كان يوجد في آسيا 30 مفاعلاً من بين آخر المفاعلات الجديدة البالغ عددها 41 مفاعلاً التي ربطت بالشبكة الكهربائية. وهدف الصين هو أن تبلغ قدرة المحطات النووية في عام 2020 ما مقداره 40 جيغاواط كهربائي، مقارنة بما مقداره 8.4 جيغاواط كهربائي لقدرتها اليوم. وقال رئيس الوزراء الهندي مانموهان سينغ، لدى افتتاح المؤتمر الدولي المعني بالاستخدامات السلمية للطاقة الدولية الذرّية في نيودلهي في أيلول/سبتمبر، إن من المحتمل أن تنشئ الهند قدرة تبلغ 470 جيغاواط كهربائي بحلول عام 2050.

ففي عام 2009 استمرت الاتجاهات الحديثة المتعلقة برفع القدرات وتجديد الرخص وتمديد أجلها بالنسبة لعدة مفاعلات عاملة وأبرزها في الولايات المتحدة، وفي بعض البلدان الأوربية، التي كانت تفرض فيها سابقاً قيود على استخدام القدرة النووية المستقبلية، برزت ميول نحو إعادة النظر في هذه السياسات ولا يخفى ما كان للأزمة المالية التي بدأت في النصف الثاني من عام 2008 من إسهام في عرقلة المشاريع النووية. وإن كانت في المحصلة لم تخفف من التوقعات الإجمالية لنمو القدرة النووية كما سنرى في أ-2، فمثلاً أعلن الاتحاد الروسي أنه سيخفضن ولسنوات عديدة مقبلة، دائرة التوسع في إنشاء المفاعلات المخطط لها من مفاعلين في السنة إلى مفاعل واحد بسبب الأزمة المالية وبسبب الانخفاض المتوقع في استخدام الكهرباء، في حين أن بلداناً أخرى أطالت مدة التنفيذ.

وفيما يتعلق بالتوقعات المتصلة بالنمو في المستقبل (القسم أ-2)، ما زال الاهتمام في الشروع ببرامج جديدة للقدرة النووية عالياً بالرغم من كل ذلك. وأبدى أكثر من 60 دولة عضواً إلى الوكالة اهتماماً بدارسة إمكانية الأخذ بخيار القوى النووية، وازداد عدد مشاريع التعاون التقني بشأن الأخذ بخيار القوى النووية إلى ثلاثة أضعاف في العام 2009، وقد صدر في 2009 كتيب عن خدمة جديدة للوكالة، بعنوان بعثات الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية: إرشادات عن إعداد وإيفاد بعثات الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية. وعملت أولى هذه البعثات في الأردن وإندونيسيا وفييتنام. وليست بعثات الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية هي إلا استعراضات للنظراء تنسقها الوكالة وتجريها فرق مكونة من خبراء دولتين بالاستناد إلى تقييم حالة تطور البنية الأساسية النووية الوطنية، وفق ما نشرته الوكالة في أواخر عام 2008. وتتم مواءمة أهداف ونطاق كل استعراض من تلك الاستعراضات وفقاً لاحتياجات الدول الأعضاء المهتمة. وعلى غرار التقييم الذاتي، تهدف البعثات المذكورة إلى مساعدة البلد على تحديد الفجوات القائمة بين المعالم البارزة والمستوى الراهن الذي بلغه البلد في وضع برنامجه إلى جانب سد تلك الفجوات بفعالية.

الجدول أ-1 إجمالي مفاعلات القدرة النووية العاملة أو قيد التشييد في العالم (حتى 2010/1/31) (أ)

البلد	المفاعلات قيد التشغيل		المفاعلات قيد التشييد		إمدادات الكهرباء النووية في عام ٢٠٠٨		إجمالي الخبرة التشغيلية حتى نهاية عام ٢٠٠٩	
	عدد الوحدات	المجموع بالميغاواط الكهربائي	عدد الوحدات	المجموع بالميغاواط الكهربائي	تيراواط-ساعة	٪ من المجموع	السنوات	الشهور
الأرجنتين	٢	٩٣٥	١	٦٩٢	٦,٩	٦,٢	٦٢	٧
الاتحاد الروسي	٣١	٢١ ٧٤٣	٩	٦ ٨٩٤	١٥٢,١	١٦,٩	٩٩٤	٤
أرمينيا	١	٣٧٦			٢,٣	٣٩,٤	٣٥	٨
أسبانيا	٨	٧ ٤٥٠			٥٦,٥	١٨,٣	٢٦٩	٦
ألمانيا	١٧	٢٠ ٤٧٠			١٤٠,٩	٢٨,٨	٧٥١	٥
أوكرانيا	١٥	١٣ ١٠٧	٢	١ ٩٠٠	٨٤,٥	٤٧,٤	٣٦٨	٦
إيران (جمهورية-الإسلامية)			١	٩١٥				
باكستان	٢	٤٢٥	١	٣٠٠	١,٧	١,٩	٤٧	١٠
البرازيل	٢	١ ٧٦٦			١٣,٢	٣,١	٣٧	٣
بلجيكا	٧	٥ ٨٦٣			٤٣,٤	٥٣,٨	٢٣٣	٧
بلغاريا	٢	١ ٩٠٦	٢	١ ٩٠٦	١٤,٧	٣٢,٩	١٤٧	٣
الجمهورية التشيكية	٦	٣ ٦٧٨			٢٥,٠	٣٢,٥	١١٠	١٠
جمهورية كوريا	٢٠	١٧ ٦٤٧	٦	٦ ٥٢٠	١٤٤,٣	٣٥,٦	٣٣٩	٨
جنوب أفريقيا	٢	١ ٨٠٠			١٢,٨	٥,٣	٥٠	٣
رومانيا	٢	١ ٣٠٠			١٠,٣	١٧,٥	١٥	١١
سلوفاكيا	٤	١ ٧١١	٢	٨١٠	١٥,٥	٥٦,٤	١٣٢	٧
سلوفينيا	١	٦٦٦			٦,٠	٤١,٧	٢٨	٣
السويد	١٠	٨ ٩٥٨			٦١,٣	٤٢,٠	٣٧٢	٦
سويسرا	٥	٣ ٢٣٨			٢٦,٣	٣٩,٢	١٧٣	١٠
الصين	١١	٨ ٤٣٨	٢٠	١٩ ٩٢٠	٦٥,٣	٢,٢	٩٩	٣
فرنسا	٥٩	٦٣ ٢٦٠	١	١ ٦٠٠	٤١٩,٨	٧٦,٢	١ ٧٠٠	٢
فنلندا	٤	٢ ٦٩٦	١	١ ٦٠٠	٢٢,١	٢٩,٧	١٢٣	٤
كندا	١٨	١٢ ٥٧٧			٨٨,٣	١٤,٨	٥٨٢	٢
المكسيك	٢	١ ٣٠٠			٩,٤	٤,٠	٣٥	١١
المملكة المتحدة	١٩	١٠ ٠٩٧			٤٨,٢	١٣,٥	١ ٤٥٧	٨
الهند	١٨	٣ ٩٨٤	٥	٢ ٧٠٨	١٣,٢	٢,٠	٣١٨	٤
هنغاريا	٤	١ ٨٥٩			١٣,٩	٣٧,٢	٩٨	٢
هولندا	١	٤٨٢			٣,٩	٣,٨	٦٥	٠
الولايات المتحدة الأمريكية	١٠٤	١٠٠ ٦٨٣	١	١ ١٦٥	٨٠٦,٧	١٩,٧	٣ ٤٩٩	٩
اليابان	٥٤	٤٦ ٨٢٣	١	١ ٣٢٥	٢٤١,٣	٢٤,٩	١ ٤٣٩	٥
المجموع ب، ج	٤٣٧	٣٧٠ ١٨٧	٥٥	٥٠ ٨٥٥	٢ ٥٩٧,٨	١٤	١٣ ٩١١	٣

أ- البيانات مأخوذة من نظام المعلومات عن مفاعلات القدرة التابع للوكالة (www.iaea.org/pris)

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

- 6 وحدات، 4949 ميغاواط كهربائي، جارٍ تشغيلها؛ ووحدتان، 2600 ميغاواط كهربائي، جارٍ بناؤهما
- 39,3 تيراواط ساعة من الكهرباء المولدة نووياً، مما يمثل 17,5% من إجمالي حجم الكهرباء المولدة هناك
- خبرة تشغيلية مجموعها 170 سنة وشهر واحد في نهاية عام 2009.

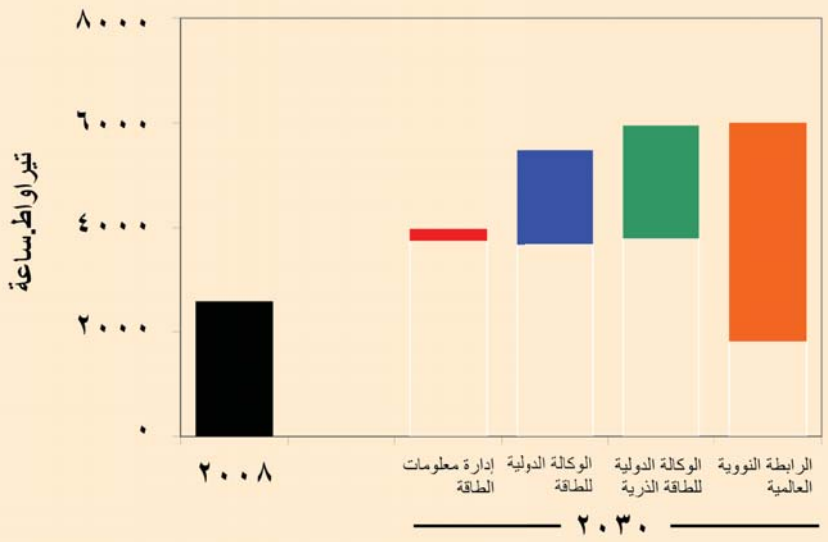
ج- يشمل إجمالي الخبرة التشغيلية أيضاً المحطات المغلقة في إيطاليا (81 سنة) وكازاخستان (25 سنة و10 شهور) وليتوانيا (43 سنة و 6 شهور).

أ-2 النمو المتوقع للقدرة النووية

تتحقق الوكالة سنوياً من توقعاتها المنخفضة والمرتفعة بشأن النمو العالمي في مجال القدرة النووية. وفي عام 2009، بالرغم من الأزمة المالية التي بدأت في أواخر عام 2008، نُقِّح التوقع المنخفض والتوقع المرتفع كلاهما إلى الأعلى. وفي التوقع المنخفض المحدّث، وصلت القدرة العالمية للقدرة النووية إلى 511 جيغاواط كهربائي في عام 2030، مقارنة بـ 370 جيغاواط كهربائي في نهاية عام 2009. أما في التوقع المرتفع المحدّث، فإن هذه القدرة بلغت 807 جيغاواط كهربائي. وهذه التوقعات المنقحة لعام 2030 هي أعلى بنسبة 8% من التوقعات المعلن عنها في عام 2008.

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

ولم تكن توقعات الوكالة هي التوقعات النووية الوحيدة التي نقّحت في عام 2009. فقد قامت إدارة معلومات الطاقة التابعة للولايات المتحدة، والوكالة الدولية للطاقة التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، والرابطة النووية العالمية كذلك في عام 2009 بنشر صيغة محدّثة للتوقعات. وأصبح نطاق توقعات إدارة معلومات الطاقة أضيق قليلاً، وأصبح نطاق توقعات الرابطة النووية العالمية أوسع قليلاً، أما نطاق توقعات الوكالة الدولية للطاقة فقد انتقل إلى اتجاه تصاعدي قليلاً (إذ تزايدت كل من القيم المنخفضة والمرتفعة). ويقارن الشكل أ-1 بين نطاقات التوقعات النووية لعام 2009 التي قدمتها إدارة معلومات الطاقة، والوكالة الدولية للطاقة، والوكالة الدولية للطاقة الذرّية، والرابطة النووية العالمية.



الشكل أ-1 مقارنة توقعات القدرة النووية، كما قدمتها إدارة معلومات الطاقة، والوكالة الدولية للطاقة الذرّية، والرابطة النووية العالمية

أ-3 دورة الوقود[1]

أ-3-1 موارد اليورانيوم وإنتاجه[2]

في الوقت الراهن، تقدَّر موارد اليورانيوم التقليدية المعروفة، المستكشفة والممكن استخلاصها بتكلفة أقل من 130 دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم، بحوالي 5.7 مليون طن من اليورانيوم. وهي تزيد بأكثر من 0.2 مليون طن من اليورانيوم، مقارنة بعام 2007، ويُعزى ذلك بالأساس إلى الزيادة التي أفادت بها أستراليا وكندا وناميبيا. وثمة 0.7 مليون طن إضافي من اليورانيوم من موارد تقليدية يمكن استخلاصها بتكلفة تتراوح بين 130 و 260 دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم. وكأساس مرجعي، كانت أسعار التسليم الفوري لليورانيوم في عام 2009 متقلبة وتراوحت بين 110 و 135 دولاراً للكيلوغرام الواحد وأظهرت تدريجياً اتجاهاً تنازلياً بيّناً.

---

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

2 يستند هذا القسم إلى الطبعة الوشيكة من "الكتاب الأحمر" (الصادر عن وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي بالاشتراك مع الوكالة الدولية للطاقة الذرّية بعنوان، اليورانيوم 2009: موارده وإنتاجه والطلب عليه، منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، باريس 2010).

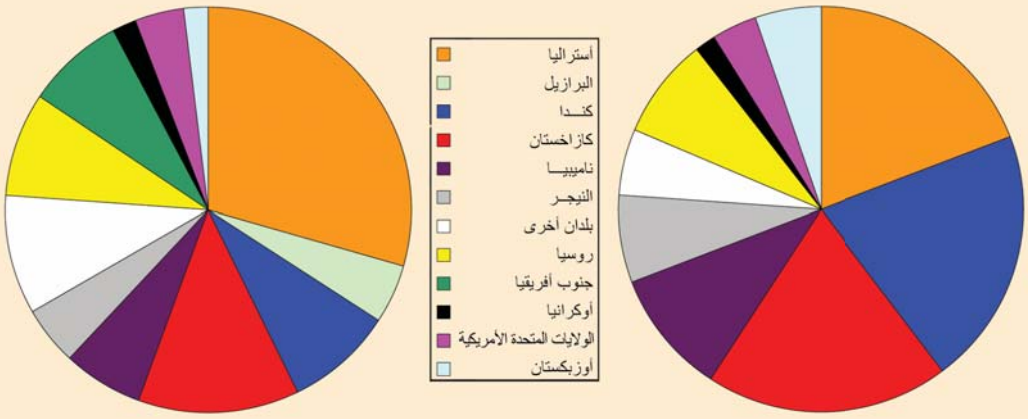
وتقدر الموارد التقليدية غير المكتشفة بنحو 6.3 مليون طن من اليورانيوم بتكلفة أقل من 130 دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم، بالإضافة إلى 0.2 مليون طن من اليورانيوم بتكلفة تتراوح بين 130 و 260 دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم. ويشمل ذلك موارد يُتوقع ظهورها إما في مكامن معروفة أو قريباً منها، موارد تعتمد أكثر على التوقعات ويُعتقد بوجودها في مناطق واعدة جيولوجياً، لكنها لم تكتشف بعد. كما توجد موارد أخرى تعتمد على التوقعات تقدَّر بنحو 3.6 مليون طن من اليورانيوم لم تحدد تكاليف إنتاجها.

وتوسعُ مواردُ اليورانيوم غير التقليدية والثوريوم أكثر قاعدة الموارد. وتشمل الموارد غير التقليدية اليورانيوم الموجود في مياه البحر والموارد التي لا يمكن استخلاص اليورانيوم منها إلا كمنتج ثانوي غير هام، وقليلةٌ جداً هي البلدان التي تُبَلِّغُ في الوقت الراهن من الموارد غير التقليدية. وتبلغُ الأرقام التقديرية السابقة لليورانيوم الممكن استخلاصه من أنواع الفوسفات والخامات غير الحديدية والكربوناتيت، والشست الأسود والليغنيت نحو 10 مليون طن من اليورانيوم. وتم إنتاج كميات كبيرة في الماضي استخلصت من حمض الفوسفوريك في بلجيكا وكازاخستان والولايات المتحدة الأمريكية. ومع ارتفاع أسعار اليورانيوم في الآونة الأخيرة، يتجدّد الاهتمام بهذا المجال في الأردن وأستراليا والبرازيل وتونس وفرنسا والمغرب والهند والولايات المتحدة الأمريكية.

وفي الصين، تجري دراسة استخلاص اليورانيوم من أكوام رماد الفحم الناجم عن إنتاج المحطات الحرارية. أما الثوريوم، الذي يمكن استخدامه أيضاً كمورد للوقود النووي، فيتوافر بكثرة، موزعاً على نطاق واسع في الأماكن الطبيعية، وهو مورد يمكن استغلاله بسهولة في كثير من البلدان. ويُقدَّر حجم الموارد العالمية بحوالي 6 مليون طن من الثوريوم. ورغم استخدام الثوريوم كوقود للأغراض الإيضاحية، فإن الطريق لا يزال طويلاً قبل أن يمكن النظر إليه على قدم المساواة مع اليورانيوم.

وتحتوي مياه البحر على قرابة 4500 مليون طن من اليورانيوم، لكن نسبة التركيز فيها متدنية جداً حيث لا يتجاوز 3.3 أجزاء في البليون. وهكذا فإنه يتعين معالجة 330000 طن من المياه لإنتاج كيلوغرام واحد من اليورانيوم. وهذا النوع من الإنتاج باهظ التكلفة في الوقت الراهن. وقد أجريت بحوث في كل من ألمانيا وإيطاليا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمركية واليابان خلال عقدي السبعينات والثمانينات. وتدل التجارب البحرية التطبيقية الجارية حالياً في اليابان على أن اليورانيوم يمكن استخلاصه من أدوات الامتراز المبرومة والموصولة بقاع البحر، بقدرة إنتاجية تبلغ 1200 طن من اليورانيوم سنوياً وبتكلفة تُقدّر بنحو 300 دولار للكيلوغرام من اليورانيوم. وثمة كذلك بحوث مختبرية تجري في فرنسا والهند.

وفي عام 2008، بلغ إنتاج اليورانيوم في العالم أكثر من 43,800 طن، أي ما يزيد بنسبة 6% على كمية هذا الإنتاج في عام 2007 والتي بلغت 41,300 طن. ومن المتوقع أن يتزايد الإنتاج في عام 2009 ليصل إلى 49,000 طن من اليورانيوم. وقد استأثرت كندا وكازاخستان وأستراليا بنحو 60% من الإنتاج العالمي في عام 2008. واستأثرت هذه البلدان الثلاثة إلى جانب ناميبيا والنيجر والاتحاد الروسي وأوزبكستان والولايات المتحدة بنسبة 93% من الإنتاج.



الشكل أ-2 التوزع الجغرافي لموارد اليورانيوم التقليدية المعروفة، الممكن استخلاصها بتكلفة أقل من 130 دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم (يساراً) ولإنتاج اليورانيوم في عام 2008 (يميناً)

وكان من المنتظر أن يغطي إنتاج اليورانيوم المتوقع في عام 2009 حوالي 75% فقط من احتياجات المفاعلات المقدّرة في العالم والبالغة 65,400 طن من اليورانيوم. وتمت تغطية الكمية المتبقية بواسطة خمسة مصادر ثانوية، هي مخزونات اليورانيوم الطبيعي، ومخزونات اليورانيوم

المخصب، واليورانيوم الذي يعاد معالجته من الوقود المستهلك، ووقود موكس الذي حل فيه بالبلوتونيوم 239 المستخلص من الوقود المستهلك أو من فائض السلاح النووي محل اليورانيوم-235. واستناداً إلى معدل الاستهلاك المقدّر لعام 2009، يبلغ العمر التشغيلي المتوقع للكمية 5.7 ملايين طن من اليورانيوم الممكن استخلاصه من موارد تقليدية معروفة بتكلفة أقل من 130 دولاراً للكيلوغرام من اليورانيوم حوالي 90 عاماً.

