IAEA
تسخير الذرة من أجل السلام

مجلس المحافظين
المؤتمـــــر العـــام

GOV/INF/2012/12-GC(56)/INF/6
٣١ آب/أغسطس ٢٠١٢

توزيع عام
عربي
الأصل: انكليزي

نسخة مخصصة للاستخدام الرسمي

البند الفرعي ٦(أ) من جدول الأعمال المؤقت للمجلس
(الوثيقة GOV/2012/34)
البند ١٦ من جدول الأعمال المؤقت للمؤتمر
(الوثيقة GC(56)/1، وإضافتها Add.1)

حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي لعام ٢٠١٢

تقرير من المدير العام

الموجز

- طلب المؤتمر العام، في قراره GC(55)/RES/12، من الأمانة أن تقوم في عام ٢٠١٢ بتحديث تقريرها عن حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي (الوثيقة GC(54)/INF/5، الصادرة في عام ٢٠١٠)، الذي يقدّم عرضاً شاملاً لحالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي. ويستجيب هذا التقرير لذلك القرار.

حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي لعام ٢٠١٢

تقرير من المدير العام

ألف- التطورات التي طرأت منذ عام ٢٠١٠

١- بعد سنتين من التراجع الطفيف، شهدت قدرات القوى النووية العالمية في البدء ارتفاعاً قدره ٤ غيغاواط(كهربائي) في عام ٢٠١٠ لتصل إلى ٣٧٥ غيغاواط(كهربائي) قبل أن تعود لتنخفض في عام ٢٠١١ إلى ٣٦٨ غيغاواط(كهربائي) بعد الحادث الذي تعرضت له محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية. وشهد عام ٢٠١٠ ربط خمسة مفاعلات جديدة بالشبكة وسحب مفاعل واحد بشكل دائم. وفي عام ٢٠١١، تم ربط سبعة مفاعلات جديدة بينما سُحب ثلاثة عشر مفاعلاً بشكل دائم. وجاءت اثنتا عشرة حالة من حالات السحب الثلاثة عشرة كنتيجة مباشرة لحادث فوكوشيما داييتشي. وارتفع عدد حالات بدء تشييد المفاعلات الجديدة في عام ٢٠١٠ للعام السابع على التوالي ليصل إلى ١٦ حالة، ولكنه تراجع في عام ٢٠١١ ليصل إلى ٤ حالات.

٢- ومن المتوقع، على الصعيد العالمي، أن يؤدي حادث فوكوشيما داييتشي إلى تباطؤ نمو القوى النووية ولكن ليس إلى تراجعه. وفي الصيغة المستوفاة لتوقّع الوكالة المنخفض لعام ٢٠١١، ترتفع قدرات القوى النووية العالمية من ٣٧٠ غيغاواط(كهربائي) اليوم[١] إلى ٥٠١ غيغاواط(كهربائي) في عام ٢٠٣٠، أي بانخفاض بنسبة ٨٪ عمّا كان متوقّعاً في عام ٢٠١٠. أمّا في الصيغة المستوفاة للتوقع المرتفع، فترتفع القدرات لتصل إلى ٧٤٦ غيغاواط(كهربائي) في عام ٢٠٣٠، أي بانخفاض بنسبة ٧٪ عن توقّع عام ٢٠١٠.

٣- ويبقى الاهتمام عالياً لدى البلدان التي تستهل الأخذ بالقوى النووية. ومن بين البلدان التي ليست لديها برامج قوى نووية والتي كانت قد أعربت بشدة، قبل حادث فوكوشيما داييتشي، عن نواياها المضي قدما في برامج للقوى النووية، ألغت قلّة من البلدان خططها أو نقّحتها، فيما اتبعت بلدان أخرى نهج الترقب والانتظار، ولكن معظم البلدان واصلت تنفيذ خططها. وفي أيلول/سبتمبر ٢٠١١، دخلت محطة للقوى النووية مرحلة التشغيل في جمهورية إيران الإسلامية.

٤- ووفقاً لطبعة عام ٢٠١١ من 'الكتاب الأحمر'، بعنوان *اليورانيوم: موارده وإنتاجه والطلب عليه*، الذي تتشارك في إعداده وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والوكالة، فإن موارد اليورانيوم التقليدية المعروفة التي يمكن استخلاصها بتكلفة تقل عن ١٣٠ دولاراً للكيلوغرام الواحد من اليورانيوم تقدّر بحوالي ٥,٣ مليون طن من اليورانيوم، أي بانخفاض نسبته ١,٤٪ بالمقارنة مع طبعة عام

---

[١] ٣٠ حزيران/يونيه ٢٠١٢.

٢٠٠٩. وعلى أساس معدل الاستهلاك المتوقع في عام ٢٠١٢، فإن العمر التشغيلي لـ ٥,٣ مليون طن من اليورانيوم يبلغ ٧٨ عاماً.

٥- وفي كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٠، وافق مجلس محافظي الوكالة على إقامة مصرف الوكالة لليورانيوم الضعيف الإثراء المموّل بتبرعات طوعية قيمتها ١٥٠ مليون دولار. وقد قبلت الوكالة عرضاً من كازاخستان باستضافة المصرف. وفي شباط/فبراير ٢٠١١، بدأ نفاذ الاتفاق المعقود بين حكومة الاتحاد الروسي والوكالة بشأن إنشاء احتياطي من اليورانيوم الضعيف الإثراء في أنغارسك بالاتحاد الروسي. وفي آذار/مارس ٢٠١١، وافق مجلس المحافظين على اقتراح قدّمته المملكة المتحدة بخصوص 'ضمان الوقود النووي'، وقد شارك في رعايته كل من الاتحاد الأوروبي والاتحاد الروسي والولايات المتحدة الأمريكية. وفي آب/أغسطس ٢٠١١، بات النظام الأمريكي لضمان الإمداد بالوقود متاحاً في الولايات المتحدة الأمريكية. وهو يتضمن ٢٣٠ طناً من اليورانيوم الضعيف الإثراء المثرى بنسبة ٤,٩٥٪.

٦- وفي فنلندا، بلغت أعمال تشييد مرفق أونكالو الجوفي لتحديد خصائص الطبقات الصخرية، الذي يمهّد لإنشاء مستودع للوقود المستهلك، عمقَ التخلص النهائي في عام ٢٠١٠. وتنوي شركة Posiva، المعنية بالتصرف في النفايات النووية، تقديم طلب الترخيص بإنشاء المستودع في أواخر عام ٢٠١٢ بحيث تبدأ أعمال التخلص النهائي في عام ٢٠٢٠. وفي آذار/مارس ٢٠١١، قدّمت الشركة السويدية للتصرف في الوقود والنفايات النووية طلباً للحصول على رخصة لتشييد مستودع للوقود المستهلك في فورسمارك، وهي تقدّر أن أنشطة التخلص النهائي قد تبدأ بحلول عام ٢٠٢٥. ووافق مجلس الاتحاد الأوروبي على "توجيه المجلس رقم 2011/70/Euratom المؤرخ ١٩ تموز/يوليه ٢٠١١ والقاضي بإنشاء إطارٍ على صعيد الجماعة الأوروبية بشأن التصرف المسؤول والمأمون في الوقود المستهلك والنفايات المشعة"، وقد أرسى هذا التوجيه معايير متساوقة لجميع البلدان الأعضاء في الاتحاد الأوروبي وفرض عليها إقامة برامج وطنية وتقديم تقارير بشأن التقدم المحرز إلى المفوضية الأوروبية بحلول شهر آب/أغسطس ٢٠١٥ ومرة كل ثلاث سنوات بعد ذلك.

٧- وفي عام ٢٠١١، انعكست أوجه التقدم التكنولوجي المحرز من خلال قيام الصين بربط أول مفاعل من طراز AP-1000 في العالم بالشبكة. وفي العام ذاته، تم أيضاً ربط المفاعل التجريبي الصيني السريع الحوضي بقدرة ٦٥ ميغاواط(حراري) (أي ٢٠ ميغاواط(كهربائي)) بالشبكة. وفي الأرجنتين، استهلت في عام ٢٠١١ أعمال الحفر في الموقع المخصص للنموذج الأولي لمحطة بقدرة ٢٧ ميغاواط (كهربائي) من طراز CAREM، وهو مفاعل ماء مضغوط صغير توجد كافة مكوّناته الرئيسية داخل وعائه. وفي جنوب أفريقيا، أوقف في عام ٢٠١٠ تنفيذ خطط انتقال المفاعل النمطي الحصوي القاع إلى مرحلة التشييد، وذلك نتيجة جملة من الأمور منها القيود التمويلية الناشئة عن الأزمة المالية العالمية. ويبقى المشروع مشمولاً بخطة للعناية والصون من أجل حماية الملكية الفكرية والأصول المعنية.

باء- الحالة الراهنة للقوى النووية

باء-١- استخدام الطاقة النووية

٨- في عام ٢٠١١، أنتجت الطاقة النووية ١٢,٣٪ من الإمدادات الكهربائية في العالم، و٥,١٪ من إجمالي الطاقة الأساسية المستخدمة على الصعيد العالمي. وما زال الجزء الأعظم من الطاقة الكهربائية يولَّد بواسطة نظم تعمل بالوقود الأحفوري.

٩- وتُستخدم القوى النووية لتوليد الكهرباء للتوزيع العام منذ عام ١٩٥٤، وثمة محطات قوى نووية قيد التشغيل منذ ذلك الحين في ٣٣ بلداً.[٢] وفي الوقت الحالي، يشغّل ٣٠ بلداً ٤٣٥ مفاعلاً بقدرة إجمالية تبلغ ٣٧٠ غيغاواط(كهربائي).[٣] والعمل جارٍ على بناء ٦٢ وحدة إضافية، بقدرة إجمالية تبلغ ٥٩,٢ غيغاواط(كهربائي).[٤] وخلال عام ٢٠١١، أنتجت القوى النووية ٢٥١٧ بليون كيلوواط/ساعة من الكهرباء. ولدى القطاع الصناعي اليوم أكثر من ١٤٧٠٠ سنة خبرة في المفاعلات.

١٠- وتتفاوت مساهمة الطاقة النووية في الكميات الإجمالية من الكهرباء المولّدة بشكل كبير فيما بين المناطق، مثلما هو مبيّن في الجدول باء-١. وفي عام ٢٠١١، بلغت حصة الأسد من الكهرباء المولّدة نووياً ما نسبته ٢٥,٧٪ في أوروبا الغربية. أمّا الحصص الدنيا، فبلغت ١,٨٪ في الشرق الأوسط وجنوب آسيا، و٠٪ في منطقة جنوب شرق آسيا والمحيط الهادئ. وعلى صعيد العالم، تراجعت حصة القوى النووية في توليد الكهرباء من ١٦٪ في عام ٢٠٠٢ إلى ١٢,٣٪ في عام ٢٠١١.

الجدول باء-١- استخدام (إكزوجول) الأنواع المختلفة من الوقود في توليد الكهرباء خلال عام ٢٠١١ والنسبة المئوية لمساهمة كل منها

المنطقة	المصادر الحرارية (أ)		المصادر المائية		المصادر النووية		المصادر المتجددة (ب)		المجموع	
	الاستخدام (إكزوجول)	%	الاستخدام (إكزوجول)	%	الاستخدام (إكزوجول)	%	الاستخدام (إكزوجول)	%	الاستخدام (إكزوجول)	%
أمريكا الشمالية	٣٠,٢	٦٣,٠	٢,٦	١٥,٦	٩,٦	١٨,٨	١,٠	٢,٦	٤٣,٤	١٠٠
أمريكا اللاتينية	٥,٥	٣٩,٥	٢,٨	٥٧,٤	٠,٣	٢,٢	٠,٤	٠,٩	٩,٠	١٠٠
أوروبا الغربية	١٤,٤	٥١,٣	١,٩	١٦,٨	٨,٧	٢٥,٧	١,١	٦,٣	٢٦,١	١٠٠
أوروبا الشرقية	١٧,٨	٦٥,٦	١,٠	١٥,٥	٣,٧	١٨,٧	٠,٠٣	٠,٢	٢٢,٥	١٠٠
أفريقيا	٦,١	٨٠,٩	٠,٤	١٦,٥	٠,١	٢,٠	٠,٠٦	٠,٥	٦,٦	١٠٠
الشرق الأوسط وجنوب آسيا	٢٢,٩	٨٧,٣	٠,٧	١٠,٩	٠,٤	١,٨	٠,٠	٠,٠٢	٢٤,٠	١٠٠
جنوب شرق آسيا والمحيط الهادئ	٧,٥	٨٨,٤	٠,٣	٩,٣			٠,٤	٢,٣	٨,٢	١٠٠
الشرق الأقصى	٤٨,٦	٧٨,٠	٣,١	١٣,٩	٤,٧	٦,٩	٠,٧	١,١	٥٧,٠	١٠٠
المجموع	١٥٢,٩	٦٨,٢	١٢,٨	١٧,٤	٢٧,٥	١٢,٣	٣,٧	٢,١	١٩٦,٨	١٠٠

(أ) العمود المعنون 'المصادر الحرارية' يمثل مجموع المواد الصلبة والسائلة والغازية والكتل الحيوية والنفايات.

(ب) العمود المعنون 'المصادر المتجددة' يشمل الطاقة الجيولوجية الحرارية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية وطاقة التيارات البحرية.

---

[٢] الاتحاد الروسي، والأرجنتين، وأرمينيا، وإسبانيا، وألمانيا، وأوكرانيا، وإيطاليا، وباكستان، والبرازيل، وبلجيكا، وبلغاريا، والجمهورية التشيكية، وجمهورية إيران الإسلامية، وجمهورية كوريا، وجنوب أفريقيا، ورومانيا، وسلوفاكيا، وسلوفينيا، والسويد، وسويسرا، والصين، وفرنسا، وفنلندا، وكازاخستان، وكندا، وليتوانيا، والمكسيك، والمملكة المتحدة، والهند، وهنغاريا، وهولندا، والولايات المتحدة الأمريكية، واليابان.

[٣] تشمل هذه المجاميع ٦ مفاعلات في تايوان، الصين، بقدرة إجمالية تبلغ ٥٠١٨ ميغاواط(كهربائي).

[٤] ما لم يُبيَّن خلاف ذلك، تعود جميع هذه الإحصائيات إلى ٣٠ حزيران/يونيه ٢٠١٢.

باء-٢- تكنولوجيا المفاعلات المتوافرة

١١- حوالي ٨٢٪ من المفاعلات التجارية قيد التشغيل هي مفاعلات مهدّأة ومبرّدة بالماء الخفيف؛ و١١٪ مفاعلات مهدأة بالماء الثقيل ومبرّدة بالماء الثقيل؛ و٣٪ مفاعلات مبرّدة بالغاز؛ و٣٪ مفاعلات مبرّدة بالماء ومهدّأة بالغرافيت. وهناك مفاعلان مهدّآن ومبرّدان بالمعدن السائل. ويرد في الجدول باء-٢ عدد محطات القوى النووية العاملة حالياً وأنواعها وصافي ما تولده من قوى كهربائية.

الجدول باء-٢- التوزيع الحالي لأنواع المفاعلات[٥]

البلد	مفاعلات ماء مضغوط		مفاعلات ماء مغلي		مفاعلات مبردة بالغاز		مفاعلات ماء ثقيل مضغوط		مفاعلات مبرّدة بالماء الخفيف ومهدّأة بالغرافيت		مفاعلات سريعة التوليد		المجاميع	
	العدد	ميغاواط (كهربائي)	العدد	ميغاواط (كهربائي)	العدد	ميغاواط (كهربائي)	العدد	ميغاواط (كهربائي)	العدد	ميغاواط (كهربائي)	العدد	ميغاواط (كهربائي)	العدد	ميغاواط (كهربائي)
الأرجنتين							٢	٩٣٥					٢	٩٣٥
أرمينيا	١	٣٧٥											١	٣٧٥
إسبانيا	٦	٦٠٥٧	٢	١٥١٠									٨	٧٥٦٧
ألمانيا	٧	٩٤٩٦	٢	٢٥٧٢									٩	١٢٠٦٨
أوكرانيا	١٥	١٣١٠٧											١٥	١٣١٠٧
باكستان	٢	٦٠٠					١	١٢٥					٣	٧٢٥
البرازيل	٢	١٨٨٤											٢	١٨٨٤
بلجيكا	٧	٥٩٢٧											٧	٥٩٢٧
بلغاريا	٢	١٩٠٦											٢	١٩٠٦
جمهورية إيران الإسلامية	١	٩١٥											١	٩١٥
جمهورية كوريا	١٩	١٧٨٨٦					٤	٢٧٨٥					٢٣	٢٠٦٧١
الجمهورية التشيكية	٦	٣٧٦٦											٦	٣٧٦٦
جنوب أفريقيا	٢	١٨٣٠											٢	١٨٣٠
روسيا	١٧	١٢٨٦٤							١٥	١٠٢١٩	١	٥٦٠	٣٣	٢٣٦٤٣
رومانيا							٢	١٣٠٠					٢	١٣٠٠
سلوفاكيا	٤	١٨١٦											٤	١٨١٦
سلوفينيا	١	٦٨٨											١	٦٨٨
السويد	٣	٢٨١٦	٧	٦٥٠٩									١٠	٩٣٢٥
سويسرا	٣	١٧٠٠	٢	١٥٦٣									٥	٣٢٦٣
الصين	١٣	١٠٤٩٦					٢	١٣٠٠			١	٢٠	١٦	١١٨١٦
فرنسا	٥٨	٦٣١٣٠											٥٨	٦٣١٣٠
فنلندا	٢	٩٧٦	٢	١٧٦٠									٤	٢٧٣٦
كندا							١٨	١٢٦٠٤					١٨	١٢٦٠٤
المكسيك			٢	١٣٠٠									٢	١٣٠٠
المملكة المتحدة	١	١١٩١			١٥	٨٠٥٥							١٦	٩٢٤٦
الهند			٢	٣٠٠			١٨	٤٠٩١					٢٠	٤٣٩١
هنغاريا	٤	١٨٨٩											٤	١٨٨٩
هولندا	١	٤٨٢											١	٤٨٢
الولايات المتحدة الأمريكية	٦٩	٦٧٣٦٨	٣٥	٣٤٠٩٧									١٠٤	١٠١٤٦٥
اليابان	٢٤	١٩٢٨٤	٢٦	٢٤٩٣١									٥٠	٤٤٢١٥
العالم أجمع[أ]	٢٧٢	٢٥٠٢٨٩	٨٤	٧٧٧٢٠	١٥	٨٠٥٥	٤٧	٢٣١٤٠	١٥	١٠٢١٩	٢	٥٨٠	٤٣٥	٣٧٠٠٠٣

أ. ملحوظة: المجاميع العالمية تتضمّن البيانات التالية الواردة من تايوان، الصين: مفاعلا ماء مضغوط بقدرة إجمالية تبلغ ١٨٤٠ ميغاواط(كهربائي) و٤ مفاعلات ماء مغلي بقدرة إجمالية تبلغ ٣١٧٨ ميغاواط(كهربائي)، لما مجموعه الإجمالي ٦ مفاعلات بقدرة إجمالية تبلغ ٥٠١٨ ميغاواط(كهربائي).

