IAEA
تسخير الذرة من أجل السلام

# مجلس المحافظين
# المؤتمـــــر العـــام

**GOV/INF/2008/10-GC(51)/INF/6**
Date: 20 August 2008

**General Distribution**
Arabic
Original: English

البند ١٣ من جدول الأعمال المؤقت للمؤتمر
(الوثيقة GC(52)/1)

# حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي

*تقرير من المدير العام*

**موجز**

- طلب المؤتمر العام، في القرارين GC(50)/RES/13 وGC(51)/RES/14، من الأمانة أن تقدم، كل سنتين، تقريراً شاملاً منفصلاً عن حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي، وذلك اعتباراً من عام ٢٠٠٨. وسيُقدَّم هذا التقرير، والمعلومات المستوفاة حسب الاقتضاء، كمرفق منفصل في وثيقة *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٩*.

**المحتويات**

موجز جامع ..... ١
مقدّمة ..... ١
حالة القوى النووية في الدول الأعضاء ..... ١
آفاق الاستخدام المستقبلي للقوى النووية ..... ٢
التحديات التي تواجه التوسّع النووي ..... ٢
ألف- مقدّمة ..... ٤
باء- الحالة الراهنة للقوى النووية ..... ٤
باء-١- استخدام الطاقة النووية ..... ٤
باء-٢- تكنولوجيا المفاعلات المتوافرة ..... ٧
باء-٣- الموارد البشرية ..... ١٠
باء-٤- أنشطة دورة الوقود ..... ١٠
باء-٥- التصرّف في النفايات المشعّة والإخراج من الخدمة ..... ١٢
باء-٦- القدرة الصناعية ..... ١٣
باء-٧- التطبيقات غير الكهربائية ..... ١٤
جيم- آفاق التطبيقات المستقبلية للطاقة النووية ..... ١٥
جيم-١- الآفاق في البلدان التي بدأت فعلاً باستخدام القوى النووية ..... ١٥
جيم-٢- الآفاق في البلدان التي تدرس إمكانية بدء استخدام القوى النووية ..... ١٦
جيم-٣- التعاون الإقليمي ..... ١٦
جيم-٤- الدوافع المحتملة لاستحداث قوى نووية ..... ١٧
جيم-٥- توقعات النمو في القوى النووية ..... ١٩
جيم-٦- التوقعات الخاصة بالتطبيقات غير الكهربائية والآفاق المستقبلية ..... ٢١
دال- التحديات التي تواجه التوسّع النووي ..... ٢٢
دال-١- أهم القضايا والاتجاهات المؤثرة على التوسّع النووي في المدى القريب ..... ٢٢
دال-١-١- الأمان والعولية ..... ٢٢
دال-١-٢- التنافسية الاقتصادية والتمويل ..... ٢٢
دال-١-٣- تصور عامة الجمهور ..... ٢٤
دال-١-٤- الموارد البشرية ..... ٢٤
دال-١-٥- التصرف في الوقود المستهلك والنفايات ..... ٢٥
دال-١-٦- النقل ..... ٢٥
دال-١-٧- مخاطر الانتشار، والأمن النووي ..... ٢٦
دال-١-٨- إرساء البنية الأساسية في البلدان النووية المستجدّة ..... ٢٦
دال-١-٩- العلاقة بين الشبكات الكهربائية وتكنولوجيا المفاعلات ..... ٢٧
دال-٢- القضايا الرئيسية التي تواجه التوسّع الطويل الأجل ..... ٢٧
دال-٢-١- استخدام الموارد المتاحة على نحو فعّال ..... ٢٨
دال-٢-٢- الابتكار في مجال تصميم المفاعلات ..... ٢٨
دال-٢-٣- الابتكارات في مجال دورة الوقود ..... ٢٩
هاء- تطور تكنولوجيا المفاعلات ودورة الوقود ..... ٢٩
هاء-١- التطوّرات في مجال تكنولوجيا المفاعلات النووية والتكنولوجيا الداعمة لها ..... ٢٩
هاء-١-١- التنمية التطورية ..... ٣٠
هاء-١-٢- الابتكارات مستقبلاً ..... ٣٣
هاء-٢- التطوّرات في تكنولوجيا دورة الوقود النووي والتكنولوجيا الداعمة لها ..... ٣٤
هاء-٢-١- التطوّرات في تكنولوجيا دورة الوقود ..... ٣٤
هاء-٢-٢- الابتكارات مستقبلاً ..... ٣٤
هاء-٣- التطبيقات غير الكهربائية ..... ٣٥
واو- التعاون المتعلق بتوسيع نطاق استخدام الطاقة النووية والتطوّر التكنولوجي ..... ٣٥

# حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي

*تقرير من المدير العام*

# موجز جامع

## مقدّمة

١- أعِدّ هذا التقرير استجابة للطلب الذي أعربت عنه الدول الأعضاء في القرارين GC(50)/RES/13 وGC(51)/RES/14 بأن تقدم الأمانة، كل سنتين، تقريراً شاملاً منفصلاً عن حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي، وذلك اعتباراً من عام ٢٠٠٨.

## حالة القوى النووية في الدول الأعضاء

٢- تُستخدم محطات القوى النووية في المقام الأول لتوليد الكهرباء. ويجري حالياً تشغيل ٤٣٩ مفاعلاً في ٣٠ بلداً، وتُسهم هذه المفاعلات بنحو ١٤ في المائة من حجم توليد الكهرباء في العالم. وقد شهدت حصة القطاع النووي من توليد الكهرباء في العالم انخفاضاً ضئيلاً في السنوات الأخيرة. ولكن الحجم الإجمالي لتوليد الكهرباء النووية يشهد تزايداً، لأن توافر المحطات ورفع قدراتها وإنشاء محطات جديدة يُعوّض عن الخسائر التي خلّفتها المحطات القديمة الجاري إغلاقها. ونظراً للمزايا الاقتصادية الكامنة في مواصلة تشغيل أي محطة بعد تسديد التكاليف الرأسمالية، وبفضل إجراء تقييمات دقيقة لإدارة عمر تشغيل المحطات، تم تمديد رخص تشغيل عدد من المفاعلات ٢٠ عاماً إضافية.

٣- وتعتبَر مفاعلات الماء الخفيف، وإلى حد بعيد، أكثر المفاعلات شيوعاً اليوم، تليها مفاعلات الماء الثقيل المضغوط والمفاعلات المبرّدة بالغاز. ورغم أن العمل يجري على استحداث مفاعلات سريعة منذ الخمسينات، فلا توجد في الوقت الراهن سوى محطات إيضاحية فقط.

٤- ويشهد أمان المرافق النووية وعوليتها تحسناً مطّرداً. واستطاع المشغّلون، بفضل الشبكات الراسخة المقامة بين البلدان التي لديها محطات قوى نووية قيد التشغيل، أن يتعلّموا من بعضهم البعض وأن يتصدّوا لمسائل مشتركة. وقد أتاحت الجهود الجارية مواصلة تعزيز ثقافة الأمان والإشراف الرقابي.

٥- والإمدادات المتوافرة حالياً من اليورانيوم تفي بالطلب على هذه المادة. وتكفي الإمكانات الحالية في ميدان الإثراء وتصنيع الوقود لتلبية الطلب المتوقع على مدى العقد المقبل من الزمن. وهناك أيضاً كمّ ضخم من الخبرات في مجال خزن الوقود المستهلك وإعادة معالجته، والتعامل مع النفايات العالية الإشعاع. أما قدرات إعادة المعالجة القائمة فهي كافية لتلبية الطلب الحالي. بيد أن معظم كميات الوقود المستهلك ما زالت تُخزَن لحين البت في السياسة المطلوب انتهاجها مستقبلاً، فإما إعادة معالجة هذا الوقود وإعادة تدويره، أو التخلص منه على أنه نفايات. ولا تتوافر حتى الآن أية مرافق للتخلص النهائي من النفايات.

٦- وهناك بلدان قليلة فقط تستخدم الطاقة النووية المدنية لأغراض غير إنتاج الكهرباء — بصورة أساسية لتحلية مياه البحر وتدفئة الأحياء السكنية — وحتى عندما يتم استخدامها لهذه الأغراض، فإن ذلك لا يكون إلا في نطاق محدود.

## آفاق الاستخدام المستقبلي للقوى النووية

٧- تتزايد بسرعة متطلبات الطاقة العالمية وحصة الكهرباء من مجمل استهلاك الطاقة، ويُتوقع أن تشهد مساهمة القوى النووية ارتفاعاً ملحوظاً. ومن أصل البلدان الثلاثين التي تستخدم حالياً القوى النووية لتوليد الكهرباء، ينوي ٢٤ بلداً السماح بتشييد محطات جديدة، أغلبها يدعم حالياً زيادة استخدام القوى النووية، حتى إن بعضها يقدّم حوافز لذلك. ويُتوقع أن تبني غالبية هذه البلدان مفاعلات ذات قدرة توليد تفوق ١٠٠٠ ميغاواط (كهربائي).