أ-3-2 تحويل اليورانيوم وتخصيبه وصنع الوقود

تبلغ القدرة التحويلية العالمية الإجمالية نحو 76,000 طن من اليورانيوم الطبيعي في السنة فيما يخص سادس فلوريد اليورانيوم، و 4500 طن من اليورانيوم في السنة فيما يخص ثاني أكسيد اليورانيوم. ويبلغ الطلب الحالي على تحويل سادس فلوريد اليورانيوم حوالي 62,000 طن من اليورانيوم في السنة. وفي عام 2009، شرعت مجموعة شركات أريفا AREVA في تشييد مرفقها التحويلي الجديد كومور هيكس–الثاني (COMURHEX II) بغية الاستعاضة عن المرافق القديمة في مالفيسي Malvesi وبييرلات Pierrelatte بفرنسا. وتبلغ القدرات التصميمية للمرفق كومورهيكس– الثاني فيما يخص تحويل رابع فلوريد اليورانيوم وسادس فلوريد اليورانيوم 15,000 طن من اليورانيوم كل سنة بحلول عام 2012. وفي عام 2008، أعلنت شركة كاميكو وشركة كازاتومبروم إنشاء مشروع مشترك لاستحداث مرفق في كازاخستان لتحويل 12,000 طن إلى سادس فلوريد.

وتبلغ قدرة التخصيب العالمية الإجمالية حالياً نحو 60 مليون وحدة فصل في السنة مقارنة بطلب إجمالي قدره نحو 45 مليون وحدة فصل في السنة. ويجري تشييد ثلاثة مرافق تخصيب جديدة ذات نطاق تجاري، وهي محطة جورج بيس الثانية Georges Besse II، في فرنسا، ومحطة الطرد المركزي الأمريكية ACP ومرفق التخصيب الوطني NEF، في الولايات المتحدة الأمريكية وتستخدم معظم هذه المرافق التخصيب بالطرد المركزي وغير ذلك من المرافق الأخرى[3].

وتتوقع اليابان الشروع في العمليات التجارية للسلاسل التعاقبية للطرد المركزي المحسنة في روكاشو–مورا حدود عام 2011 مع زيادة قدرتها إلى 150,000 وحدة فصل وبلوغ 1.5 مليون وحدة فصل في عام 2020 والصين التي تبلغ قدرتها الحالية 1.3 مليون وحدة فصل روسية ستضيف إليها بالاتفاق مع روسيا الاتحادية نصف مليون وحدة فصل أخرى، وثمة في الأرجنتين وباكستان والبرازيل والهند قدرات تخصيب محلية محدودة، وأخيراً فقد انضمت أوكرانيا إلى الاتحاد الروسي وأرمينيا وكازاخستان الأعضاء في المركز الدولي لتخصيب اليورانيوم الذي أنشئ في العام 2007 في أنغارسك في الاتحاد السوفيتي.

وقد أشار تقرير مدير عام الوكالة الدولية في البند 6 إلى إنشاء احتياطي دولي من اليورانيوم الضعيف التخصيب حيث يوضع ما مقداره 120 طن تحت تصرف المدير العام لتزويد أي بلد يعاني من انقطاع سياسي في امداداته بسعر السوق السائد وقت الإمداد.

وتبلغ القدرة العالمية الإجمالية على صنع الوقود حالياً زهاء 13,000 طن من اليورانيوم في السنة (اليورانيوم المخصب) لوقود مفاعلات الماء الخفيف، وزهاء 4000 طن من اليورانيوم في السنة (اليورانيوم الطبيعي) لمفاعلات الماء الثقيل. ويبلغ الطلب الإجمالي نحو 10,400 طن من اليورانيوم سنوياً ويجري بعض التوسيع للمرافق الحالية، وذلك مثلاً في جمهورية كوريا والصين والولايات المتحدة الأمريكية. وتبلغ القدرة الحالية على صنع وقود موكس حوالي 250 طناً من المعادن الثقيلة، ويتمركز ذلك بالأساس في فرنسا والهند والمملكة المتحدة مع وجود بعض المرافق الأصغر حجماً في الاتحاد الروسي واليابان. ويجري إنشاء قدرة إضافية لصنع وقود موكس المشكل من أكسيدي البلوتونيوم واليورانيوم في الولايات المتحدة الأمريكية (لاستخدام الفائض من البلوتونيوم الصالح للاستعمال في صنع الأسلحة). وبدأ المفاعل جينكاي-3، في اليابان، يعمل بوقود موكس في تشرين الثاني/نوفمبر، وهو ما يجعله أول مفاعل ياباني يستخدم وقود موكس. وثمة حالياً 31 مفاعلاً حرارياً عبر العالم تستخدم وقود موكس.

أ-3-3 المرحلة الختامية من دورة الوقود

وتبلغ الكمية الإجمالية من الوقود المستهلك التي تمَّ التخلص منها عالمياً نحو 320,000 طن من المعادن الثقيلة. ومن هذه الكمية، تمت بالفعل إعادة معالجة حوالي 95,000 طن من المعادن الثقيلة، وتمَّ تخزين حوالي 225,000 طن من المعادن الثقيلة في أحواض خزن الوقود المستهلك في المفاعلات أو في مرافق خزن بعيدة عن المفاعلات. ويجري توسيع مرافق الخزن البعيدة عن المفاعلات بانتظام بإضافة وحدات نمطية إلى مرافق الخزن الجاف الحالية وببناء مرافق جديدة. وتبلغ قدرة إعادة المعالجة العالمية نحو 5000 طن من المعادن الثقيلة سنوياً. وتأجل استكمال محطة روكاشو الجديدة لإعادة المعالجة في اليابان إلى غاية عام 2010.

وكما سبق وأشار تقرير المدير العام في البند 7 يجري البحث عن موقع طبيعي يصلح مدفناً للنفايات النووية مثل موقع قرب أوسثامار في

---

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

السويد الذي اختارته الشركة السويدية للتصرف في الوقود النووي المستهلك والنفايات النووية مستهدفة الترخيص للتشيد في 2010 وبدء التشغيل في العام 2023. بالإضافة إلى الاستقصاءات الموقعية الجارية في موقع أولكيليوتو في فلندا وموقع ويبر في فرنسا بهدف التشغيل في العام 2020 وفي العام 2025 على التوالي– إضافة إلى تعثر إنشاء المستودع الدائم في جبل يوكا في الولايات المتحدة بحجة تكليف لجنة لتقييم البدائل الخاصة بدفن النفايات القوية الإشعاع. هذا وقد بدأ في المملكة المتحدة اهتمام بدارسة منطقتين مجاورتين لسيلافليد.

ومن الجدير بالذكر أن عدد المفاعلات التي فككت تماماً في العالم بما فيها المفاعل رانشو سيكو في كاليفورنيا الذي أخرج من الخدمة عام 2009، 15 مفاعلاً، وأدت العمليات التي جرت لتفكيك 51 مفاعلاً مغلقاً إلى وضع 48 مفاعلاً منها في حالة تطويق مأمون وإلى إقبار 3 مفاعلات ولم تحدد بعد استراتيجيات الإخراج من الخدمة بالنسبة لستة مفاعلات إضافية.

أ-4 العوامل الإضافية المؤثرة في نمو القدرة النووية

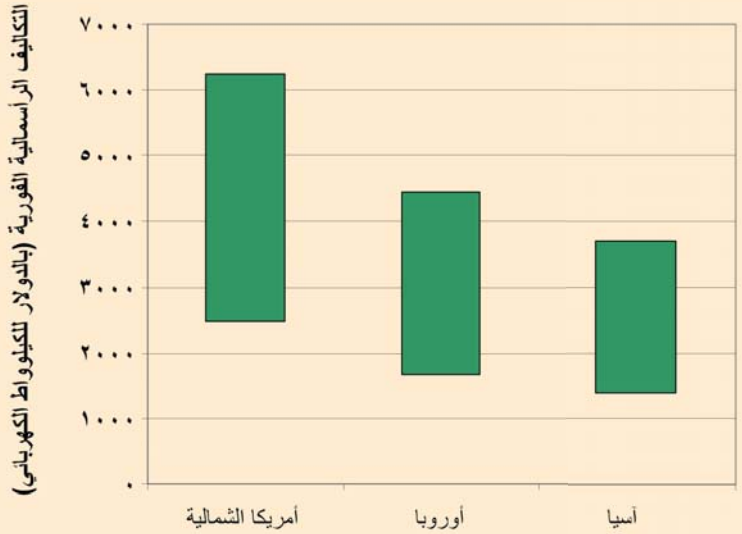
أ-4-1 الجوانب الاقتصادية [4]

أفاد استعراض التكنولوجيا النووية لعام 2009 بأن تقديرات تكاليف محطات القوى النووية الجديدة تزايدت كثيراً مقارنة بنطاقها الذي أفاد به استعراض التقانة النووية لعام 2006، والذي تراوح بين 1200 و 2500 دولار لكل كيلوواط كهربائي. وظلت تقديرات التكاليف عالية في السنة الماضية، ولكنها لم تتزايد أكثر. ويبيّن الشكل أ-3 تقديرات التكاليف الفورية الحديثة التي جمّعتها الوكالة والمرتبة بحسب المناطق.

وعلى العموم لا توجد معلومات تفصيلية منشورة كافية عن التكاليف، وهي على العموم أعلى تكلفة من المحطات الطاقية التي تعمل بالفحم أو بالغاز أو بالوقود الأحفوري بسبب قسط المخاطر الذي تحمله وتشير آخر التقديرات في الولايات المتحدة إلى أن التكلفة المعيارية للكيلو واط الكهربائي النووي هي في حدود 4000 دولار ولن تتوسع القدرة النووية على المدى الطويل في الولايات المتحدة ما لم يتم القضاء على قسط المخاطر بإثبات أداء ناجح. وتشير دراسة التكاليف في المملكة المتحدة إلى أرقام تقديرية مماثلة.

أ-4-2 الأمان [5]

لقد طرأ خلال التسعينيات تحسن ملحوظ على مؤشرات الأمان كما تدل مثلاً منشورات الرابطة العالمية للمشغلين النوويين، حيث كان معدل حالات الايقاف الفوري دون تخطيط مسبق في التسعينيات 1.8 توقف لكل 7000 ساعة حرجة وأصبح في سنوات العقد العاشر الأول من القرن الحادي والعشرين في حدود 0.6 فقط بيد أن الأفضل مواصلة التحسين إلى الأمان الكامل.



الشكل أ-3 نطاقات تقديرات التكاليف الفورية بحسب المناطق ، منذ 2007-2009 (بالدولار في عام 2008)

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

5 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

ونجد بشكل مشابه أن الحوادث الصناعية في محطات الطاقة النووية كانت في حدود 5.20 حادثة لكل مليون ساعة عمل للشخص على مدى العقد الأخير من القرن العشرين وأصبحت بمعدل واحد فقط على سنوات العقد الأول من القرن الحالي.

أ-4-3 تنمية الموارد البشرية

لا تتوافر بسهولة تقديرات للمتطلبات من الموارد البشرية المرتبطة بأي من التوقعات التي يناقشها النمو المتوقع لمحطات الطاقة النووية، كما أن البيانات شحيحة عن عدد الأشخاص الذين لديهم اليوم المهارات المختلفة اللازمة في الصناعة النووية وعن عددهم في البرامج التعليمية والتدريبية ذات الصلة.

أدى القلق إزاء إمكانية وجود عجز إلى اتخاذ الحكومات والصناعة مبادرات لاستقطاب الطلاب إلى التعليم والتدريب في الميادين ذات الصلة بالمجال النووي والتوسع في التعليم والتدريب. فعلى سبيل المثال، عيّنت هيئة كهرباء فرنسا EDF في عام 2008 من المهنيين أكثر مما عينته في عام 2006 بأربعة أمثال، وهي تتوقع أن تحافظ على هذا المستوى العالي من التعيينات لعدة سنوات قادمة، وتستند في ذلك جزئياً إلى مشروع داخلي بشأن "تجديد المهارات". وعيّنت مجموعة شركة أريفا 12,000 مهندس في عام 2008، وهي تخطط لتعيين 40,000 مهندس إضافي في السنوات الأربع القادمة. وستستفيد الشركتان معاً من لجنة فرنسية عينها الرئيس لتنسيق التدريب في العلوم والتكنولوجيا النووية، وهي لجنة أنشئت في فرنسا عام 2008. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، تزايد الالتحاق بمجال الهندسة النووية بنسبة 46% في السنوات الخمس الماضية، وذلك بمساعدة تمويل حكومي وبفضل إجراء دراسات استقصائية سنوية لاحتياجات الموارد البشرية، مما زاد من مكانة المهن المتصلة بالمجال النووي. وتعمل الصين على صوغ خطة خماسية السنوات لتعيين 20,000 مهندس جديد للعمل في برنامجها للطاقة النووية بحلول عام 2020.

من المتوقع حسب التقديرات المرتفعة للوكالة إدخال 22 مفاعلاً جديداً في الخدمة كل سنة حتى 2030 في حين أن ما يربط بالشبكة الكهربائيةكل سنة منذ عام 2000 ولغاية عام 2009 يتمثل وسطياً بثلاث مفاعلات جديدة. مما يعني أن الاحتياجات للموارد البشرية لا تتزايد سوى بوتيرة أسرع قليلاً من وتيرة احتياجات الموارد البشرية لتوليد الكهرباء بالفحم والغاز الطبيعي ومصادر الطاقة المتجددة الشيء الذي يعني من هذه الناحية أن التحدي الذي تواجهه الطاقة النووية لتوليد الكهرباء ليس استثنائياً. وللتصدي لهذا التحدي لا بد من تقدير موضوعي للقوى العاملة في مجالات تصميم المحطات النووية وتنظيمها وإشادتها وتشغيلها ودعمها مع تقدير الاستثمارات اللازمة، ولا بد من تكاتف الجهود الدولية لهذه الغاية مثل الجهود التي بدأتها الوكالة في المؤتمر الدولي المعني بتنمية الموارد البشرية في آذار/مارس 2010 في أبو ظبي تمهيداً لتكثيف هذه الجهود على الصعيد العالمي لاستقصاء حاجة الموارد البشرية والبرامج التعليمية والهيئات الرقابية.

ب- الانشطار والاندماج المتقدمان

ب-1 الانشطار المتقدم [6]

ب-1-1 المشروع الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (إنبرو) والمحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات:

يوفر مشروع إنبرو هذا التابع للوكالة محفلاً تنظر الجهات الحائزة على التكنولوجيا النووية والجهات المستخدمة لها من خلال هذا المشروع إلى نظم الطاقة النووية الابتكارية. ومنذ إنشاء مشروع إنبرو في عام 2001، ازداد عدد أعضائه ليصل إلى 31 عضواً يمثلون 75% من الإمكانات الإجمالية و 65% من سكان العالم. وفي عام 2009 جرى توحيد أنشطة مشروع إنبرو في خمسة مجالات محورية جديدة، هي:

---

6 ترد معلومات أكثر تفصيلاً عن أنشطة الوكالة بشأن المفاعلات الانشطارية المتقدمة متاحة في الأقسام ذات الصلة من التقرير السنوي للوكالة لعام 2008 وذلك على الموقع www.iaea.org/Publications/Reports/Anrep2008/index.html. يرجى أيضاً الإطلاع على الوثائق، الوكالة الدولية للطاقة الذرّية، "المصطلحات المستخدمة لوصف محطات الطاقة النووية الجديدة المتقدمة" (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (1997) IAEA-TECDOC-936)؛ و"حالة تكنولوجيا المفاعلات السريعة بالفلز السائل" (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (1999) IAEA-TECDOC-1083)؛ والحالة الراهنة لتكنولوجيا المفاعلات المعيارية المرتفعة الحرارة المبردة بالغاز وتطويرها المستقبلي" (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (2001) IAEA-TECDOC-1198؛ و"مفاعلات الماء الثقيل: الحالة والتطوير المتوقع"، (سلسلة التقارير التقنية رقم (2002) 407)؛ و"استعراض البرامج الوطنية للنظم التي تعمل بواسطة المعجلات من أجل التجزئة والتحويل النووي" (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (2003) IAEA-TECDOC-1365)؛ و"حالة تصاميم مفاعلات الماء الخفيف المتقدمة: (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة في عام 2004 IAEA-TECDOC-1391 (2004))؛ و"حالة التصميمات الابتكارية للمفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم: (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة في عام (2005) 2005 IAEA-TECDOC-1485)؛ و"حالة تصاميم المفاعلات الصغيرة التي لا يُعاد تزويدها بالوقود في الموقع" (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (2007) IAEA-TECDOC-1536)؛ و"المفاعلات المبرّدة بالمعدن السائل: الخبرة المكتسبة في التصميم والتشغيل"(الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (2007) IAEA-TECDOC-1569)؛ و"التطبيقات المتقدمة لمحطات الطاقة النووية المبرّدة بالماء"(الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة (2008) IAEA-TECDOC-1584).

تقييمات نظم الطاقة النووية باستخدام منهجية إنبرو؛ ووجهات النظر والرؤى والمسارات العالمية إزاء التنمية المستدامة؛ والابتكارات في مجال التكنولوجيا النووية؛ والابتكارات في الترتيبات المؤسسية؛ ومحفل إنبرو للتحاور بشأن الابتكارات في مجال الطاقة النووية.

وفي عام 2009، شرعت بيلاروسيا في إجراء تقييم جديد لنظم الطاقة النووية. وقد نُشر دليل للمستفيدين من تسعة مجلدات بشأن منهجية مشروع إنبرو، واستحدث المشروع توليفة لدعم تقييمات نظم الطاقة النووية، تشمل التدريب، وبعثات الدعم والمساعدة في تطبيق النتائج وتحليلها وتقييمها. وصدر كذلك منشوران بشأن أدوات الوكالة ومنهجياتها الخاصة بتخطيط نظم الطاقة وتقييمات نظم الطاقة النووية وبشأن الاعتبارات المشتركة الخاصة بالمستخدمين التي تنظر فيها البلدان النامية من أجل وضع نظم الطاقة النووية في القرن الحادي والعشرين، وبشأن القضايا القانونية والمؤسسية لمحطات الطاقة النووية القابلة للنقل.

أما المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات، فينسق من خلال نظام قائم على عقود واتفاقات، أنشطة البحوث بشأن النظم الستة للطاقة النووية من الجيل المقبل التي اختيرت في عام 2002 وهي مبينة في خارطة الطريق لتكنولوجيا الجيل الرابع من نظم الطاقة النووية: أي

1- المفاعلات السريعة المبرّدة بالغاز،

2- المفاعلات السريعة المبرّدة بالرصاص

3- مفاعلات الملح المصهور،

4- المفاعلات السريعة المبرّدة بالصوديوم

5- المفاعلات فوق الحرجة المبرّدة بالماء

6- المفاعلات الفائقة الحرارة

ويضم هذا المحفل في الوقت الراهن 13 عضواً [7]. وفي نهاية العام 2009 وقعت تسعة أعضاء من أعضاء هذا المحفل على اتفاق إطاري بشأن التعاون الدولي في مجال البحوث التطويرية المتعلقة بالجيل الرابع من نظم الطاقة النووية ووضعت ترتيبات النظام بالنسبة لأربعة نظم من بين النظم الستة المختارة.

ب-1-2 الشراكة العالمية في مجال الطاقة النووية

تتركز الجهود التعاونية اليوم لـ 25 بلداً توافق على ضرورة توسيع الطاقة النووية في جميع أنحاء العالم على لتحقيق الشراكة العالمية في مجال الطاقة النووية، بالإضافة إلى التعاون مع برنامج وضعته الولايات المتحدة محلياً لنشر تكنولوجيات إعادة تدوير الوقود وصناعته وتكنولويا المفاعلات للحد من المواد المشعة الطويلة العمر في الوقود المستهلك.