[٥] في ٣٠ حزيران/يونيه ٢٠١٢. المصدر: الوكالة الدولية للطاقة الذرية (نظام المعلومات عن مفاعلات القوى).

١٢- غالبية المفاعلات قيد التشغيل صُمِّمت في أواخر العقد السادس وفي العقد السابع من القرن المنصرم وهي غير معروضة تجارياً اليوم. وشهد حجم تصاميم المفاعلات تزايداً تدريجياً، مستفيداً من اقتصاديات الحجم. وتبلغ قدرة العديد من المفاعلات الأولى - التي بدأ تشغيلها تجارياً في الخمسينات - ٥٠ ميغاواط(كهربائي) أو أقل. أمّا قدرات المفاعلات قيد التشغيل حالياً فتتراوح بين أقل من ١٠٠ ميغاواط(كهربائي) و١٥٠٠ ميغاواط(كهربائي). وفي ٣٠ حزيران/يونيه ٢٠١٢، بلغ متوسط قدرة المفاعلات العاملة ٨٥١ ميغاواط(كهربائي).

١٣- وتقوم تكنولوجيا المفاعلات المتوافرة للاستخدام اليوم بشكل رئيسي على أساس التصاميم السابقة مع مراعاة ما يلي: (١) أعمار تشغيلية مدتها ستون عاماً، (٢) وصيانة مبسطة — إمّا أثناء التشغيل أو خلال فترات الانقطاع، (٣) وأعمال تشييد أكثر سهولة وأقصر مدة، (٤) وإدراج اعتبارات الأمان والموثوقية في أبكر مراحل التصميم، (٥) وتكنولوجيات حديثة في التحكم الرقمي والواجهات البينية بين الإنسان والآلة، (٦) وتصميم نظام أمان موجّه بناء على تقييم المخاطر، (٧) والتبسيط، عن طريق تخفيض عدد المكوّنات الدوّارة، (٨) وتعزيز الاتكال على النظم الخاملة (الجاذبية والدوران الطبيعي والضغط المتراكم وغيرها)، (٩) وإضافة تجهيزات للتخفيف من آثار الحوادث الخطيرة، (١٠) وتصاميم كاملة ومعيارية مع ترخيص مسبق.

١٤- وعلى الرغم من أن الصناعة توخّت منذ البداية الاعتماد على اقتصاديات الحجم، يتواصل نشر المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم. والمقصود بلفظة "صغير" هو أقل من ٣٠٠ ميغاواط(كهربائي). أما "متوسط الحجم" فيعني ما بين ٣٠٠ و٧٠٠ ميغاواط(كهربائي). ويجري تطوير المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم لاستخدامها في مناطق معزولة ولتغذية شبكات توزيع صغيرة ذات ترابطات محدودة مثل تلك القائمة في بعض البلدان النامية، وأيضاً لإتاحة استثمارات أصغر حجماً لتخفيض المخاطر المالية. وقد اقتُرح اعتماد مفاعلات صغيرة قابلة للنقل بغية إتاحة تسليم محطات القوى على شكل طرود مسبقة التشييد.

باء-٣- الموارد البشرية

١٥- إن النمو المتوقع في القوى النووية، كما نوقش في القسم جيم–٤، سيستلزم يداً عاملة متنامية تمتلك المهارات اللازمة. ومع ذلك، فقد شهد التعليم والتدريب حالات تراجع، حتى في عدد من البلدان التي لديها محطات قوى نووية قيد التشغيل، كما أن العديد من البلدان تواجه تحديات ضخمة في التعامل مع الاستنزاف المتوقع في اليد العاملة الموجودة، حتى فيما يخص مفاعلاتها العاملة حالياً. وفيما يخص الولايات المتحدة الأمريكية، أظهر *مسح القطاع النووي Nuclear Pipeline Survey* لعام ٢٠١١ الصادر عن معهد الطاقة النووية أن معدل الاستنزاف يحتمل أن يصل إلى ٣٩٪ على مدى السنوات الخمس المقبلة، بما يوازي حوالي ٢٢٣٠٠ شخص. وتوصل المرصد الأوروبي للموارد البشرية في القطاع النووي إلى أرقام مماثلة بالنسبة لأوروبا، وقد أنشأت المفوضية الأوروبية المرصد المذكور لدراسة تحركات العرض والطلب على الخبراء النوويين داخل الاتحاد الأوروبي. ويلحظ المنشور الصادر عن وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي في عام ٢٠١٢ بعنوان *التعليم والتدريب النوويين: من القلق إلى القدرة* أن الحكومات أقرّت بالتحدّي القائم وأن إسبانيا وفرنسا وفنلندا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية وغيرها أجرت مسوحاً لتقييم الاحتياجات الحالية والمستقبلية. وعلى وجه الشمول، ففيما تم تنفيذ عدد من المبادرات الوطنية لتعزيز الإمكانات التربوية، تفاوتت الردود على التحديات في ميدان الموارد البشرية، وما زالت هناك حاجة إلى جهد دولي أكثر اتساقاً. وفي أيار/مايو ٢٠١١، أطلقت الوكالة مسحاً دولياً لليد العاملة في قطاع القوى النووية للحصول على تقديرات دقيقة للأعداد الحالية من الموظفين الذين يدعمون العمليات النووية دعماً مباشراً. وقد كانت عملية جمع البيانات بطيئةً وأبقيَ المسح مفتوحاً لجزء من عام ٢٠١٢ بغية جمع المزيد من المعلومات.

١٦- وتواجه البلدان التي تأخذ بالقوى النووية تحدياتٍ خاصة في ميدان الموارد البشرية، وستعتمد بشكل كبير على دعم البلدان البائعة للحصول على التعليم والتدريب اللازمين لأولى محطات القوى النووية لديها. ويمكن للوكالة أن تشجّع تنسيق الخدمات التي تقدّمها الجهات البائعة وتلك المقدمة في إطار الترتيبات الثنائية والمتعددة الأطراف، ويمكنها أن تكمّل أنشطتها بواسطة حلقات عمل، وبعثات استعراض، وبواسطة تصديق البرامج التعليمية وتعزيزها، وتقديم المساعدة في التخطيط لليد العاملة وفي استراتيجيات تنمية الموارد البشرية. وزوّدت الولايات المتحدة الأمريكية الوكالةَ مؤخراً بأداة لنمذجة الموارد البشرية في القوى النووية بغية تقاسمها مع الدول الأعضاء، لا سيما تلك التي تنظر في الأخذ بالقوى النووية. وتتيح هذه الأداة تقدير الاحتياجات المستقبلية من الموارد البشرية استناداً إلى خطط وطنية. وقامت الوكالة أيضاً برعاية الشبكات التعليمية الإقليمية في مناطق آسيا (الشبكة الآسيوية للتعليم في مجال التكنولوجيا النووية) وأفريقيا (شبكة أفرا للتعليم في مجال العلوم والتكنولوجيا النووية) وأمريكا اللاتينية والكاريبي (شبكة أمريكا اللاتينية للتعليم في مجال التكنولوجيا النووية). وتوفّر هذه الشبكات منصةً للتعاون ولتقاسم الممارسات الفضلى.

باء-٤- دورة الوقود والنفايات والإخراج من الخدمة

١٧- تنقسم دورة الوقود عادةً إلى أنشطة استهلالية (التعدين والتحويل والإثراء وتصنيع الوقود) لإنتاج مجمّعات الوقود للمفاعلات، وأنشطة ختامية للتصرف في الوقود النووي المستهلك وفي النفايات النووية (بما يشمل الخزن وإعادة المعالجة والتخلص من النفايات).

باء-٤-١- المرحلة الاستهلالية

١٨- قدّرت أحدث طبعة من 'الكتاب الأحمر' المشترك بين وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والوكالة الدولية للطاقة الذرية، بعنوان *اليورانيوم في عام ٢٠١١: موارده وإنتاجه والطلب عليه*، أن موارد اليورانيوم التقليدية التي يمكن استخلاصها بتكلفة تقل عن ١٣٠ دولاراً للكيلوغرام الواحد من اليورانيوم تبلغ ٥,٣ مليون طن من اليورانيوم، أي بانخفاض نسبته ١,٤٪ مقارنةً بما ورد في الطبعة السابقة، *اليورانيوم في عام ٢٠٠٩: موارده وإنتاجه والطلب عليه*. ولأغراض المرجعية، نذكر أن السعر الفوري لليورانيوم في ٢٤ تموز/يوليه ٢٠١٢ بلغ، هو أيضاً، ١٣٠ دولاراً للكيلوغرام الواحد من اليورانيوم.

١٩- وإنتاج اليورانيوم في عام ٢٠١٠، أي آخر سنة مدرجة في الكتاب الأحمر، بلغ ٥٤٦٧٠ طناً من اليورانيوم، أي بزيادة بنسبة ٦٪ بالمقارنة مع عام ٢٠٠٩. وشهد معدّل الإنتاج في كازاخستان – أكبر منتج في العالم – ارتفاعاً بنسبة ٢٧٪. واستحوذت أستراليا وكازاخستان وكندا على ٦٢٪ من الإنتاج العالمي. كما أن هذه البلدان الثلاثة استحوذت، إلى جانب الاتحاد الروسي وأوزبكستان وناميبيا والنيجر والولايات المتحدة الأمريكية، على ٩٢% من الإنتاج. وتشير الأرقام المؤقتة إلى أن الأرقام النهائية لعام ٢٠١١، عند توافرها، ستُظهر زيادةً بالمقارنة مع عام ٢٠١٠ بإنتاج يناهز ٥٧٢٣٠ طناً من اليورانيوم.

٢٠- وفي عام ٢٠١٠، بلغ استهلاك اليورانيوم في محطات القوى النووية على صعيد العالم ٨٧٥ ٦٣ طناً من اليورانيوم. وقدّرت الرابطة النووية العالمية أن الاستهلاك انخفض إلى ٥٥٢ ٦٢ طناً من اليورانيوم في عام ٢٠١١ غداة الحادث الذي تعرضت له محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية[٦] ولكنها توقّعت أن يرتفع مجدداً

---

[٦] صفحة الرابطة النووية العالمية بشأن مفاعلات القوى النووية في العالم ومتطلباتها من حيث اليورانيوم، بتاريخ ١ كانون الثاني/يناير ٢٠١٢ (الموقع الإلكتروني: http://www.world-nuclear.org/info/reactors0112.html)، تاريخ زيارة الموقع: ٧ أيار/مايو ٢٠١٢

في عام ٢٠١٢ ليبلغ ٦٧ ٩٩٠ طناً من اليورانيوم.[٧] وبناء على معدل الاستهلاك لعام ٢٠١٢، يكون العمر التشغيلي للموارد البالغة ٥,٣ مليون طن من اليورانيوم هو ٧٨ عاماً. ويرجّح ذلك كفتَة موارد اليورانيوم لدى مقارنتها بالاحتياطيات الكافية لما بين ٣٠ و٥٠ عاماً بالنسبة لسلع أخرى (مثل النحاس والزنك والنفط والغاز الطبيعي).

٢١- وتزيد موارد اليورانيوم غير التقليدية والثوريوم من توسّع قاعدة الموارد. وتشمل الموارد غير التقليدية اليورانيوم الممكن استخلاصه المقترن بأنواع الفوسفات، والخامات غير الحديدية، والكربوناتيت، والطُفال الأسود، والليغنيت، ولا يمكن استخلاص اليورانيوم من هذه الموارد سوى كمنتج ثانوي غير هام وعلى شكل يورانيوم في ماء البحر. وفي عام ٢٠١١، كانت بلدان قليلة فقط (الأردن وبيرو وجنوب أفريقيا والسويد وشيلي وفنلندا والمكسيك) قد ذكرت أو أبلغت عن موارد يورانيوم غير تقليدية. وتبلغ الأرقام التقديرية السابقة لليورانيوم القابل للاستخلاص والمرتبط بأنواع الفوسفات والخامات غير الحديدية والكربوناتيت، والشست الأسود والليغنيت نحو ١٠ مليون طن من اليورانيوم. وقُدِّر حجم الموارد العالمية من الثوريوم بحوالي ٦ ملايين طن. وعلى الرغم من أن الثوريوم استخدم كوقود نووي على أساس تجريبي فإن استخدامه على نطاق أوسع سيتوقف على النشر التجاري للمفاعلات التي توقد بالثوريوم، وعملية النشر هذه هي عملية تدريجية.

٢٢- وثمة مصانع تجارية الحجم لتحويل ثماني أكسيد ثلاثي اليورانيوم (U_3O_8) إلى سادس فلوريد اليورانيوم (UF_6) قيد التشغيل في الاتحاد الروسي والصين وفرنسا وكندا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية. وثمة مصانع تحويل أصغر حجماً قيد التشغيل في الأرجنتين وباكستان واليابان. وبقيت القدرة التحويلية العالمية الإجمالية على حالها عند نحو ٠٠٠ ٧٥ طن من اليورانيوم الطبيعي في السنة. ويتراوح الطلب الإجمالي الحالي على خدمات التحويل ما بين ٠٠٠ ٥٩ و٠٠٠ ٦٥ طن من اليورانيوم في السنة.

٢٣- وتبلغ القدرة الإثرائية العالمية الإجمالية نحو ٦٥ مليون وحدة فصل في السنة، مقارنة بطلب إجمالي قدره نحو ٤٥ مليون وحدة فصل في السنة. وثمة مصانع تجارية الحجم قيد التشغيل في الاتحاد الروسي وألمانيا والصين وفرنسا والمملكة المتحدة وهولندا والولايات المتحدة الأمريكية. وثمة مصانع إثراء أصغر حجماً قيد التشغيل في الأرجنتين وباكستان والبرازيل وجمهورية إيران الإسلامية والهند واليابان.

٢٤- وشهدت السنوات القليلة الماضية تقديم عدة اقتراحات لتحسين ضمان الإمدادات غير المنقطعة من الوقود النووي، لا سيما في بلدان تأخذ بالقوى النووية. وتتوخّى غالبية هذه الاقتراحات دوراً مركزياً تؤديه الوكالة. وفي كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٠، وافق مجلس محافظي الوكالة على إقامة مصرف الوكالة لليورانيوم الضعيف الإثراء المموّل بتبرعات قيمتها ١٥٠ مليون دولار تم التعهد بتقديمها إلى الوكالة. وقبلت الوكالة عرضاً من كازاخستان بخصوص استضافة المصرف وبدأت في عام ٢٠١٢ المفاوضات الرسمية بشأن اتفاق الدولة المضيفة. وفي شباط/فبراير ٢٠١١، بدأ نفاذ الاتفاق المعقود بين حكومة الاتحاد الروسي والوكالة بشأن إنشاء احتياطي من اليورانيوم الضعيف الإثراء في أنغارسك بالاتحاد الروسي. ويضم هذا الاحتياطي ١٢٠ طناً من اليورانيوم الضعيف الإثراء وهو قائم ضمن المركز الدولي لإثراء اليورانيوم. وفي آذار/مارس ٢٠١١، وافق مجلس المحافظين على اقتراح قدّمته المملكة المتحدة بخصوص 'ضمان الوقود النووي'، وقد شارك في رعايته كل من الاتحاد الأوروبي والاتحاد الروسي والولايات المتحدة الأمريكية. وقد أدى ذلك إلى وضع مسودة 'اتفاق نموذجي لضمان الوقود النووي' يمكن بموجبها لدولةٍ تورِّد اليورانيوم الضعيف الإثراء أو تقدّم خدمات الإثراء أن توافق على عدم الكف عن عمليات التوريد إلى الجهات المتلقية التي تمتثل لالتزاماتها الدولية ولمعايير

---

[٧] صفحة الرابطة النووية العالمية بشأن مفاعلات القوى النووية في العالم ومتطلباتها من حيث اليورانيوم، في نيسان/أبريل ٢٠١٢ (الموقع الإلكتروني: http://world-nuclear.org/info/reactors0412.html)، تاريخ زيارة الموقع: ٧ أيار/مايو ٢٠١٢

الترخيص بالتصدير المنشورة. وفي آب/أغسطس ٢٠١١، بات النظام الأمريكي لضمان الإمداد بالوقود متاحاً في الولايات المتحدة الأمريكية. وهو يتضمن ٢٣٠ طناً من اليورانيوم الضعيف الإثراء المثرى بنسبة ٤,٩٥٪.