٨- وفضلاً عمّا تقدم، يبدي عدد متزايد من البلدان اهتمامه بالبدء في استخدام القوى النووية. ومن أصل أكثر من ٤٠ بلداً أبدت اهتماماً كهذا في السنوات الأخيرة، هناك ٢٠ بلداً يفكّر جدياً بتنفيذ برامج قوى نووية لتلبية احتياجاته من الطاقة، في حين أبدت البلدان الأخرى اهتمامها بفهم المسائل المرتبطة ببدء استخدام القوى النووية.

٩- وتشمل العوامل المحفّزة لارتفاع التوقعات الخاصة بالقوى النووية ما يلي: تنامي الطلب على الطاقة، والقلق بشأن أمن إمدادات الطاقة الوطنية، والتقلّب المتزايد في أسعار الوقود الأحفوري بأنواعه، والشواغل البيئية العالمية. ويبدو أن هذه العوامل هي ذاتها بالنسبة للبلدان التي توسع برامجها النووية القائمة وتلك الساعية إلى استحداث برامج على السواء.

١٠- وتشير التوقعات التي قدّمتها منظمات دولية مختلفة إلى نمو ضخم في استخدام القوى النووية. أما توقعات الوكالة فتشير إلى قدرة إجمالية عالمية على توليد الكهرباء نووياً تتراوح بين ٤٣٧ و٥٤٢ غيغاواط(كهربائي) بحلول عام ٢٠٢٠ وبين ٤٧٣ و٧٤٨ غيغاواط(كهربائي) بحلول عام ٢٠٣٠. وبناءً على كلا التوقعين المرتفع والمنخفض، يُتوقع أن تكون أكبر مساهمة في النمو على مدى السنوات العشرين المقبلة في البلدان التي لديها برامج قوى نووية قائمة. وتشوب جميع التوقعات، بما فيها تلك الصادرة عن الوكالة وغيرها، درجة عالية من عدم التيقّن.

١١- وربما شهد استخدام القوى النووية في تطبيقات غير توليد الكهرباء ارتفاعاً مستقبلياً فيما يخص تطبيقاتٍ مثل تحلية مياه البحر أو تدفئة الأحياء السكنية أو تأمين الحرارة اللازمة للمعالجة في التطبيقات الصناعية وتسييل الفحم، وإنتاج الهيدروجين. وقد ترتفع مساهمة القوى النووية في خفض انبعاثات غازات الدفيئة، بفضل مساهماتها غير المباشرة في قطاع النقل، كالسيارات والقطارات الكهربائية.

## التحديات التي تواجه التوسّع النووي

١٢- تتوقف آفاق نمو القوى النووية وتوسّعها على إمكانية مواجهة تحديات عديدة منها ما يلي:

- مواصلة بذل الجهود لتحقيق أمان المحطات النووية وعوليتها؛
- وتحسين التنافسية الاقتصادية؛
- واكتساب ثقة عامة الجمهور في القوى النووية والحفاظ عليها؛

- والحفاظ على كفاءات القوى العاملة الضرورية وتطويرها؛
- ومواصلة التصرف الناجح في الوقود المستهلك والنفايات المشعة؛
- والبرهنة على نجاح التخلص النهائي من الوقود المستهلك والنفايات العالية الإشعاع؛
- وإدارة نقل الوقود النووي والقبول به؛
- والحفاظ على الثقة في عدم الانتشار النووي والأمن النووي؛
- وإرساء البنى التحتية المقبولة في البلدان التي ستبدأ باستخدام القوى النووية؛
- والتوصل إلى تصاميم مفاعلات مثبتة الفعالية تكون ملائمة لبلدان معيّنة؛
- وعلى المدى الطويل، ضمان استخدام الموارد على نحو فعال ومستدام.

١٣- وعلى وجه العموم، تضاءلت القدرات الصناعية للمورّدين النوويين على مدى السنوات العشرين الماضية. ولم يتضاءل عدد مصمّمي المفاعلات وتتقلّص خيارات المفاعلات المتوافرة فحسب، بل وهناك أيضاً عدد أقل من المهندسين المعماريين وهيئات إدارة المشاريع، ممن يملكون الخبرة الكافية لتنفيذ مشاريع القوى النووية الضخمة. ومن الممكن أن تؤدي صعوبة تعيين الموظفين وتعليمهم وتدريبهم، وصعوبة اكتساب الخبرات اللازمة لدعم نمو الصناعة النووية وتوسّعها، إلى تقييد خطط التنمية حتى في بعض البلدان التي لديها برامج نووية راسخة.

١٤- وهناك بلدان عديدة أبدت اهتمامها ببدء استخدام القوى النووية وهي لا تملك اليوم البنى الأساسية الضرورية. وقد تحتاج هذه البلدان إلى وقت طويل وموارد ضخمة لإرساء الكفاءات الملائمة لبدء تشييد المحطات النووية. ويمكن للتحديات المقبلة أن تشمل الابتكار المؤسسي وتحسين سبل عمل الصناعة، بما في ذلك إمكانية تقاسم المعلومات المتعلقة بالموافقة على تراخيص التصميم؛ وتقاسم البنى الأساسية النووية الإقليمية، بما في ذلك تلك الخاصة بمرافق دورة الوقود؛ والمستودعات الدولية.

١٥- ويمكن تحسين الاستفادة من الموارد واستخدام الوقود استخداماً فعّالاً عن طريق تطبيق تصميم المفاعلات السريعة ودورات الوقود المغلقة. ويعيد هذا النظام تدوير اليورانيوم والبلوتونيوم الناتجين عن الوقود المستهلك، كما يستخدم بشكل أكبر موارد اليورانيوم، فضلاً عن خفض كمية النويدات المشعة الطويلة العمر في النفايات. ويتواصل القلق في بعض البلدان بشأن الانتشار والمخاطر البيئية المحتملة لاستراتيجيات كهذه.

١٦- وغالبية البلدان المهتمة ببدء استخدام أولى محطاتها للقوى النووية ترغب في اعتماد تصاميم سبق أن برهنت على صلاحيتها. ولدى عدد كبير من البلدان المهتمة ببدء استخدام القوى النووية شبكات توزيع كهرباء وطنية أصغر حالياً من أن تستفيد من المفاعلات الضخمة (١٠٠٠ ميغاواط أو أكثر) المتوافرة حالياً لنشرها.

١٧- ومن أهم أهداف التصاميم التطوّرية للمفاعلات تحقيق مستوى محسّن من العولية والأمان، وإدماج التكنولوجيات الحديثة، واعتماد فترات تشييد أقصر، وخفض التكاليف الرأسمالية، وتسهيل عمليات إصدار التراخيص وتحديد المواقع. وفي الأجل القريب، ستُبنى معظم المحطات النووية الجديدة بتصاميم تطوّرية. أما في الأجل الأطول، فيُتوقع أن تحتاج التصاميم إلى وقت أقل لتنفيذ الأعمال الإنشائية وتكاليف أدنى لرأس المال. كما ستنطوي هذه التصاميم على تطبيق استراتيجيات جديدة لدورة الوقود والتصرف في النفايات.

١٨- والتعاون الدولي يمكن أن يساعد على تعويض تكلفة تطوير التكنولوجيا، لاسيما فيما يخص النظم الابتكارية أو الأطول أجلاً. وثمة جهدان دوليان كبيران – وهما المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات، ومشروع الوكالة الدولي المعني بالمفاعلات النووية ودورات الوقود الابتكارية (مشروع إنبرو) – يساعدان الدول الأعضاء المشاركة على تقويم المستجدات في المجال التكنولوجي وعلى دراسة السبل التي تشكل فيها الطاقة النووية خياراً مفيداً لها وجزءاً لا يتجزّأ من خليط مصادرها المستقبلية للطاقة.

١٩- والنية وراء مبادرة الاتحاد الروسي الرامية إلى إرساء بنية أساسية عالمية للقوى النووية، مع إنشاء مركز دولي لإثراء اليورانيوم في أنغارسك كمرحلة أولى، وكذلك مبادرة الولايات المتحدة الأمريكية المتعلقة بإرساء الشراكة العالمية في مجال الطاقة النووية، هي إقامة صلة بين الدول التي تتشاطر رؤيا مشتركة بشأن ضرورة توسيع الطاقة النووية لأغراض سلمية على صعيد العالم، بشكل مأمون وآمن.

## ألف- مقدّمة

٢٠- يوفّر هذا التقرير استعراضاً مقتضباً للحالة الراهنة التي يمرّ فيها استخدام الطاقة النووية على صعيد العالم، والتكنولوجيا المتاحة حالياً لمحطات القوى النووية ودورة الوقود الداعمة لها.

٢١- وينطوي أيضاً على استعراض لآفاق التطبيق المستقبلي للطاقة النووية على أساس المعلومات المتاحة للوكالة بشأن نوايا البلدان فيما يخص سبل تطبيقها للطاقة النووية.

٢٢- ويرد في هذا التقرير وصف للتحديات التي تواجه البلدان الحائزة للقوى النووية حالياً ومستقبلاً، ولعدد من المسائل التي من شأنها أن تيسّر الاستخدام المستقبلي للقوى النووية، ويليه شرح عن التطورات التي تشهدها تكنولوجيا المفاعلات ودورات الوقود بغية التصدّي لهذه التحديات.