ب-1-3 مزيد من التطور في مجال الانشطار المتقدم [8]

يدأب عدد من البلدان والشركات والشراكات على إجراء البحوث بشأن المفاعلات الانشطارية المتقدمة بقصد تطويرها ونشرها إلى جانب جهود مشروع إنبرو ومحفل الجيل الرابع والشراكة الدولية في مجال الطاقة النووية وهي تشمل المفاعلات العالية الحرارة، ونظم المفاعلات السريعة، ومفاعلات الماء الخفيف المتطورة التي تشكل مجموعة من الأحجام والتطبيقات.

ب-2 الاندماج

كما أشار تقرير المدير العام في البند 8 فقد أرست الأطراف السبعة المشاركة في المفاعل التجريبي الحراري النووي الدولي (وهي الاتحاد الأوربي والاتحاد الروسي وجمهورية كوريا والصين والهند والولايات المتحدة واليابان) البنية الأساسية وحضَّرت الموقع بحسب المخطط وقامت بشراء ثلث اللوازم المنتظرة (1.5 بليون يورو). كما شرعت الوكالة والمنظمة المعنية بهذا المفاعل التجريبي بالتعاون بشأن التدريب [9] وتبادل الموظفين والمؤتمرات والمنشورات مع الاستمرار في اشتراك الفيزيائيين الشباب المتخصصين في مجال البلازما والاندماج. كما أن أوساط مفاعلات توكاماك البرازيلية تقوم بتنظيم تجارب بشأن ظاهرة الاضطراب في بلازما مفاعلات توكوماك التي تُدهور احتواء الطاقة.

---

7 الاتحاد الروسي والأرجنتين والبرازيل وجمهورية كوريا وجنوب افريقيا وسويسرا والصين وفرنسا وكندا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية واليابان وشركة اليوراتوم التي لها وزن دولة.

8 انظر الموقع www.iaea.org/Publications/Reports/ntr2009.pdf.

9 يرد مستنسخاً في الوثيقة INFCIRC/25/Add.8 ويُتاح على موقع الوكالة الإلكتروني www.iaea.org/Publications/Documents/Infcires/2009/infcire25a8.pdf.

كما استكملت أعمال تشييد مرفق الإشعال الوطني في مختبرات لاورنس ليفيرمور في الولايات المتحدة كما أشار تقرير المدير العام المذكور ودشن في أيار وهو يضم 192 ليزراً بطاقةإجمالية تبلغ حوالي 1.5 ميغا جول لإشعال الاندماج في أقراص الدوتيريوم–التريتيوم.

ج- البيانات الذرّية والنووية

يجري باستمرار تحسين قواعد البيانات النووية الرئيسية التي تضعها الشبكة الدولية لمراكز بيانات المفاعلات النووية. وكذلك التعاون الدولي بشأن قاعدة البيانات التجريبية الأساسية المتعلقة بالتفاعلات النووية وغيرها بشأن تخطيط العلاج المتقدم وقياس الجرعات باستخدام حزم البروتونات والأيونات المحسوبة بتقنيات مونتي كارلو وإقرارالصيغة الجديدة للمكتبة المشتركة لبيانات الانشطار والاندماج المقيمة (JEFF-3.1.1) بقصد اعتماداها بشأن تحليلات الأمان والتخطيط التشغيلي لمجموعة المفاعلات الحالية وغير ذلك.

د- التطبيقات الخاصة بالمسرعات ومفاعلات البحوث

د-1 المسرعات

ثمة ما يقارب 163 مسرِّعاً كهراكدياً منخفض الطاقة موزعة في 50 دولة عضواً، و 9 مصادر لنيوترونات التشظي موزعة في خمس دول أعضاء، و 50 مصدراً من المصادر الضوئية السينكروترونية موزّعة في 20 دولة عضواً. ويحافظ عدد المسرعات الكهراكدية المنخفضة الطاقة على معدلاته الثابتة بشكل عام، إذ إن سحب مسرعات في البلدان المتقدمة يقابله زيادة في عدد المسرعات الجديدة المقامة في البلدان النامية لأغراض خدمات التحليل النووي. وتتزايد أعداد مصادر نيوترونات التشظّي والمصادر الضوئية السينكروترونية بمعدّل بضع آلات في كل عقد من الزمن.

وتستخدم المسرعات الحديثة في مجالات فيزياء الطب الإشعاعي، وعلم الأحياء الإشعاعي، والفيزياء النووية الاختبارية، والزراعة، وعمليات التعقيم، وبحوث المواد، ودراسة المصنوعات التراثية، وحماية البيئة ونظراً للتحديات التي تواجهها العلوم والتكنولوجيا النووية في ميدان الموراد البشرية، يتم بشكل مطرّد إدماج مسرعات صغيرة ضمن المناهج الأكاديمية للعلوم والتكنولوجيا النووية بغية المساعدة في تطوير مهارات الطلاب العامة وتلك المتعلقة بمواضيع معينة. وبالأخص، تتيح المسرعات الصغيرة فرص اكتساب المعارف والخبرات العملية، وهي فرص لا تتوافر عادة في المرافق الأكبر حجماً.

د-2 مفاعلات البحوث

يمكن أن يكون لمفاعلات البحوث استخدامات متعددة مثل: التدريب في ميدان العلوم النووية، والبحوث النووية، واختبار المواد، وإنتاج النظائر المشعة للأغراض الصناعية والطبية، والخدمات التجارية، مثل إشابة السيليكون، والتحليل بالتنشيط النتروني، وتحسين نوعية الأحجار الكريمة، والاختبارات اللاإتلافية. ويمكنها أن تشكل خطوة في برنامج وطني يهدف إلى الأخذ بالطاقة النووية. ومع تنامي الاهتمام بالطاقة النووية، تلقت الوكالة اتصالات من أكثر من 20 دولة عضواً تنظر في إمكانية بناء مفاعلات بحوث جديدة. وقد عقد ائتلاف أوروبا الشرقية بشأن مفاعلات البحوث في العام 2009 دورة تدريبية جماعية ترمي إلى مساعدة الدول الأعضاء المهتمة بمشاريع مفاعلات البحوث في التدريب في مجالات التخطيط لمفاعلات البحوث وتقييمها وتطويرها وبنائها وبدء تشغيلها واستخدامها وصيانتها.

ويبلغ عدد مفاعلات البحوث العاملة في أرجاء العالم 245 مفاعلاً ولم يشهد عام 2009 إنشاء أية مفاعلات بحوث أو إغلاق إية مفاعلات قائمة. ونظراً لاستبدال مفاعلات متعددة الأغراض أقل عدداً بالمفاعلات القديمة المغلقة فمن المتوقع أن ينخفض عدد مفاعلات البحوث العاملة إلى حدود 100 و 150 مفاعلاً بحلول عام 2020 مع الاتجاه إلى الارتقاء بالمرافق القائمة وتطوير مرافق جديدة وإلى زيادة التعاون الدولي لتوسيع الاستفادة من هذه المرافق.

ويرمي برنامج الوقود المنخفض التخصيب لمفاعلات البحوث والاختبارات للانسجام مع المبادرة العالمية لتقليص التهديدات المحتملة وإلى تسخير الوقود المنخفض التخصيب لهذه المفاعلات لإنتاج الموليبيديوم-99. وقد شهد العام 2009 توسيع نطاق البرنامج ليشمل 200 مفاعل بحوث بدلاً من 129 مفاعل بحوث فقط وفي نهاية العام 2009 تمَّ إغلاق 67 مفاعل بحوث يستخدم اليورانيوم عالي التخصيب أو تحويله إلى مفاعل يستخدم اليورانيوم المنخفض التخصيب وقد حولت جنوب افريقيا المفاعل سفاري-1 إلى العمل على الوقود (المنخفض التخصيب) في حزيران/يونيو ليصبح أول منتج للموليبدنيوم-99 على نطاق واسع مع إحراز تقدم ملموس في تحويل الأهداف إلى اليورانيوم المنخفض التخصيب. وتجري الآن دراسات للتخلص من انتفاخ طبقة التفاعل التي تتشكل بين الوقود وبين مصفوفة الألمنيوم أثناء عملية التشعيع كما يمضي العمل قدماً في ميدان تطوير وقود اليورانيوم–الموليبدنيوم.

هـ- التقانة النووية في مجال الأغذية والزراعة

هـ-1 تحسين إنتاجية الماشية والصحة البيطرية [10]

اعتبرت منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو) والمنظمة العالمية لصحة الحيوان أن تحليل الموارد الجينية الحيوانية يشكل مجالاً ذا أولوية عالية نظراً لما يوفّره من خيارات حيوية بالنسبة لتنمية إنتاج المواشي على نحو مستدام ولتعزيز الأمن الغذائي. وبدعم من الوكالة، أُحرز تقدمٌ ملموس في ميدان تحليل التنوع الجيني في أجناس الأبقار والأغنام والماعز. وذلك لتحسين اختيار الحيوانات المنشودة لقدر أعلى من الإنتاجية نظراً لكون قدرتها على مقاومة الأوبئة المستوطنة أو البيئات القاسية ترتبط، في العديد من الحالات، بتكوينها الوراثي. وتتسم البيانات والنتائج المستخلصة من هذه التحاليل الجينية بالأهمية لضمان استدامة برامج تحسين السلالات الحيوانية مستقبلاً، وقدرتها على اختيار الحيوانات التي تحمل السمات الوراثية المناسبة. وقد جرى تطوير واجهة بينيّة لنظام شبكة حاسوبية من أجل إتاحة البيانات الوراثية لجميع الدول الأعضاء، ولتسهيل الوصول إلى البروكولات المختبرية، والإجراءات التشغيلية المعيارية للتحليل الجيني، وأدوات البحث عن الجينوم، وقاعدة بيانات خاصة بالواسمات الجزيئية للمواشي [11]. وقد جمعت البيانات المتعلقة بالخصائص الجينية والسمات الظاهرة من أكثر من 4000 رأس غنم وماعز من 89 سلالة. وستستخدم هذه البيانات لتعيين الجينات المشتركة التي قد يمكن استغلالها لتحسين الإنتاج الحيواني. وبالتالي تحسين إنتاج اللحوم والألبان وكذلك تحسين استدامة إنتاج الأغذية في العالم الرازح تحت وطأة النمو السكاني العالمي.

ويتسم التشخيص المبكر والسريع للأوبئة البيطرية باستخدام التقنيات النووية مقرونة بالتقانة الحيوية الحديثة بأهمية قصوى في إطار الجهود الرامية إلى الحد من الآثار اللاحقة بالحيوانات والبشر على حد سواء إلى تحسين الأمن الغذائي أيضاً ويمكن باستخدام هذه التقنيات النووية والحيوية الكشف المتخصص عن العوامل المرضة المسببة للأوبئة الحيوانية قبل أن تتسبب في حصول مرض، مثلاً تتيح التقانة الجزيئية النووية تشخيصاً مؤكداً لأنفلونزا الطيور وانفلونزا الخنازير في غضون يوم واحد بينما يستغرق التشخيص التقليدي أسبوعاً كاملاً.

هـ-2 مكافحة الآفات الحشرية

في مجال مكافحة الآفات الحشرية، لا يقتصر استخدام التقنيات النووية على تطبيق التشعيع بأشعة غاما لتعقيم الحشرات كجزء من تطبيق تقنية الحشرة العقيمة على صعيد المنطقة ككل ووسائل التحكم الجيني المرتبطة بذلك، بل تشمل أيضاً استخدام النظائر المشعة في دراسات بيولوجيا الحشرات، وسلوكها وكيميائها الحيوية وإيكولوجيتها وفيزيولوجيتها. وشاركت الوكالة أيضاً في استخدام النكليدات المشعة لإجراء بحوث على الحشرات بما يساعد على التصدي لمشاكل الآفات الحشرية. ويشكل دليل التدريب المخبري على استخدام التقنيات النووية في بحوث الحشرات ومكافحتها، الذي أعادت الوكالة تنقيحه ونشره في عام 1992، مساهمة كبرى من جانب الوكالة في هذا المجال. وقد شهدت البيئة العلمية والاجتماعية العالمية، ومنذ أواسط تسعينيات القرن العشرين، تغييرات جذرية. فمن وجهة النظر البيئية، لم يعد مقبولاً إطلاق النكليدات المشعة مع الحشرات في الميدان. وإلى ذلك، فإن كلفة استخدام النكليدات المشعة في المختبر تتزايد نتيجة لاعتبارات متعلقة بالأمان.

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

ونشير هنا إلى أن الوكالة نشرت عام 2009 بالتعاون مع الفاو دليل استخدام النظائر المستقرة في علم الحشرات وفوائدها ومجالات استخدامها بالاستفادة من إصدار الإشارات النظيرية المميزة المرافقة للعمليات الطبيعية ضمن المحيط الحيوي التي تصدرها الحشرات المغذاة بنوع غني بنظير معين. إلا أن أبرز النواحي السلبية تكمن في التكلفة الرأسمالية لأجهزة قياس الطيف الكتلي اللازمة لتحديد نسبة النظائر ويمكن تجاوز هذه الصعوبة من خلال التعاقد على خدمات تحليل النظائر المستقرة مع مختبرات تحليل تجارية خاصة وأن شحن عينات هذه النظائر عبر العالم يتسم بالبساطة والأمان وضآلة الكلفة.

10 يمكن الاطلاع، على الموقع Gov Atom، على معلومات إضافية في الوثائق ذات الصلة بوثيقة استعراض التكنولوجيا النووية لعام 2010.

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

هـ-3 جودة الأغذية وأمانها

تُعدُّ تقنية تعقيم الأغذية تقنية جيدة لمكافحة الكائنات المجهرية التي تسبب مجموعة من الأمراض المتناقلة في الأغذية بجميع أنواعها، وليس التسخين المطول طريقة ملائمة لتعقيم كافة المواد الغذائية على عكس التشعيع الذي يقضي على الكائنات المجهرية دون إحداث زيادة ملموسة في درجة الحرارة فهو يصلح لمعالجة الخضار الطازجة والفواكه وكذلك الأغذية المطهوة والمغلفة على أشكال أطباق جاهزة وهو يقضي أيضاً على الكائنات المسببة للتلف، الشيء الذي يساعد على حفظ كل هذه الأغذية طازجة لمدة أطول. وتركز البحوث والدراسات على تحقيق مستويات استثنائية من الأمان في ميدان الأحياء المجهرية لصالح مجموعات معينة من المستهلكين الذين يعانون من حساسية مفرطة إزاء تواجد هذه الكائنات في حميتهم كالأشخاص ذوي نظم المناعة الضعيفة.

وتشمل الخطوات المقبلة تطبيق وتطوير وتحسين تقنيات التشعيع بالتزامن مع غيرها من تقانات معالجة الأغذية الملائمة لتشكيلة واسعة من الأغذية الملائمة لاستهلاك مجموعات مستهدفة معينة تحتاج إلى مستويات استثنائية من النظافة الغذائية وتساهم بالتالي في تحسين الصحة البشرية.

هـ-4 تحسين المحاصيل

يستخدم التحريض الطفري في تحسين المحاصيل وفي دعم البحوث الأساسية ويجري العمل على تطوير تقنية زرع حزم الأيونات المبتكرة التي تسمح لأحد النظائر بالتفكك داخل الخلية وكذلك العمل على تحسين السلالات الفضائية (في الفضاء) حيث تتدفق الأشعة الكونية عبر الخلية وتولد طفرات يمكن أن تشهد إنتاجاً تجارياً وقد تزايد عدد السلالات الطافرة، بمختلف المرافق بما فيها مختبرات البيئية النباتية بأشعة غاما. وكذلك الدفيئات الغماوية من 170 نوعاً مختلفاً من النباتات حتى قرابة 3100 نوعاً [12].

ويجري حالياً في مركز التقصي العالي الاستبانة للخصائص الجينية النباتية بإستراليا معالجة مجموعة ضخمة جداً من الأنواع الطافرة (ما بين عشرة آلاف ومئة ألف نبتة جرى تحديد خصائصها الجينية بالكامل) الشيء الذي يسمح بتعيين خط طافر قيّم يتمتع بمزايا إنتاجية زائدة حتى في ظل ظروف سيئة ويمكن لعمليات تعزيز الكفاءة من خلال تحسين السلالات بالطفر القائم على الجينات أن تساعد في تحسين جودة الأنواع المختلفة من المحاصيل وتوافرها على حد سواء الشيء الذي يزيد من الإمدادات الغذائية ويخفض أسعارها. وقد بات من الممكن الآن تحديد المتواليات الوراثية للجينومات بكلفة اقتصادية تقع في متناول البلدان المنخفضة الدخل.

هـ-5 الإدارة المستدامة للأراضي والمياه

هـ-5-1 تحسين إدارة المياه الزراعية باستخدام الوسائل النظيرية

يتوقف مقدار المياه اللازمة لنمو المحاصيل على 1- مدى فقدان المياه من التربة الجرداء (التبخر) 2- وعلى مدى تعرق أوراق النباتات. ويلعب التحديد الكمي لهذين العاملين دوراً مهماً في تحسين كفاءة استخدام مياه الري. ولكن تحديد هذين العاملين يكتنفه صعوبات ميدانية لارتباط كل من التبخر والتعرق بعوامل أخرى مثل غزارة هطول الأمطار وحالة مياه التربة وعمق جذور النباتات والغطاء البري. ويلعب النظيران المستقران الأكسجين-18 والهيدروجين-2 دوراً فعالاً في الكشف عن هذه الارتباطات أو التفاعلات داخل سلسلة (التربة – النباتات – الغلاف الجوي)، فتبخر المياه من التربة يؤدي إلى إثراء التكوين النظيري لمياه التربة بعنصري الأكسجين-18 والهيدروجين-2 في حين أن تعرق النباتات لا يؤثر على التكوين النظيري لمياه التربة. الشيء الذي ساعد في نجاح دراسات في مساحات عشبية شبه قاحلة وفي غابات صنوبرية في التوصل إلى تحديد كميتي التبخر والتعرق، وستفيد هذه العلاقات في تطوير نماذج تكنولوجية لتحسين إدارة التربة والمياه في هذه البيئات وغيرها.

هـ-5-2 احتباس كربون التربة العضوي والتخفيف من شدة تغير المناخ

يسهم احتباس كربون التربة العضوي في التقليل من تزايد مستويات ثاني أكسيد الكربون في الجو وبالتالي في التخفيف من آثار تغير المناخ. فمن خلال التمثيل الضوئي تستخدم النباتات ثاني أكسيد الكربون لنموها وحينما تموت وتتحلل يحتبس جزء من الكربون الموجود فيها داخل التربة على شكل كربون تربة عضوي. وقد تمَّ التوصل من خلال استخدام نظائر الكربون المشعة (الكربون-14) والمستقرة (الكربون-13) وتقنية تجزئة كربون التربة حسب نظائره إلى الاستنتاج بأن توافر النتروجين والفسفور يؤدي دوراً حاسماً في تحديد قدرة التربة على احتباس الكربون العضوي وتحديد قدرتها على احتواء الكربون (امتصاصه) وتتسم هذه المعلومات بقدر هائل من الأهمية في إطار المخططات

12 انظر قاعدة بيانات السلالات الطافرة والمخزون الوراثي في الموقع الإلكتروني www.mvgs.iaea.org

المستقبلية لتبادل الكربون ومن أجل تخفيض انبعاث الكربون [13-14].

و- الصحة البشرية

و-1 مكافحة سوء التغذية بواسطة تقنيات نووية

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

وثمة حاجة ماسة إلى وضع استراتيجيات فعالة ومستدامة قائمة على الأغذية لمكافحة حالات نقص هذه المغذيات الدقيقة مثل تقوية الأغذية وتعديل الحميات كما أنها تتضمن نهجاً أكثر ابتكاراً مثل الأغذية الأساسية ذات التركيبة التغذوية المحسّنة – أي "التدعيم الحيوي"، ولتقييم التوافر الحيوي للمغذيات الدقيقة، تستخدم التقنيات النووية كجزء لا يتجزأ من عملية إعداد وتقييم التدخلات التغذوية الرامية إلى مكافحة حالات نقص المغذيات الدقيقة [15].