٢٥- وتناهز القدرة العالمية لصنع الوقود لمفاعلات الماء الخفيف، التي تستخدم وقوداً من اليورانيوم المثرى، ١٣ ٠٠٠ طن من اليورانيوم في السنة (من اليورانيوم المثرى في مجمّعات الوقود). ويصل الطلب على مثل هذا الوقود حالياً إلى حوالى ٧ ٠٠٠ طن من اليورانيوم في السنة ومن المتوقع أن يرتفع ليصل إلى حوالى ٩ ٥٠٠ طن من اليورانيوم في السنة بحلول عام ٢٠٢٠. وقدرة تصنيع وقود اليورانيوم الطبيعي لمفاعلات الماء الثقيل المضغوط تبلغ حوالى ٤ ٠٠٠ طن من اليورانيوم في السنة؛ فيما أن الطلب يناهز ٣٠٠٠ طن من اليورانيوم في السنة.

٢٦- وتوفّر عمليات إعادة التدوير إمداداً ثانوياً بالوقود النووي من خلال استخدام اليورانيوم المعادة معالجته ووقود موكس. وتبلغ القدرة الحالية على تصنيع وقود موكس حوالى ٢٥٠ طناً من الفلز الثقيل. ويُستخدم وقود موكس حالياً في ٣٠ مفاعلاً من مفاعلات الماء الخفيف عبر العالم.

باء-٤-٢- المرحلة الختامية

٢٧- تعتبر بعض البلدان أن الوقود المستهلك يشكل نفايات ينبغي التخلص منها على أنها نفايات قوية الإشعاع، بينما تعتبره بلدان أخرى مورداً تعاد معالجته وربما يعاد استخدامه. وهناك في الوقت الحالي سوق لإعادة معالجة الوقود وإعادة استخدامه، ولكن ليس لخزنه أو التخلص منه.

٢٨- ونظراً لعدم توافر أي مرافق عاملة حالياً للتخلص من النفايات القوية الإشعاع، فإن أرصدة الوقود المستهلك تتزايد، وسوف يلزم خزن جزء ضخم من هذا الوقود المستهلك لفترات أطول مما كان يعتزم في البداية، علماً بأن أزمنة الخزن قد تمتد لأكثر من ١٠٠ سنة. وفي عام ٢٠١١، تم تفريغ نحو ١٠ ٥٠٠ طن من الفلزات الثقيلة كوقود مستهلك من جميع مفاعلات القوى النووية. والكمية الإجمالية التراكمية من الوقود المستهلك المفرّغ حتى آخر كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١ ناهزت ٣٥٠ ٥٠٠ طن من الفلزات الثقيلة، وتم خزن ٢٤٠ ٠٠٠ طن منها. أمّا الكمية الباقية فأعيدت معالجتها: وتقارب قدرات إعادة المعالجة التجارية العالمية ٨٠٠ ٤ طن من الفلزات الثقيلة في السنة، وهي موزّعة على أربعة بلدان هي الاتحاد الروسي وفرنسا والمملكة المتحدة والهند. وفي اليابان، كان بناء محطة إعادة المعالجة التجارية بقدرة ٨٠٠ طن من الفلزات الثقيلة في السنة في روكاشو قد شارف على الانتهاء عندما تم تعليق العمل نتيجة للزلزال والتسونامي اللذين ضربا البلد في ١١ آذار/مارس ٢٠١١.

٢٩- والبلدان التي أحرزت أكبر قدر من التقدم في مرافق التخلص من النفايات القوية الإشعاع هي فنلندا وفرنسا والسويد. ففي فنلندا، بلغت أعمال تشييد مرفق أونكالو الجوفي لتحديد خصائص الطبقات الصخرية، الذي يمهّد لإنشاء مستودع للوقود المستهلك، عمقَ التخلص النهائي في عام ٢٠١٠. وتنوي شركة Posiva، المعنية بالتصرف في النفايات النووية، تقديم طلب الترخيص بإنشاء المستودع في أواخر عام ٢٠١٢ بحيث تبدأ أعمال التخلص النهائي في عام ٢٠٢٠. وفي فرنسا وقّعت الوكالة الوطنية المعنية بالتصرف في النفايات المشعة (وكالة Andra) عقداً في كانون الثاني/يناير ٢٠١٢ بشأن تصميم مستودعها الجيولوجي العميق المستقبلي الذي من المزمع بدء تشغيله في عام ٢٠٢٥ في منطقة Meuse/Haute-Marne الواقعة شرق فرنسا. وفي آذار/مارس ٢٠١١، قدّمت الشركة السويدية للتصرف في الوقود والنفايات النووية طلباً للحصول على رخصة لتشييد مستودع للوقود المستهلك في فورسمارك، وهي تقدّر أن أنشطة التخلص النهائي قد تبدأ بحلول عام ٢٠٢٥.

٣٠- وفي الاتحاد الأوروبي، وافق مجلس الاتحاد في تموز/يوليه ٢٠١١ على توجيه بشأن التصرف في الوقود المستهلك والنفايات المشعة، وأرسى هذا التوجيه معايير متساوقة لجميع البلدان الأعضاء في الاتحاد

الأوروبي وفرض عليها إقامة برامج وطنية وتقديم تقارير بشأن التقدم المحرز إلى المفوضية الأوروبية بحلول شهر آب/أغسطس ٢٠١٥ ومرة كل ثلاث سنوات بعد ذلك.

٣١- وفضلاً عن النفايات القوية الإشعاع ذات الصلة بالوقود المستهلك، فإن النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع تُولَّد على مدى دورة الوقود. وتقوم عمليات المعالجة والتكييف والخزن الطويل الأمد التي تخضع لها النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع على أساس تكنولوجيات عريقة، ويتم تنفيذها عادة في المرافق النووية التي تتولّد فيها النفايات. وقد شرع عدد من البلدان فعلاً بتشغيل مرافق صناعية الحجم للتخلص من النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع، فيما تعمل بلدان أخرى على تشييد مثل هذه المرافق. بيد أن بعض البلدان التي لديها محطات قوى نووية قيد التشغيل لم تتمكن بعد من تحديد مواقع لتشييد مرافق للتخلص من النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع، ويعزى السبب الرئيسي في ذلك إلى عدم تقبّل السياسيين وعامة الجمهور للموضوع.

باء-٤-٣- الإخراج من الخدمة

٣٢- عندما تبلغ مفاعلات القوى نهاية عمرها التشغيلي، يتم إخراجها من الخدمة. وتنطوي عملية الإخراج من الخدمة على تفكيك المفاعلات بشكل خاضع للمراقبة ومن ثم التصرف في النفايات المشعة الناتجة والتخلص منها.

٣٣- وثمة خيارات أساسية ثلاثة هي: التفكيك الفوري، والتطويق المأمون الطويل الأمد الذي يعقبه التفكيك، والإقبار المعروف أيضاً باسم التخلص في الموقع. وقد اقتصر الإقبار عموماً على منشآت صغيرة. ويتوقف الاختيار بين التفكيك الفوري والتطويق المأمون الطويل الأمد على توافر مرافق التخلص وعدم اليقين بشأن توافرها مستقبلاً، وعلى توافر الأموال (التي قد لا تتوافر للمفاعلات التي أغلقت في وقت أبكر ممّا كان مخططاً له أو التي لم يكن مطلوباً منها تجميع هذه الأموال خلال أعمارها التشغيلية)، وعلى النفقات المتوقعة (التي تتناقص مع انخفاض مستويات الإشعاعات وتحسّن التكنولوجيا)، وعلى الشواغل بشأن الوظائف في محيط المفاعلات المغلقة، وعلى الاستخدام المستقبلي المزمع للموقع (ربما لاستقبال مفاعلات جديدة)، وعلى الخيارات المفضلة لدى أصحاب المصلحة المعنيين، وعلى ما هو سارٍ في البلد المعني من قوانين ولوائح واستراتيجياتٍ للتصرّف في الوقود المستهلك.

٣٤- وفي كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١، كان قد تم إغلاق ١٢٤ مفاعلاً من مفاعلات القوى. ومن بين هذه المفاعلات، تم تفكيك ١٦ مفاعلا تفكيكا تاماً، وكانت العمليات جارية لتفكيك ٥٠ مفاعلاً، وتم وضع ٤٩ مفاعلا في حالة تطويق مأمون، فيما تم إقبار ٣ مفاعلات، ولم تكن استراتيجيات الإخراج من الخدمة قد حُدّدت بعدُ بالنسبة لستة مفاعلات إضافية.

باء-٥- القدرة الصناعية

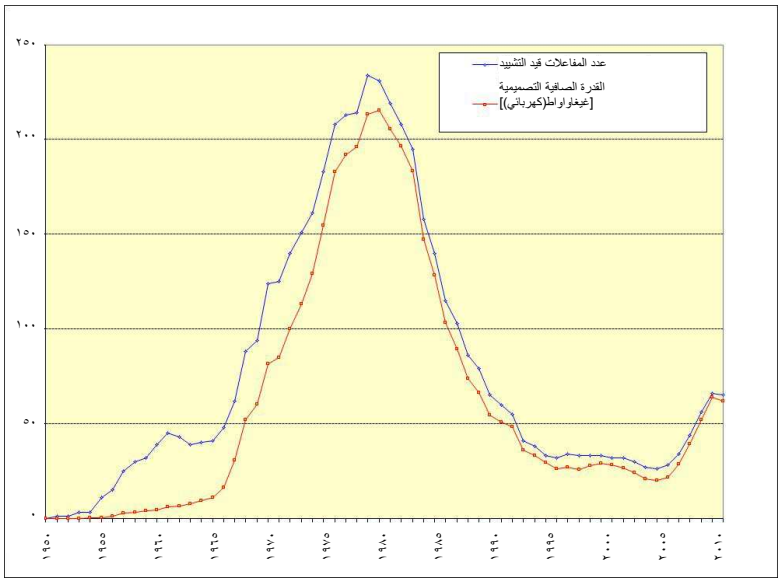
٣٥- بلغ عدد مفاعلات القوى النووية قيد التشييد ذروته في عام ١٩٧٩، حيث بلغ ٢٣٣ مفاعلاً. وانخفض بعد ذلك إلى ما بين ٣٠ و٤٠ مفاعلاً في الفترة من ١٩٩٥ إلى ٢٠٠٥، ولكنه عاد منذ ذلك الوقت ليرتفع فوصل إلى ٦٢ مفاعلاً في ٣٠ حزيران/يونيه ٢٠١٢ (الشكل باء-١). وتكيّفت صناعة الإمدادات النووية مع الانخفاض الذي طرأ بعد ثمانينات القرن المنصرم، لا سيما من خلال إنشاء الاتحادات، في أمريكا الشمالية وأوروبا خصوصاً. وعلى النقيض من ذلك، تنامت قدرات كل من جمهورية كوريا والصين والهند بفضل التوطين، ومن المتوقع أن تساهم أكثر في تلبية الاحتياجات العالمية المقبلة في مجال خبرات التشييد النووي. ويسلط هذا القسم الضوء على بعض التطورات التي طرأت مؤخراً لتوسيع الإمكانات الصناعية تجاوباً مع النمو المتوقع في القوى النووية كما هو مذكور في القسم جيم–٤.

٣٦- ويتواجد مورّدو المعدات الصناعية الثقيلة في الاتحاد الروسي والجمهورية التشيكية وجمهورية كوريا والصين وفرنسا واليابان. ويتم بناء قدرات جديدة في اليابان على يد الشركتين اليابانيتين (Japan Steel Works) و(Japan Casting & Forging Corporation)، وفي الصين على يد المجموعة (Shanghai Electric Group) وشركاتها التابعة، وفي الهند على يد (Bharat Forge)، وفي جمهورية كوريا على يد (Doosan)، وفي فرنسا على يد (Le Creusot)، وفي الجمهورية التشيكية على يد (Plzeň)، وفي الاتحاد الروسي على يد (OMZ Izhora) و(ZiO-Podolsk).

٣٧- وفي كندا، تمت في عام ٢٠١١ خصخصة جزء من شركة توريد المفاعلات السابقة المملوكة للحكومة – شركة Atomic Energy of Canada Limited. وقد بيع قسم الشركة المعني بتوريد مفاعلات القوى النووية والخدمات النووية إلى مجموعة الهندسة والإنشاء SNC-Lavalin وأعيدت تسميته ليصبح Candu Energy Inc. أما القسم المتبقي من الشركة، فاحتفظ بالاسم القديم وهو يركّز الآن على البحث والتطوير وعلى التصميم والهندسة والتكنولوجيا المتخصصة والتصرف في النفايات والإخراج من الخدمة. وهو ما زال يملك ويشغّل مختبرات Chalk River النووية.

٣٨- وشهدت الصين، في عام ٢٠١١، استكمالَ المؤسسة الحكومية لتكنولوجيا القوى النووية ومعهد شنغهاي لبحوث وتصميمات الهندسة النووية، بالتعاون مع وستينغهاوس، للتصميم الأولي لمفاعل القوى الصيني المتقدم (CAP-1400)، الذي يسمّى أيضاً محطة القوى النووية المكوّنة من مفاعلات ماء مضغوط خاملة متقدمة ضخمة. ويتيح ذلك للصين إمكانية تصدير هذا التصميم بالتعاون مع وستينغهاوس.

٣٩- وتنكب جمهورية كوريا على تطوير مفاعل قوى متقدم قابل للتصدير بقدرة ١٥٠٠ ميغاواط(كهربائي) ومفاعل القوى المتقدم EU-APR 1400 المعدّ للسوق الأوروبية، (انظر الفقرة ٨٦)؛ أمّا في الاتحاد الروسي فيقوم أكبر مورّد لمكوّنات المفاعلات (أي شركة OMZ) بمضاعفة قدرات الإنتاج الخاصة بالسبائك الضخمة في مرفق Komplekt-Atom-Izhora التابع له، بحيث يتم صنع ثلاثة أو أربعة أوعية ضغط في السنة.



الشكل باء-١ - عدد المفاعلات قيد التشييد (والقدرة الإجمالية للمفاعلات) في الفترة من ١٩٥١ إلى ٢٠١٠ . المصدر: الوكالة الدولية للطاقة الذرية (نظام المعلومات عن مفاعلات القوى).

جيم- آفاق التطبيقات المستقبلية للطاقة النووية

جيم-١- الآفاق في البلدان التي تستخدم فعلاً القوى النووية

٤٠- يوجز الجدول جيم-١ المعلومات المتاحة بشأن خطط التوسّع في البلدان التي تشغّل حالياً محطات للقوى النووية بالإضافة إلى ليتوانيا، التي لديها ٤٣,٥ سنة خبرة تشغيلية في المفاعلات ولكنها لا تملك، منذ إغلاق مفاعل إغنالينا–٢ في نهاية عام ٢٠٠٩، أي مفاعلات قيد التشغيل. ويستند الجدول إلى ما قدّمته الدول الأعضاء من معلومات إلى مؤتمر الوكالة العام في دورته لعام ٢٠١١ وغير ذلك من المواقف التي أدلت بها علناً.

جيم-٢- الآفاق في البلدان التي تدرس إمكانية بدء استخدام القوى النووية

٤١- منذ أواسط العقد الأول من القرن الحالي، أعربت بلدان نامية عن اهتمام جديد أو متجدد في القوى النووية. ومع أن حادث فوكوشيما داييتشي دفع ببعض البلدان إلى تغيير مواقفها وبعضها الآخر إلى اعتماد نهج الانتظار والترقّب، فقد تواصل الاهتمام من جانب البلدان التي تنظر في الأخذ بالقوى النووية أو التي تخطط لذلك.

٤٢- ويبيّن الجدول جيم-٢ عدد البلدان في مراحل مختلفة من مراحل دراسة برنامج للقوى النووية أو تطوير برنامج للقوى النووية. وكانت بعض البلدان التي تسمّى أحياناً "الوافدون النوويون الجدد"، مثل بنغلاديش وفييت نام ومصر، تخطط بالفعل منذ مدة للأخذ بالقوى النووية. وثمة بلدان أخرى، مثل بولندا، تعيد إحياء خيار القوى النووية بعد إلغاء الخطط نتيجة تغير الحكومات وتحوّل الرأي العام. وثمة بلدان أخرى مثل الأردن وأوروغواي تدرس للمرة الأولى إمكانية الأخذ بالقوى النووية أو تخطط له. والعامل المشترك بين هذه البلدان هو أنها تدرس جميعها إمكانية وضع برامج للقوى النووية أو تخطط لذلك أو تبدأ في تنفيذها، وأنها لم تربط محطة أولى للقوى النووية بالشبكة.