٢٣- وأعِدَّ هذا التقرير تلبيةً لطلب تقدّمت به الدول الأعضاء خلال الدورة الخمسين للمؤتمر العام، وأعادت التشديد عليه خلال الدورة الحادية والخمسين للمؤتمر العام، بأن "توفّر الأمانة... تقريراً شاملاً منفصلاً ثنائي السنوات حول الحالة الدولية للقوى النووية وآفاقها، بدءاً من عام ٢٠٠٨" (القرار GC(51)/RES/14).

## باء- الحالة الراهنة للقوى النووية

### باء-١- استخدام الطاقة النووية

٢٤- في الوقت الحالي، تولّد الطاقة النووية حوالى ١٤% من الإمدادات الكهربائية في العالم، وحوالى ٦% من إجمالي الطاقة المستخدمة على الصعيد العالمي.

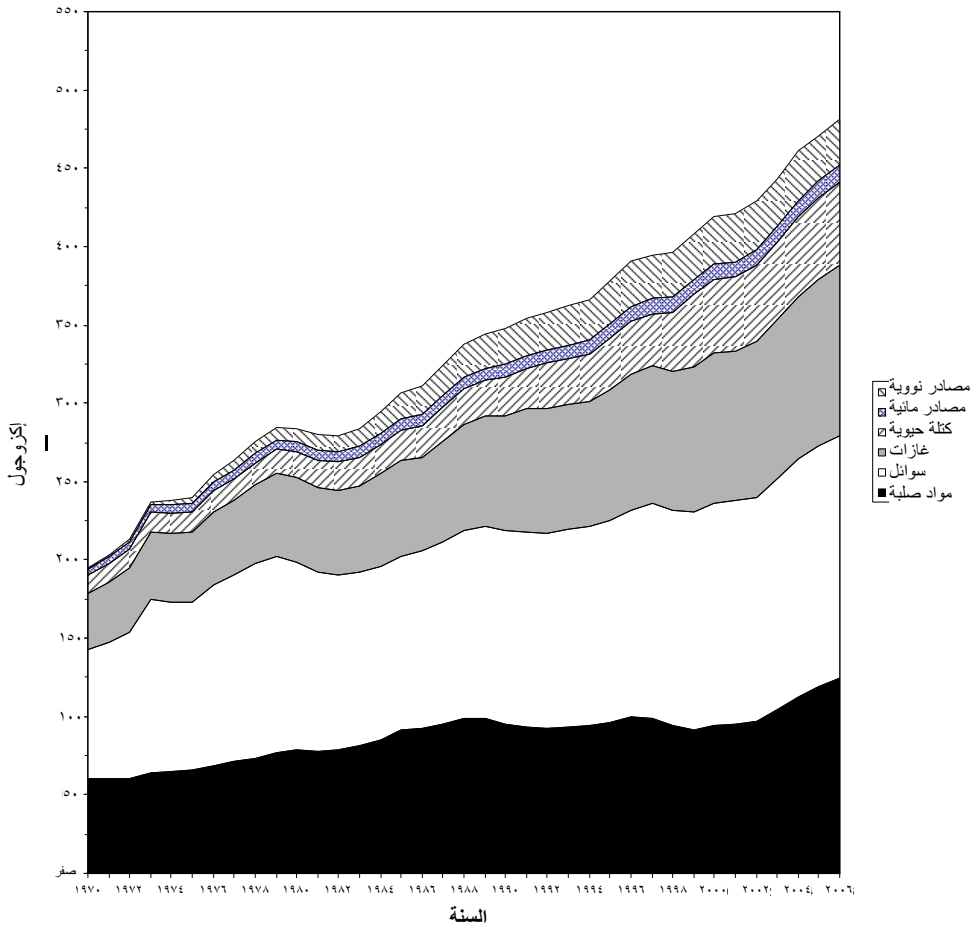
٢٥- وتتزايد كمية الطاقة الإجمالية المنتجة وكمية الطاقة المستخدمة للفرد الواحد. وقد شهدت المتطلبات الإجمالية للطاقة على صعيد العالم ارتفاعاً بمعدل ضعفين ونصف، ما بين عامي ١٩٧٠ و٢٠٠٦، إذ ارتفعت من ٦١٨١ إلى ١٥٣١١ غيغاواط في السنة (١٩٥ إلى ٤٨٣ إكزوجول)[١]. وعلى مدى العقود الفائتة، ارتفعت أيضاً حصة الكهرباء كنسبة مئوية من إجمالي الطاقة المنتجة.

---

١ إكزوجول واحد يساوي ٢,٧٨×١٠^٥ غيغاواط/ساعة أو ٣١,٧ غيغاواط في السنة.

٢٦- ويُبرز الشكل باء-١ مساهمة مصادر الطاقة المختلفة في التوازن العالمي للطاقة طوال هذه الفترة. وقد ارتفعت حصة القطاع النووي من أقل بقليل من ٠,٥% في عام ١٩٧٠ إلى أكثر من ٧% في التسعينات من القرن الماضي، ثم انخفضت إلى ٦% بحلول عام ٢٠٠٦. ولا تزال أنواع الوقود الأحفوري هي المصدر الرئيسي للطاقة.

٢٧- وتُستخدم القوى النووية لإنتاج الكهرباء بغرض التوزيع العام منذ سنة ١٩٥٤. وخلال هذه الفترة، تم تشغيل محطات قوى في ٣٢ بلداً[٢]. وهناك حالياً ٣٠ بلداً تشغّل ٤٣٩ محطة، بقدرة إجمالية تبلغ ٣٧٢ غيغاواط(كهربائي). وعلاوة على ذلك، يجري العمل على تشييد ٣٤ وحدة (حتى ٢٦ حزيران/يونيه ٢٠٠٨)، بقدرة إجمالية ٢٨ غيغاواط(كهربائي). وخلال عام ٢٠٠٧، أنتجت القوى النووية ٢٦٠٨ بليون كيلوواط/ساعة من الكهرباء. ولدى الصناعة اليوم أكثر من ١٣٠٠٠ سنة خبرة في المفاعلات.




*الشكل باء-١ . حصة مصادر الطاقة في الإنتاج العالمي الإجمالي للطاقة، ١٩٧٠-٢٠٠٦ .*

٢ الاتحاد الروسي، والأرجنتين، وأرمينيا، وأسبانيا، وألمانيا، وأوكرانيا، وإيطاليا، وباكستان، والبرازيل، وبلجيكا، وبلغاريا، والجمهوريّة التشيكية، وجنوب أفريقيا، ورومانيا، وسلوفاكيا، وسلوفينيا، والسويد، وسويسرا، والصين، وفرنسا، وفنلندا، وكازاخستان، وكندا، وجمهوريّة كوريا، وليتوانيا، والمكسيك، والمملكة المتحدة، والهند، وهنغاريا، وهولندا، والولايات المتحدة الأمريكية، واليابان.

الجدول باء-١. استخدام (إكزوجول) والنسبة المئوية (%) لمساهمة الأنواع المختلفة من الوقود في توليد الكهرباء خلال عام ٢٠٠٦.

| المنطقة | المصادر الحرارية (أ) | | المصادر المائية | | المصادر النووية | | المصادر المتجددة (ب) | | المجموع | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | معدل الاستخدام (إكزوجول) | ٪ | معدل الاستخدام (إكزوجول) | ٪ | معدل الاستخدام (إكزوجول) | ٪ | معدل الاستخدام (إكزوجول) | ٪ | معدل الاستخدام (إكزوجول) | ٪ |
| **أمريكا الشمالية** | ٢٢,٢١ | ٦٥,٧١ | ٢,٤٣ | ١٤,٥٣ | ٩,٦١ | ١٨,٩٩ | ٠,٦٣ | ٠,٧٧ | ٣٤,٨٧ | ١٠٠,٠٠ |
| **أمريكا اللاتينية** | ٤,٤٢ | ٣٨,٢٨ | ٢,٤٦ | ٥٨,٣١ | ٠,٣٣ | ٢,٦١ | ٠,٣٢ | ٠,٨١ | ٧,٥٤ | ١٠٠,٠٠ |
| **أوروبا الغربية** | ١٥,٥٦ | ٥٢,٣٢ | ١,٧٢ | ١٥,٨٦ | ٩,٥٦ | ٢٩,١٤ | ٠,٥٣ | ٢,٦٨ | ٢٧,٣٧ | ١٠٠,٠٠ |
| **أوروبا الشرقية** | ١٧,٣٦ | ٦٤,٩٥ | ١,١٢ | ١٧,٢١ | ٣,٥١ | ١٧,٨٠ | ٠,٠٢ | ٠,٠٥ | ٢٢,٠١ | ١٠٠,٠٠ |
| **أفريقيا** | ٤,٨٩ | ٨٠,٠١ | ٠,٣٥ | ١٧,٧٤ | ٠,١١ | ١,٨٤ | ٠,٠٤ | ٠,٤١ | ٥,٤ | ١٠٠,٠٠ |
| **الشرق الأوسط وجنوب آسيا** | ١٤,٤٢ | ٨٢,٤٢ | ٠,٦٤ | ١٥,٥١ | ٠,٢٠ | ١,٥٧ | ٠,٠٢ | ٠,٥٠ | ١٥,٢٨ | ١٠٠,٠٠ |
| **جنوب شرق آسيا والمحيط الهادئ** | ٥,٨١ | ٨٨,١٧ | ٠,٢٦ | ١٠,٧٣ | | | ٠,٢١ | ١,١٠ | ٦,٢٨ | ١٠٠,٠٠ |
| **الشرق الأقصى** | ٣٢,٦١ | ٧٥,٦٥ | ٢,٠٤ | ١٢,٥٠ | ٥,٧٠ | ١١,٥٢ | ٠,٤٧ | ٠,٣٣ | ٤٠,٨٣ | ١٠٠,٠٠ |
| **المجموع العالمي** | ١١٧,٢٧ | ٦٦,٤٦ | ١١,٠٢ | ١٧,٤٦ | ٢٩,٠٣ | ١٥,١٨ | ٢,٢٦ | ٠,٨٩ | ١٥٩,٨٣ | ١٠٠,٠٠ |

ملاحظات: (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.