ومن شأن نتائج التطبيقات الأخيرة لتقنيات النظائر المستقرة، المستخدمة في تقييم مدى التوافر الحيوي للحديد والفيتامين السليف ألف والأصباغ الجزرانية، فإن الأثر الشامل لاستراتيجيات تعزيز الأغذية لمكافحة نقص الحديد سيتوقف على التوافر الحيوي للمركبات الحديدية، وكذلك على تواجد مثبطات ومعززات امتصاص الحديد في الحمية [16]

وتستخدم حالياً تقنيات النظائر المستقرة لتقييم إجمالي كميات الفيتامين ألف بغية توفير معلومات جديدة حول القيمة البيولوجية للبطاطا الحلوة ذات اللب البرتقالي اللون [17] بالإضافة إلى تقييم المحاصيل الثابتة المعززة حيوياً الأخرى مثل القمح ذي المحتوى العالي من الزنك [18]. وقد برزت أهمية هذه الجهود في التقرير الصادر مؤخراً بعنوان "توافق آراء كوبنهاغن لعام 2008" [19].

و-2 تقنيتان للتصوير الإشعاعي الهجين: التصوير بالانبعاث الفوتوني المفرد المقرون بالتصوير المقطعي المحوسب والتصوير بالانبعاث البوزيترون المقرون بالتصوير المقطعي المحوسب [19]

يُعد التصوير التشخيصي أحد أهم المجالات الإبداعية في الطب المعاصر. ويمكن تقسيمه إلى فئتين عريضتين هما: الطرائق التي تحدد التفاصيل التشريحية بقدر كبير من الدقة، والطرائق التي تنتج صوراً وظيفية أو جزيئية. وفي إطار الفئة الأولى، تشمل الأمثلة التصوير المقطعي المحوسب والتصوير بالتجاوب المغنطيسي اللذين يعيّنان التغيّرات البنيوية بدقة تصل إلى ملمتر واحد. أما التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني والتصوير المقطعي المحوسب بالانبعاث الفوتوني المفرد، فهما مثالان عن الفئة الثانية التي تستقصي حالة الأمراض على المستوى الجزيئي.

وعلى مدى العقد المنصرم، أتاحت التقانة دمج الطرائق التشريحية والوظيفية ضمن نظم هجينة للتصوير مثل "التصوير بالانبعاث الفوتوني المفرد المقرون بالتصوير المقطعي المحوسب" و"التصوير بالانبعاث البوزيتروني المقرون بالتصوير المقطعي المحوسب". وتتيح نظم التصوير الهجينة هذه استقصاءً يجمع بين تشريح أعضاء الجسم البشري ووظائفها. والمزايا السريرية عديدة وتشمل قدرةً أفضل على تعيين الإصابات وتحديد مواضعها، مقرونة بقدرة أفضل على تحديد سمات التغيرات البنيوية والأيضية الحاصلة ضمن الإصابات المعيّنة. ونتيجة لذلك، يتم الكشف عن الأمراض في المرحلة الأكثر إبكاراً بقدر عالٍ من الدقة، مما يتيح بدءاً مبكراً في بدء العلاج وتحقيق أفضل الفرص للتعافي الكامل والسريع. وقد تم بنجاح تطبيق تقنيات التصوير الهجين في مجالي طب القلب والسرطان. وتستخدم تقنية "التصوير

---

13 انظر أيضاً س. تومبور، 2009، ديناميات الكربون المشع وكربون التربة. الاستعراض السنوي لعلوم الأرض والكواكب 37، الصفحات 66-47.

14 م. برادفورد، ن. فيرر، ر. جاكسون، ت. مادوكس، ج. رينولدز، 2008 الاحتباس غير الخطي للكربون المشتق من الجذور عبر تدرج من ترسّبات النيتروجين والفوسفور في عوالم وسطية اختبارية. بيولوجيا التغيرات الشاملة، 14، الصفحات 1113-1124.

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

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

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

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

19 يمكن الاطلاع، في الموقع Gov Atom، على معلومات إضافية في الوثائق ذات الصلة بوثيقة استعراض التكنولوجيا النووية لعام 2010.

بالانبعاث البوزيتروني المقرون بالتصوير المقطعي المحوسب" لتقييم العوامل المعيقة لتدفق الدم في حالات انسداد الشريان التاجي، الشيء الذي يؤدي إلى تنخّر الأنسجة.

و-3 أوجه التقدم في تطبيقات العلاج الإشعاعي للأورام

تتيح تقنيات التصوير الهجين السالفة الذكر الكشف المبكر عن السرطان في علاج الأورام وذلك عن طريق إيضاح التغيرات الحاصلة على مستوى الخلايا قبل وقت طويل من ظهور التغيرات التشريحية. ونذكر أنه خلال العام 2009 برزت تطورات تقانة جديدة متعددة في ميدان العلاج الإشعاعي للأورام [20] سلط عليها الضوء في نيسان/إبريل 2009 خلال المؤتمر الدولي المعني بأوجه التقدم المحرز في العلاج الإشعاعي للأورام. وأبرزها كان بيان القيمة المقاربة لوحدات الكوبالت في مقابل المسرعات الخطية الصعبة المنال بالنسبة إلى البلدان النامية، ومن ثم فإن مسائل عدم التيقن والدقة في ميدان العلاج الإشعاعي للأورام تأخذ قدراً أكبر من الأهمية على الصعيد العالمي مع تزايد تعقيدات التقنيات العلاجية المقرونة على وجه الخصوص باستخدام جرعات أكبر بغية تحسين معدلات الشفاء من السرطان الشيء الذي يعني تزايد أنشطة ضمان الجودة والتوثيق الدقيق في كل خطوة من خطوات مسار إدارة شؤون المرضى بما في ذلك تشجيع إعداد المبادئ الإرشادية في هذا العمل المتوافقة مع إصدار البروتوكولات السريرية القائمة على أساس البراهين.

وتخضع التكنولوجيات الجديدة، مثل العلاج الإشعاعي المعدّل الكثافة والعلاج الإشعاعي الموجّه تصويرياً واستخدام البروتونات والجسيمات المشحونة، لقدر متزايد من التدقيق بغية التحقق من أن الممارسة السريرية تعتمد على براهين علمية سليمة.

و-4 أثر التقانة الرقمية على التصوير الإشعاعي بأشعة X

أتاح التقدم المحرز في ميدان التقانة الرقمية زيادة في تطبيق التصوير المقطعي المحوسب، واتسع استخدام هذا التصوير ليشمل مجموعة تطبيقات واسعة من طب القلب إلى الفحوص في ميدان طب الأطفال، وتنطوي هذه التقانات الجديدة على استخدام جرعات إشعاعية متزايدة وتقوِّض ممارساتنا القائمة في ميدان تحديد الجرعات. وعلى العموم يشكل التشخيص الإشعاعي مجالاً طبياً حيوياً لضمان فعالية الرعاية الصحية حتى أن عدد الصور قد تضاعف في البلاد المتقدمة خلال العشر سنوات الماضية على عكس الحال في البلدان النامية التي يشكل فيها عدد الفحوصات 2% من إجمالي الفحوصات العالمية والتي تقدر على مستوى العالم بفحص تشخيصي لكل شخص من شخصين في كل سنة.

وبالنسبة إلى البلدان ذات الدخل المنخفض، تجلب التقانات الرقمية معها فرصاً وتحدّيات غير متوقعة. فلسوء الحظ، ما زال العديد من الدول النامية يعتمد بشكل يكاد يكون كاملاً على التحميض اليدوي للأفلام بغية إنتاج الصور اللازمة للتشخيص. وتثير هذه المنهجية تحديات تقنيّة تؤدي في الغالب إلى إنتاج صور رديئة النوعية. كما أنها مضرّة بالبيئة. فالصور الطبية الرقمية يمكن إرسالها إلكترونياً إلى أماكن بعيدة، مما يتيح للمواقع النائية أو ذات الموارد المحدودة أن تستفيد من مراكز الامتياز للحصول على تشخيصات الخبراء.

ز- البيئة

ز-1 التقنيات النووية لقياس كميات المياه الجوفية المنصرفة تحت سطح البحر [21]

تتدفق المياه من القارات إلى البحار عبر الأنهار أو مباشرة من الأحواض الجوفية على حد سواء. وعندما تتقاطع الأحواض الجوفية مع الخط الساحلي، فإنها تطلق مياهاً عذبة نحو المحيطات. وتتراوح تقديرات كميات المياه الجوفية المنصرفة تحت سطح البحر بشكل ملموس بين 6% و 100% من المياه العذبة المنصرفة من المياه الساحلية. حظيت كميات المياه الجوفية المنصرفة تحت سطح البحر مؤخراً بقدر كبير من الاهتمام في ميدان الإدارة الساحلية نتيجة لإمكانية الاستفادة منها على شكل موارد للمياه العذبة في المناطق التي تعاني من حالات نقص في المياه. ومن جهة أخرى، يمكن أيضاً لهذه المياه الجوفية أن تحتوي على معدلات عاليةمن الملوثات (من مغذّيات –أسمدة– ومعادن ومبيدات) فتؤثر بالتالي سلباً على النظم الإيكولوجية الساحلية. ويمكن لذلك أن تؤدي إلى تفشي تكاثر الطحالب الضارة وتلوّث المناطق الساحلية.

وجرى تطوير تقنيات قياس يستخدم فيها نكليدا الراديوم والرادون للكشف عن حالات انصراف المياه الجوفية تحت سطح البحر وقياس كمياتها في المناطق الساحلية [22]؛ وتحتوي المياه الجوفية المنصرفة تحت سطح البحر على كميات أكبر من كلا هذين النكليدين المشعّين

ملاحظة: تستولي اسرائيل على مصادر المياه في فلسطين المحتلة وفي الدول المجاورة، ولا تراعي في احتلالها الظالم عدالة التوزيع والقوانين الدولية.

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

21 يمكن الاطلاع، في الموقع Gov Atom، على معلومات إضافية في الوثائق ذات الصلة بوثيقة استعراض التكنولوجيا النووية لعام 2010.

مقارنة بما تحويه مياه البحر. ويمكن الكشف عن مصادر المياه الجوفية المنصرفة تحت سطح البحر عن طريق قياس التوزيع المكاني لنكليدي الراديوم والرادون في المياه الساحلية. وفضلاً عن ذلك، فإن تحديد أربعة من نظائر الراديوم (الراديوم-223، والراديوم-224، والراديوم-226، والراديوم-228) يساعد على فهم المقاييس الزمنية لتشتت المياه الجوفية المنصرفة تحت سطح البحر في المياه الساحلية وتمازجها معها.

ز-2 فهم دورة الكربون: تطبيق التقنيات النووية في تقييم تدفقات الجسيمات من سطح المحيط إلى القاع

تنطوي الكيمياء الجيولوجية الحيوية على مسألة أساسية عالقة ألا وهي فهم آليات التحكم بتدفق المواد من سطح المحيطات إلى قاعها أو إلى أعماقها، وتعزيز هذا التدفق. وتمثّل المحيطات حوضاً كبيراً للكربون، كما أن احتباسها لكميات متزايدة من ثاني أكسيد الكربون يؤدي إلى تحمّضها. و"الجسيمات الغارقة" تشكل الآلية النهائية للتخلص من الكربون وغيره من العناصر، فضلاً عن الملوثات، من الطبقات العليا للمحيطات.

وتشكل هذه الجسيمات الغارقة الآلية الرئيسية لانتقال الكربون من سطح المحيط إلى قاعه. وخلال هبوط هذه الجسيمات إلى قاع المحيط، يتعدّن الكربون العضوي الموجود داخلها ليأخذ شكلاً غير عضوي يكون من الأسهل بكثير تحريره وإعادة توزيعه في مياه المحيطات عند أعماق مختلفة. ويتحدد من إعادة التوزيع هذه كميات ثاني أكسيد الكربون التي يمكن للمحيطات امتصاصها من الجو. وقد تزايد، خلال السنوات الأخيرة الماضية، استخدام النظير المشع الطبيعي الثوريوم-234 لقياس تدفقات الجسيمات وكميات الكربون المنتقل من الطبقات العليا للمحيط، سواء في المحيطات المفتوحة أو في البيئات الساحلية. والثوريوم-234 هو نظير يتولد في مياه البحر نتيجة التفكك الإشعاعي للمادة الأصلية الأم، أي اليورانيوم-238. ويستخدم انعدام التوازن المقاس بين اليورانيوم-238 ونشاط الثوريوم-234 الإجمالي ليعكس المعدل الصافي لانتقال الجسيمات من سطح المحيطات بمقاييس زمنية قائمة على أساس أيام أو أسابيع.

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

ح- الموارد المائية

تطرق تقرير الأمم المتحدة الثالث عن تنمية المياه في العالم [23] وكذلك المنتدى العالمي الخامس للمياه في اسطنبول 2009، لمشاكل المياه والتهديدات التي تتعرض لها نتيجة لتغير المناخ وارتفاع تكاليف الأغذية والطاقة، وعلاقة ذلك في استدامة الموارد المائية مع الطلب المتزايد على الأغذية والطاقة وتأثرها بمختلف العوامل السياسية والاقتصادية والإجتماعية والبيئة وبمختلف الضغوط المالية والاستغلالية والملوثات والتوسع في استخدام المياه بمختلف الأشكال، الشيء الذي يبرز الحاجة إلى الإدارة المتكاملة للموارد المائية والتخطيط المتكامل للحفاظ على مواردها وتعزيزها ومراعاة عدالة توزيعها.

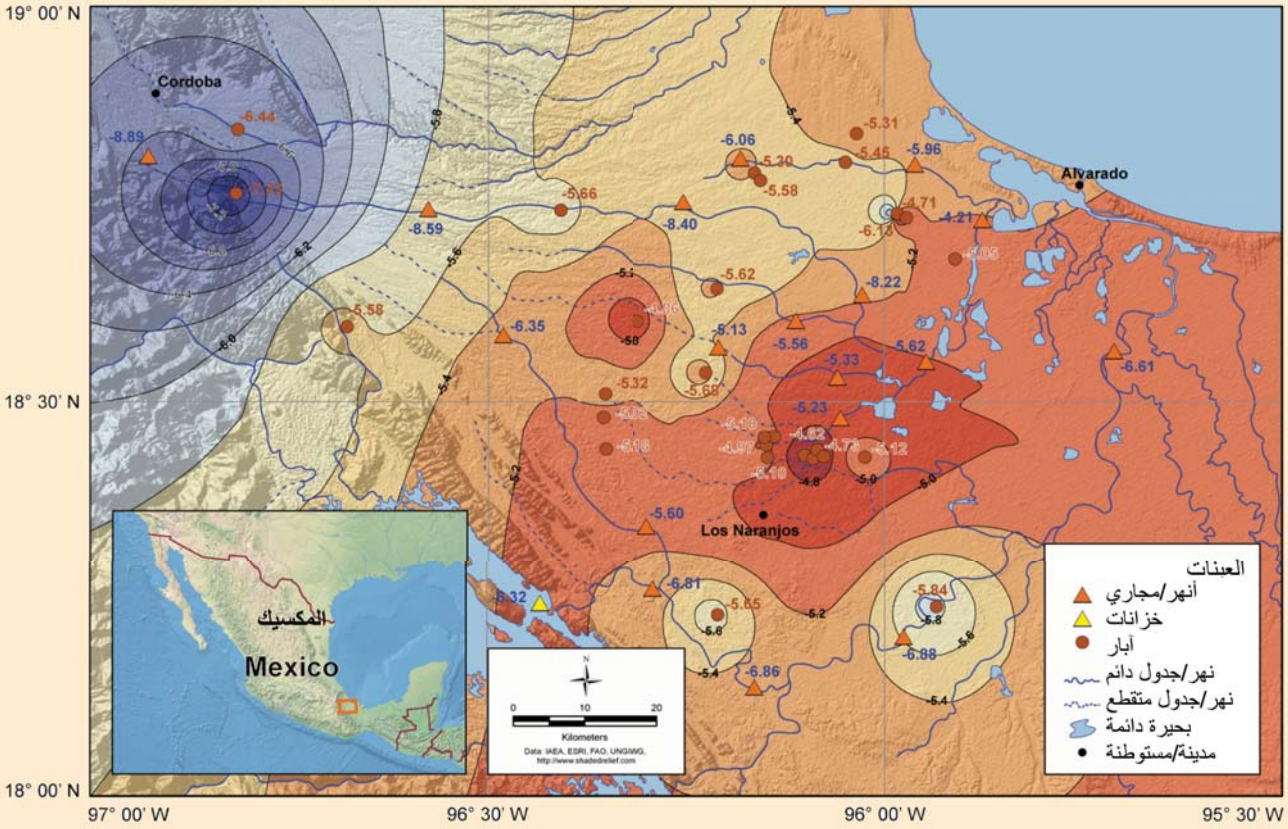
وغالباً ما يؤدي نقص فهم النظم الهيدرولوجية ودوران المياه على الصعيدين المحلي والوطني إلى إعاقة إدارة المياه على نحو فعّال ومستدام. وتساعد النُهج النووية، ضمن إطار الهيدرولوجيا النظيرية، في معالجة هذا القصور، ويمكن أن تشكل وسيلة أسرع بكثير للحصول على معلومات أساسية أكثر من نُهُج الرصد الهيدرولوجي التقليدية.

وتصبح التقنيات النظيرية لتقييم الموارد المائية متاحةً أكثر بفضل توسع استخدام أجهزة التحليل المطوّرة مؤخراً لتنظير طيف الماء بالليزر وقياس النظائر المائية. وادت الوكالة الدولية للطاقة الذرّية دوراً أساسياً في تقييم أداء هذه التقانة، وهي الآن تساعد الدول الأعضاء في الحصول على أجهزة التحليل اللازمة، كما توفر التدريب للتقنيين. وهذه الأجهزة أرخص ثمناً وأسهل استخداماً من المطيافات الكتلية لتحديد نسبة النظائر التي شاع استخدامها منذ أربعينيات القرن العشرين. لذا، فإن هذه التقانة تتيح لعدد متزايد من الجهات المعنية بالموارد المائية، بما فيها الخبراء والمجموعات، الوصول إلى أدوات نظيرية لتقييم الموارد المائية. ومن المتوقع أن يشهد استخدام التقانة الليزرية هذه تزايداً سريعاً على مدى العقد المقبل.

---

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

23 التقرير الثالث عن تنمية المياه في العالم (اليونسكو، 2009) انظر الموقع الإلكتروني: http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/index.shtml.



الشكل ح-2 استيفاء داخلي لقيم الأكسجين-18 في المياه الجوفية ضمن منطقة لوس نارانخوس في المكسيك وتشير قيم النظائر الأكثر سلبية (باللون الأزرق في الزاوية العليا اليسرى) إلى إعادة شحن في المرتفعات العالية ويشير اللونان الأحمر والبرتقالي إلى مساهمات إعادة الشحن والمزج في المرتفعات الأكثر انخفاضاً

ح-1 معرفة الوقائع قبل التصرف

شدد المنتدى العالمي الخامس على جملة أفكار منها معرفة الوقائع قبل التصرف أي تحقيق فهم ملائم لكيفية عمل النظام الهدرولوجي المعين قبل التمكن من اتخاذ الإجراءات الإدارية الصحيحة وقد أصدر المنتدى [24] المذكور ثلاث توصيات رئيسية تتصل بتطبيق التقانات النووية.

1- فهم أفضل للمؤثرات في الموارد المائية

2- إعداد الخطط والبرامج الاستباق الآثار المكنة للتغيرات العالمية والتصدي لها

3- توفير الدعم الممكن للبحوث في ميدان المياه والترويج للتعاون بين الوكالات الدولية

ح-2 استخدام النظائر المستقرة لفهم وفرة المياه الجوفية وجودتها

يتزايد أكثر فأكثر استخدام نُهج –أساليب– النظائر المستقرة لفهم التوزع المكاني لمختلف العمليات التي تؤثر في توافر المياه الجوفية وفي جودتها على الصعيدين المحلي والعالمي على حد سواء. ويتضح هذا النهج من الشكل ح-2، حيث تتيح خريطة قيم نظائر الأكسجين-18 في المياه الجوفية في منطقة لوس نارانخوس في المكسيك أهمية إعادة الشحن في المرتفعات العالية في المنطقة الشمالية الغربية من منطقة الدراسة (باللون الأزرق) وآثار تسرب المياه السطحية في المرتفعات الأكثر انخفاضاً في باقي المنطقة (باللونين الأحمر والبرتقالي). تقدم هذه المعلومات بيانات معيارية أساسية لتقييم أثر تغيير المناخ وغيره من العوامل في موارد المياه الجوفية المحلية.