الجدول جيم-١- مواقف البلدان التي لديها محطات قوى نووية قيد التشغيل زائد ليتوانيا

الفئة	عدد البلدان
وحدة(وحدات) جديدة قيد التشييد مع اقتراح/تخطيط المزيد.	١١
وحدة(وحدات) جديدة قيد التشييد ولكن لم يتم بعد وضع السياسة الخاصة بإقامة مزيد من الوحدات	٢
لا وحدات قيد التشييد ولكن ثمة خطط/اقتراحات لبناء وحدة(وحدات) جديدة	١٠
لا وحدات قيد التشييد وحالياً لا خطط/سياسة لتشييد وحدات جديدة	٤
سياسة حازمة تنص على عدم بناء وحدات جديدة و/أو على إغلاق وحدات قائمة	٤

الجدول جيم-٢- مواقف البلدان التي ليست لديها محطات قوى نووية قيد التشغيل[٨]

وصف المجموعة	عدد البلدان ٢٠١٢	عدد البلدان ٢٠١٠	عدد البلدان ٢٠٠٨
تدرس إمكانية إقامة برنامج نووي للإيفاء باحتياجاتها المعيّنة من الطاقة، مع إشارة قوية إلى نيتها في المضي قدماً	١٤	١٤	١٤
تُحضرّ فعلياً لبرنامج قوى نووية محتمل دون اتخاذ قرار نهائي	٦	٧	٧
قررت البدء باستخدام القوى النووية وبدأت إعداد البنية الأساسية الملائمة لذلك	٦	١٠	٥
طلبت محطة قوى نووية جديدة	٣	٢	٠
بدأت بتشييد محطة قوى نووية جديدة	٠	١	١

٤٣- ومن أصل ٢٩ بلداً نظر في استخدام القوى النووية أو خطط له في عام ٢٠١٢، تقع ١٠ بلدان في منطقة آسيا والمحيط الهادئ، و١٠ بلدان في منطقة أفريقيا، و٧ بلدان في أوروبا (معظمها من أوروبا الشرقية)، وبلدان اثنان في أمريكا اللاتينية.

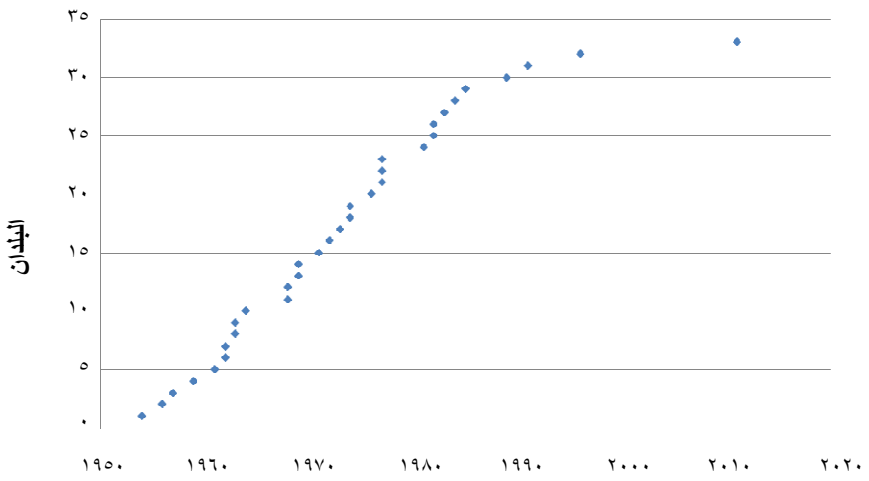
٤٤- وحتى بعد حادث فوكوشيما داييتشي، اتخذ بعض البلدان خطوات ملموسة في اتجاه الأخذ بالقوى النووية. ففي الإمارات العربية المتحدة، أجرت مؤسسة الإمارات للطاقة النووية مناقصات في عام ٢٠١١ لتحويل اليورانيوم وإثرائه لوقود المفاعلات الإماراتية الأولى. وفي تركيا، قدّمت شركة المشروع Akkuyu Nukleer Santral Elektrik Uretim طلبات للحصول على رخص تشييد وعلى رخصة لتوليد القوى. ووقّعت بيلاروس عقداً مع الاتحاد الروسي بشأن تشييد مفاعلين اثنين، فيما وقّعت بنغلاديش على اتفاق حكومي دولي مع الاتحاد الروسي، أيضاً بشأن مفاعلين اثنين. ووقّعت فييت نام اتفاق قرض مع الاتحاد الروسي بشأن تمويل أولى محطاتها للقوى النووية وأعلنت عن نيتها عقد اتفاق مماثل مع اليابان.

٤٥- وبدأت جمهورية إيران الإسلامية عملية إدخال مفاعلها النووي الأول في الخدمة في موقع بوشهر في أيلول/سبتمبر ٢٠١١، وكانت تلك أول محطة قوى نووية تدخل في الخدمة في بلد 'مستجد' في غضون ١٥ عاماً.

٤٦- وكان معدل انضمام البلدان الجديدة إلى قائمة البلدان المشغّلة لمحطات قوى نووية مستقراً نسبياً خلال أوائل ثمانينات القرن المنصرم، كما ورد في الشكل جيم–١. وإلى حين إضافة جمهورية إيران الإسلامية في عام ٢٠١١، كانت ثلاثة بلدان فقط قد ربطت أولى محطاتها للقوى النووية بالشبكة في حقبة ما بعد تشرنوبيل، وهذه البلدان هي رومانيا والصين والمكسيك. وتعاني البلدان التي تخطط اليوم لإنشاء محطتها الأولى للقوى النووية من فجوةٍ في الخبرات مدتها ١٥ عاما. ومن بين البلدان التي تنظر في بناء أول مفاعل نووي لها أو تخطط لذلك، ٩ حدّدت صراحة التواريخ المتوخاة للتشغيل الأول قبل عام ٢٠٣٠.

---

[٨] تضمنت الطبعات السابقة من هذا المنشور مجموعتين إضافيتين غير واردتين في هذه الطبعة لأنها لم تأتِ بأي إضافة ملموسة على فهم التوقعات الناشئة للقوى النووية فيما بين الدول النامية. وشملت إحدى المجموعتين البلدان التي لم تكن تخطط للأخذ بالقوى النووية ولكنها كانت مهتمة بالنظر في المسائل ذات الصلة، ولكن اتضح أنه من الصعب تحديد التوجهات بالإضافة إلى تفاوتات واسعة في الأرقام من سنة إلى سنة. أمّا المجموعة الثانية، فشملت بلدان أُعدَّت فيها مناقصات لتوريد محطات للقوى النووية بيد أن ذلك أدّى إلى صعوبات نظراً لوجود بلدان اختارت أن تطلب المحطات من خلال اتفاقات ثنائية مباشرة بدلاً من إجراء مناقصات.



الشكل جيم-١ - عدد البلدان التي تشغل، أو التي شغّلت، محطات للقوى النووية. المصدر: الوكالة الدولية للطاقة الذرية (نظام المعلومات عن مفاعلات القوى).

٤٧- وعلى وجه الإجمال، يتّسق الجدولان جيم–١ وجيم–٢ مع التوجهات المعبّر عنها في توقعي الوكالة المنخفض والمرتفع الموصوفين أدناه، أي أنه ما زال هناك قدر كبير من عدم اليقين في التوقعات الخاصة بالقوى النووية، كما أنه يتوقع أن الازدياد في استخدام القوى النووية سينتج عن التوسع في البلدان التي لديها نظم قوى نووية قائمة أكثر مما سينتج عن بلدان تستهل برامج قوى نووية. وتأتي البلدان التسعة التي حددت تواريخ متوخاة للتشغيل الأول قبل ٢٠٣٠ بين البلدان السبعة الواردة في توقع الوكالة المنخفض والتي ستربط أول محطة لها بحلول عام ٢٠٣٠، وبين البلدان الست عشر التي ستقوم بذلك في إطار التوقع المرتفع.

جيم-٣- الدوافع المحتملة للأخذ بالقوى النووية

٤٨- إن العوامل الرئيسية التي دفعت إلى زيادة الاهتمام بالقوى النووية منذ عام ٢٠٠٥ تقريباً، والزيادة في عدد حالات بدء التشييد الواردة في الشكل باء–١، لم تتغيّر نتيجة لحادث فوكوشيما داييتشي وهي: تنامي الطلب على الطاقة، ولا سيما الكهرباء؛ وتقلّب أسعار الوقود الأحفوري؛ والضغوط البيئية؛ والشواغل المرتبطة بأمن الطاقة.

جيم-٣-١- الطلب

٤٩- من المتوقع أن يتواصل تنامي الطلب العالمي على الطاقة والكهرباء على مدى العقود المقبلة. وما من تقييم قصير أو طويل الأمد ذي مصداقية للطاقة يشير إلى خلاف ذلك. وينعكس التزايد في عدد سكان العالم والتطلّعات التنموية السائدة في العالم النامي الحالي، حيث ما زالت شرائح ضخمة من السكان تفتقر إلى الكهرباء، على شكل تنامٍ في معدلات الطلب على الكهرباء يفوق حتى معدلات الطلب على إجمالي الطاقة الأساسية. وتتفق جميع الدراسات على أن أعظم نمو في الطلب سيطرأ في البلدان النامية.

٥٠- ويقدّر التفاوت الأوسط لآخر توقعات الأمم المتحدة فيما يخص السكان أن عدد سكان العالم سيرتفع بما مجموعه ١,٥ بليون نسمة بحلول عام ٢٠٣٠، وبليون نسمة إضافية بحلول عام ٢٠٥٠، ليصل عدد سكان العالم إلى ٩,٣ بليون نسمة تقريباً.[٩] ويتوقع البنك الدولي أن يشهد الاقتصاد العالمي نمواً سنوياً وسطياً يبلغ ٣,١٪ حتى عام ٢٠١٥ و٢,٥٪ ما بين عامي ٢٠١٥ و٢٠٣٠.[١٠] وسيسجَّل النمو الأسرع في البلدان النامية. واستناداً إلى هذين الدافعين الرئيسيين وراء الطلب على الطاقة، تتوقع الوكالة الدولية للطاقة التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي ارتفاعاً في الطلب على الكهرباء من ٢١٣٠٠ تيراواط/ساعة في عام ٢٠١٠ إلى ما بين ٣٠٣٩٠ و٣٥٤٧٠ تيراواط/ساعة بحلول عام ٢٠٣٠ رهناً بالسياسات البيئية. وسيطرأ ثمانون في المئة من هذا النمو في بلدان غير أعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي. ويشير توسيع نطاق التحليل حتى عام ٢٠٥٠ إلى زيادة في الطلب على الكهرباء تتراوح بين ٣٧٦٦٠ و٤٦١٩٠ تيراواط/ساعة.[١١]

جيم-٣-٢- أسعار الوقود الأحفوري واقتصادياته

٥١- ما زال تقلب أسعار السوق العالمي للوقود الأحفوري عند معدّلات مرتفعة جداً يشكل هاجساً رئيسياً في العالم المتقدّم والعالم النامي على حد سواء. وبالنسبة للعديد من البلدان النامية التي تتّكل على استيراد الطاقة، يؤدي ارتفاع أسعار الوقود المستورد إلى استنزاف عائداتها التصديرية المحدودة وإعاقة نموها الاقتصادي. ونظراً لتزايد الطلب العالمي على الطاقة وتلكّؤ كبار المنتجين في تسريع الاستثمار في التنقيب وفي القدرات الإنتاجية الإضافية، وهو أمر يعزى جزئياً لانعدام اليقين بخصوص الاقتصاد، فمن غير المرجّح أن تشهد مستويات أسعار الوقود الأحفوري العالمية المرتفعة أي تراجع في المستقبل القريب.

٥٢- بيد أن تسويق كميات ضخمة من غاز الطُفَال مؤخراً في الولايات المتحدة عكس موجة التزايد في أسعار الغاز الطبيعي ووضع حداً للافتراض السائد بأن الموارد الأحفورية غير التقليدية هي بلا شك أكثر كلفة من الموارد التقليدية. فالكمائن الطفالية منتشرة في أجزاء عديدة من العالم، ولكن قدرتها على احتواء الغاز تتفاوت بشكل كبير، لذلك فإن التوقعات بشأن الكميات المتوافرة من غاز الطفال تفتقر بشكل كبير إلى الدقة. ويشوب انعدام اليقين أيضاً مستويات تقبل الجمهور نتيجة للشواغل البيئية والصحية إزاء استخراج هذه المواد باستخدام التصديع الهيدرولي. وكما نوقش في القسم جيم-٣-٣، فإن استخدام غاز الطفال يولّد أيضاً انبعاثات من ثاني أكسيد الكربون، كما أن غاز الطفال الذي يتسرّب إلى الجو هو غاز دفيئة مباشر ذو مفعول أقوى.

٥٣- وتستلزم التنمية الاقتصادية أحمالاً كهربائيةً أساسية موثوقة ومعقولة الكلفة. وعلى عكس نظم توليد الكهرباء العاملة بالوقود الأحفوري، ففي نظم القوى النووية لا تشكل كلفة الوقود سوى نسبة مئوية بسيطة من كلفة الكهرباء. ولا ينعكس تضاعف أسعار اليورانيوم مرة أو مرتين سوى بزيادة تتراوح بين ٤ و٦ في المئة في

---

[٩] إدارة الشؤون الاقتصادية والاجتماعية التابعة للأمم المتحدة. ٢٠١٠ توقعات السكان في العالم. تنقيح عام ٢٠١٠. متاح [إلكترونياً] على الموقع التالي: http://esa.un.org/unpd/wpp/index.htm

[١٠] البنك الدولي. ٢٠٠٩ التوقعات الاقتصادية العالمية: السلع على مفترق الطرق، متاح [إلكترونياً] على الموقع التالي: http://siteresources.worldbank.org/INTGEP2009/Resources/10363_WebPDF-w47.pdf

[١١] الوكالة الدولية للطاقة. ٢٠١٠ توقّعات تكنولوجيا الطاقة لعام ٢٠١٠: التصورات والاستراتيجيات حتى عام ٢٠٥٠. متاح [إلكترونياً] على الموقع التالي:http://titania.sourceoecd.org/vl=13668216/cl=27/nw=1/rpsv/~6673/v2010n11/s1/p1

تكاليف التوليد. وعلى خلاف ذلك، ففي حالة نظم التوليد العاملة بالوقود الأحفوري، يؤدي تضاعف كلفة الوقود إلى ارتفاع تكاليف التوليد الإجمالية بمعدل يتراوح بين ٤٠ و٧٠٪. وبالتالي، فإن تقلّب الأسعار يشكل شاغلاً أكثر أهمية في حالة توليد الكهرباء بالوقود الأحفوري.

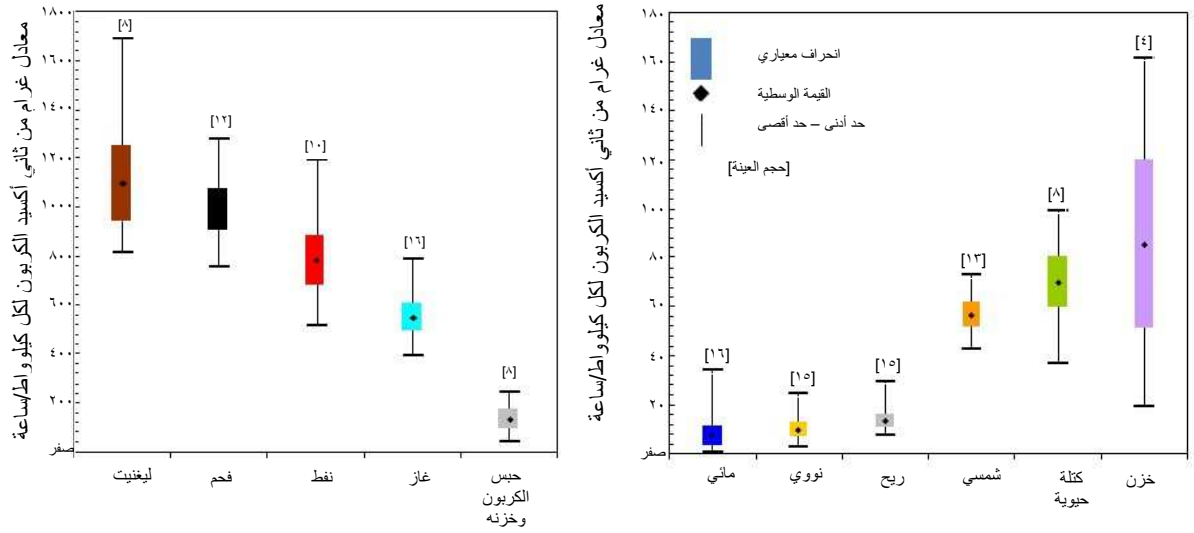
جيم-٣-٣- البيئة

٥٤- على أساس دورة الحياة، لا ينبعث من القوى النووية سوى غرامات قليلة من غازات الدفيئة عن كل كيلوواط/ساعة. ودورة الحياة الكاملة تشمل تعدين اليورانيوم ومعالجته وتحويله وإثرائه، وتصنيع الوقود، وتشييد محطة القوى وتشغيلها، وإعادة المعالجة، وتكييف الوقود المستهلك، والخزن المؤقت للنفايات المشعة، وبناء المستودعات النهائية. ويمكن مقارنة انبعاثات سلسلة القوى النووية على مدى دورة الحياة مع انبعاثات أفضل سلاسل الطاقة المتجددة، كما أنها أدنى برتبة كِبَر واحدة على الأقل من سلاسل الوقود الأحفوري، كما هي مبينة في الشكل جيم–٢. وعلى وجه الشمول، قدّرت الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ أن القوى النووية تتمتع بأضخم قدرة على تخفيض انبعاثات غازات الدفيئة بأدنى كلفة ضمن قطاع توليد القوى (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ٢٠٠٧).[١٢]

٥٥- وتجتذب القوى النووية مزيداً من الاهتمام بفضل ما تتسم به هذه القوى من مستوى منخفض جداً من انبعاثات غازات الدفيئة ومن قدرة عالية على تخفيض هذه الانبعاثات الناتجة عن القطاع الكهربائي. ولكن، من دون إبرام اتفاق بيئي دولي جديد شامل ملزم وطويل الأمد ليحل محل بروتوكول كيوتو – الذي مُدِّدَت فعاليته في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١١ حتى ٢٠١٧ على الأقل – لا يمكن لجميع المستثمرين في محطات قوى نووية جديدة أن يكونوا واثقين من أنهم سيستفيدون مالياً من المستوى المنخفض من انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن القوى النووية.