٢٨- وتتفاوت مساهمة الطاقة النووية في إجمالي كميات الكهرباء المولّدة بحسب المنطقة (الجدولان باء-١ وباء-٢). ففي أوروبا الغربية، تمثّل الطاقة الكهربائية المولّدة نووياً حوالى ٣٠% من إجمالي الكهرباء المولّدة. وفي أمريكا الشمالية وأوروبا الشرقية، تمثل حوالى ١٨%، فيما لا تمثل سوى ١,٨% في أفريقيا و٢,٦% في أمريكا اللاتينية. وفي الشرق الأقصى، تمثّل الطاقة النووية ١١,٥% من الكهرباء المولّدة؛ كما أنها تمثل ١,٦% في الشرق الأوسط وجنوب آسيا.[٣] ويتركز استخدام الطاقة النووية في البلدان المتقدّمة من الناحية التكنولوجية.

الجدول باء-٢. مفاعلات القوى النووية في العالم (نهاية عام ٢٠٠٧).

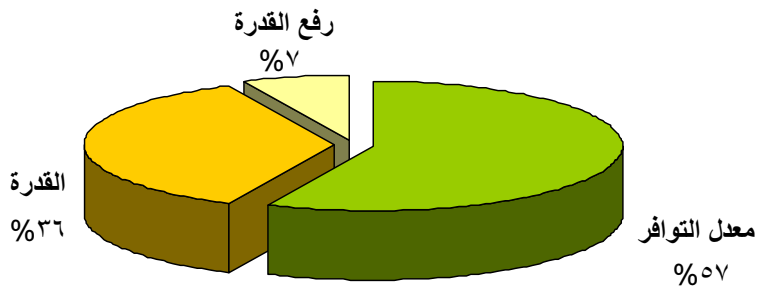
| المنطقة | قيد التشغيل | | قيد التشييد | | الكهرباء المولّدة بواسطة محطات القوى النووية في عام ٢٠٠٧ (تيراواط في الساعة) |
|---|---|---|---|---|---|
| | عدد المفاعلات | القدرة الصافية (ميغاواط(كهربائي)) | عدد المفاعلات | القدرة الصافية (ميغاواط(كهربائي)) | |
| **أمريكا الشمالية** | ١٢٢ | ١١٣ ١٧١ | ١ | ١ ١٦٥ | ٨٩٥ |
| **أمريكا اللاتينية** | ٦ | ٤ ٠٩٠ | ١ | ٦٩٢ | ٢٨ |
| **أوروبا الغربية** | ١٣٠ | ١٢٢ ٦٣٨ | ٢ | ٣ ٢٠٠ | ٨٢٧ |
| **أوروبا الشرقية** | ٦٨ | ٤٧ ٧٦٥ | ١٠ | ٧ ٤٤٥ | ٣٢٥ |
| **أفريقيا** | ٢ | ١ ٨٠٠ | | | ١٣ |
| **الشرق الأوسط وجنوب آسيا** | ١٩ | ٤ ٢٠٧ | ٨ | ٤ ١٢٥ | ١٨ |
| **الشرق الأقصى** | ٩٢ | ٧٨ ٥٣١ | ١١ | ١٠ ٥٦٦ | ٥٠٢ |
| **المجموع العالمي** | **٤٣٩** | **٣٧٢ ٢٠٢** | **٣٣** | **٢٧ ١٩٣** | **٢ ٦٠٨** |

٣ لا توجد محطات قوى نووية في منطقة جنوب شرق آسيا والمحيط الهادئ، لذا فإن القطاع النووي لا يمثل أي كهرباء مولّدة في المنطقة المذكورة.

٢٩- وفي الفترة الممتدة بين عامي ١٩٩٠ و٢٠٠٤، بلغت الزيادة الإجمالية في خرج الطاقة الكهربائية المولّدة نووياً ما يوازي ٧١٤ تيراواط/ساعة (حوالى ٤٠%) نتيجة لمزيج من ثلاثة عوامل وهي: تحسين توافر محطات القوى القائمة، وتشييد محطات جديدة، ورفع قدرات محطات القوى القائمة حالياً. وكانت عوامل التوافر المحسّن هي المساهم الأبرز (بمعدّل تحسين من ٧٢,٣% إلى ٨٣,٢%) حيث مثّلت ٥٧% من الزيادة. ويليها من حيث الأهمية إنشاء محطات جديدة (٣٦%) وأخيراً رفع قدرات المحطات (٧%) (الشكل باء-٢).

٣٠- ومنذ حادث تشرنوبل، تحسّنت سجلات أمان الصناعة تحسناً ملحوظاً.[٤] فانخفضت حالات التوقف التلقائي غير المخطط له من ١,٨ حالة في كل ٧٠٠٠ ساعة من الحرجية في عام ١٩٩٠ إلى ٠,٥٥ حالة كل ٧٠٠٠ ساعة من الحرجية في عام ٢٠٠٧.[٥] ويعزى جزء من الفضل في تحسن مستوى التوافر وسجلات الأمان إلى ارتفاع نسبة تبادل المعلومات بشأن أفضل الممارسات والدروس المستفادة في الصناعة، وذلك عن طريق تنفيذ اللوائح القائمة على المخاطر وبفضل عمليات الدمج الجارية داخل نطاق الصناعة.

٢٠٠٤-١٩٩٠




*الشكل باء-٢ . المساهمات في زيادة إنتاج القوى النووية*

## باء-٢- تكنولوجيا المفاعلات المتوافرة

٣١- رغم أن مجموعة عريضة من التكنولوجيات المختلفة لا تزال قيد التشغيل اليوم، فإن غالبية المفاعلات العاملة حالياً هي مفاعلات ماء خفيف. ومن أصل المفاعلات التجارية قيد التشغيل، نجد أن ٨٢% تقريباً مفاعلات مهدّأة[٦] ومبرّدة بالماء الخفيف؛ و١٠% مفاعلات مهدأة بالماء الثقيل ومبرّدة بالماء الخفيف؛ و٤% مفاعلات مبرّدة بالغاز؛ و٤% مفاعلات مبرّدة بالماء ومهدّأة بالغرافيت. وهناك وحدتا مفاعلين مهدّأين ومبرّدين بالمعدن السائل. وترد في الجدول باء-٣ أعداد محطات القوى النووية العاملة حالياً وأنواعها وصافي ما تولده من قوى كهربائية. وبالإضافة إلى البلدان المذكورة في هذه القائمة، قامت بلدان أخرى أيضاً بتشغيل مفاعلات سريعة تم إغلاقها الآن.

٣٢- وما يناهز ثلاثة أرباع العدد الإجمالي من المفاعلات التي هي قيد التشغيل اليوم يفوق عمرها ٢٠ سنة، وربع هذا العدد يتجاوز عمره ٣٠ سنة، كما هو مبيّن في الشكل باء-٣. ونتيجة لبرامج إدارة العمر التشغيلي

---

٤ *استعراض الأمان النووي لعام ٢٠٠٧* ، الوثيقة GOV/2008/2، ١١ كانون الثاني/يناير ٢٠٠٨.

٥ الرابطة العالمية للمشغلين النوويين، *مؤشرات الأداء لعام ٢٠٠٧* ، ٢٠٠٨.

٦ بعض مفاعلات الماء الخفيف مهدّأة بالغرافيت.

للمحطات، تم تمديد العمر التشغيلي الأصلي للعديد من المحطات بغية إتاحة تشغيلها لما قد يصل إلى ٢٠ سنة إضافية. وتعاني المفاعلات المتقادمة من مشاكل مرتبطة بتدهور حالة المواد وبالتقادم التكنولوجي مثلما هي الحال بالنسبة للأجهزة ونظم التحكّم. ويتم تنفيذ برامج إدارة العمر التشغيلي للمحطات من أجل التصدّي لهذه المسائل وبغية زيادة عوائد الاستثمارات، وأيضاً لتمديد العمر التشغيلي المرخّص به للمحطات نظراً لما أظهرته التجارب من قوة في الأداء التشغيلي.