فالهيدرولوجيا النظيرية تساعد في تحسين تقييم الموارد المائية، وهي تؤدي أيضاً دوراً في عملية التخطيط للطاقة، ويسير التعاون بين مختلف الوزارات والحكومات في وضع حلول متكاملة تكفل تنمية مستدامة للمياه والطاقة وفي حال النجاح في إعداد نهج ما للنظائر المستقرة

24 انظر الموقع الإلكتروني التالي: www.worldwaterforum5.org.

سيجري استخدامه لمساعدة الدول الأعضاء في تقييم الآثار المقترنة بمجموعة واسعة من القضايا ذات العلاقة بما فيها تغير المناخ والقضايا الاقتصادية والاجتماعية والبيئية والسكانية والقانونية والمالية والتقنية.

ط- إنتاج النظائر المشعة والتقانة الإشعاعية

ط-1 النظائر المشعة والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية

ط-1-1 منتجات النظائر المشعة وتوافرها

حظي التزايد المطرد في الطلب على النظائر المشعة لأغراض التطبيقات الطبية والصناعية، وكذلك التقدم الحاصل في التكنولوجيات ذات الصلة، اهتماماً في عام 2009 نظراً لأوجه النقص الشديد في إمدادات النظائر الطبية، لا سيما في إمدادات الموليبدينوم-99 المنتج بالانشطار. وما تزال النظائر المشعة المنتجة بواسطة المفاعلات تشكل العمود الفقري للتطبيقات الطبية والصناعية، فيما يتواصل أيضاً ارتفاع القدرات الإنتاجية من السيكلوترونات، ويعزى هذا الارتفاع بشكل رئيسي إلى استحداث مراكز إقليمية تنتج النظائر المشعة ذات الأعمار النصفية القصيرة جداً لاستخدامها في التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني. وقد شهد عام 2009 انعقاد ثلاثة اجتماعات دولية رئيسية [25] تطرقت لمسألة هذا التقدم وغيره من أوجه التقدم المحرزة مؤخراً في ميدان تطوير المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية.

ويبرز بوضوح الاهتمام المتزايد في استخدام التصوير الإشعاعي بالانبعاث البوزيتروني والتصوير المقطعي المحوسب المقرون بالتصوير الإشعاعي بالانبعاث البوزيتروني من خلال عدد السيكلوترونات المقامة حصراً لإنتاج مقتفيات التصوير بالانبعاث البوزيتروني. ويقدر حالياً عدد السيكلوترونات قيد التشغيل بـ 650 سيكلوتروناً وعدد نظم التصوير الإشعاعي بالانبعاث البوزيتروني يبلغ 2200 نظاماً منتشرة في كافة أنحاء العالم. وما زالت تطبيقات الغلوكوز المنزوع الفلور المرقوم بالفلور-18 هي الأشيع استخداماً في الميدان السريري لعلاج مرضى السرطان.

ويجري تطوير واستخدام مستحضرات صيدلانية إشعاعية أخرى لاستخدامها في التصوير الإشعاعي بالانبعاث البوزيتروني منها التحسن في إنتاج مولدات الجرمانيوم-68 والغاليوم-68 الشيء الذي ترافق مع تزايد مراكز التصوير وكذلك مع تعزيز أعمال تطوير المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية القائمة على استخدام الغاليوم-68، ناهيك عن استخدام نظائر مشعة ذات عمر أطول نسبياً في هذا المجال مثل النحاس-64 والأيود-124 وكل هذه المنتجات تتصف بأنها أدوات دقيقة لتوفير بيانات عن الجرعات المناسبة للتطبيقات العلاجية.

ويذكر أيضاً حدوث تطور علاج أورام الأعصاب والغدد الصماء باستخدام الببتيدات المرقومة باللوتيشيوم-177 أو الأيتريوم-90، ناهيك عن أن الاهتمام باستخدام النظائر المشعة المصدرة للأشعة ألفا في علاج السرطان أدى إلى مواصلة تحسين إنتاج المواد القصيرة العمر المصدرة لجسيمات ألفا مثل البزموت-213.

ط-1-2 أمن إمدادات الموليبدنيوم-99 [26]

تواصل الأثر السلبي لحالات النقص الشديد في إمدادات الموليبدنيوم-99 المنتج بالانشطار وفي مولّدات التكنيسيوم-99م على تطبيقات التشخيصات الطبية للمرضى في غالبية مناطق العالم. ومن المزمع إغلاق المفاعل العالي التدفق في بيتن بهولندا ستة أشهر في عام 2010 لإجراء تصليحات بعد أن جرى تشغيله لمدة عام واحد منذ الحصول على رخصة التشغيل في آذار/مارس 2009. وفضلاً عما تقدّم، فقد تمَّ، في أيار/مايو 2009، إغلاق مفاعل البحوث الوطنية الشامل في كندا لإجراء اصلاحات كبرى نتيجة حصول تسربات ولا يتوقع أن يعاد تشغيله قبل نهاية شهر آذار/مارس 2010 على الأقل.

وللتعويض جزئياً عن حالات النقص، تمت زيادة الإنتاج في مفاعل BR2 القائم في مول ببلجيكا، وفي مفاعل سفاري-1 القائم في جنوب افريقيا إلى أقصى حد ممكن. واستكملت المنظمة الأسترالية للعلم والتكنولوجيا النوويين مرحلة الإدخال في الخدمة بالحالة الساخنة بالنسبة لمرفقها الإنتاجي الجديد الذي يستخدم تشعيع أهداف من اليورانيوم الضعيف التخصيب في مفاعل الماء الخفيف الأسترالي المفتوح الحوض،

---

25 الاجتماع السنوي لجمعية الطب النووية في تورونتو بكندا، وللرابطة والأوربية للطب النووي في برشلونة بإسبانيا؛ والندوة الدولية التي تعقد مرة كل سنتين بشأن علوم المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية في إدمنتون بكندا.

26 يمكن الاطلاع، في الموقع Gov Atom، على معلومات إضافية في الوثائق ذات الصلة بوثيقة استعراض التكنولوجيا النووية لعام 2010.

وقد حصلت على الموافقة الرقابية لبدء الإنتاج العادي الواسع النطاق، مما سيتيح لها القدرة على تصدير ما يناهز 10% من إنتاجها. ومن المزمع استكمال عملية الإدخال في الخدمة بالحالة الساخنة بالنسبة لمرفق إنتاجي آخر يستخدم اليورانيوم الضعيف التخصيب تم تشييده في مصر (بناء على تكنولوجيا أرجنتينية) على مقربة من مفاعل البحوث ETRR-2، وذلك بحلول نهاية عام 2009.

وقد توالت الدعوات إلى إرساء التعاون الدولي وتوفير الدعم الحكومي لإنتاج الموليبيدينوم-99 وقد كثفت رابطة المنتجين وموردي المعدات في ميدان التصوير دورها في ميدان التنسيق ونشر المعلومات المتعلقة بجداول تشغيل المفاعلات وفترات إغلاقها وغير ذلك عن النشاطات التعاونية [27,28,29].

ط-2 تطبيقات التقانة الإشعاعية

ط2-1 تعقيم مواد التغليف والحاويات المعقمة باستخدام حزم الإلكترونات

تُستخدم أشعة غاما منذ أكثر من 50 عاماً كوسيلة مأمونة ومعقولة التكلفة لتعقيم منتجات الرعاية الصحية الأحادية الاستخدام ومكوّناتها وغلافاتها. وقد باتت إشعاعات حزم الأيونات مقبولة الاستخدام في ميدان التعقيم منذ حوالي 30 عاماً، نتيجة لتوفر مسرعات إلكترونات محسّنة من حيث الفعالية والموثوقية، وفي الوقت الحالي، تشكل هذه الطريقة الخيار الأمثل لمعالجة المنتجات الكثيرة العدد/المنخفضة القيمة (كالمحاقن) وأيضاً المنتجات القليلة العدد/العالية القيمة (كالأجهزة المستخدمة في جراحة القلب والصدر).

الشكل ط-2 مصدرحزم إلكترونات لتعقيم الحيز الداخلي لزجاجة معدّة لحفظ المشروبات

وفي الآونة الأخيرة، باتت تتوفر منهجية تستخدم الحزم الإلكترونية–المطوّرة في الولايات المتحدة الأمريكية– وهي أيضاً توفّر خياراً لا ينطوي على استخدام المواد الكيميائية لتعقيم أو تنظيف مواد التغليف والحاويات المعقمة. وثمة 27 وحدة حزم إلكترونات من هذا النوع قائمة أو قيد التشييد في مختلف أنحاء العالم. وأحدث التطورات في هذا المجال يستخدم مصدرات حزم إلكترونية منخفضة الطاقة مصممة لتعقيم الحيز الداخلي لزجاجات المشروبات (انظر الشكل ط-2). ويمكن عند وضع مصدرات الإلكترونات هذه على أنساق تتيح تعقيم الزجاجات والسدادات والعلب من الداخل أو الخارج في ثوانٍ ويغني هذا عن المعالجة بالحرارة العالية وتوفير الطاقة والماء.

ط2-2 التوليف الإشعاعي للبنى النانوية القائمة على الكربون

أتاحت البنى النانوية القائمة على الكربون، مثل الأنابيب المجهرية الكربونية، إمكانيات مثيرة في ميدان تطبيقات التقانة المجهرية، ولا سيما التحوّل من الإلكترونيات الدقيقة القائمة على استخدام السيليكون إلى الأحجام المجهرية. والطرائق القائمة على استخدام الحزم الإلكترونية هي الوحيدة الملائمة للقيام بمهام مثل تلحيم الأنابيب النانوية الكربونية. وقد أفاد فريق من الباحثين من الصين واليابان بأن تسليط حزمة إلكترونات تبلغ طاقتها 120 كيلو إلكترون فولت على رقاقةمجهرية من الغرافيت يتيح تحويل الغرافيت إلى غرافين. ومن ثم إلى شريط مجهري من الغرافين. ومواصلة التشعيع يؤدي في النهاية إلى ضفيرة كربونية وحيدة يمكنها أن تشكل سلكاً جزيئياً مثالياً. وبهذه الطريقة، تساعد تكنولوجيا حزم الإلكترونات في تصنيع غالبية البنى النانوية القائمة على الكربون المستخدمة في الميدان الطبي وميدان الإلكترونيات.

وقد أقيم بقصد تسهيل نقل الحلول العلمية إلى الصناعة اتحاد EUMINfab [30]، وهو يضم منشآت وجامعات أوروبية ومختبرات وطنية تعمل في مجال التصنيع الدقيق والنانوي. ويدمج الاتحاد بين التقانات والمنشآت والخبرات، كما يتيح مجاناً إمكانية استخدام 36 منشأة لديها ما يلزم من موظفي الدعم التقني في مجال رسم الأنساق الدقيقة والمجهرية، ولصق الأغشية الرقيقة، والنسخ، وتحديد الخصائص.

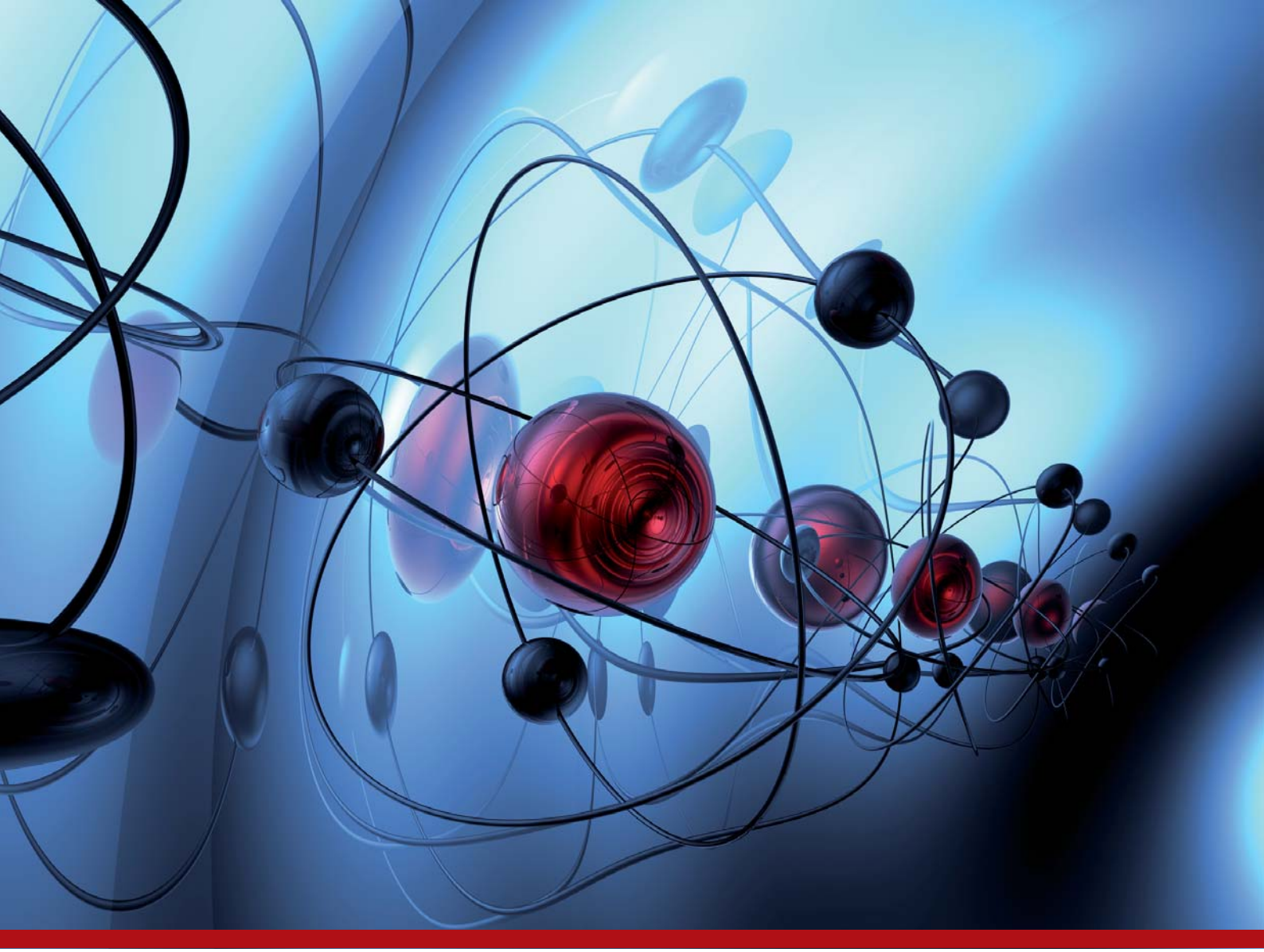
---

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

28 تتمثل الوكالة في الفريق الرفيع المستوى المعني بأمن إمدادات النظائر المشعة الطبية بصفة مراقب.

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

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



استخدامات النظائر المشعّة في الصناعة

إعداد: د. عادل حرفوش

تتحقق أسرع المساهمات التي تُقدّمها الطاقة الذريّة لاقتصاد بلد ما عبر التطبيقات الصناعية للنظائر المشعّة. وفي مجال البحث العلمي، يمكن استخدام هذه النظائر للحصول على معلومات فريدة حول طبيعة العمليات الكيميائية، أو كأداة سريعة ورخيصة للحصول على معلومات بسرعة أو بدقة أكبر مما يمكن الحصول عليه من أية وسيلة أخرى. ففي الصناعة، تستخدم هذه التطبيقات لمراقبة عمليات عديدة وتنظيمها، إضافة إلى تحسين مواصفات المنتجات أو إيجاد استخدام أفضل للمواد الخام.

وفي مجال مراقبة المواد، توفر النظائر المشعّة إمكانات أكبر للاختبارات اللاتخريبية والحفاظ على طبيعة المواد الخاضعة للاختبار دون تخريبها. هذا، وتستخدم المواد المشعّة القصيرة العمر لتقفّي تدفق المواد عبر خطوط الإنتاج ومراقبة عمليات الخلط، كما تستخدم أشعة غاما في تعقيم التجهيزات الطبية وبعض الشحنات السلعية، وتستخدم بشكل متزايد في حفظ الأغذية. والهدف من هذه الاستخدامات هو تخفيض التكلفة وتحسين مواصفة المنتج.

ما هي النظائر المشعّة؟

يطلق مصطلح نظير مشعّ على نظير نشط إشعاعياً. والنظائر المشعّة هي أشكال لعنصر ما، حيث تكون ذرّاته متساوية بعدد البروتونات ومختلفة عن بعضها البعض بعدد النترونات الموجودة في نوياتها، وبالتالي مختلفة في كتلها الذرّية. فذرّات الهدروجين–1 والهدروجين–2 والهدروجين–3 هي جميعها نظائر لبعضها البعض. ففي ذرّة بحالة تعادل كهربائي، يكون عدد الإلكترونات مساوياً للعدد الذرّي، وتكون الكتلة الذرّية مساوية لمجموع عدد النترونات والبروتونات. فهناك في الطبيعة 82 عنصراً مستقراً و275 نظيراً مستقراً، أي غير مشعّ، في هذه العناصر. وهناك أيضاً عدد من نظائر طبيعية غير مستقرة، أي مشعّة، تنجم عن تفكك اليورانيوم والثوريوم الأصليين.

يصل عدد النظائر المشعّة المستخدمة بشكل نظامي في الوقت الحالي إلى 200 نظير، ويجب تحضير غالبيتها صنعيّاً.

وبشكل إجمالي، هناك 1800 نظير مشعٍّ. كما أن هناك إمكانية لتصنيع نظائر مشعّة بطرائق عدّة، والطريقة الأكثر شيوعاً هي التنشيط النتروني neutron activation في مفاعل نووي. تتضمن هذه الطريقة أسر نترون من قبل نواة ذرّة ما فتحصل زيادة في عدد النترونات فيها، أي نحصل على نواة غنية بالنترونات. وبعض النظائر المشعّة تحضّر في السيكلوترون cyclotron، حيث يتم ضمنه اندخال بروتونات إلى نواة ذرّة ما فيحصل تبدّل (عجز) في عدد النترونات بالمقارنة مع العدد الجديد للبروتونات، أي نحصل على نواة غنية بالبروتونات.

تصبح نواة ذرّة عنصر مشعّ مستقرة عادة بعد أن تُصدر جسيمات ألفا و/أو جسيمات بيتا. يمكن أن تترافق هذه الجسيمات بإصدارات طاقية على هيئة إشعاع كهرطيسي يُعرف بأشعة غاما، ويُعرف مجمل هذه العملية بالتفكك الإشعاعي.

تتمتع النظائر المشعّة بخصائص مفيدة جداً: يمكن كشف الإصدارات الإشعاعية بسهولة ويمكن متابعتها إلى أن تختفي كلياً دون أن تترك أي أثر. يمكن لأشعة ألفا وبيتا وغاما، ومثلها أشعة–X، أن تخترق فيما يبدو أجساماً صلبة، إلاّ أنها تُمتصُّ تدريجياً من قبل هذه الأجسام. يتعلق مدى الاختراق بعوامل عدة، بما في ذلك طاقة الإشعاع وكتلة الجسيم وكثافة الجسم الصلب. تقود هذه الخصائص إلى تطبيقات عدة للنظائر المشعّة في المجالات العلمية والطبية والقضائية والصناعية.

التقنيات النترونية في التحليل

يمكن للنترونات أن تتفاعل مع الذرّات في عيِّنة ما مسبِّبة إصدار أشعة غاما التي، إذا ما جرى تحليل طاقاتها المميزة وكثافتها، ستحدد أنماط العناصر وكمياتها الموجودة في العيّنة. التقنيتان الأساسيتان في التحليل النتروني هما: الأسر النتروني الحراري Thermal Neutron Capture (TNC) والتبعثر النتروني اللامرن Neutron Inelastic Scattering (NIS). يحدث الأسر النتروني الحراري مباشرة بعد امتصاص نترون منخفض الطاقة من قبل نواة ما، ويحدث التبعثر النتروني اللامرن فور اصطدام نترون سريع مع نواة ذرة ما.