---

[١٢] الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، ٢٠٠٧: *تغيّر المناخ ٢٠٠٧: التخفيف من حدته. مساهمة الفريق العامل الثالث في التقرير التجميعي الرابع الصادر عن الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ* [ب. ميتز، أ.ر. ديفيدسون، ب.ر. بوش، ر. دَيف، ل.أ. ماير (محررون)]، مطبعة جامعة كامبريدج، كامبريدج، المملكة المتحدة ونيويورك، نيويورك، الولايات المتحدة الأمريكية.



الشكل جيم–٢ . انبعاثات غازات الدفيئة على مدى دورة الحياة بالنسبة لمختلف خيارات توليد الكهرباء. يرجى الملاحظة أن مقياس الشريحة اليسرى يعادل ١٠٪ من مقياس الشريحة اليمنى.

٥٦- وبالإضافة إلى المستوى المنخفض جداً من انبعاثات غازات الدفيئة، تمتاز القوى النووية بكونها لا تؤدي إلى انبعاث أي غازات ضارة أثناء التشغيل ممّا يؤدي إلى تكوّن ملوّثات هواء من قبيل أكاسيد النيتروجين (NO_x) وثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وانبعاثات مواد جزيئية تلحق الضرر بالصحة البشرية وهي مسؤولة عن رداءة جودة الهواء في المناطق الحضرية وعن التحمّض على المستوى الإقليمي.

جيم-٣-٤- أمن الطاقة

٥٧- إن تنويع التكنولوجيات والوقود ومصادر الطاقة، والخزن الاستراتيجي، لطالما شكّلا دعامتين أساسيتين لضمان أمن الإمداد بالطاقة. وتتيح القوى النووية تعزيز أمن الإمداد عندما تكون جزءاً من مزيج الطاقة في بلد ما، ومن شأن توسيع القطاع النووي أن يؤدي، في غالبية البلدان، إلى زيادة التنوّع في القطاع الكهربائي.

٥٨- وكما ورد في القسم باء–٤، فإن موارد اليورانيوم واسعة الانتشار ومتنوّعة جغرافياً. وتكفي موارد اليورانيوم التقليدية المعروفة الممكن استخلاصها بتكلفة أقل من ١٣٠ دولاراً للكيلوغرام الواحد من اليورانيوم لحوالي ٧٨ عاماً بناءً على معدلات الاستهلاك المتوقعة عام ٢٠١٢. وتأتي موارد أعلى كلفة ومصّنفة ضمن فئات إضافية – مثل 'المواد التكهنية والتخمينية' – لتزيد من قاعدة الموارد التقديرية. ومن شأن إعادة المعالجة وإعادة التدوير وعمليات نشر تكنولوجيا التوليد السريع أن تساهم في إطالة ديمومة جميع فئات الموارد بمعدل ٦٠ إلى ٧٠ ضعفاً.

٥٩- وكثافة الوقود النووي من حيث الطاقة أكبر بكثير من كثافة الوقود الأحفوري، لذا فالكميات اللازمة هي أصغر حجماً، مما ييسّر عملية إنشاء أرصدة استراتيجية. وفي الممارسة العملية، فإن التوجّه السائد على مدى السنوات لم يركّز على المخزونات الاستراتيجية، بل مالَ إلى تأمين الإمدادات على أساس سوق متنوعة تعمل

بسلاسة لتوفير خدمات الإمداد باليورانيوم والوقود. ولكن خيار إنشاء أرصدة استراتيجية بخسة الكلفة نسبياً يبقى متاحاً أمام البلدان التي تعتبره مهماً.

٦٠- ويتعزز أمن الطاقة بفضل جوانب إضافية منها طول مدة خدمة محطات القوى النووية واستقرار تكاليف التوليد فيها عند توليد الأحمال الأساسية.

جيم-٤- توقعات النمو في القوى النووية

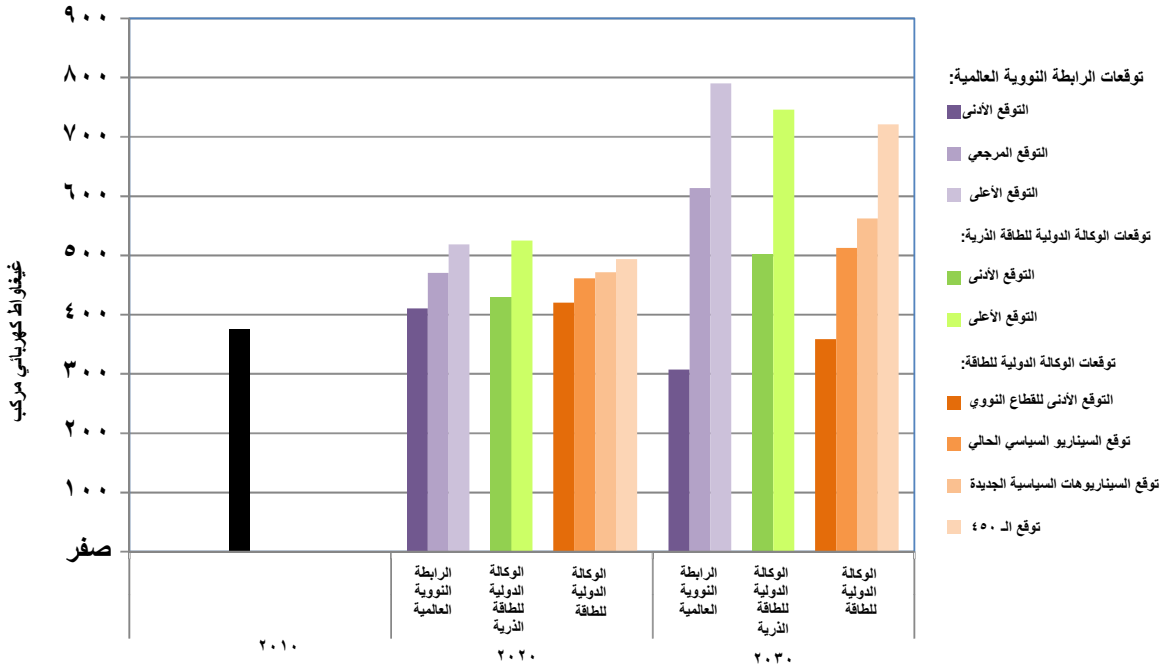
٦١- تنشر الوكالة سنويا سلسلتين من التوقعات بشأن النمو العالمي للقوى النووية: إحداهما عن التوقعات المنخفضة والأخرى عن التوقعات المرتفعة. وتراعي استيفاءاتُ عام ٢٠١١ الآثار التي خلّفها حادث فوكوشيما داييتشي. وفي الصيغة المستوفاة للتوقّع المنخفض، ترتفع قدرات القوى النووية العالمية من ٣٧٠ غيغاواط(كهربائي) اليوم[١٣] إلى ٥٠١ غيغاواط(كهربائي) في عام ٢٠٣٠، أي بانخفاض بنسبة ٨٪ عمّا كان متوقّعاً في عام ٢٠١٠. أمّا في الصيغة المستوفاة للتوقع المرتفع، فترتفع القدرات لتصل إلى ٧٤٦ غيغاواط(كهربائي) في عام ٢٠٣٠، أي بانخفاض بنسبة ٧٪ عن توقّع عام ٢٠١٠. ويُظهر الجدول جيم–٣ أن النمو المتوقع يبلغ أقصاه في الشرق الأقصى. ومن المناطق الأخرى التي لديها برامج قوى نووية ضخمة نذكر منطقة أوروبا الشرقية ومنطقة الشرق الأوسط وجنوب آسيا.

الجدول جيم-٣. تقديرات القدرة على توليد الكهرباء نووياً

المنطقة	٢٠١٠	٢٠٢٠		٢٠٣٠		٢٠٥٠	
		منخفض	مرتفع	منخفض	مرتفع	منخفض	مرتفع
أمريكا الشمالية	١١٣,٨	١١٩	١٢٦	١١١	١٤٩	١٢٠	٢٠٠
أمريكا اللاتينية	٤,١	٦,٤	٦,٤	٩	١٨	١٥	٦٠
أوروبا الغربية	١٢٢,٩	٩٣	١٢٦	٨٣	١٤١	٦٠	١٧٠
أوروبا الشرقية	٤٧,٤	٦٦	٨٠	٨٢	١٠٨	٨٠	١٤٠
أفريقيا	١,٨	١,٨	١,٨	٥	١٦	١٠	٤٨
الشرق الأوسط وجنوب آسيا	٤,٦	١٣	٢٢	٣٠	٥٣	٥٠	١٤٠
جنوب شرق آسيا والمحيط الهادئ	٠	٠	٠	٠	٦	٥	٢٠
الشرق الأقصى	٨٠,٦	١٣٠	١٦٤	١٨٠	٢٥٥	٢٢٠	٤٥٠
المجموع العالمي	٣٧٥,٣	٤٢٩	٥٢٥	٥٠١	٧٤٦	٥٦٠	١٢٢٨

٦٢- ويتضمن الشكل جيم–٣ مقارنةً بين توقعات الوكالة والتوقعات الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي وعن الرابطة النووية العالمية. وتستخدم التوقعات المنخفضة للوكالة الدولية للطاقة الذرية، وسيناريو السياسات الراهنة للوكالة الدولية للطاقة، والسيناريو المرجعي للرابطة النووية العالمية افتراضات مماثلة "لبقاء الأمور على حالها" وتقدم نتائج متقاربة. وتتشابه أيضاً السيناريوهات المرتفعة التي تقدمها هذه المنظمات، وكذلك السيناريوهات النووية المنخفضة للوكالة الدولية للطاقة وللرابطة النووية العالمية.

[١٣] ٣٠ حزيران/يونيه ٢٠١٢



الشكل جيم–٣ . مقارنة توقعات القوى النووية الصادرة عن كل من الوكالة (الأزرق)، والرابطة النووية العالمية (البنفسجي)[١٤]، والوكالة الدولية للطاقة (البرتقالي)[١٥]. "٤٥٠" يشير إلى سيناريو تكون فيه نسبة تركيز غازات الدفيئة في الجو محدودة بمعدل ٤٥٠ جزءاً في المليون.

٦٣- ويتضمن *منشور التقييم العالمي للطاقة Global Energy Assessment*، الذي أصدره المعهد الدولي للتحليل التطبيقي للنظم – وهو المسؤول عن تنسيق التقييم العالمي للطاقة – خلال مؤتمر الأمم المتحدة بشأن التنمية المستدامة في حزيران/يونيه ٢٠١٢ ('ريو+٢٠')، عرضاً لسيناريوهات متنوّعة للطاقة في المستقبل، بما في ذلك القوى النووية. وتقوم سيناريوهات التقييم العالمي للطاقة على أساس سيناريو تنمية اقتصادية واحد ولكنها تعتمد ثلاث مجموعات مختلفة من التحوّلات في نظم الطاقة. وتسارع المجموعة المسمّاة GEA-Supply (GEA-S) إلى تعزيز جميع الخيارات من جهة الإمداد. أمّا المجموعة المسماة GEA-Efficiency (GEA-E) فتشدد على تحسينات الفعالية في مختلف أقسام نظام الطاقة وعلى الحلول، بما فيها تغيير أنماط الحياة، للحد من الطلب على الطاقة. والمجموعة المسمّاة GEA-Mix (GEA-M) هي مزيج من المجموعتين GEA-S وGEA-E. وضمن هذه المجموعات، طوّر التقييم العالمي للطاقة ٦٠ مساراً بديلاً تعكس تحليلات متعددة لقابلية التأثر. ويعرض الشكل جيم–٤ نطاقات القوى النووية للمجموعات الثلاث على مر الزمن. وقد استكملت غالبية تحليلات التقييم العالمي للطاقة قبل وقوع حادث فوكوشيما داييتشي، وتنتج المستويات الدنيا من نطاقات القدرات النووية عن تحليلاتٍ للحساسية قامت عمداً باستثناء القوى النووية بحلول عام ٢١٠٠. بيد أن المسارات النووية المنخفضة فُسِّرت أيضاً على أنها عواقب ممكنة للحادث.

---

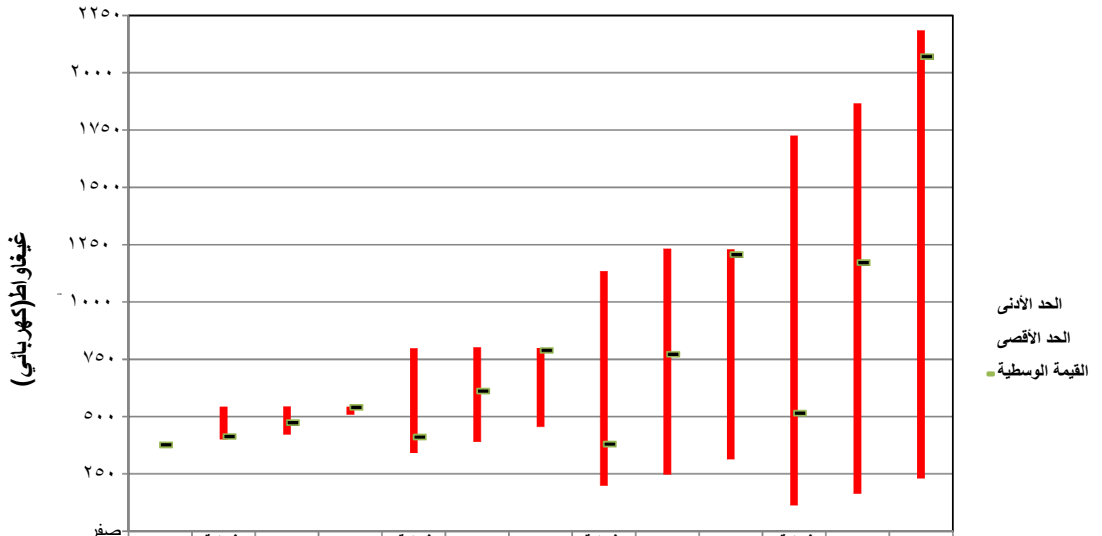
[١٤] المنشور المعنون *The Global Nuclear Fuel Market: Supply and Demand 2011–2030*؛ الرابطة النووية العالمية، لندن، ٢٠١١.

[١٥] المنشور المعنون *World Energy Outlook 2011*؛ الوكالة الدولية للطاقة، باريس، ٢٠١١.