٣٣- وغالبية محطات القوى النووية التي هي قيد التشغيل في جميع أنحاء العالم صُمِّمَت في أواخر الستينات والسبعينات، وهي حالياً غير معروضة تجارياً. وشهد حجم تصاميم المفاعلات تزايداً تدريجياً، مستفيداً من اقتصاديات الحجم ليّتسم بالتنافسية. وتبلغ قدرة العديد من المفاعلات الأولى – التي بدأ تشغيلها تجارياً في الخمسينات – ٥٠ ميغاواط (كهربائي) أو أقل. أمّا قدرات المجموعة الحالية من المفاعلات العاملة فتتراوح بين أقل من ١٠٠ ميغاواط (كهربائي) و١٥٠٠ ميغاواط (كهربائي). وفي عام ٢٠٠٦، بلغ متوسط قدرة المفاعلات العاملة ٨٥٠ ميغاواط (كهربائي).

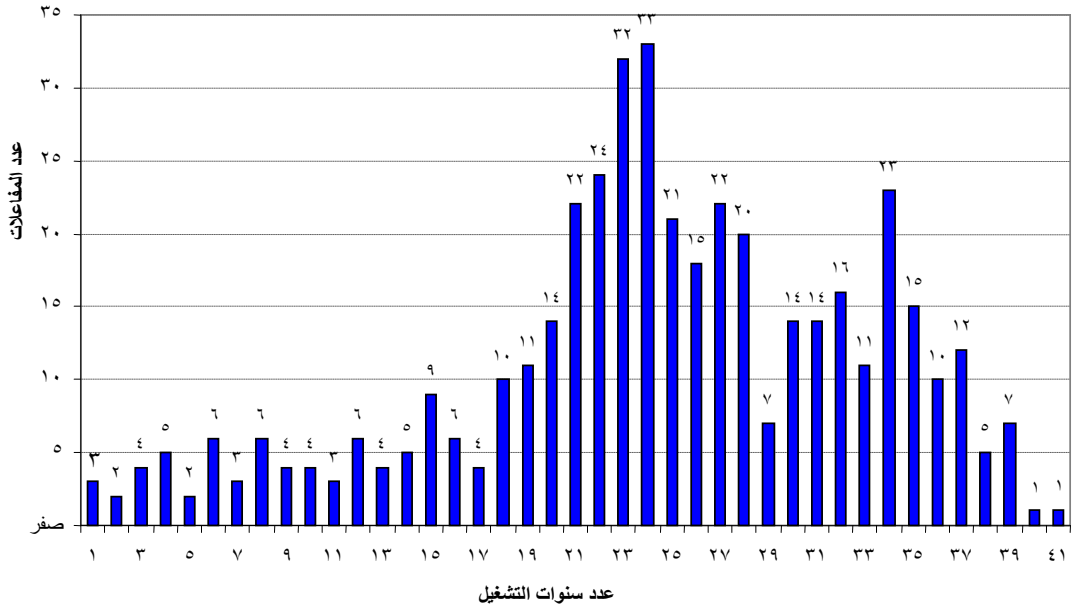
الجدول باء-٣. التوزيع الحالي لأنواع المفاعلات

| البلد | PWR | | BWR | | GCR | | PHWR | | LWGR | | FBR | | المجموع | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 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 | ٣٧٦ | | | | | | | | | | | ١ | ٣٧٦ |
| أسبانيا | ٦ | ٥٩٤٠ | ٢ | ١٥١٠ | | | | | | | | | ٨ | ٧٤٥٠ |
| ألمانيا | ١١ | ١٣٩٧٣ | ٦ | ٦٤٥٧ | | | | | | | | | ١٧ | ٢٠٤٣٠ |
| أوكرانيا | ١٥ | ١٣١٠٧ | | | | | | | | | | | ١٥ | ١٣١٠٧ |
| باكستان | ١ | ٣٠٠ | | | | | ١ | ١٢٥ | | | | | ٢ | ٤٢٥ |
| البرازيل | ٢ | ١٧٩٥ | | | | | | | | | | | ٢ | ١٧٩٥ |
| بلجيكا | ٧ | ٥٨٢٤ | | | | | | | | | | | ٧ | ٥٨٢٤ |
| بلغاريا | ٢ | ١٩٠٦ | | | | | | | | | | | ٢ | ١٩٠٦ |
| الجمهورية التشيكية | ٦ | ٣٦١٩ | | | | | | | | | | | ٦ | ٣٦١٩ |
| جمهورية كوريا | ١٦ | ١٤٨٢٤ | | | | | ٤ | ٢٦٢٧ | | | | | ٢٠ | ١٧٤٥١ |
| جنوب أفريقيا | ٢ | ١٨٠٠ | | | | | | | | | | | ٢ | ١٨٠٠ |
| روسيا | ١٥ | ١٠٩٦٤ | | | | | | | ١٥ | ١٠٢١٩ | ١ | ٥٦٠ | ٣١ | ٢١٧٤٣ |
| رومانيا | | | | | | | ٢ | ١٣٠٥ | | | | | ٢ | ١٣٠٥ |
| سلوفاكيا | ٥ | ٢٠٣٤ | | | | | | | | | | | ٥ | ٢٠٣٤ |
| سلوفينيا | ١ | ٦٦٦ | | | | | | | | | | | ١ | ٦٦٦ |
| السويد | ٣ | ٢٨١٩ | ٧ | ٦٢١٥ | | | | | | | | | ١٠ | ٩٠٣٤ |
| سويسرا | ٣ | ١٧٠٠ | ٢ | ١٥٢٠ | | | | | | | | | ٥ | ٣٢٢٠ |
| الصين | ٩ | ٧٢٧٢ | | | | | ٢ | ١٣٠٠ | | | | | ١١ | ٨٥٧٢ |
| فرنسا | ٥٨ | ٦٣١٣٠ | | | | | | | | | ١ | ١٣٠ | ٥٩ | ٦٣٢٦٠ |
| فنلندا | ٢ | ٩٧٦ | ٢ | ١٧٢٠ | | | | | | | | | ٤ | ٢٦٩٦ |
| كندا | | | | | | | ١٨ | ١٢٦١٠ | | | | | ١٨ | ١٢٦١٠ |
| ليتوانيا | | | | | | | | | ١ | ١١٨٥ | | | ١ | ١١٨٥ |
| المجر | ٤ | ١٨٢٩ | | | | | | | | | | | ٤ | ١٨٢٩ |
| المكسيك | | | ٢ | ١٣٦٠ | | | | | | | | | ٢ | ١٣٦٠ |
| المملكة المتحدة | ١ | ١١٨٨ | | | ١٨ | ٩٠٣٤ | | | | | | | ١٩ | ١٠٢٢٢ |
| الهند | | | ٢ | ٣٠٠ | | | ١٥ | ٣٤٨٢ | | | | | ١٧ | ٣٧٨٢ |
| هولندا | ١ | ٤٨٢ | | | | | | | | | | | ١ | ٤٨٢ |
| الولايات المتحدة الأمريكية | ٦٩ | ٦٦٦٩٧ | ٣٥ | ٣٣٨٨٥ | | | | | | | | | ١٠٤ | ١٠٠٥٨٢ |
| اليابان | ٢٣ | ١٨٤٢٠ | ٣٢ | ٢٩١٦٧ | | | | | | | | | ٥٥ | ٤٧٥٨٧ |
| المجموع | ٢٦٥ | ٢٤٣٤٢١ | ٩٤ | ٨٥٢٧٥ | ١٨ | ٩٠٣٤ | ٤٤ | ٢٢٣٨٤ | ١٦ | ١١٤٠٤ | ٢ | ٦٩٠ | ٤٣٩ | ٣٧٢٢٠٨ |

يشمل المجموع ست وحدات، بقدرة إجمالية تبلغ ٤٩٢١ ميغاواط (كهربائي)، في تايوان، الصين.

أثناء عام ٢٠٠٧، رُبطت بالشبكة ٣ مفاعلات جديدة بقدرة إجمالية تبلغ ١٨٥٢ ميغاواط (كهربائي).