تَستخدم غالبية أجهزة التحليل التجارية منابع نترونية من الكاليفورنيوم–252، بالإضافة إلى مكاشيف من يوديد الصوديوم، وهي حساسة بشكل خاص لتفاعلات الأسر النتروني الحراري. وما تبقى من أجهزة التحليل التجارية تَستخدم منابع أمريسيوم–باريوم–241 ومكاشيف من جرمانات البزموت، التي تسجل كلاً من الأسر النتروني الحراري والتبعثر النتروني اللامرن. تُعدُّ تفاعلات التبعثر النتروني اللامرن مفيدة بشكل خاص في حالة عناصر مثل الكربون والأكسجين والألمنيوم والسليكون، التي تمتلك مقاطع ضعيفة الفعالية لأسر النترونات. تستخدم مثل هذه التجهيزات في تنوع من تحاليل فورية وعند خطوط السير لمعامل الإسمنت وتعدين الفلزات والفحم.

تستخدم تقنية التبعثر النتروني اللامرن في تطبيق خاص عندما يمكن لمسبار يحوي منبعاً نترونياً الدخول عميقاً في ثقب يكون تبعثر الإشعاع فيه ناجماً عن اصطدامات مع التربة المحيطة. ولما كانت ذرّة الهدروجين (المكوّن الأساس للماء) هي الأفضل، ومن بعيد، في إحداث التبعثر، فإن عدد النترونات المرتدة نحو المكشاف في المسبار يتبع لكثافة الماء في التربة.

ولقياس كثافة التربة ومحتواها المائي، يستخدم جهاز محمول مُزوَّد بخليط من الأمريسيوم–241 والبيريليوم لتوليد أشعة غاما ونترونات تمر عبر عيّنة من التراب إلى المكشاف. (تتفاعل النترونات الواردة من جسيمات ألفا مع البيريليوم–9). وهناك تطبيق أكثر دقة يستخدم في التسجيلات المُنفّذة في الآبار.

تقنيتا أشعة غاما وأشعة إكس في التحليل

يمكن استخدام نفاذ أشعة غاما أو تبعثرها في تحديد فوري للرماد المحتوى في الفحم على خط النقل. تتعلق تفاعلات أشعة غاما بالعدد الذرّي، ويزداد العدد الذرّي في الرماد مع تزايد المادة المحترقة. كما يمكن قياس (تحليل بروفيل كزمبتون) طيف

طاقة أشعة غاما التي خضعت لتبعثر غير مرن في الفحم، وذلك لتحديد كمية الرماد.

يمكن لأشعة X الصادرة عن عنصر مشعٍّ أن تحرض أشعة X متفلورة من مواد غير مشعّة. ويمكن لطاقات أشعة X المنبعثة أن تحدد العناصر الموجودة في المادة، كما يمكن لكثافة هذه الطاقات أن تحدد كمية كل عنصر من العناصر الموجودة.

تستخدم هذه التقنية لتحديد التراكيز العنصرية في عملية تدفق الفلزات المركزة. تغمس المسابر، الحاوية على نظائر مشعّة مع مكشاف، مباشرة ضمن تدفقات الوحل. تعالج الإشارات الصادرة عن المسبار لتعطي تركيز كلٍّ من العناصر المراقبة، ويمكن أن تعطي قياساً لكثافة الوحل. وتتضمن العناصر المكتشفة بهذه الطريقة عنصر الحديد والنيكل والنحاس والزنك والقصدير والرصاص.

إن انعراج الأشعة السينية هو تقنية متقدمة غير أنها لا تستخدم النظائر المشعّة.

التصوير بأشعة غاما

تعمل تقنية التصوير بأشعة غاما بصورة مشابهة كثيراً لتقنية مسح الأمتعة بأشعة X المطبقة في المطارات. فبدلاً من استخدام آلة كبيرة لإنتاج أشعة X، كل ما يمكن الحاجة إليه لإنتاج أشعة غاما هو مجرد كرة صغيرة من مادة مشعّة في كبسولة من التيتانيوم مختومة.

توضع الكبسولة في أحد جوانب الجسم المراد مسحه، ويوضع في الجانب الآخر فلم تصويري. فأشعة غاما، مثلها مثل أشعة X، تعبر الجسم وتشكل صورة على الفلم. وتماماً مثل ما تظهر أشعة X

انقطاعاً عند العظم، تظهر أشعة غاما تصدعات عند الصبات المعدنية أو وصلات اللحام. تسمح هذه التقنية بالكشف عن تشوهات داخلية في مكونات حسّاسة دون أن تخربها.

ونظراً لسهولة حمل منابع غاما بالمقارنة مع تجهيزات أشعة X، فإنها تمتلك ميزة واضحة في بعض التطبيقات التي تُمارَس في مناطق بعيدة. كما أن منابع أشعة X تصدر حزمة عريضة من الإشعاعات في حين تصدر منابع غاما على الأكثر أطوالاً موجية منفصلة. ويمكن أيضاً أن تتميز منابع أشعة غاما بطاقة أعلى بكثير من تجهيزات أشعة X باستثناء الأكثرها غلاءً، ومن ثم فلها ميزات أفضل في كثير من حالات التصوير الشعاعي. فحيثما يُنفَّذ لحام في أنبوب نفط أو غاز، لابد من الحصول على فلم تصويري خاص على طول الجانب الخارجي للأنبوب، ويتم ذلك عن طريق آلة تُسمى "زاحف أنبوبي pipe craWler" حاملة لمنبع مشعّ مدرّع على الجانب الداخلي للأنبوب عند منطقة اللحام. ومن ثمّ يتم كشف المنبع من بعد، وتنتج صورة لمنطقة اللحام على فلم التصوير. وفيما بعد يحمّض الفلم ويفحص للكشف عن إشارات أو تصدّعات ممكنة في منطقة اللّحام.

يمكن استخدام أجهزة أشعة X عند توافر القدرة الكهربائية، ويمكن تقريب الجسم المراد تصويره من منبع الأشعة وتنفيذ عملية التصوير. تمتلك النظائر المشعّة ميزة مهمّة من حيث أنه يمكن حملها إلى مكان إجراء الفحص المطلوب، ولا توجد حاجة للقدرة الكهربائية عندئذ. رغم ذلك، لا يمكن إيقاف الإشعاع الصادر عنها، لذا لابد من تدريعها بشكل دقيق عند استخدامها أو خارج أوقات الاستخدام على السواء.

تُعدُّ الاختبارات اللاتخريبية امتداداً للتصوير بأشعة غاما، وهي تطبق على تنوّع كبير من المنتجات والمواد. فمثلاً، يستطيع الأتربيوم-169 اختبار الفولاذ حتى عمق 15 مم، والخلائط الخفيفة حتى عمق 45 مم، في حين يستخدم الإيريديوم لاختبار الفولاذ-12 حتى عمق 60 مم والخلائط الخفيفة حتى عمق 190 مم.

القياس

تنخفض شدة الإشعاع الصادر عن نظيرٍ مشعٍّ بفعل تأثير المادة الواقعة بين منبع الإشعاع والمكشاف. تستخدم المكاشيف لقياس هذا الانخفاض. يمكن استخدام هذا المبدأ للتأكد من حضور أو غياب المادة بين المنبع والمكشاف، أو حتى لقياس كمية المادة أو كثافتها. والميزة في استخدام هذا النوع من الكشف أو القياس هي أنه لا يوجد تماس مع المادة المراد كشفها.

تَستخدم العديد من العمليات الصناعية مقاييس ثابتة لرصد ومراقبة تدفق المواد في الأنابيب وأعمدة التقطير وغير ذلك، وعادة مع أشعة غاما.

يمكن تحديد ارتفاع الفحم في مستودع ما عبر وضع منابع غاما عالية الطاقة عند ارتفاعات مختلفة على طول أحد جوانب المستودع من خلال تركيز مسدّدات الحزم الموجّهة عبر الكتلة المخزنة. تقوم المكاشيف المتوضّعة مقابل المنابع بتسجيل انقطاعات الحزمة ومن ثم سوية الفحم في المخزن. تُعدُّ مقاييس السويّات هذه من بين أكثر الاستخدامات الصناعية الشائعة للنظائر المشعّة.

تستخدم بعض الآلات التي تُصنِّع أفلاماً بلاستيكية مقاييس النظائر المشعّة لجسيمات بيتا من أجل تحديد ثخانة الفلم البلاستيكي. يتحرك الفلم بسرعة عالية بين المنبع المشعّ والمكشاف. وتستخدم قوة إشارة المكشاف لمراقبة ثخانة الفلم البلاستيكي.

وفي صناعة الورق، تستخدم مقاييس بيتا لمراقبة ثخانة الورق عند سرعات تصل إلى 400 م/ثا.

عندما تقوم مادة الحزمة بتخفيض شدة الإشعاع الصادر عن النظير المشعّ، فإن بعض الإشعاع يرتد عائداً نحو منبع الإشعاع. وإن كمية إشعاع التبعثر الراجع مرتبطة بكمية المادة في الحزمة، ويمكن استخدام ذلك لقياس أنماط مختلفة من ثخانات الطلاء.

التعقيم بأشعّة غاما

تستخدم إشعاعات غاما بشكل واسع لتعقيم المواد الطبية ومواد أخرى مثل النسيج الصوفي والغذاء. يشكل الكوبالت–60 النظير الأساسي في الاستخدام، كونه مصدراً فعالاً لإشعاعات غاما. فهو يَنتج في المفاعلات النووية، وأحياناً كمنتج ثانوي في مولّدات القدرة الكهربائية.

تستخدم منشآت تشعيع ذات طاقات كبيرة لتعقيم سلع طبية تستهلك لمرة واحدة مثل المحاقن والقفازات والشاش والأدوات التي يمكن أن يتخرّب كثير منها بالتعقيم الحراري. وتستخدم مثل هذه المنشآت في معالجة كميات كبيرة من المواد، مثل الصوف الخام المصدَّر من أستراليا ووثائق الأرشفة وحتى الأخشاب، وذلك لقتل الطفيليات.

تستخدم بعض مشعّات غاما لمعالجة الدم قبل نقله، إضافة إلى تطبيقات طبية أخرى. بدأت عمليات تشعيع الغذاء منذ ستينيات القرن الماضي وتزداد هذه العمليات مع مرور الزمن. وفي العام 1997 تمّت موافقة الولايات المتحدة على تشعيع اللحوم الحمراء، كما تزايد عدد المواد الغذائية المشعّة إلى أكثر من

220 مادة مختلفة في 41 بلداً، وذلك بهدف زيادة فترة حفظها وتقليل خطورة فسادها.

استخدامات الاقتفاء والخلط

يمكن بسهولة كشف حتى كميات صغيرة جداً من المواد المشعّة. ويمكن لاستخدام هذه الخاصية أن يساهم في اقتفاء تطور بعض المواد المشعّة خلال مسار معقّد أو عبر حوادث تُمدِّد بشكل كبير المادة الأصلية. في جميع دراسات الاقتفاء هذه، يتم اختيار عمر النصف للمتقفّي المشعّ ليكون كافياً للحصول على المعلومة المطلوبة، وبحيث لا يستمر النشاط الإشعاعي لفترة طويلة بعد عملية الاقتفاء.

يمكن اقتفاء المخلفات الناجمة عن المحيطات بهدف دراسة تشتتها، ويمكن كشف بعض التسرّبات في منظومات معقّدة كالمبادلات الحراريّة في محطة طاقية، ويمكن أيضاً قياس معدلات تدفق السوائل أو الغازات في الأنابيب بشكل دقيق، إضافة لمعدلات التدفق في الأنهار الكبيرة.

يمكن قياس فعالية الخلط للمازجات الصناعية والتدفق الداخلي للمواد في الأفران المفحوصة. ويمكن معرفة مدى الدمار النهائي في بنية المواد عن طريق تغذية الحشرات بمخلفات خشبيّة مشعّة، ومن ثمَّ قياس مدى انتشار النشاط الإشعاعي الذي سببته الحشرات. يمكن إجراء هذا القياس دون إحداث تخريب لأي بنيةٍ، كونه يمكن كشف الإشعاع بسهولة في مواد البناء.

النفايات

تستخدم المصانعُ منابعَ إشعاعية في تطبيقات عديدة جداً. ففي الصناعة، عندما تُستخدم المنابع المشعّة وتصبح غير قادرة

على إصدار إشعاع مفيد، تعامل على أنها نفايات مشعّة. تكون المنابع المستخدمة في الصناعة عادة قصيرة الأمد، وأي نفاية ناتجة يمكن طرحها بالقرب من مواقع المنشآت.

تتضمن بعض النشاطات الصناعية التعامل مع خامات كالصخور والتربة والفلزات التي تحتوي على مواد مشعّة طبيعية. تُعرَّف هذه المواد بالمصطلح نورم "Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM)". يمكن للنشاط الصناعي في بعض الأحيان تركيز هذه المواد وبالتالي تعزيز نشاطها الإشعاعي الطبيعي (لكي يصبح المصطلح الجديد النورم المعزَّز تقنياً: "TENORM" Technically–enhanced NORM). ويمكن أن يُحدِث ذلك:

- خطراً في تعرّض العمّال والجمهور للإشعاع.
- تلوثاً إشعاعياً في البيئة غير مقبول.
- حاجة الإذعان لمتطلبات تنظيم طرح النفايات.

نذكر هنا الصناعات الأساسية التي ينجم عنها تلوث من نوع نورم NORM، وهي:

- **عمليات النفط والغاز:** تنتج عن عمليات استكشاف واستخراج النفط والغاز أحجاماً كبيرة من المياه التي تحوي على فلزات منحلة. يمكن لهذه الفلزات أن تترسّب في الأنابيب وفي تجهيزات النفط الحقلية أو تُترك كفضلات على هيئة بحيرات ضحلة متبخّرة. وأحياناً يمكن أن تُحدث جرعات الإشعاع المتشكلة في التجهيزات الملوثة بالترسبات الفلزية خطراً مفاجئاً. ويمكن للتجهيزات الملوثة بشكل ملحوظ وللنفايات المستبعدة منها أن تصنف كنفايات إشعاعية. وعلى سبيل المثال، تشكل عمليات النفط والغاز مصادر أساسية للإشعاع المنتقل إلى المياه في شمال أوربة.
- **احتراق الفحم:** تحتوي غالبية مناجم الفحم على اليورانيوم والثوريوم، إضافة إلى نكليدات مشعّة أخرى، وتكون سويات الإشعاع الكلّي تقريباً مساوية للسويات في صخور أخرى في القشرة الأرضية. تَظهر غالبية هذا الإشعاع في الرماد الخفيف الناجم عن محطة طاقية. يُحتفظ تقليدياً بحوالي 99% من هذا الرماد في موقع المحطات الحديثة (وحوالي 90% في المحطات القديمة)، ويدفن على هيئة سدٍّ من الرماد. ينتج سنوياً على الصعيد العالمي حوالي 250 مليون طن من رماد الفحم.
- **الأسمدة الفسفاتية:** تفضي معالجة الصخور الفسفاتية وإنتاج الأسمدة الفسفاتية (وهي إحدى المنتجات النهائية للصناعة الفسفاتية) إلى تعزيز سويات اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم.
- **مشكلة مياه الصرف ومعالجتها:** ترشح النكليدات المشعّة إلى المياه عند تلامس هذه الأخيرة مع اليورانيوم والثوريوم المحمول في الصخور والرسوبيات. تستخدم الفلاتر عادة لمعالجة المياه وإزالة الشوائب منها. وهكذا، تشكل الفضلات المشعّة المتجمعة في وَحل الفلاتر وريزينات resins (راتينج) التبادل الأيوني وحبيبات الكربون المنشط وفي مياه غسل الفلاتر جزءاً من المواد المشعة الطبيعية (NORM).
- **مخلفات الصناعة المعدنية:** يمكن لمخلفات الصناعة المعدنية أن تحتوي على سويات معززة من النكليدات المشعّة. تتعلق الطبيعة الحقيقية وتراكيز هذه النكليدات المشعّة بالعملية الأصلية التي نجمت عنها المخلفات.
- **أوحال الصهر المعدني:** يمكن لأقراص الصهر المعدني، وبخاصة عند صهر القصدير، أن تحتوي على سويات معززة من نكليدات مشعّة لسلاسل اليورانيوم والثوريوم.

الاستخدامات البحثية

تستخدم النظائر المشعّة كقفاءات في العديد من مجالات البحث. فمعظم المنظومات الفيزيائية والكيميائية والحيوية تعامل النظائر المشعّة وغير المشعّة للعنصر تماماً بالطريقة نفسها، أي أنه يمكن لمنظومة ما أن تستثمر مع ضمانٍ بأن الطريقة المستخدمة في الاستثمار لا تؤثر بحدّ ذاتها على المنظومة. وهناك مجموعة كبيرة من المركّبات العضوية التي يمكن إنتاجها باستبدال ذرّة منفردة أو ذرّات في بنيتها بمعادل مشعّ مناسب.

وباستخدام تقنيات الاقتفاء، تُنفذ الأبحاث باستعمال نظائر مشعّة مختلفة موجودة بشكل واسع في البيئة، وذلك بهدف دراسة تأثير النشاطات البشرية. فمثلاً، يمكن تقدير عمر المياه الجوفية بعد معرفة سوية النظائر المشعّة الموجودة بشكل طبيعي في هذه المياه. ويمكن لهذه المعلومة أن توضّح ما إذا كان معدل استهلاك المياه الجوفية أسرع من معدل تزوّدها بمياه بديلة للمستهلَك. ويستخدم الآن اقتفاء سويات السقط الإشعاعي الذي حدث بسبب اختبارات الأسلحة النووية في خمسينيات وستينيات القرن الماضي، وذلك لقياس حركة التربة وتآكلها.

وفي أعقاب تشغيل مسرع جسيمي، ستخضع المنشأة عادة إلى عمليات توقّف وصيانة. ونظراً لوجود مواد مشعّة فيها، سيتطلب ذلك معالجة هذه المواد كفضلات مشعّة ويجب التعامل معها على هذا الأساس. فبعد 40 عاماً من تشغيل واحد من جيل جديد لمسرّعات الجسيمات، يتوقع أن تصل كمية النفايات في

هذه الحالة إلى كمية مماثلة لما يحدث في محطة طاقة نووية كهربائية طاقتها 1 جيغا واط كهربائي عملت لمدة 40 عاماً. رغم ذلك، تجب الإشارة إلى أن تركيز النشاط الإشعاعي سيكون أكثر توزعاً في مثل حالة منشأة مسرّع ما.

تتطلب منابع الإشعاع العاملة في الجامعات والمعاهد البحثية إدارة وتدابير مناسبة أيضاً. هناك منابع عديدة ذات نشاط ضعيف وعمر نصف قصير. ومع ذلك، إن بعض الاستثناءات تتضمن منابع سويات وأنصاف أعمار عالية مثل الراديوم–226 والأمريسيوم–241 المستخدمين في أبحاث حيوية وزراعية. تتطلب هذه المنابع إدارة وتدابير طويلة الأمد مشابهة لما يعتمد في حالة المخلفات متوسطة السوية الإشعاعية.

النظائر المستخدمة في الصناعة

1- نظائر طبيعية مشعّة:

الكربون–14: يستخدم في قياس عمر المياه (حتى 50000 سنة).

الكلور–36: يستخدم لقياس مصادر الكلوريد وعمر المياه (حتى 2 مليون سنة).

الرصاص–210: يستخدم لتقدير عمر طبقات الرمال والتربة حتى 80 سنة.

التريتيوم (H–3): يستخدم لقياس المياه الجوفية الحديثة العهد (حتى 30 سنة).

2- نظائر منتجة صنعياً:

أمريسيوم–241: يستخدم في مقاييس التبعثر الراجع والمكاشيف الدخانية ومكاشيف الارتفاعات وفي قياس المحتوى الرمادي للفحم.

سيزيوم–137: تستخدمه تقانة الاقتفاء الإشعاعي لتحديد مصادر تآكل التربة وترسباتها وفي قياس الكثافة وتحديد سويات الارتفاع.