جيم-٥- التطبيقات غير الكهربائية

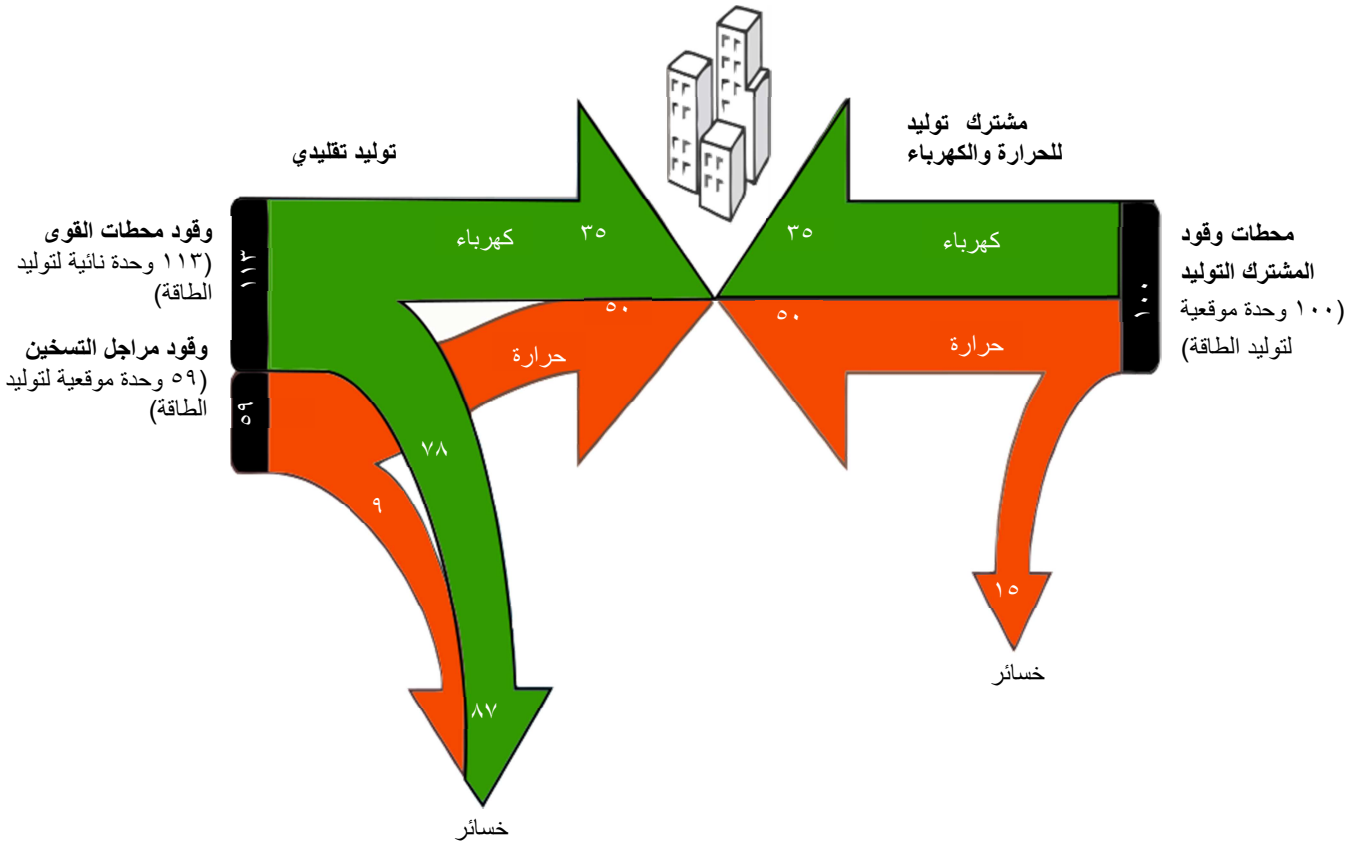
٦٤- تشمل التطبيقات غير الكهربائية إنتاج الهيدروجين للقيام، أولاً، بتعزيز موارد النفط الرديئة الجودة من قبيل الرمال النفطية في حين يتم التعويض عن انبعاثات الكربون المرتبطة بإعادة تشكيل الميثان البخاري؛ وثانياً، دعم إنتاج أنواع الوقود السائلة الاصطناعية على نطاق واسع باستخدام الكتل الحيوية أو الفحم أو سائر مصادر الكربون؛ وثالثاً، لاستخدامه مباشرة كوقود للسيارات، لا سيما السيارات الخفيفة الكهربائية الهجينة العاملة بخلايا وقود الهيدروجين. ويمكن أيضاً استخدام الطاقة النووية في الصناعة النفطية لاستخراج القار باستخدام النضّ الجاذبي بمساعدة البخار أو تسخين الصخر النفطي.

٦٥- ويعكس الشكل جيم–٥ مزايا التوليد المشترك للكهرباء والحرارة، ويمكن من الناحية المبدئية تطبيق الشكل على تطبيقات غير كهربائية أخرى من قبيل تحلية مياه البحر وإنتاج الهيدروجين. وهناك في الوقت الحاضر ٧٩ مفاعلاً تعمل على نمط التوليد المشترك، ويبدو أنه من الممكن توسيع نطاق تطبيقات هذه التكنولوجيا. وكلما كان من الممكن، أكثر فأكثر، تنسيق تطوير محطات القوى النووية وما يقع في محيطها من مرافق صناعية وغيرها بحيث يمكن للمرافق الأخرى أن تستغل الحرارة المولّدة داخل محطات القوى النووية، كلّما تضاعفت الفائدة من محطة القوى وكلّما زاد مستوى الربحية الناتج عن تشغيلها. وفضلاً عن ذلك، ففي المناطق التي تتوافر فيها مياه البحر وتندر فيها المياه العذبة، يمكن لتحلية مياه البحر أن توفّر، في آن معاً، مياه الشرب ومياه صناعية بخسة الكلفة ناتجة عن محطة القوى النووية نفسها.



	٢٠١٠	٢٠٢٠ فعالية	٢٠٢٠ مزيج	٢٠٢٠ إمداد	٢٠٣٠ فعالية	٢٠٣٠ مزيج	٢٠٣٠ إمداد	٢٠٤٠ فعالية	٢٠٤٠ مزيج	٢٠٤٠ إمداد	٢٠٥٠ فعالية	٢٠٥٠ مزيج	٢٠٥٠ إمداد
الحد الأدنى	٣٧٦	٤٠٠	٤٢٢	٥٠٨	٣٤١	٣٩٠	٤٥٦	١٩٨	٢٤٨	٣١٤	١١٣	١٦٤	٢٣١
الحد الأقصى	٣٧٦	٥٤٢	٥٤٤	٥٤٣	٧٩٧	٨٠٢	٧٩٩	١١٣٤	١٢٣٢	١٢٣٠	١٧٢٥	١٨٦٦	٢١٨٥
القيمة الوسطية	٣٧٦	٤١٢	٤٧٣	٥٣٩	٤١٠	٦١١	٧٨٨	٣٧٩	٧٧٢	١٢٠٦	٥١٤	١١٧١	٢٠٧٠

الشكل جيم–٤. تطوّرات القوى النووية على نطاق مجموعات التقييم العالمي للطاقة GEA-S الخاصة بالإمداد، وGEA-E الخاصة بالفعالية، وGEA-M التي هي مزيج من المجموعتين الأخريين. (المصدر: التقييم العالمي للطاقة، ٢٠١٢).



الشكل جيم-٥ . وفورات الطاقة الأولية الناتجة عن التوليد المشترك بالمقارنة مع الإنتاج التقليدي المنفصل للطاقة.

دال- التحديات التي تواجه التوسّع النووي

دال-١- التمويل

٦٦- بالمقارنة، بشكل خاص، مع محطات القوى العاملة بالغاز الطبيعي، يُعتبَر بناء محطات القوى النووية باهظَ الكلفة نسبياً ولكن تشغيلها رخيص نسبياً. وهذان النوعان من المحطات يتقاسمان هيكل التكاليف القائم على أساس تركيز المصروفات في البداية مع تكنولوجيات أخرى ذات انبعاثات كربونية منخفضة من قبيل القوى المائية، وقوى الرياح، والقوى الشمسية.

٦٧- وتترتب تحديات مالية على التكاليف الرأسمالية الأولية العالية للقوى النووية، وعلى طول الفترات الزمنية اللازمة لتخطيطها والترخيص بها وبنائها، وأيضاً على شدة تأثر تكاليفها بتقلبات أسعار الفائدة. وإذا افترضنا أن العوامل الأخرى كلها تتساوى من حيث الأهمية، فإن القوى النووية تشكل استثماراً أكثر جاذبية في حال توافر جهات تمويلية قادرة على انتظار العوائد الأطول أمداً (وهذه ميزة تتسم بها الحكومات أكثر من القطاع الصناعي الخاص) وحيثما تكون المخاطر المالية أدنى بفضل قدرة أفضل على التنبؤ بالطلب على الكهرباء وبأسعارها، وأيضاً بفضل استقرار هيكليات السوق ورسوخ الدعم السياسي.

٦٨- ولهذه الأسباب وغيرها، فإن معظم المفاعلات الـ٦٢ قيد التشييد حول العالم مموّلة مباشرةً بواسطة شركات توزيع مملوكة للحكومات تحظى بدعم حكومي راسخ، وبقدرة الاستفادة من الموارد، وبتصنيفات ائتمانية جيدة تتيح لها اقتراض الأموال بكلفة ميسورة وتسهّل عليها الاستفادة من السوق الائتمانية الدولية. ويشمل ذلك

البلدان التي يتركّز فيها التوسّع الحالي والمتوقع في ميدان القوى النووية، كالاتحاد الروسي وجمهورية كوريا والصين والهند.

٦٩- أمّا شركات توزيع الكهرباء الخاصة الضخمة والتي لديها ميزانيات راسخة، فتشارك في بناء وتمويل عدد أصغر من المفاعلات الجديدة، ويكون ذلك عادةً بصفة شركاء في ائتلافات. ويشكل مشروعا أولكيلووتو–٣ وفينوفويما في فنلندا مثالين عن نماذج تعاونية، تجمع ما بين تمويل الشركات وتمويل المشاريع، حيث يتم تقاسم الملكية والتمويل فيما بين البلديات وشركات التوزيع المحلية ومستهلكي الكهرباء الصناعيين والشركاء الاستراتيجيين.

٧٠- وتعكس التطورات التي تشهدها المملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية أهميةَ قابلية التنبؤ والاستقرار بالنسبة للمستثمرين من القطاع الخاص. وغالبية المفاعلات الجديدة المقترحة في الولايات المتحدة الأمريكية تقع في ولايات أمريكية لديها أسواق كهرباء منظّمة، حيث يمكن فوترة بعض التكاليف على عملاء شركات توزيع الكهرباء حتى خلال عملية التشييد وحيث يحسّن تنظيم القدرةَ على التنبؤ بأسعار الكهرباء. ولزيادة الاستثمارات الخاصة في القوى النووية بالمملكة المتحدة، يدرس المستثمرون آليات من قبيل 'عقود بشأن الفارق'، فيما تقترح الحكومة تشريعات، وكلا الأمرين يهدفان إلى تحسين القدرة على التنبؤ بالأسعار.

٧١- وبالنسبة للبلدان التي تستهل برامج نووية، تكون مصادر التمويل قائمةً، جزئياً أو كلياً، داخل البلدان المورّدة لمحطات القوى النووية. فتمويل المفاعلات الأربعة الجديدة في الإمارات العربية المتحدة يتم بواسطة حكومة دولة الإمارات واتحاد كوري ترأسه شركة كوريا للقوى الكهربائية. وفي تركيا، تتشارك تركيا والاتحاد الروسي في ملكية شركة المشروع، فيما يتكفل الجانب الروسي بالتمويل الكامل لجميع تكاليف التشييد والتشغيل والإخراج من الخدمة. وفي بنغلاديش وبيلاروس وفييت نام، تنص الاتفاقات أيضاً على أن معظم التمويل سيأتي من جانب الاتحاد الروسي.

٧٢- وأي من التوقعات الواردة في الشكل جيم–٣ من القسم جيم–٤ لا يتطلب من القوى النووية أن تتوسّع بشكل أسرع بكثير من بقية قطاع توريد الكهرباء ككل، لذلك فإن متطلبات الاستثمار لن تكون غير متماشية كثيراً مع مجمل القطاع. ومن الأرجح أن تحديات تعزيز الترتيبات التمويلية الحالية في المراكز التوسّعية مثل الاتحاد الروسي وجمهورية كوريا والصين والهند ستكون أقل من التحديات المرتبطة بضمان قابلية التنبؤ بالطلب على الكهرباء وبأسعارها، والدعم المالي الراسخ التي كلها عوامل هامة تشجّع الاستثمارات الخاصة في بعض البلدان الأخرى.

دال-٢- الأمان والموثوقية

٧٣- منذ آذار/مارس ٢٠١١، تركّزت المحادثات بشأن أمان محطات القوى النووية على الحاجة إلى تحديد وتطبيق الدروس المستفادة من الحادث الذي تعرّضت له محطة فوكوشيما داييتشي للقوى النووية.

٧٤- وقد عقدت الوكالة المؤتمر الوزاري بشأن الأمان النووي في حزيران/يونيه ٢٠١١ لمناقشة التقييم الأولي للحادث، والوقوف على الدروس التي ينبغي الاستفادة منها، والمساعدة على إطلاق عملية لتقوية الأمان النووي في كل أرجاء العالم، والبحث عن سبل لزيادة تعزيز التصدي للحوادث والطوارئ النووية. وقد أجرت عدة دول أعضاء استعراضات في إطار التقييمات الوطنية للأمان (ويطلق عليها في الكثير من الأحيان اسم "اختبارات الإجهاد")، وتعهّدت باستكمال أي تقييمات متبقية بسرعة وتنفيذ الإجراءات التصحيحية اللازمة.

٧٥- وتتمثل العبرة الأولية المستقاة من الحادث في ضرورة قيام الرقابيين ومشغلي محطات القوى النووية في العالم باستعراض وتعزيز ما يلي، حسب الاقتضاء: (أ) التدابير الوقائية لمواجهة المخاطر القصوى من قبيل التسونامي؛ (ب) وإمكانيات توفير الطاقة وسبل التبريد في حال التعرض لحوادث جسيمة؛ (ج) والتحضيرات لمواجهة الحوادث الجسيمة؛ (د) وقواعد تصميم المحطات، أي الافتراضات بشأن مجموعة حوادث محددة مسبقاً، التي ينبغي مراعاتها.

٧٦- وعلى الرغم من وجود دروس إضافية ينبغي استخلاصها، فقد وُضعت، على الصعيدين الوطني والدولي، خطط عمل تنطوي على تطبيق الدروس الأولية المستفادة من الحادث. وتُحدد خطة عمل الوكالة[١٦] بشأن الأمان النووي برنامجَ عمل يهدف إلى تقوية الإطار العالمي للأمان النووي. وهذه الخطة، التي أقرّها المؤتمر العام في أيلول/سبتمبر ٢٠١١، تنص على ١٢ إجراءً رئيسياً.

٧٧- وعلى الصعيد التشغيلي، يبقى مستوى أمان محطات القوى النووية عالياً في مختلف أنحاء العالم، وفقاً للمؤشرات التي جمعتها الوكالة والرابطة العالمية للمشغلين النوويين. ويبرز الشكل جيم-٦ العدد الإجمالي لحالات الإيقاف الطارئ غير المخطط لها، آليةً كانت أم يدوية، التي تحصل على مدى ٧٠٠٠ ساعة من التشغيل الحرج لمفاعلات القوى. ويرصد هذا المؤشر الأداء من خلال تقليص عدد حالات إغلاق المفاعلات التام غير المخطط له، ويشيع استخدامه للإشارة إلى تحقيق تقدّم في تحسين أمان المحطات. وكما ورد في الشكل جيم–٦، فقد شهد العقد المنصرم من الزمن تحقيق تحسينات هامة، حتى لو لم تكن هائلة بقدر تلك المحققة خلال تسعينات القرن الماضي. بيد أن الفجوة ما زالت واسعة بين الأفضل أداءً والأسوأ أداءً، بما يتيح المجال لمواصلة التحسين. والزيادة المسجلة في عام ٢٠١١ بالمقارنة مع عام ٢٠١٠ ترتبط بارتفاع عدد حالات الإيقاف الطارئ غير المخطط لها الناتجة عن الهزة الأرضية التي ضربت اليابان في آذار/مارس ٢٠١١.

دال-٣- نظرة عامة الجمهور

٧٨- إن تقبّل الجمهور للقوى النووية في البلدان والمناطق المختلفة يعكس نتائج المقارنة بين المزايا المتصوّرة والمخاطر المتصوّرة. فغداة حادث فوكوشيما داييتشي، أجريت عدة استبيانات آراء عامة، بما فيها استبيانين كبيرين شملا عدة بلدان وتضمّنا أسئلة متشابهة بشأن ما إذا كان الأفراد الذين تم استقصاء آرائهم يؤيدون القوى النووية أو يعارضونها[١٧] أو إذا كانت نظرتهم إلى القوى النووية سلبية أم إيجابية[١٨]. وتفاوتت معدلات القبول بشكل هائل بين مختلف البلدان والمناطق، وتراوحت من الرفض شبه التام في بعض البلدان إلى انخفاضات أولية مفاجئة في معدلات القبول تلتها حالات عودة إلى مستويات ما قبل فوكوشيما في بلدان

---

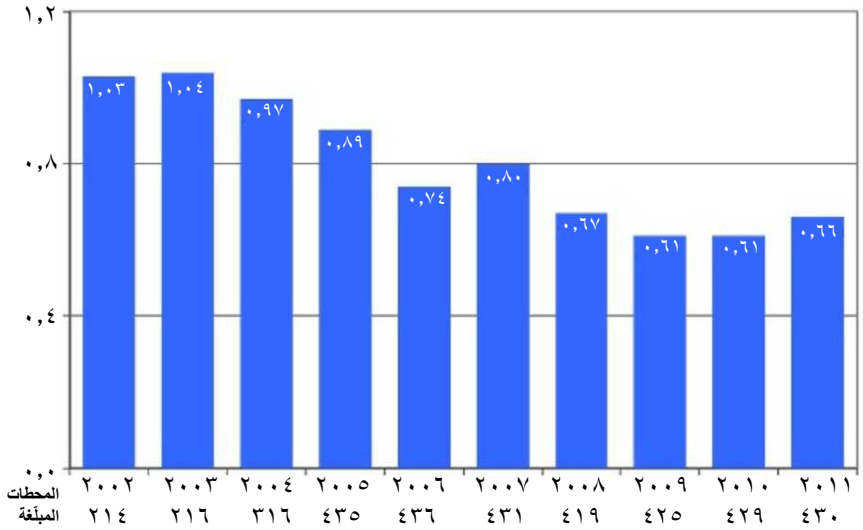
[١٦] http://www.iaea.org/newscenter/focus/actionplan/

[١٧] معهد إيبسوس للبحوث الاجتماعية. ٢٠١١ معارضة عالمية راسخة ضد القوى النووية. متاح [إلكترونياً] عبر الموقع التالي:

http://www.ipsos-mori.com/researchpublications/researcharchive/2817/Strong-global-opposition-towards-nuclear-power.aspx

[١٨] غالوب. ٢٠١١ أثر الزلزال الياباني على وجهات النظر بشأن الطاقة النووية: نتائج استبيان آراء فوري لمعهد غالوب أجري في ٤٧ بلداً بواسطة الرابطة العالمية للمعاملات في المجال النووي ومعهد غالوب الدولي. متاح [إلكترونياً] عبر الموقع التالي: http://www.nrc.co.jp/report/pdf/110420_2.pdf. [تمت زيارة الموقع في ٢٠١٢/٤/٢٦].