PWR: مفاعل ماء مضغوط؛ BWR: مفاعل ماء مغلي؛ GCR: مفاعل مبرد بالغاز؛ PHWR: مفاعل ماء ثقيل مضغوط؛ LWGR: مفاعل مبرد بالماء الخفيف ومهدأ بالغرافيت؛ FBR: مفاعل سريع التوليد




*الشكل باء-٣ . عدد محطات القوى النووية قيد التشغيل، بحسب عمرها التشغيلي، في العالم حتى كانون الثاني/يناير ٢٠٠٨ (يرجى ملاحظة أن عمر المفاعل يحدّد استناداً إلى تاريخ ربطه بالشبكة للمرة الأولى)*

٣٤- تكنولوجيا المفاعلات المتوافرة للاستخدام اليوم تقوم، بشكل رئيسي، على أساس التصاميم السابقة، وتراعي الخصائص التصميمية التالية:

- عمر تشغيلي يبلغ ٦٠ عاماً
- صيانة مبسّطة — أثناء التشغيل أو خلال فترات انقطاع التشغيل
- التشييد أسهل ويستغرق وقتاً أقصر
- إدراج اعتبارات الأمان والموثوقية في المراحل الأولى من التصميم
- تكنولوجيات حديثة في التحكم الرقمي وفي التواصل بين الإنسان والآلة
- تصميم نظام الأمان يُسترشَد فيه بتقييمات المخاطر
- البساطة عن طريق تخفيض عدد المكوّنات الدوّارة
- اعتماد متزايد على النظم الخاملة (الجاذبية الأرضية، والدوران الطبيعي، والضغط المتراكم، وما إلى ذلك)
- إضافة معدات تخفّف من آثار الحوادث الخطيرة
- تصاميم كاملة ومعيارية مع إمكانية الترخيص المسبق

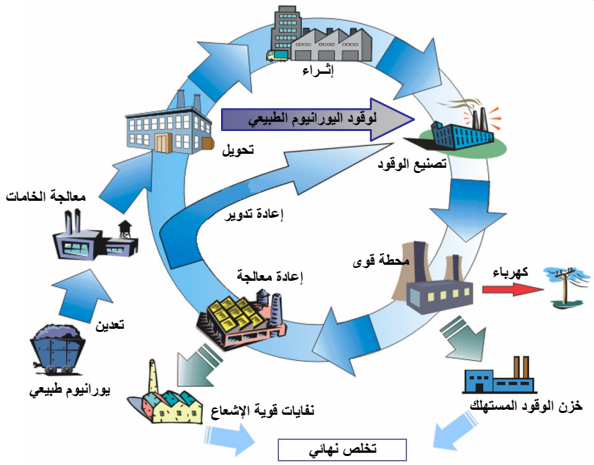
٣٥- ورغم أن الصناعة سعت دائماً وأبداً إلى تحقيق قدر أكبر من وفورات السعة، يتواصل نشر المفاعلات الصغيرة الحجم (أقل من ٣٠٠ ميغاواط (كهربائي)) والمتوسطة الحجم (ما بين ٣٠٠ و٧٠٠ ميغاواط (كهربائي)). فالمفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم تتيح استثمارات تدريجية. ويجري تطويرها للأغراض التالية: (أ) استخدامها ضمن شبكات صغيرة ذات ترابطات محدودة، مثل تلك القائمة في بعض البلدان النامية؛ (ب) واستخدامها كمصدر للقوى أو للطاقة المتعددة الأغراض في منطقة معزولة؛ (ج) والاستثمارات التدريجية بغية تفادي المخاطر المالية.

## باء-٣- الموارد البشرية

٣٦- في حين أن الوكالة ومنظمات دولية أخرى لا تقوم بجمع إحصائيات شاملة، فإنه يقدَّر أن أكثر من ٢٥٠ ألف شخص عملوا، خلال عام ٢٠٠٧، في محطات القوى النووية العاملة في العالم أجمع. ويقدّر أن أكثر من مليون شخص شاركوا في دعم الصناعة النووية على صعيد العالم في عام ٢٠٠٧. ويعمل هؤلاء في تشييد محطات جديدة، وفي ميدان الهندسة والدعم التقني، وميدان التدريب والتعليم، ولدى الهيئات الرقابية والوزارات الحكومية، وفي مجال البحوث التطويرية، والتصرف في النفايات المشعة، والوقاية من الإشعاعات، والتصميم والتصنيع، والدعم في فترات الانقطاع، وفي الإمداد بالوقود وغيرها من الخدمات، وأيضاً من خلال مقاولي الإمداد. ولكن القوة العاملة الحالية في الميدان النووي بدأت تتقدّم في السن، ويعاني كثير من هذه القطاعات من حالات نقص في الموظفين ذوي الخبرة، ومن فقدان المعارف والخبرات نتيجة للتقاعد، حتى في البلدان التي لديها برامج نووية راسخة.

٣٧- وعلى ضوء ما تقدّم، فإن موضوع الحفاظ على المعارف ومسألة تعيين موظفين جدد في الصناعة ولدى الرقباء يتّسمان بقدر من الأهمية. ونظراً لمستوى تعقيد التكنولوجيا النووية، فإنها تتطلب قوة عاملة ذات مستوى عالٍ من التعليم ومدرّبة تدريباً نوعياً. وقد شهدت السنوات القليلة الماضية توجّهاً نحو تشجيع التعليم والتدريب في الصناعة النووية على الرغم من أن عدد مصادر هذا النوع المتخصص من التعليم والتدريب محدود، وأن الحصول على التدريب الملائم لبعض وظائف هذه الصناعة قد يستغرق حتى ١٠ أعوام. وفي بعض البلدان، وفّرت الحكومات حوافز لتطوير البرامج الأكاديمية واجتذاب الطلاب إلى الميادين النووية. كما أقيمت أيضاً شبكات إقليمية لتقاسم المعلومات وتوطّدت أواصر التشبيك فيما بين المشغلين. وترمي هذه الجهود إلى جملة أمور منها سد فجوة الخبرات مع تجدّد القوة العاملة وتوسّعها.

## باء-٤- أنشطة دورة الوقود




*الشكل باء-٤ . دورة الوقود*

٣٨- إن تصنيع الوقود للمفاعلات والتصرّف في الوقود بعد استعماله (دورة الوقود) يستلزم عدة خطوات، وفقاً لما هو مبيّن في الشكل باء-٤. وتقسم هذه الخطوات عادةً إلى أنشطة المرحلة الاستهلالية (كالتعدين والتحويل والإثراء وتصنيع الوقود) لإنتاج مجمّعات الوقود[٧] التي يتم إدخالها إلى المفاعل، وأنشطة المرحلة الختامية للتصرّف في الوقود النووي المستهلك (بما يشمل الخزن وإعادة المعالجة والتخلص من النفايات).

٧ تستخدم غالبية المفاعلات وقود اليورانيوم الضعيف الإثراء، بمعدّل إثراء يتراوح بين ٢% و٥%. وعدد قليل منها (مفاعلات الماء الثقيل المضغوط) لا يستخدم اليورانيوم المثرى.

*المرحلة الاستهلالية*

٣٩- هناك سوق قائم وفعال لتداول مختلف الخدمات المنضوية ضمن المرحلة الاستهلالية. وتُنفَّذ غالبية هذه الأنشطة بموجب عقود طويلة الأجل ولكن هناك أيضاً سوقاً فورية.

٤٠- ويجري تعدين اليورانيوم في ١٨ بلداً، مع العلم بأن ٧ من هذه البلدان[٨] تستحوذ على ٩٠% من القدرة العالمية. ويتم حالياً توفير ٤٠% من احتياجات اليورانيوم عن طريق إمدادات ثانوية — يورانيوم مخزون أو مواد عسكرية سابقة — ومواد أعيد تدويرها. وقد حافظ ذلك على انخفاض سعر اليورانيوم، غير أن السعر شهد في الآونة الفائتة ارتفاعاً ملموساً (حوالى ١٠ أضعاف في ٥ سنوات) نتيجة توقع ازدياد الطلب وتضاؤل الإمدادات الثانوية. وارتفاعُ السعر يحفّز أيضاً ارتفاعَ قدراتِ التعدين وعمليات التنقيب عن اليورانيوم، ممّا يُحتمل أن يؤدي إلى انخفاض سعر اليورانيوم. أما موارد اليورانيوم الجوفية المتوافرة فتكفي لإمداد الطلب الحالي لمدة ١٠٠ عام تقريباً.

٤١- وبواسطة عملية يطلق عليها اسم "التحويل"، يتم تحويل المواد المعدّنة إلى مادة التلقيم الكيميائية لباقي الصناعة، وعلى وجه العموم، تكون هذه المادة هي سادس فلوريد اليورانيوم. وتستحوذ ستة بلدان[٩] على أكثر من ٩٠% من القدرة العالمية، وتبلغ قدرة التحويل المتوافرة حالياً على الصعيد العالمي حوالى ضعف القدرة الضرورية. ويتم التعامل مع سادس فلوريد اليورانيوم الضعيف الإثراء – وهو النوع المناسب لتصنيع الوقود – على أنه سلعة في السوق.

٤٢- وتكفي قدرة الإثراء المتوافرة حالياً لتغطية الطلبات على مدى العقد المقبل. ويستعاض عن المحطات الأقدم القائمة على أساس تكنولوجيا الانتشار الغازي بمحطات قائمة على أساس تكنولوجيا الطرد المركزي التي تتطلب قدراً أقل من الطاقة الداخلة. واستعداداً للازدياد المتوقع في الطلب، يتم حالياً إنشاء محطات في فرنسا والولايات المتحدة الأمريكية.