كروم–57: يستخدم لوسم الرمال في دراسة تآكل السواحل.

كوبالت–60 ولانثانيوم–140 وسكانديوم–46 وفضة–110m وذهب–198: تستخدم جميعها في الأفران لتحديد زمن الاستبقاء وتأهيل الإمكانات لقياس فعالية الأفران.

كوبالت–60: يستخدم للتعقيم بأشعة غاما والتصوير الإشعاعي الصناعي وتحديد الكثافة وسويات الارتفاع.

ذهب–198 وتكنيسيوم–*99:* يستخدمان لدراسة حركة الأوحال والمخلفات السائلة، إضافة لاقتفاء مخلفات المعامل المسبِّبة لتلوث المحيط واقتفاء حركة الرمال على مصاطب الأنهار وقاع المحيطات.

ذهب–198: يستخدم لوسم الرمل في دراسة تآكل السواحل.

هدروجين–3 (الماء الموسوم بالتريتيوم): يستخدم كقفّاء لدراسة مخلفات الوحل والسوائل.

إيريديوم–192: يستخدم في التصوير بأشعة غاما لتحديد تدفق المكونات المعدنية.

كريبتوم–85: يستخدم في القياسات الصناعية.

منغنيز–54: يستخدم لتوقع سلوك مكونات المعادن الثقيلة المتدفقة من مياه الصرف المنجمية.

نيكل–63: يستخدم في الحسّاسات الخفيفة في الكاميرات والمسح البلازمي، وكذلك لتجنب الانفراغ الكهربائي وفي مكاشيف الأسر الإلكتروني لمقاييس الثخانة.

سلينيوم–75: يستخدم في التصوير بأشعّة غاما وفي الاختبار اللاتخريبي.

سترونسيوم–90 وتاليوم–204: يستخدمان في القياس الصناعي.

إتربيوم–169: يستخدم في التصوير بأشعّة غاما وفي الاختبار اللاتخريبي.

زنك–65: يستخدم لتوقع سلوك مكونات المعادن الثقيلة أثناء تدفقها مع مياه صرف المناجم.

تطبيقات مستقبلية

يتم حالياً تطوير تطبيقات أخرى لغايات خاصة، مثل البطاريات النووية المستخدمة لتزويد الساتلات الفضائية والمحطات المناخية بالطاقة. وقد أظهرت المنابع ذات النظائر الخفيفة فائدة محسّنة فيما يخص إشارات الخطوط الحديدية، غير أن هذا النوع من المنابع الطاقية لم يلق بعد توجهاً صناعياً.

وخلال السنوات العشر القادمة، لا يتوقع الحصول على تقدم كبير في استخدام النظائر المشعّة في مجال التصوير، ولا الوصول إلى تقانة مهمّة جديدة أو توسع جديد في الأسواق. واستخدام النظائر المشعّة في القياس يبدي نشاطاً مغلقاً وبلغ نقطة الإشباع، ولكن الأمل معقود على توسعات في تطبيقات جديدة، وتطوير زيادات في عمق الاختبارات في بعض الأوساط المادية.

يمكن أن تتابع المساهمة الاقتصادية للنظائر بالوتيرة نفسها، ولا يتوقع حدوث تغيرات تقنية كثيرة، غير أن عمليات حفظ الأغذية بالتشعيع قد تشهد تطوراً أساسياً في النتائج التجريبية.

استعراض
التوصيات الجديدة للهيئة الدولية للوقاية الإشعاعية (ICRP)

ملخص

تقدّم هذه الورقة استعراضاً لتوصيات الهيئة الدولية للوقاية الإشعاعية International Commission on Radiological Protection (ICRP) لعام 2007. وتأخذ هذه التوصيات الجديدة بعين الاعتبار أحدث المعلومات البيولوجية والفيزيائية، وتدمج في طياتها الدلائل الإضافية التي صدرت عن ICRP منذ 1990. إن التغييرات في المعلومات العلمية غير جوهرية. كما حافظت ICRP على فرضيتها الأساسية بخصوص تحريض التأثيرات العشوائية لخطية الجرعة ذات التأثير دون وجود عتبة، كما حافظت على استخدام معامل الفعالية للجرعة ولمعدل الجرعة dose and dose–rate effectiveness factor (DDREF) مساوياً لـ 2 من اجل اشتقاق معاملات الخطورة الاسمية لجرعاتٍ منخفضة ولمعدلاتِ جرعةٍ منخفضة. على الرغم من أنها أبقت على الضرر الإجمالي من الجرعات الإشعاعية المنخفضة على حاله دون تغيير، فقد قامت ICRP بتعديلات في قيم معاملات تثقيل (وزن) النسيج والإشعاع. وقد ازداد معامل التثقيل لنسيج الثدي بشكل خاص، في حين تناقص هذا المعامل بالنسبة للغدد التناسلية. هناك بعض التغييرات الشكلية في نظام الوقاية. على الرغم من أن ICRP قد حافظت على المبادئ الأساسية الثلاثة –التبرير واستمثال الوقاية وحدّ الجرعة – فقد حاولت تطوير طريقة أكثر شمولية في الوقاية الإشعاعية متضمنةً جميع حالات التعرض –المخطط لها والقائمة والطوارئ– وجميع مصادر الإشعاع، سواء ذات المنشأ الطبيعي أم الصنعي.

ويجب أن تضمن هذه الطريقة أن الاهتمام مركّز على تلك التعرضات التي يمكن التحكّم بها بشكل معقول، إضافةً إلى أنها تعزز مبدأ استمثال الوقاية مع التأكيد، بشكل خاص، على استخدام القيود في حالات التعرض المخطط لها والمستويات المرجعية لحالات التعرض القائمة وحالات الطوارئ. كما تصنف قيود الجرعة والمستويات المرجعية في ثلاث مجموعات، ويمكن أن تساعد في تبرير القيم المتعددة لقيود الجرعة المحددة المعطاة في منشورات ICRP السابقة. ولا توجد أي تغييرات في حدود الجرعة. وتشير ICRP إلى رغبتها المتعلقة بتطوير دليل إضافي حول حماية البيئة. وحقيقة أن هذه التوصيات الجديدة هي، على الأكثر، قضية دمج توصيات ودلائل ICRP سابقة، يجب أن تعطينا الثقة بأن نظام الوقاية، الذي أسس على وجه الإجمال في شكله الحالي منذ عقود عديدة قد وصل إلى مستوى معين من النضج. وبالتالي ليس من الضروري القيام بتغييرات رئيسية في تشريعات الوقاية الإشعاعية المستندة إلى توصيات العام 1990.

مقدمة

لقد بدأت عملية تنقيح توصيات ICRP السابقة لعام 1990 منذ حوالي العام 1998 وذلك من خلال ورقة للمناقشة قام بتحضيرها رئيس اللجنة آنذاك، روجر كلارك [1]. شجع ظهور عملية التنقيح هذه، الرغبة بتقليص التعقيد الذي نشأ نتيجة الأسلوب الذي تطورت من خلاله الوقاية الإشعاعية وكذلك الرغبة بتغطية التعرّضات من جميع مصادر الأشعة بطريقة أكثر شمولية. كما تضمنت عملية التنقيح مناقشات تقنية لمتخصصين في جميع أنحاء العالم، ومن أجدرها بالذكر اجتماعان هامان – اجتماع IRPA في هيروشيما في العام 2000، وفي مدريد في العام 2004. وإضافةً إلى ذلك فقد تم وضع التوصيات الجديدة المقترحة على الشبكة العنكبوتية من أجل مناقشة كاملة في مناسبتين منفصلتين – في العام 2004 والعام 2006. وأسهمت المنظمات العالمية المعنية، من أهمها الوكالة الدولية للطاقة الذرية والاتحاد الأوربي ووكالة الطاقة النووية في دول مجلس التعاون الاقتصادي (NEA/OECD) بقدر كبير في عملية التطوير. وجرى إعداد تقريرين عن تقدم العمل خلال عملية التطوير [3,2].

وافقت ICRP على توصياتها الجديدة خلال اجتماعها في إيسن (Essen)، في آذار/مارس 2007. والتوصيات منشورة الآن في الدوريات السنوية لـ ICRP [4]. تأخذ هذه التوصيات الجديدة بعين الاعتبار آخر المعلومات البيولوجية والفيزيائية والتوجهات في وضع معايير السلامة الإشعاعية؛ كما تأخذ هذه التوصيات بعين الاعتبار التطورات التي جرت في الدلائل الإرشادية لـ ICRP المنشورة منذ العام 1990، حيث تمت الموافقة على التوصيات السابقة [5]، وعلى وجه الخصوص، على معايير الجرعة العددية التي طُورت من أجل أغراض عدة. وتقدم هذه الورقة خلاصة التوصيات الجديدة.

الأساس البيولوجي

كانت مبادئ الوقاية الإشعاعية تؤسَّس دوماً على أحدث إدراكٍ للتأثيرات البيولوجية المحرضة بالتعرض للأشعة. وقد جرى استعراض هذه التأثيرات بشكل شامل في التوصيات الجديدة. وفيما يتعلق بالتأثيرات القطعية (والتي تُفضِّل ICRP حالياً تسميتها "استجابة النسج")، تشير ICRP إلى أنه ضمن مجال الجرعات الممتصة حتى حدود 100 ملّي غراي (سواء أكان انتقال الطاقة الخطي Linear Energy Transfer (LET) منخفضاً أم مرتفعاً) لا يُفترض بأي نسيج أن يُظهر سريرياً (بالمراقبة المباشرة) أي تلف وظيفي. وهذا الافتراض (الحكم) يطبق على كل من الجرعات الحادّة المفردة وعلى الحالات التي تؤثر فيها هذه الجرعات المنخفضة بشكل ممتد زمنياً على هيئةِ جرعاتٍ سنوية متكررة.

إنّ التركيز الأهم في هذه الأيام على "التأثيرات العشوائية"، وبشكل أساسي السرطان إضافةً إلى الاضطرابات الوراثية. ومن خلال استعراضها هذه التأثيرات، فقد درست ICRP التحديات الممكنة لنموذجها الخطي غير العتبي، ولكنها استنتجت أنه لأغراض الوقاية الإشعاعية من المعقول علمياً الافتراض بأن حدوث السرطان أو الاضطرابات الوراثية سيزداد بتناسب طردي مباشر مع زيادة الجرعة المكافئة للأعضاء والنسج ذات الصلة، في المجال الأقل من 100 ملّي سيفرت تقريباً. وقد أخذت ICRP بعين الاعتبار أموراً مثل الاستجابات التكيفية الخلوية واللاستقرارية الجينية والتأشير المتفرّج bystander signaling (غير المشارك) ولكن مع ملاحظة أنه نظراً لاعتماد تقدير معامل خطورة السرطان الاسمي على البيانات البشرية الوبائية المباشرة، فإنه سيجري تضمين أي إسهام، لأي من هذه الآليات البيولوجية في هذا التقدير.

وهناك كثير من الشواهد المتنامية على وجود عواقب صحية أخرى لها علاقة بالأشعة مثل أمراض القلب والسكتة الدماغية والاضطرابات الهضمية وأمراض الجهاز التنفسي [6]. ومهما يكن الأمر، فقد استنتجت ICRP أن البيانات غير كافية للسماح

بتضمينها في تقدير الضرر الذي يترتب على جرعات الأشعة المنخفضة (أي الأقل من 100 ملّي سيفرت).

معاملات الخطورة الاسمية

لم تتغير تقديرات خطورة السرطان بشكل كبير منذ العام 1990. وبالرغم من ذلك مازالت ICRP تعتبر معامل فعالية الجرعة ومعدل الجرعة (DDREF) المساوي لـ 2 مناسباً، لأجل اشتقاق معاملات الخطورة الاسمية للجرعات المنخفضة ومعدلات الجرعة المنخفضة. ونجد قيم هذه المعاملات في الجدول 1 إلى جانب القيم التي وردت في توصيات عام 1990. وجميع هذه القيم اسمية، وقد اعتمدت القيم الجديدة على بيانات حدوث السرطان الموزونة بالموت والعجز، في حين اعتمدت قيم عام 1990 على خطورة السرطان المميت الموزونة بالسرطان غير القاتل، وبنسبة سنوات العمر الضائعة نتيجة السرطانات القاتلة إلى حياة العجز الناجمة عن السرطانات غير القاتلة. ليس المقصود من الكسور العشرية في الجدول أن تشير إلى مستوى عالٍ من الدقة؛ وإنما هي ببساطة نتيجة لحسابات ICRP.

وهكذا فإن الضرر الكلي الناتج من التأثيرات العشوائية لم يتغير وبقي بحدود 5% لكل سيفرت. وإن كان هناك تغير فإن الأضرار الكلية أقل إلى حدٍّ ما، وتعتبر انعكاساً لانخفاض الخطورة في التأثيرات الوراثية الخطيرة.

الجدول1. معاملات الخطورة الاسمية المعدلة حسب الضرر للتأثيرات العشوائية التي تعقب التعرض للإشعاع بمعدل جرعة منخفض (القيم في الجدول معطاة بالواحد بالمئة لكل سيفرت)

المجموعة المتعرضة	للإصابة بالسرطان		للإصابة بالتأثيرات الوراثية		الضرر الكلي	
	2007	1990	2007	1990	2007	1990
الجميع	5.5	6.0	0.2	1.3	5.7	7.3
البالغون	4.1	4.8	0.1	0.8	4.2	5.6

الخطورة على الجنين المخلَّق وغير المخلَّق

فيما يتعلق بالمخاطر على الجنين المخلق وغير المخلق، فقد أكدت ICRP بشكل أساسي على الموقف الذي سبق أن اتخذته، وذلك أنه عند جرعات أقل من 100 ملّي غراي تكون التأثيرات المميتة خلال فترة التعشيش (زرع البويضة المخصبة في بطانة الرحم) نادرة جداً. وفيما يتعلق بالتشوهات الخلقية، ترى ICRP أن هناك عتبة جرعة حقيقية بحدود 100 ملّي غراي. أما مايتعلق بالتخلف العقلي الشديد، فتدعم عتبة جرعة لا تقل عن 300 ملّي غراي خلال الفترة الأكثر حساسية (5–18 أسبوعاً بعد التخصيب وتكوّن الخلية الملقحة). كما ويُستنتج بأن أي تأثير على حاصل الذكاء IQ، بعد التعرض ضمن الرحم لأقل من 100 ملّي غراي، سيكون مهملَ الأهمية وترى ICRP أيضاً أن خطورة ظهور السرطان خلال العمر الناجمة عن التعرض ضمن الرحم، ستكون مشابهة لتلك التي تتم أثناء الطفولة المبكرة. وهذا يعني أنها تعادل على الأكثر ثلاثة أضعاف الخطورة تقريباً للسكان ككل.

معاملات التثقيل الإشعاعية والجرعة المكافئة

قامت ICRP بتطبيق معاملات تثقيل الاشعة (W_R) في توصياتها لعام 1990 [5]، المعتمدة على الفعالية البيولوجية النسبية Relative biological effectiveness (RBE) للأشعة المدروسة، على الجرعة الممتصة في عضو أو نسيج وذلك من أجل استنتاج الجرعة المكافئة. وجرى اتباع هذه الطريقة في التوصيات الجديدة أيضاً، ولكن توجد بعض التعديلات في القيم المستخدمة (انظر الجدول 2).

إن التغييرات الرئيسة هي:

خُفّضت قيمة معامل التثقيل بالنسبة للبروتون من 5 إلى 2؛ كما تم التطرق والتعرف إلى البيون المشحون وتم تحديد معامل تثقيله بـ 2؛ إضافةً إلى أنه جرى إعطاء قيمة التثقيل للنترونات كدالةٍ مستمرةٍ للطاقة (في السابق جرت التوصية بتابع درجي للطاقة [5]).

الجدول 2. معاملات تثقيل الأشعة الموصى بها:

نوع الإشعاع	معامل تثقيل الأشعة W_R
الفوتونات	1
الإلكترونات والميونات	1
البروتونات والبيونات المشحونة	2
جسيمات ألفا، شظايا الانشطار، أيونات ثقيلة	20
النترونات	تابع مستمر لطاقة النترون

الجدول 3. معاملات التثقيل للنسج الموصى بها:

النسيج	معاملات التثقيل لكل نسيج W_T	مجموع قيم W_T
نقي العظام (أحمر)، الكولون، الرئة، المعدة، الثدي، والأنسجة المتبقية[a]	0.12	0.72
الغدد التناسلية	0.08	0.08
المثانة، المري، الكبد، الغدة الدرقية،	0.04	0.16
سطح العظام، الدماغ، الغدد اللعابية، الجلد	0.01	0.04
المجموع		1.00

a النُسج المتبقية: هي الأدرينال (مجاورات الكلى)، المنطقة الخارجية من الصدر (ET)، المرارة، القلب، الكلية، العقد اللمفاوية، العضلات، الأغشية المخاطية الفموية، البنكرياس، البروستات (عند الرجال)، الأمعاء الدقيقة، الطحال، الغدد الصماء، الرحم وعنق الرحم (عند النساء).

معاملات تثقيل النُسج والجرعة الفعّالة

عرّفَت ICRP كمية الجرعة الفعالة أيضاً في توصياتها للعام 1990 [5] بأنها مجموع الجرعات المكافئة في النسج والأعضاء الرئيسية، وكلٍ منها مثقّل بمعامل تثقيل النسج المناسب (W_T). وقد أدرجت قيم التثقيل المنقحة المشتقة من بيانات مخاطر تحريض السرطان والأمراض الوراثية ضمن التوصيات الجديدة (انظر الجدول 3). وأهم التغيّرات المذكورة، أربعة تغييرات هي:

الأول: تضمين نسيجين إضافيين (الدماغ والغدد اللعابية).

الثاني: تخفيض القيمة المحددة بشأن الغدد التناسلية من 0.20 إلى 0.08 مظهرةً الأهمية الأقل للأمراض الوراثية.

الثالث: زيادة W_T بالنسبة للثدي من 0.05 إلى 0.12 على ضوء الاكتشافات الوبائية الحديثة والتركيز على حدوث السرطان في حسابات الضرر.

الرابع: تعديل معامل التثقيل لما يسمى "بالأنسجة المتبقية" وذلك من أجل تفادي الانحرافات البسيطة المعروفة سابقاً عن الطبيعة التجميعية المرغوبة في الجرعات الفعالة.

تؤكد ICRP على أن الجرعات الفعالة توفر مقياساً للضرر الإشعاعي لأغراض الوقاية فقط، وهي لا توفر جرعة نوعية للفرد كما لا يمكن استخدامها في التقييمات الوبائية. علاوةً على ذلك، فإنه لا يمكن استخدام الجرعة الفعالة التجميعية –التي يكون استخدامها الرئيسي في أمثلة الوقاية الإشعاعية– في الدراسات الوبائية وفي تقييم العدد الافتراضي لحالات السرطان أو الأمراض الوراثية في أي مجموعة معرضة للأشعة.

نظام الوقاية الإشعاعية

قسمت ICRP في توصياتها للعام 1990 [5] نظامها في الوقاية إلى "ممارسات" و"تدخل"، حيث تطبق المبادئ الثلاثة المعروفة في التبرير واستمثال الوقاية وحدود الجرعة على الممارسات. والتبرير بمعنى الحصول على فائدة أكثر من التسبب بالضرر، واستمثال الوقاية مطبقان أيضاً على التدخل، ولكن لا تطبق حدود الجرعة. وتعتبر ICRP حالياً أنه من الأفضل تحديد ثلاث فئات لحالات التعرض وهي تحديداً: حالات التعرض المخطط لها والتي تتضمن إدخال المصادر وتشغيلها بشكل مدروس؛ وحالات التعرض الطارئة والتي تتطلب التصرف بشكل عاجل وذلك لتفادي أو لتقليل العواقب غير المرغوب بها؛ وحالات التعرض القائمة والتي تتضمن حالات التعرض المديد التي تحدث بعد حالات الطوارئ. وتؤكد ICRP أنه يمكن بتبني هذا الأسلوب تطبيق نظامها للوقاية، من حيث المبدأ، على أية حالةٍ للتعرض الإشعاعي. هذا وتستخدم إجراءات مماثلة من أجل الحكم على مدى ومستوى الإجراءات الوقائية الواجب اتخاذها بغض النظر عن حالة التعرض. وتعتبر ICRP على وجه الخصوص أن يمكن أن يؤدي إلى تطبيقٍ أعمق للوقاية على ما كان يصنف سابقاً كتدخل.