أخرى[١٩]. وفي بلدان عديدة لديها مفاعلات قيد التشغيل، تمخّضت استبيانات الآراء عن تفاوتات في الآراء بشأن المفاعلات القائمة، التي يُنظر إليها بشكل إيجابي، والمفاعلات الجديدة، التي ينظر إليها بشكل أقل إيجابيةً.



الشكل جيم-٦ . العدد الإجمالي لحالات الإيقاف الطارئ غير المخطط لها، آليةً كانت أم يدوية، التي تحصل على مدى ٧٠٠٠ ساعة من التشغيل الحرج لمفاعل القوى. المصدر: الوكالة الدولية للطاقة الذرية (نظام المعلومات عن مفاعلات القوى).

٧٩- وتسلط نتائج الاستقصاءات الضوء على أهمية توفير معلومات شفافة ومتاحة بشأن عواقب الحادث والتحضيرات للحوادث المستقبلية وجميع المخاطر والمزايا المرتبطة بالقوى النووية وبغيرها من خيارات الطاقة. ومن المهم أيضاً العمل بشكل دؤوب على إشراك أصحاب المصلحة، بما في ذلك الحكومات المحلية، وخدمات الطوارئ، والرقابيين، والاتحادات، والهيئات المجتمعية. وأخيراً، من الجوهري تحسين فهم الجمهور للإشعاعات ولحالات التعرض الإشعاعي الشائعة في الحياة اليومية، وذلك من أجل ضمان صورة متوازنة عن الآثار الصحية الناتجة عن القوى النووية.

دال- ٤- التصرف في الوقود المستهلك والنفايات والتخلص منها

٨٠- كما ورد بإيجاز في القسم باء–٤، لا تتوافر حالياً أي مرافق عاملة حالياً للتخلص من النفايات القوية الإشعاع، وبالتالي فإن أرصدة الوقود المستهلك تتزايد. ويتم، في البداية، خزن جميع الوقود المستهلك تحت الماء في أحواض الخزن القائمة في مرافق المفاعلات لفترات تتراوح بين ٩ أشهر وعدة عقود، رهناً بإمكانيات الخزن التي تتمتع بها هذه الأحواض. وفي حال تقرّر إعادة معالجة الوقود، يتم نقله إلى مرفق لإعادة المعالجة وخزنه هناك ضمن أحواض خزن مؤقتة قبل تلقيمه في عملية إعادة المعالجة. أمّا الوقود غير المعدّ لإعادة المعالجة، فيبقى مخزوناً في أحواض الخزن الخاصة بالمفاعل الأصلي أو يتم نقله إلى مرافق لخزن الوقود منفصلة 'بعيداً عن المفاعل'. وعلى الرغم من هذه التسمية، يجوز لمرافق الخزن 'بعيداً عن المفاعل' أن تكون جزءاً من موقع المفاعل أو أن تقام في مواقع مخصصة أخرى. وهناك في الوقت الحاضر حوالي ١٢٠ مرفقا تجارياً قيد التشغيل

[١٩] معهد إيبسوس للبحوث الاجتماعية. ٢٠١٢ بعد فوكوشيما؛ الرأي العالمي بشأن سياسات الطاقة. متاح [إلكترونياً] عبر الموقع التالي: http://www.ipsos.com/public-affairs/sites/www.ipsos.com.public-affairs/files/Energy%20Article.pdf

لخزن الوقود المستهلك بعيداً عن المفاعل في جميع أنحاء العالم، وغالبية هذه المرافق هي مرافق خزن جاف واقعة ضمن مواقع المفاعلات.

٨١- ويكمن التحدّي في تسريع التقدم باتجاه بناء مرافق للتخلص من النفايات القوية الإشعاع وتوسيع الخزن بعيداً عن المفاعل لاستيعاب أرصدة الوقود المستهلك المتزايدة وأزمنة الخزن الممتدة الوارد وصفها في القسم باء–٤. والبلدان التي حققت أكبر قدر من التقدم على صعيد التخلص النهائي هي السويد وفرنسا وفنلندا، حيث يتوقع أن يبدأ تشغيل المرافق في الفترة ٢٠٢٠–٢٠٢٥. أمّا بالنسبة لسائر البلدان الأوروبية، وكما أشير إليه في القسم باء–٤، فقد وافق مجلس الاتحاد في تموز/يوليه ٢٠١١ على توجيهٍ فرض على جميع البلدان الأعضاء في الاتحاد الأوروبي إقامة برامج وطنية تعنى بالتصرف في الوقود المستهلك والنفايات المشعة وتقديم التقارير بشأن التقدم المحرز إلى المفوضية الأوروبية بحلول شهر آب/أغسطس ٢٠١٥ ومرة كل ثلاث سنوات بعد ذلك.

دال-٥- العلاقة بين الشبكات الكهربائية وتكنولوجيا المفاعلات

٨٢- من المعتبر عموماً أن الحجم الأقصى لمحطة قوى نووية جديدة يجب أن يناهز ١٠٪ من قدرة الشبكة القائمة، وذلك بغية تفادي مشاكل استقرار الشبكة. وشبكات توزيع الكهرباء في اثني عشر بلداً من أصل البلدان التسعة والعشرين التي تدرس أو تخطط لاستخدام القوى النووية هي ذات قدرة لا تتعدّى ٥ غيغاواط(كهربائي)، ممّا يجعلها، بناء على المبدأ الإرشادي المرتكز على نسبة ١٠٪، أصغر من أن تستوعب الغالبية العظمى من تصاميم المفاعلات المعروضة حالياً من دون الاضطرار إلى تحسين التواصلات فيما بين شبكات التوزيع الدولية. وعلى الرغم من أن العمل جارٍ على تطوير تصاميم عديدة ذات قدرة أدنى من ٦٠٠ ميغاواط(كهربائي)، إلاّ أن توافرها تجارياً محدود. كما أن القضايا المتصلة بالشبكات قد تحدّ أيضاً الخيارات التكنولوجية المتاحة لبلدان لديها شبكات تقلّ قدرتها عن ١٠ غيغاواط(كهربائي).

هاء- تطوّر تكنولوجيا المفاعلات ودورة الوقود

هاء-١- مفاعلات الماء الخفيف (LWRs)

٨٣- تهيمن مفاعلات الماء الخفيف على عمليات التشييد الجديدة. أربع وخمسون وحدة من أصل اثنتي وستين وحدة قيد التشييد حالياً هي مفاعلات الماء الخفيف.

٨٤- وتضم المفاعلات الستة والعشرون قيد التشييد في الصين المفاعل الأوروبي العامل بالماء المضغوط، ومفاعل وستينغهاوس AP-1000، وتصميمات مفاعل الماء المضغوط المحلية من قبيل تصميمات CNP-600 و CPR-1000 وCAP-1400. كما أنشأت الشركة الوطنية النووية الصينية محطة بتصميم CNP-1000 مستعينة بالخبرات المكتسبة من تصميم وتشييد وتشغيل محطتي كينشان Qinshan ودايا باي Daya Bay للقوى النووية. وبدأت الوحدتان الأوليان تشغيلهما التجاري في ٢٠١٠ و٢٠١١ في لينغاو. ويعكف معهد شنغهاي لبحوث وتصميمات الهندسة النووية على إنشاء محطة خاملة متقدمة من نوع CAP-1400/1700 بالاستناد إلى تكنولوجيا نظم الأمان الخاملة المستخدمة في المفاعل طراز AP-1000.

٨٥- واليابان تُشغل ٤ مفاعلات متقدّمة تعمل بماء مغلي وقد كان بصدد تشييد مفاعلين إضافيين حتى تاريخ وقوع حادث محطة فوكوشيما دايتشي للقوى النووية. ومنذئذ عُلقت أنشطة التشييد إلى أجل غير مسمّى. ولدى اليابان برنامج لإنشاء مفاعل ماء مغلي متقدّم من الجيل الثاني يعمل بقدرة ١٦٣٨ ميغاواط (كهربائي) يُتوقع أن

يسفر عن وفورات كبيرة مقارنة بالمفاعلات المتقدّمة الراهنة التي تعمل بماء مغلي. وكان متوقع أن يبدأ العرض التجاري للجيل الثاني من المفاعلات المتقدّمة التي تعمل بماء مغلي في النصف الثاني من ٢٠١٠. ولدي اليابان أيضا برامج لإنشاء مفاعل ماء مغلي متقدّم عالي الأداء طراز (HP-ABWR) ومفاعل متقدم عالي الأداء يعمل بالماء المضغوط طراز (HP-APWR). وكلاهما يعمل بقدرة ١٨٠٠ (ميغاواط كهربائي). ويجري العمل أيضاً على تطوير نسخة أوروبية من المفاعل APWR ويشار إليها بلفظة EU-APWR، وستخضع للتقييم بغية تحديد مدى امتثالها لمتطلبات المرافق الأوروبية.

٨٦- وفي جمهورية كوريا، يجري تشغيل ١١ وحدة من مفاعلات القوى المحسنة على النحو الأمثل (OPR1000) ووحدة واحدة هي قيد التشييد. واستناداً إلى تصميم مفاعلات OPR1000، طوّرت شركة كوريا للهيدرولوجيا والقوى النووية مفاعل قوى متقدّم APR1000 وآخر تحت تسمية APR1400 قصد تحقيق مزيد من الوفورات الكبيرة. ويجري تشييد وحدات APR1400 في شين–كوري٣ و٤ ومن المزمع تشييدها في شين–أولشين ١ و٢ وفي شين–كوري ٥ و٦. وثمة طلب من الإمارات العربية المتحدة على أربع وحدات من مفاعل طراز APR1400. ويجري العمل على تطوير نسخة أوروبية من المفاعل APR1400 ويشار إليها بلفظة EU-APR1400، وستخضع للتقييم بغية تحديد مدى امتثالها لمتطلبات المرافق الأوروبية. وبدأت العمل التصميمي بشأن مفاعل طراز +APR، وهو مفاعل ماء مضغوط متقدّم يعمل بقدرة ١٥٠٠ (ميغاواط كهربائي).

٨٧- وفي فرنسا، قامت مجموعة شركات أريفا للقوى النووية (AREVA) بتصميم المفاعل الأوروبي الذي يعمل بالماء المضغوط البالغة قدرته ١٦٥٠ ميغاواط (كهربائي)، الذي يفي بمتطلبات المرافق الأوروبية. وأربعة منها هي قيد التشييد في كل من الصين وفرنسا وفنلندا. وفي إطار الشراكة مع شركة E.ON، تعكف شركة أريفا على وضع تصميم لمفاعل الماء المغلي طراز KERENA بقدرة ١٢٥٠ ميغاواط (كهربائي)، وهو مفاعل ماء مغلي مزوّد بنظم أمان خاملة، وفي إطار مشروع مشترك مع شركة Mitsubishi Heavy Industries، تعكف شركة أريفا على وضع تصميم لمفاعل تحت مسمّى ATMEA-1 بقدرة ١١٥٠ ميغاواط (كهربائي)، وهو مفاعل ماء مضغوط متقدّم مزوّد بنظم أمان خاملة.

٨٨- واستحدثت شركة وستينغهاوس في الولايات المتحدة الأمريكية تصميم لمفاعل AP-1000، الذي تحصّل على شهادة تصديق على التصميم في ٢٠٠٦. ويجري حالياً تشييد أربع وحدات من هذا المفاعل في موقعي سانمن وهايانغ بالصين. وتعكف الهيئة الرقابية النووية الأمريكية على استعراض كلاً من المفاعل المتقدّم العامل بماء مغلي التابع لشركة GE-Hitachi للطاقة النووية والمفاعل المتقدّم العامل بماء مغلي التابع لشركة Toshiba لتجديد التصديق على تصميمهما. كما تستعرض كل من المفاعل الأوروبي-الأمريكي العامل بالماء المضغوط لشركة أريفا، والمفاعل المتقدم العامل بالماء المضغوط التابع لشركة Mitsubishi والمفاعل المتقدّم العامل بالماء المغلي التابع لشركة GE-Hitachi للطاقة النووية من أجل التصديق على تصاميمها.

٨٩- وفي الاتحاد الروسي، تعكف شركة Atomenergoproekt/Gidropress على تصميم محطات تطورية تضم مفاعلات مبردة ومهدأة بالماء تعمل بقوة تتراوح بين ٣٠٠ و١٨٠٠ ميغاواط (كهربائي). ويجري تشييد وحدتين من مفاعلات طراز WWER-1000 (V-320) وخمس وحدات من طراز WWER-1200 (NPP-2006). وثمة وحدتان من طراز WWER-1000 (V-320) قيد التشغيل في الصين (تيانوان ١ و٢)، واثنتان في الجمهورية التشيكية (تيميلين ١ و٢) وواحدة في جمهورية إيران الإسلامية.

هاء-٢- مفاعلات القوى الصغيرة والمتوسطة الحجم

٩٠- ويجري حالياً تشغيل ١٣١ مفاعلاً من المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم في ٢٦ بلداً، بقدرة إجمالية تبلغ ٥٨,٩ غيغاواط (كهربائي). ومن بين المفاعلات الاثني وستين قيد التشييد، ١٤ مفاعلاً هي مفاعلات صغيرة ومتوسطة الحجم. وثمة نحو ٤٥ مفهوماً ابتكارياً بشأن المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم في مرحلة من مراحل البحث والتطوير.

٩١- وتعكف الأرجنتين على إنشاء مفاعل CAREM، وهو تصميم مفاعل ماء خفيف مضغوط صغير متكامل تقع جميع مكوّناته الرئيسية داخل وعاء المفاعل وبقدرة توليد كهرباء تتراوح بين ١٥٠ و٣٠٠ ميغاواط (كهربائي). وقد بدأت أعمال الحفر الموقعي في أيلول/سبتمبر ٢٠١١ لتشييد محطة نموذجية CAREM بقدرة ٢٧ ميغاواط (كهربائي).

٩٢- وفي فرنسا، تعكف شركة DCNS على إنشاء مفاعل فلكسبلو Flexblue، وهو تصميم مفاعل نمطي صغير تحت الماء بقدرة تتراوح بين ٥٠ و٢٥٠ميغاواط (كهربائي) يستند إلى المفاعل الفرنسي الذي يعمل بالدفع البحري والمبرد بالماء.

٩٣- ويتمتّع تصميم المفاعل المتقدم النموذجي المتكامل النظم التابع لجمهورية كوريا بقدرة حرارية تبلغ ٣٣٠ ميغاواط (حراري) وهو مخصص لتحلية مياه البحر. ومن المتوقع أن توافق لجنة الأمان النووي الوطنية على التصميم المعياري قبل نهاية ٢٠١٢.

٩٤- ويعكف الاتحاد الروسي على تشييد مفاعلين مركّبين على سفينة من طراز KLT-40S بقدرة ٣٥ ميغاواط (كهربائي) لاستخدامهما للتوليد المشترك للكهرباء وحرارة المعالجة. ويعتمد المفاعل طراز KLT-40S على محطة الدفع البحري التجارية KLT-40 وهو نسخة متقدمة عن المفاعل الأصلي الذي يستخدم كمحرّك لكاسحات الجليد النووية. وقد بلغ المفاعل ABV-6M العامل بقدرة ٨,٦ ميغاواط(كهربائي) مرحلة التصميم التفصيلي. ويُعد هذا الأخير مفاعل ماء خفيف مضغوط متكامل يدور فيه المبرد الابتدائي دوراناً طبيعياً. أمّا المفاعل RITM-200 بقدرة ٨,٦ ميغاواط(كهربائي)، وهو حالياً في مرحلة التصميم التفصيلي، فهو مفاعل متكامل ذو دوران مستحثّ لكاسحات الجليد النووية.