٤٣- ومجمّعة الوقود – التي هي المكوّن الأساسي المنتج للطاقة في المفاعل – هي منتج خاص جداً من الناحية التكنولوجية وينطوي على قدر ملموس من حقوق الملكية الفكرية. وفضلاً عن ذلك، فمجمّعة الوقود بحد ذاتها هي أحد مكوّنات الأمان الشامل للمحطات وتستلزم إجراءات معقدّة للموافقة على الترخيص باستخدامها. ولا يمكن بسهولة الاستعاضة عن مجمّعات الوقود الواردة من مورّد معيّن بمجمّعات أخرى واردة من مورّد آخر، على الرغم من أن مرافق كثيرة تعمل دورياً على تغيير مورّديها للحفاظ على التنافس. ومصنعو الوقود الرئيسيون هم أيضاً المورّدون الرئيسيون لمحطات القوى النووية أو هم على ارتباط وثيق بالمورّدين. وتتوافر أكبر القدرات الإنتاجية للوقود في كلٍّ من الاتحاد الروسي وألمانيا وفرنسا والولايات المتحدة الأمريكية، ولكن تصنيع الوقود يتم في سبعة بلدان أخرى على الأقل، وغالباً ما يكون ذلك بموجب ترخيص من أحد المورّدين الرئيسيين.

*المرحلة الختامية*

٤٤- تعتبر بعض البلدان أن الوقود المستهلك يشكل نفايات ينبغي التخلص منها على أنها نفايات قوية الإشعاع، بينما تعتبره بلدان أخرى كمورد تعاد معالجته وربما يعاد استخدامه. وهناك في الوقت الحالي سوق

---

٨ الاتحاد الروسي، وأستراليا، وأوزبكستان، وكازخستان، وكندا، وناميبيا، والنيجر.

٩ روسيا، والصين، وفرنسا، وكندا، والمملكة المتحدة، والولايات المتحدة الأمريكية.

لإعادة معالجة الوقود المكوّن من خليط أكسيد اليورانيوم وأكسيد البلوتونيوم (وقود موكس)، ولكن ليس لخزنه أو التخلص منه.

٤٥- ووفقاً لكلا الاستراتيجيتين، يتم في البداية خزن الوقود المستهلك في حوض المفاعل ومن ثم في مخازن منفصلة قائمة في موقع المفاعل أو في مرفق مركزي. وفي حين أن غالبية الوقود تخزن في أحواض مائية، يتزايد تطبيق النهج الحالي الذي ينطوي على استخدام مرافق الخزن الجاف النمطية، مثل البراميل أو الأقبية. ويتوقف طول مدة الخزن المتوقعة على الموعد الذي يمكن فيه نقل الوقود لإعادة معالجته أو للتخلص منه. وتتوقّع غالبية البلدان اعتماد أزمنة خزن تمتد على مدى عدة عقود من الزمن.

٤٦- وتجري حالياً إعادة معالجة حوالى ١٥% من مجمل كميات الوقود المستهلك بغية استرجاع اليورانيوم والبلوتونيوم وإعادة تدويرهما. وتجري إعادة معالجة في كل من الاتحاد الروسي وفرنسا والمملكة المتحدة واليابان، بينما تعاد في الهند معالجة بعض كميات الوقود الناتج عن مفاعلات الماء الثقيل المضغوط. ولا تستخدم قدرات إعادة المعالجة المتوافرة حالياً سوى بمعدل ٥٠% نظراً لعدم التيقن من الاستخدامات المستقبلية للمواد المعاد معالجتها. ويعاد حالياً استخدام اليورانيوم والبلوتونيوم (على شكل وقود موكس)، بشكل رئيسي، في مفاعلات الماء الخفيف ولكن، بغية تحقيق الاستخدام الأقصى لموارد اليورانيوم من خلال دورة وقود مغلقة، تنظر بعض البلدان جدياً في إقامة مفاعلات سريعة أو غيرها من النظم المتطوّرة. ويمكن لإغلاق دورة الوقود أن يؤدي أيضاً إلى تخفيض معدل السمية الإشعاعية في النفايات. وفي الوقت الحالي، يتم حفظ كثير من المواد المعاد معالجتها في مخازن.

٤٧- وسواء أعيدت معالجة الوقود أم لا، ستظل هناك كمية معيّنة من النفايات القوية الإشعاع والطويلة العمر التي سيلزم التخلص منها على نحو آمن. وفي العديد من الحالات، تعاد النفايات، بعد إعادة معالجتها، إلى البلد الذي استُخدِم فيه الوقود. وكما هي الحال مع الوقود المستهلك، يتم حالياً خزن هذه المواد.

## باء-٥- التصرّف في النفايات المشعّة والإخراج من الخدمة

٤٨- تتولّد النفايات المشعة في مراحل مختلفة من دورة الوقود، ويمكن أن تنبعث على شكل سوائل أو غازات أو مواد صلبة مشعة، بمستويات نشاط متسعة المدى . وتصنّف النفايات، وفقاً لمستوى نشاطها وسبل التصرّف المستقبلي فيها، كنفايات ضعيفة أو متوسطة أو قوية الإشعاع. وتقوم عمليات المعالجة والتكييف والخزن الطويل الأمد التي تخضع لها جميع أنواع النفايات على أساس تكنولوجيات عريقة، ويتم تنفيذها عادة في المرافق النووية التي تتولّد فيها النفايات. ومن غير المستغرب أن تمتد فترات الخزن على مدى خمسين عاماً أو أكثر. وهذا يتيح قدراً من المرونة في اتخاذ القرارات المتعلقة بالتخلص.

٤٩- ويجري التخلص من النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع على نطاق صناعي في العديد من الدول الأعضاء، ويتفق العديد من الخبراء التقنيين على أن التكنولوجيات المستخدمة تفي بمتطلبات الأمان. بيد أن هناك بلداناً عديدة لديها محطات قوى نووية قيد التشغيل لم تتمكن بعد من تحديد موقع لتشييد مرفق للتخلص من النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع، ويعزى السبب الرئيسي في ذلك إلى عدم تقبّل السياسيين وعامة الجمهور للموضوع.

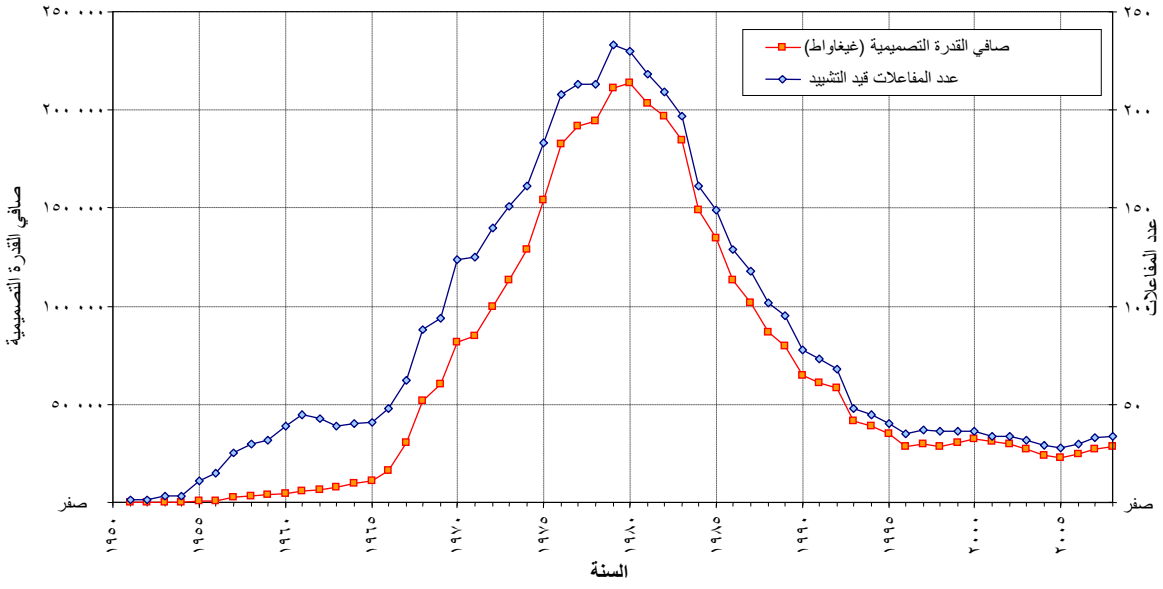
٥٠- ويرى كثير من الخبراء التقنيين أن وسيلة التخلص النهائي من النفايات القوية الإشعاع والوقود النووي المستهلك هي على الأرجح ضمن مستودعات جيولوجية عميقة. وفي حين أن أياً من هذه المستودعات ليس قيد

الاستخدام حالياً، قطعت السويد وفرنسا وفنلندا والولايات المتحدة الأمريكية شوطاً كبيراً في تطويرها. وتشير الخبرة إلى أن الوقت اللازم لتحديد مواقع المستودعات الجيولوجية وتطويرها يمتد لعقود عدة ولا يرجّح أن يدخل أيٌّ منها حيّز التشغيل قبل عام ٢٠٢٠.