تبقى مبادئ الوقاية الثلاثة كما هي سابقاً: مبدأ التبرير ومبدأ الاستمثال اللذان يمكن تطبيقهما عموماً على حالات التعرض الثلاث كلها؛ أما مبدأ حدود الجرعة فيطبق فقط على حالات التعرض المخطط لها، باستثناء تلك الحالات المتعلقة بالتعرض الطبي للمرضى. هذا وتستنتج ICRP أن الاختلافات الطفيفة في معاملات الضرر الإسمية بين تلك المشتقة في التوصيات الجديدة وتلك المحددة في توصيات العام 1990 (انظر الجدول 1) ليست ذات أهمية عملية، وبالتالي فإنها لا تغير حدود الجرعة. وقد أدرجت هذه الحدود في الجدول 4.

تطبّق قيود إضافية على التعرض المهني للنساء الحوامل. ففي حال صرحت امرأة عاملة عن حملها تَنصحُ ICRP بأن يكون مستوى الوقاية للجنين المُخَلَّق وغير المُخَلَّق، على وجه العموم، مماثلاً تماماً لمستوى الوقاية لفرد من الجمهور.

الجدول4. حدود الجرعة الموصى بها في حالات التعرض المخطط لها.

نوع الحد	التعرض المهني، ملّي سيفرت في السنة	تعرض الجمهور، ملّي سيفرت في السنة
الجرعة الفعالة	20، كوسطي على 5 سنوات على ألاّ تتجاوز 50 ملّي سيفرت في السنة الواحدة	1 (ويمكن استثنائياً السماح بقيمة أعلى للجرعة الفعالة في سنة شريطة ألاّ يتجاوز وسطي 5 سنوات 1 ملّي سيفرت في السنة)
الجرعة المكافئة لعدسة العين	150	15
الجرعة المكافئة للجلد	500	50
الجرعة المكافئة لليدين والقدمين	500	--

قيود الجرعة والمستويات المرجعية

لقد جرى إدخال مصطلح «قيد الجرعة»[1] في توصيات العام 1990. وكان الهدف المقرر هو "تحديد الانصاف (تحديد التجاوز) الذي يحتمل أن ينتج عن الأحكام الاجتماعية أو الاقتصادية المتأصلة» في استمثال الوقاية في الممارسات. وبالتالي فقد قصد من هذه القيود تقييد مجال الخيارات التي يجب الأخذ بها في عملية الاستمثال. وفي حالة تعرض الجمهور فإنهم يأخذون في الاعتبار احتمال تعرض أحد أفراد الجمهور لعدد من المصادر المختلفة والمحافظة على جرعته ضمن حد الجرعة الكلي. وبالتالي يمكن للسلطة الرقابية استخدام قيد الجرعة كأساس لوضع حدود ترخيصية لإطلاق مادة مشعة في البيئة. وفي حالة التعرض المهني حيث يتعرض العاملون عموماً لمصدر واحد، يساعد قيد الجرعة في تركيز الاهتمام على إدارة جيدة لتعرض العاملين وتصميم المنشآت والتخطيط لعمليات التشغيل. وقد أبقت ICRP على هذا المصطلح ليحمل المعاني نفسها لحالات التعرّض المخطط لها.

ويستخدم مصطلح «مستوى التشخيص المرجعي» حالياً في سياق استمثال وقاية المرضى الخاضعين لتعرض طبي. والمقصود من هذه المستويات أن تكون صورةً مرجعية يمكن أن تقارن بها الجرعات من إجراءات تشخيصية اعتيادية.

وتستخدم ICRP الآن مصطلح " السوية المرجعية" في سياق حالات التعرض الطارئ وكذلك في حالات التعرض القائمة" من أجل تقييد الجرعة أو الخطورة، التي من غير المناسب التخطيط للسماح بحدوث تعرضات أكبر منها، والتي تحتها يتوجب تطبيق استمثال الوقاية". وكما هو الحال مع قيود الجرعة، يترتب في مرحلة التخطيط رفض الخيارات المؤدية إلى جرعات أكبر قيمة من السوية المرجعية.

القيم العددية

تَعتبرُ ICRP أنه يمكن تصنيف جميع القيم العددية لقيود الجرعة والمستويات المرجعية في ثلاث مجموعات. وقد أدرجت هذه المجموعات بشكل موجز في الجدول 5. ونذكر أنه جرى وضع الحد الأعلى للمجموعة العليا بالاعتماد على اعتبارات التأثيرات القطعية. أما الحدود العليا من المجموعتين الأخريين فهي المكافئة لحدود الجرعة بالنسبة للعاملين والجمهور، على الترتيب.

تتعلق المجموعة السفلى بتعرض الجمهور في حالات التعرض المخطط لها وتتوافق كلياً مع دليل الإرشاد السابق للـ ICRP والذي لا يتعدى 0.3 ملّي سيفرت سنوياً في عمليات إدارة النفايات [7] ولا يتعدى 0.1 ملّي سيفرت سنوياً لحالات التعرض المديد [8].

وتتعلق المجموعة الوسطى بجميع حالات التعرض المخطط لها وفي الطوارئ وكذلك القائمة. ويجب أن تكون قيود جرعة التعرض المهني في حالات التعرض المخطط لها أقل من حد الجرعة المتوسط الذي يبلغ 20 ملّي سيفرت سنوياً ويعتمد على عمليات جيدة التصميم أو جيدة الإدارة [9]. وبشكل مشابه فإن قيود الجرعة للأشخاص الذين يساعدون أو يعتنون بالمرضى (أي الأصدقاء وأفراد العائلة) هي، كما سبق لـ ICRP أن أوصت بها، من مرتبة نحو ملّي سيفرت وحتى 5 ملّي سيفرت/في كل حالة معالجة [10]. كما سبق أن أوصت ICRP أيضاً بأن يكون مستوى التدخل الذي يستوجب القيام بعمل علاجي في حالة الرادون في المنازل ضمن المجال 10–3 ملّي سيفرت لأجل الجرعة الفعالة السنوية [11].

[1] جرى إدخال مصطلح « قيد الجرعة» في توصيات ICRP لعام 1990 أيضاً. ترتبط قيود الجرعة بالتعرضات التي يجري تلقيها اعتيادياً أو روتينياً، بينما تتعلق قيود الخطورة بالتعرضات الكامنة (أي تلك التعرّضات التي لا يتوقع تلقيها بشكل يقيني، ولكن يمكن أن تنتج عن حادث أو أي فعل آخر ذي طبيعة احتمالية). إلا أن مفهوم قيد الخطورة لم يناقش أكثر في هذا السياق، بالرغم من أن التوصيات الجديدة تتعامل أيضاً مع هذا المفهوم.

الجدول 5. إطار العمل لقيود الجرعة والمستويات المرجعية

مجموعات الجرعة الفعالة، ملّي سيفرت (حادة أو سنوية)	الخواص	المتطلبات	أمثلة
100-20	يتم التحكم بها باتخاذ إجراء على مسار التعرض	التفكير في تخفيض الجرعات	السوية المرجعية لحالات الطوارئ الإشعاعية
20-1	يجري التحكم بها باتخاذ إجراء على المصدر أو على مسار التعرض	بالنسبة لحالات التعرض المخطط لها، تقييم الجرعة الفردية والتدريب	قيود التعرض المهني قيود على مواسي ومرافقي المرضى المعالجين بالمواد الصيدلانية المشعة السوية المرجعية للرداون في المنازل
<1	يجري التحكم بها باتخاذ إجراء على المصدر	اختبارات دورية لمسار التعرض	قيود تعرض الجمهور في حالات التعرض المخطط لها

وتتعلق المجموعة العليا بالمستويات المرجعية لحالات التعرض في الطوارئ. وهي تتعلق بجرعات متوقعة أو متبقية وبالتالي تتمم مستويات التدخل التي أعطتها ICRP سابقاً والتي تتعلق بالجرعة التي يتم تفاديها أثناء الإجراء المضاد [12]. وكما تشير ICRP فإن "المستويات المرجعية" تعمل كصورة مرجعية لتقييم فعالية الأعمال الوقائية وكأحد المدخلات لاتخاذ قرار حول الحاجة للقيام بأعمال أخرى". كما يمكن توقع دليل إرشادي آخر بخصوص هذا الموضوع في الوقت المناسب حيث شكلت ICRP ما هو بمثابة مجموعة عمل تركز على حالات التعرض في الطوارئ.

حماية البيئة

ذكرت ICRP في توصياتها لعام 1990 "أن الهيئة تعتقد أن معيار التحكم البيئي الضروري لحماية الإنسان للدرجة التي يظن حالياً أنها مرغوبة سيكفل عدم تعرض أنواع الكائنات الأخرى للخطر. إذ يمكن أن تتعرض بعض أفراد أنواع الكائنات غير البشرية للضرر بين الفينة والأخرى، ولكن ليس لدرجة تعرض جميع أنواع الكائنات للخطر أو خلق حالة عدم توازن بين هذه الكائنات." ولقد تزايد بعدئذٍ الاهتمام في حماية البيئة إلى درجة كبيرة وتدرك ICRP الآن الحاجة لتطوير دليل إرشادي بخصوص هذا الموضوع[2]. وتؤكد ICRP في توصياتها الجديدة عزمها على تطوير إطار عمل أوضح "من أجل تقييم العلاقات بين التعرض والجرعة، وبين الجرعة والتأثير، وعواقب مثل هذه التأثيرات، على الكائنات غير البشرية وذلك على أساس قاعدة علمية عامة". وسيتم تطوير إطار العمل من خلال تأسيس مجموعة من البيانات لمجموعة صغيرة من الحيوانات والنباتات المرجعية والتي تعد نماذج من البيئات الرئيسية". ولكن في هذه المرحلة، لا تقترح ICRP وضع أي شكلٍ أو صيغة لـ "حدود الجرعة" فيما يتعلق بحماية البيئة.

النتائج

إن التغييرات التي وردت في التوصيات الجديدة، تصنف، بالخطوط العريضة، في نمطين: الأول تقني والثاني شكلي.

إن التغييرات التقنية هي التعديلات المدخلة على معاملات التثقيل، W_T ، W_R. وهذه القيم الجديدة إضافة للفانتومات الحاسوبية الجديدة للجسم البشري تستوجب إعادة حساب معاملات التثقيل ذات الصلة. ولكن، لايتوقع أن يكون الأثر الكلي جوهرياً، وتنصح ICRP بعدم إعادة حساب الجرعات التي تم تلقيها سابقاً.

أما التغييرات الشكلية Presentational change فهي في أسلوب الوقاية الإشعاعية، حيث استخدمت ثلاثة أنواع من حالات التعرض، بدلا من التصنيف السابق إلى ممارسات وتدخل فقط. ويجب على هذا التصنيف أن يكفل تركيز الاهتمام على هذه التعرضات التي يمكن التحكم بها بشكل معقول. إضافةً إلى ذلك فإن تصنيف قيود الجرعة والمستويات المرجعية في ثلاث مجموعات يجب أن تساعد في عقلنة القيم المتعددة لقيود الجرعة وللمستويات المرجعية والتي حُدّدت سابقاً في المنشورات الأسبق لهيئة ICRP.

وعموماً فإن هذه التوصيات الجديدة هي أكثر من مجرد دمج للتوصيات السابقة والدلائل الإرشادية اللاحقة، ولأي تغييرات أدخلت لتحسين طبيعة التهذيب أكثر من الولوج في المبادئ الأساسية. وحقيقة أن هذا يجب أن يؤدي إلى تعزيز الثقة بأن نظام الوقاية المنجز، وإلى حد بعيد وهو في شكله الحالي منذ عقود عديدة، قد بلغ مستوى معيناً من النضج يبقى مناسباً، وبالتالي فإنه لا توجد أي تغييرات جوهرية رئيسية في أنظمة إدارة التعرض الإشعاعي التي سبق اعتمادها عبر العالم تبدو أنها ضرورية. وكما تصرح ICRP ذاتها فإن الهيئة تتوقع أنه بالرغم من أن التوصيات المنقحة لا تشمل تغييرات جوهرية في سياسة الوقاية الإشعاعية، فإن هذه التوصيات تساعد في توضيح تطبيق نظام الوقاية في حالات فرط التعرض المصادفة، ولذلك لا يمكن تطوير معايير الوقاية ذات المستوى العالي مسبقاً، ولا هذه التوصيات المنقحة، ولا إدخال أي تغييرات جوهرية في القواعد التنظيمية للوقاية الإشعاعية المبنية على توصياتها السابقة وعلى الدليل السياسي الملحق.

2 جرت الإشارة إلى مفاهيم ICRP المبدئية فيما يتعلق بحماية البيئة في [13]

نُشر هذا المقال في مجلة Journal of Radiological Protection, 28 (2008) 161–168، ترجمة د. حسان خريطة، مراجعة د. مصطفى حموليلا، هيئة الطاقة الذرّية السورية.

المراجع:

[1] Clarke R H 1999 Control of low–level radiation exposure: time for a change? J. Radiol. Prot. 19 107–15

[2] ICRP 2001 A report on progress towards new recommendations: a communication from the International Commission on Radiological Protection J. Radiol. Prot. 21 113–23

[3] ICRP 2003 The evolution of the system of radiological protection: the justification for new ICRP recommendations J. Radiol. Prot. 23 129–42

[4] ICRP 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 103; Ann. ICRP 37 (2–4) 2 ICRP's initial thoughts on the protection of the environment are given in [13].

[5] ICRP 1991 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection ICRP Publication 60;Ann. ICRP 21 (1–3)

[6] Preston D L, Shimizu Y, Pierce D A, Suyama A and Mabuchi K 2003 Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: solid cancer and non–cancer disease mortality 1950–1997 Radiat. Res. 160 381–407

[7] ICRP 1998 Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste ICRP Publication 77; Ann. ICRP 27 (Suppl.)

[8] ICRP 1999 Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure ICRP Publication 82;Ann. ICRP 29 (1/2)

[9] ICRP 1997 General principles for the radiation protection of workers ICRP Publication 75; Ann. ICRP 27 (1)

[10] ICRP 2004 Release of patients after therapy with unsealed sources ICRP Publication 94; Ann. ICRP 34 (2)

[11] ICRP 1994 Protection against radon–222 at home and at work ICRP Publication 65; Ann. ICRP 23 (2)

[12] ICRP 1993 Principles for intervention for protection of the public in a radiological emergency ICRP Publication 63; Ann. ICRP 22 (4)

[13] ICRP 2003 A framework for assessing the impact of ionising radiation on non–human species ICRP Publication 91; Ann. ICRP 33 (3)

The Elements

Radioactive elements

Photographs show samples of the pure or nearly pure element except as follows: At, Rn, Fr, Ac, Pa, and Np show radioactive minerals containing minute traces of the element. Po, Ra, Pm, Pu, and Am show artificial objects containing invisible amounts of the element. Technetium shows a Tc-99 bone scan. Hydrogen shows a Hubble Space Telescope image of the Eagle Nebula, which is mostly hydrogen. 96-111 show the person or place after which the element is named. 112-118 had not been named yet in 2006.

AECS

Atomic Energy Commission of Syria

هيئة الطاقة الذرية السورية

مكتب نظم المعلومات

http://serversmiso.aecs.sy

Aalam Al-Zarra

Journal of The Atomic Energy Commission of Syria

NO. 129

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate Knowledge of nuclear and atomic sciences and all different applications of Atomic energy.

Managing Editor

Prof. Dr. Ibrahim Othman

Director General of A.E.C.S

Editing Committee

(Editors In-chief)

Prof. Dr. Adel Harfoush

Prof. Dr. Mohammad Ka'aka

(Members)

Prof. Dr. A. Haj Saeed

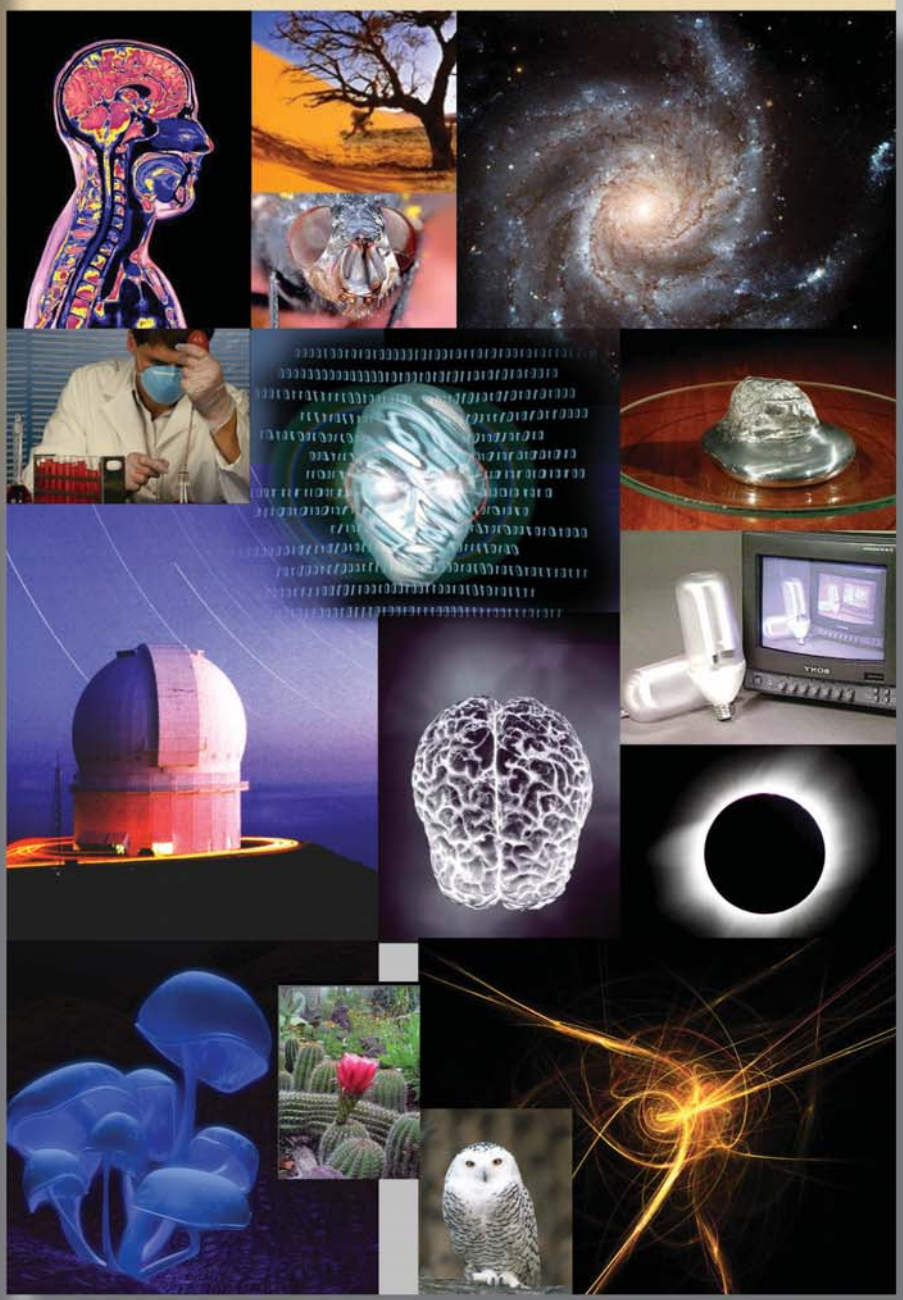
Prof. Dr. M. Hamo-leila

Prof. Dr. N. Sharabi

Prof. Dr. F. Awad

Prof. Dr. F. Kurdali

Prof. Dr. T. Yassin



http://serversmiso.aecs.sy

مكتب نظم المعلومات

هيئة الطاقة الذرية السورية