٩٥- وفي الولايات المتحدة الأمريكية أربعة مفاعلات ماء مضغوط متكاملة صغيرة ومتوسطة الحجم قيد التطوير وهي: المفاعل mPower، والمفاعل NuScale، ومفاعلات وستنغهاوس الصغيرة والمتوسطة، ومفاعل هولتك النمطي المأمون ضمنياً بقدرة ١٤٠ ميغاواط(كهربائي) Hi-SMUR 140. ويتكون المفاعل mPower ممّا بين وحدتين وست وحدات نمطية قدرة الواحدة منها ١٨٠ ميغاواط(كهربائي). ومن المزمع تقديم طلب التصديق على تصميمه إلى الهيئة الرقابية النووية للولايات المتحدة في عام ٢٠١٣. أمّا شركة NuScale Power، فتتطلع إلى إنتاج محطة قوى نووية مكوّنة ممّا يصل إلى ١٢ وحدة نمطية قدرة الواحدة منها ٤٥ ميغاواط(كهربائي). ومن المزمع أيضاً تقديم طلب التصديق على تصميمها في عام ٢٠١٣. ويقوم مفاعل وستينغهاوس الصغير على أساس تصميم مفاهيمي بقدرة ٢٢٥ ميغاواط(كهربائي) ينطوي على نظم أمان خاملة ومكوّنات أثبتت فعاليتها في المفاعل AP-1000. وبدأ أيضاً العمل على تطوير تصميمٍ أحدث لمفاعل صغير – مفاعل هولتك النمطي المأمون ضمنياً (المفاعل Hi-SMUR 160) – وهو مفاعل بقدرة ١٦٠ ميغاواط(كهربائي) يعتمد على الحَمْل الطبيعي للحرارة، ممّا يلغي الحاجة إلى مضخاتٍ لسوائل التبريد والاعتماد على مصادر خارجية للكهرباء.

هاء-٣- مفاعلات الماء الثقيل (HWR)

٩٦- ثمة ٤٧ مفاعلاً من مفاعلات الماء الثقيل قيد التشغيل و٥ قيد التشييد. وتأتي هذه المفاعلات على نوعين، وهما: النوع المجهّز بأنبوب ضغط والنوع المجهّز بوعاء مفاعل. وفيما عدا المفاعل أتوشا-١ في الأرجنتين، فإن جميع مفاعلات الماء الثقيل قيد التشغيل هي من النوع المجهّز بأنبوب ضغط. كما أن أربعة من المفاعلات الخمسة قيد التشييد – فيما عدا أتوشا-٢ – هي من النوع المجهّز بأنبوب ضغط.

٩٧- وفي كانون الثاني/يناير ٢٠١١، أكملت هيئة الأمان النووي الكندية عملية استعراض التصميم الممهّد للمشروع بشأن المفاعل ACR-1000، ليكون بذلك أول مفاعل قوى نووية متقدّم يخضع بالكامل لمثل هذا الاستعراض بواسطة هيئة الأمان النووي الكندية. وينطوي المفاعل ACR-1000، الذي تعمل على تطويره شركة كاندو للطاقة، على مستوى عالٍ جداً من التوحيد القياسي للمكوّنات وعلى استخدام يورانيوم طفيف الإثراء للتعويض عن استخدام الماء الخفيف كمبرّد أساسي. وتعكف هيئة الأمان النووي الكندية حالياً على إجراء الاستعراض الممهّد للمشروع بشأن تصميم المفاعل كاندو–٦ المعزّز بقدرة ٧٠٠ ميغاواط(كهربائي). وتدأب شركة كاندو للطاقة أيضاً على تطوير مفاعل كاندو فائق الحرجية مبرّد بالماء.

٩٨- وفي الهند، طوّرت شركة القوى النووية الهندية المحدودة مفاعل ماء ثقيل تطوّري بقدرة ٧٠٠ ميغاواط(كهربائي). ويجري العمل حالياً على تشييد أربعة من هذه المفاعلات. وينكب مركز بهابها للبحوث الذرية على وضع اللمسات الأخيرة على تصميم مفاعل ماء ثقيل متقدم بقدرة ٣٠٠ ميغاواط(كهربائي) سيستخدم وقوداً مصنوعاً من الثوريوم، وينطوي على نظم أمان خاملة، وهو مهدّأ بالماء الثقيل ومبرّد بالماء الخفيف المغلي في أنابيب ضغط عمودية.

هاء-٤- المفاعلات المبرَّدة بالغاز

٩٩- ثمة ١٤ مفاعلاً متقدماً مبرداً بالغاز ومفاعل ماغنوكس ١ قيد التشغيل، وجميعها في المملكة المتحدة.

١٠٠- وفي الصين، بلغت محطة إيضاحية نمطية صناعية الحجم — المفاعل المرتفع الحرارة النمطي الحصوي القاع (HTR-PM) — مرحلة متقدمة من التطوير. وقد أنشئت الشركة المالكة لهذه المحطة، والعمل جارٍ على تصنيع المكوّنات من قبيل أوعية الضغط الخاصة بالنظام الأساسي، ومولّدات البخار، والمكوّنات الداخلية للمفاعل، ونفّاخات الهيليوم. وقد استكملت أعمال إعداد الموقع وسيبدأ صب الخرسانة فور الحصول على الموافقة من السلطات.

١٠١- وتعكف جمهورية كوريا على تطوير القدرات في ميدان إنتاج الهيدروجين من خلال مشروع تطوير الهيدروجين النووي وإيضاحه. ويجري التحضير لمشروع بحث وتطوير يهدف إلى تطوير التكنولوجيات الرئيسية لإنتاج الهيدروجين باستخدام المفاعل الفائق الحرارة. ويركز المشروع على الربط بين المفاعل الفائق الحرارة وبين عملية التفاعل الكيميائي الحراري بين الكبريت واليود؛ والبيانات الخاصة بالفلز المرتفع الحرارة ومواد الغرافيت؛ وعملية التفاعل بين الكبريت واليود في ظل ضغط مرتفع؛ وتصنيع وتأهيل الوقود النظيري الثلاثي الهيكل؛ وطرائق التشفير والتصميم الحاسوبيين.

١٠٢- وفي جنوب أفريقيا، تم التخلي عن مشروع المفاعل النمطي الحصوي القاع في عام ٢٠١٠. وما زالت شركة المفاعل النمطي الحصوي القاع (الخاصة) المحدودة قائمةً وستبقى كذلك حتى عام ٢٠١٣ على الأقل.

ويتلخّص دورها حالياً بالحفاظ على الملكية الفكرية ذات الصلة بالمفاعل وصوغ الاستراتيجيات المناسبة لإشراك العملاء والمورّدين مستقبلاً.

١٠٣- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، أعلن ائتلاف المحطة النووية من الجيل المقبل المحدود، في شباط/فبراير ٢٠١٢، اختياره لمفهوم المفاعل المرتفع الحرارة المبرد بالغاز الخاص بشركة أريفا باعتباره أفضل تصميم للمحطات النووية من الجيل المقبل. وتنوي الشركات الأعضاء في الائتلاف أن تتعاون فيما يخص تصميم تكنولوجيا المفاعلات المرتفعة الحرارة المبردة بالغاز وبنائها وتشغيلها. وينطوي مفهوم شركة أريفا على مفاعل مرتفع الحرارة مبرد بالغاز يعمل بوقود موشوري الشكل بقدرة ٦٢٥ ميغاواط(حراري) لكل وحدة نمطية.

هاء-٥- المفاعلات السريعة

١٠٤- ثمة مفاعلان سريعان قيد التشغيل وهما المفاعل التجريبي السريع الصيني بقدرة ٢٠ ميغاواط(كهربائي)، والمفاعل BN-600 الروسي بقدرة ٥٦٠ ميغاواط(كهربائي). والعمل جارٍ على تشييد مفاعلين آخرين من هذا النوع في الهند والاتحاد الروسي.

١٠٥- والمفاعل التجريبي السريع الصيني هو مفاعل سريع مبرّد بالصوديوم من النوع الحوضي. وتعكف الصين أيضاً على تطوير المفاعل CFR-1000، وهو كناية عن محطة إيضاحية لمفاعل سريع مبرد بالصوديوم بقدرة ١٠٠٠ ميغاواط(كهربائي) يعمل بوقود موكس.

١٠٦- وقامت المفوضية الأوروبية مؤخراً، ضمن إطار الخطة الأوروبية الاستراتيجية لتكنولوجيا الطاقة، برسم طريق تكنولوجي ثنائي المسارات لتطوير المفاعلات السريعة. ويؤدي المسار الأول إلى مفاعل سريع مبرد بالصوديوم، فيما يؤدي المسار الثاني إلى مفاعلات سريعة مبرّدة بالرصاص ومبرّدة بالغاز كخيارات على الأمد الأطول. ويتوقع برنامج الإيضاح والتنفيذ ذو الصلة — أي المبادرة الصناعية النووية المستدامة — تطوير النموذج الأولي للمفاعل السريع المبرّد بالصوديوم المعروف باسم ASTRID والمحطتين الإيضاحيتين: ALFRED للتكنولوجيات المبرّدة بالرصاص، وALLEGRO للتكنولوجيات المبرّدة بالغاز. ويلقى البرنامج الدعم أيضاً من مرفق تشعيع طيفي سريع دون حرجي يسمّى MYRRHA، في بلجيكا.

١٠٧- وتعكف الهند على تشييد مفاعل نموذجي سريع التوليد بقدرة ٥٠٠ ميغاواط(كهربائي) في كالباكام، حيث يتوقع أن يوضع في الخدمة في أوائل عام ٢٠١٣. ويتوقع البرنامج الهندي تشييد عدة وحدات من المفاعل المذكور في الفترة ٢٠٢٠–٢٠٢٥، كما يتوقّع، لفترة ما بعد عام ٢٠٢٥، تطوير مفاعلات سريعة معدنية الوقود وذات معدلات توليد أعلى.

١٠٨- وانكبّت اليابان على تطوير المفاعل الياباني السريع المبرد بالصوديوم بقدرة ١٥٠٠ ميغاواط(كهربائي) ضمن إطار مشروعها الخاص بتكنولوجيا دورة المفاعلات السريعة، فيما تنفّذ جمهورية كوريا برنامج بحث وتطوير واسع النطاق دعماً للمفاعل الكوري المتقدم المبرد بفلز سائل بقدرة ٦٠٠ ميغاواط(كهربائي).

١٠٩- ويعكف الاتحاد الروسي على بناء المفاعل BN-800 في الموقع الذي يتم فيه حالياً تشغيل المفاعل BN-600. ومن المتوقع أن تبدأ مرحلة بدء تشغيل المفاعل BN-800 في عام ٢٠١٤. وقد استهل الاتحاد الروسي مؤخراً برنامجاً جديداً يرمي إلى تطوير مفاعل سريع متقدم مبرد بالصوديوم (المفاعل BN-1200)، والمفاعل

BREST-OD-300 المبرّد بالرصاص، والمفاعل السريع المُبرَّد بالرصاص والبزموث (SVBR-100)، ودورات الوقود ذات الصلة، والمفاعل البحثي السريع المبرّد بالصوديوم المتعدد الأغراض الجديد (MBIR).

هاء-٦- التطوّرات في تكنولوجيا دورة الوقود النووي والتكنولوجيا الداعمة لها

١١٠- يجري حالياً استقصاء تكنولوجيات جديدة مائية وغير مائية لإعادة معالجة الوقود المستهلك الناتج عن مفاعلات الماء الخفيف، ممّا يتيح تقليصاً ملموساً في كميات النفايات المولّدة. ولاختبار التكنولوجيات الجاري تطويرها وتحقيق المستويات العليا لاستخدامها، يجري العمل على إقامة مرافق إيضاحية صناعية تجريبية.

١١١- وللتخلص من النفايات القوية الإشعاع، يتركّز العمل التطويري على استقصاء مواقع ملائمة وحواجز اصطناعية معيّنة، وعلى إجراء تقييمات للأمان وتطبيق تكنولوجيا تغليف النفايات داخل كبسولات والتخلص منها.

واو- التعاون في ميدان توسيع الطاقة النووية وتطوير التكنولوجيات

١١٢- وينسّق المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات (محفل الجيل الرابع)، من خلال نظام قائم على عقود واتفاقات، أنشطة البحوث بشأن النظم الستة للطاقة النووية من الجيل المقبل التي اختيرت في عام ٢٠٠٢ وهي مبينة في *خارطة الطريق لتكنولوجيا الجيل الرابع من نظم الطاقة النووية*. وهذه النظم الستة هي المفاعلات السريعة المبرّدة بالغاز، والمفاعلات السريعة المبرّدة بالرصاص، ومفاعلات الملح المصهور، والمفاعلات السريعة المبرّدة بالصوديوم، والمفاعلات فوق الحرجة المبرّدة بالماء، والمفاعلات الفائقة الحرارة. وهي تمثل مجموعة من المفاعلات والتكنولوجيات المتعلقة بتحويل الطاقة ودروة الوقود. واستناداً إلى درجة النضج التقني لكل نظام على حدة، من المتوقع أن تكون هذه النظم متاحة لعرضها تجارياً في الفترة المتراوحة بين ٢٠١٥ و٢٠٣٠ أو بعد ذلك. ويضم محفل الجيل الرابع في الوقت الراهن ١٣ عضواً.[٢٠]

١١٣- ولدى مشروع الوكالة الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (مشروع إنبرو) ٣٧ عضواً.[٢١] ولديه أربعة مشاريع. وهي (١) استراتيجيات وطنية طويلة الأمد للطاقة النووية، و(٢) سيناريوهات عالمية للطاقة النووية، و(٣) ابتكارات تقنية ومؤسساتية، و(٤) السياسة العامة ومحفل إنبرو للتحاور.

١١٤- وينسق مشروع إنبرو والمحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات أنشطتهما بواسطة خطة عمل مشتركة تشمل التعاون في المجالات التالية: تبادل المعلومات العامة، وإرساء أوجه التآزر في نُهج التقييم (بالتركيز على مقاومة الانتشار، وتعزيز الأمان والاقتصاد)، والتعاون في إجراء دراسات مواضيعية (بما في ذلك، من بين جملة أمور، التطبيقات غير الكهربائية للطاقة النووية، والمفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم، والموارد البشرية)، إرساء حوار عالمي بين حائزي التكنولوجيا النووية ومستخدميها وتنظيم أنشطة مشتركة

[٢٠] الاتحاد الروسي والأرجنتين والبرازيل وجمهورية كوريا وجنوب أفريقيا وسويسرا والصين وفرنسا وكندا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية واليابان واليوراتوم.

[٢١] الاتحاد الروسي والأرجنتين والأردن وأرمينيا وأسبانيا وإسرائيل وألمانيا وإندونيسيا وأوكرانيا وإيطاليا وباكستان والبرازيل وبلجيكا وبلغاريا وبولندا وبيلاروس وتركيا والجزائر والجمهورية التشيكية وجنوب أفريقيا وسلوفاكيا وسويسرا وشيلي والصين وفرنسا وفيت نام وكازاخستان وكندا وماليزيا ومصر والمغرب والهند وهولندا وجمهورية كوريا والولايات المتحدة الأمريكية واليابان، والمفوضية الأوروبية.

بينهم، مثل حلقة العمل بشأن جوانب الأمان المتّصلة بالمفاعلات السريعة المبردة بالصوديوم، المشتركة بين الوكالة ومشروع إنبرو والمحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات، التي عُقدت في تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١١. وتشارك الوكالة في إطار خطة العمل المشتركة، بصفة مراقب في الفريق المكلف بوضع سياسات المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات وبصفة عضو في الفرق العاملة التابعة لهذا المحفل.

١١٥- وزادت عضوية الإطار الدولي للتعاون في مجال الطاقة النووية لتصل إلى ٣١ مشاركًا[٢٢] و٣٠ بلداً بصفة مراقب و٣ منظمات دولية بصفة مراقب، بما في ذلك الوكالة. ولدى هذا الإطار حالياً فريقان عاملان، أحدهما معني بتطوير البنى الأساسية والثاني معني بخدمات الوقود الموثوقة.

١١٦- وقد أطلق برنامج تقييم التصميمات المتعدد الجنسيات في ٢٠٠٦ من طرف الهيئة الرقابية النووية الأمريكية والهيئة الفرنسية للأمان النووي. وفي نيسان/أبريل ٢٠١٢، أصبحت عضوية هذا البرنامج تشمل الهيئات الرقابية الوطنية من ١١ بلداً [٢٣]. ويضطلع هذا البرنامج بحشد موارد الهيئات الرقابية النووية لهذه البلدان من أجل، أولاً، التعاون بشأن استعراضات الأمان المتعلقة بتصميمات تخص مفاعلات محدّدة وثانياً، استكشاف فرص لتنسيق الممارسات الرقابية. ولدى هذا البرنامج خمسة أفرقة عاملة بشأن: التأهب والتصدي للطوارئ، ومفاعلات AP1000، والقوانين والمعايير الميكانيكية، والأجهزة الرقمية والتحكم الرقمي، والتعاون في مجال تفتيش الجهات البائعة.

---

[٢٢] الاتحاد الروسي والأرجنتين والأردن وأرمينيا وأستراليا واستونيا وألمانيا والإمارات العربية المتحدة وأوكرانيا وإيطاليا وبلغاريا وبولندا وجمهورية كوريا ورومانيا وسلوفينيا والسنغال والصين وعمان وغانا وفرنسا وكازاخستان وكندا والكويت وكينيا وليتوانيا والمغرب والمملكة المتحدة وهنغاريا وهولندا والولايات المتحدة الأمريكية واليابان.

[٢٣] الاتحاد الروسي وجمهورية كوريا وجنوب أفريقيا والصين وفرنسا وفنلندا وكندا والمملكة المتحدة والهند والولايات المتحدة الأمريكية واليابان .