٥١- وعند بلوغ مفاعلات القوى نهاية أعمارها التشغيلية، يلزم إخراجها من الخدمة. ونظراً لحالة التلوّث الإشعاعي التي تعاني منها بعض أجزاء المفاعلات، يلزم تفكيكها على نحو خاضع للمراقبة كما يلزم الاهتمام بالنفايات المشعة. ويتوقف توقيت التفكيك على عدة عوامل، مثل اعتبارات الوقاية من الإشعاعات وتوافر التمويل وتوافر مرافق للتخلص من النفايات. ووفقاً لإحصائيات الوكالة، فقد تم حتى الآن إغلاق ١١٧ مفاعل قوى. وقد فُكّكت ١٠ مفاعلات منها تفكيكاً كاملاً وأبيح استخدام مواقعها استخداماً عاماً غير مشروط، فيما لا يزال ٣٢ مفاعلاً قيد التفكيك قبل إباحة استخدام مواقعها في النهاية. وجرى تفكيك سبعة عشر مفاعلاً تفكيكاً جزئياً وتم تغليفها بأمان بغرض خزنها لأجل طويل، ويخضع ٣٤ مفاعلاً لتفكيك مماثل قبل تغليفها لأجل طويل. ويجري حالياً تحضير المفاعلات المتبقية لإخراجها من الخدمة، بما يشمل إزالة الوقود المستهلك وإزالة التلوّث. والنفايات المشعة الناتجة عن الإخراج من الخدمة هي من النوعين الضعيف والمتوسط الإشعاع ويمكن مناولتها والتخلص منها بناءً على ذلك. أمّا بالنسبة لبعض المكوّنات، ذات الحجم الكبير جداً، فقد استُخدِمت بنجاح نُهُج خاصة، مثل التخلص منها كاملة بدون تفكيك.

## باء-٦- القدرة الصناعية

٥٢- وصل عدد مفاعلات القوى النووية قيد الإنشاء إلى ذروته في عام ١٩٧٩ حيث بلغ ٢٣٣ مفاعلاً، بالمقارنة بما كان عليه طوال السنوات الخمس عشرة السابقة، أي ما بين ٣٠ و٤٠ مفاعلاً (أنظر الشكل باء-٦ أدناه). وقد تأقلمت صناعة الإمدادات النووية على مدى السنوات الخمس والعشرين السابقة تقريباً عن طريق عمليات الدمج. وبرزت تساؤلات حول توافر القدرات لتلبية الطلب القصير الأجل فيما لو صدقت توقعات تنامي القوى النووية نمواً مرتفعاً.




*الشكل باء-٥. عدد المفاعلات قيد التشييد في الفترة من ١٩٥١ إلى ٢٠٠٨، والقدرة الإجمالية للمفاعلات.*

٥٣- خلال فترة الذروة في التشييد، نشأت شركات كبرى للإمداد بالنظم النووية في كلٍّ من الاتحاد الروسي، وألمانيا، والسويد، وسويسرا، وفرنسا، وكندا، والمملكة المتحدة، والولايات المتحدة الأمريكية، واليابان. أمّا اليوم، فيتواجد مورّدو النظم النووية في الاتحاد الروسي، والصين، وفرنسا، وكندا، وجمهورية كوريا، والهند، والولايات المتحدة الأمريكية، واليابان. وهناك أيضاً مورّدون محتملون آخرون لديهم تصاميم قيد التطوير مثل الأرجنتين وجنوب أفريقيا، غير أن عدد مصمّمي نظم الإمداد البخاري النووي المتوافرة حالياً تقلّص إلى فريق صغير يعمل أفراده أكثر فأكثر بشكل وثيق جداً معاً، مثلاً عبر التعاون بين شركات أريفا وميتسوبيشي، وبين جنرال إلكتريك وهيتاشي، وبين توشيبا ووستينغهاوس.

٥٤- وحدث تغيير مماثل لدى المهندسين المعماريين أيضاً[١٠]. وقد انخفض عدد الشركات التي تملك خبرات حديثة في إدارة تشييد محطة قوى نووية بالكامل نتيجة لنقص الطلبيات، لا سيما في أمريكا الشمالية وأوروبا. والعديد من الشركات التي كانت منظمات رائدة في ميدان الصناعة النووية في عام ١٩٨٠ ابتعدت كلياً عن القطاع النووي، أو اندمجت مع شركات أخرى في الميدان النووي، أو أعادت توجيه نهجها التجاري إلى أنشطة مرتبطة بالإخراج من الخدمة والتصرف في النفايات، حيث شهد هذان المجالان ازدياداً في النشاط على مدى السنوات القليلة الفائتة. ونتج عن ذلك تضاؤل مجموعة الشركات، في عدد أقل من البلدان، التي تملك القدرة على إدارة تشييد محطة قوى نووية كاملة. وعلى النقيض من ذلك، في الصين وجمهورية كوريا والهند، يوفّر نمو القدرات النووية، عبر توطين العديد من المهارات والقدرات، الإمكانية لهذه البلدان كي تساهم أكثر في تلبية الاحتياجات العالمية في مجال خبرات التشييد النووي.

٥٥- وهناك بعض دلائل القلق بشأن قدرة الصناعة على تلبية الطلب على مكوّنات أساسية (مثل أوعية الضغط والسبائك المشكّلة الرئيسية)، التي يمكن أن توفّرها مرافق قائمة في الاتحاد الروسي، والجمهورية التشيكية، والصين، وفرنسا، وجمهورية كوريا، واليابان. فعلى سبيل المثال، تقدّمت المرافق الأمريكية فعلاً بطلبيات للحصول على مكوّنات أساسية لمحطات قوى لم تتم الموافقة عليها بعد، لضمان ألا يؤدي تأخّر تسليم هذه المكوّنات إلى إعاقة الجدول الزمني للتشييد. وستكون تنمية القدرات التصنيعية ضرورية لضمان الإيفاء بتوقّعات النمو المتزايد في محطات القوى النووية الجديدة. وربما بدأ ذلك فعلاً. فقد أعلنت الصين أنها تملك القدرة على إنتاج المعدات الثقيلة الضرورية لستة مفاعلات ضخمة في السنة، وإن كان ذلك سيكفي بالكاد لتلبية احتياجاتها الوطنية الخاصة.

### باء-٧- التطبيقات غير الكهربائية

٥٦- تُستخدم الطاقة العالمية في معظمها لأغراض توليد الحرارة والنقل. ولا تُستخدم الطاقة النووية حالياً سوى بشكل محدود جداً لأغراض التطبيقات غير الكهربائية. وقد تمت البرهنة على إمكانية استخدام الطاقة النووية لتحلية مياه البحر واكتُسب ما يناهز ٢٠٠ سنة من الخبرة التشغيلية في مجال المفاعلات على صعيد العالم. وتنطوي تدفئة المدن على الإمداد بالتدفئة والماء الساخن عبر نظام توزيع يتم في العادة إمداده وفق نمط توليد مشترك تُستخدم فيه الحرارة المبدّدة الناتجة عن توليد القوى كمصدر للحرارة المستخدمة في تدفئة المدن. ولدى العديد من البلدان (الاتحاد الروسي، وأوكرانيا، وبلغاريا، ورومانيا، وسلوفاكيا، والسويد، وسويسرا، وهنغاريا) نظم لتدفئة المدن تستخدم الحرارة الناتجة عن المحطات النووية. أمّا بالنسبة لإنتاج الهيدروجين نووياً، فلدى الولايات المتحدة الأمريكية واليابان وغيرهما من البلدان برامج بحوث تطويرية، لكن لا توجد استخدامات تجارية.

---

١٠ يكون المهندس المعماري في العادة مسؤولاً عن إدارة المشروع، والمشتريات، وهندسة المشروع، والتركيب، والإدخال في الخدمة، ومراقبة الجودة، والتحكم بالجداول الزمنية وبالتكاليف خلال عمليتي التشييد وبدء التشغيل.

## جيم- آفاق التطبيقات المستقبلية للطاقة النووية

٥٧- تشهد بلدان كثيرة في الآونة الأخيرة تزايداً في توقعات استخدام الطاقة النووية. ويمكن النظر في هذه الآفاق على أساس البلدان التي لديها حالياً محطات قوى نووية قيد التشغيل، والبلدان التي تدرس إمكانية البدء باستخدام القوى النووية. وترد أدناه أيضاً مناقشة للدوافع المحتملة التي تؤثر في المواقف الوطنية حول تطبيق الطاقة النووية، والتنبؤات الدولية بشأن استخدام الطاقة النووية مستقبلاً، والاحتمالات الخاصة بتطبيقات الطاقة النووية في استخدامات غير كهربائية.

### جيم-١- الآفاق في البلدان التي بدأت فعلاً باستخدام القوى النووية

٥٨- في ٣٠ بلداً لديها محطات قوى نووية قيد التشغيل، تتراوح الحصة التي تولّدها هذه المحطات من الكهرباء الوطنية بين ٧٨% من الكهرباء في فرنسا، و٣% من الكهرباء في الهند، و٢% من الكهرباء في الصين. ويُتوقع أن التوسع المقبل للقوى النووية على الصعيد العالمي سيتوقف بشكل رئيسي على البلدان التي تستخدم القوى النووية فعلاً. وكما ترد مناقشته أدناه، فإن الفارق بين توقّعي الوكالة المنخفض والمرتفع بشأن القوى النووية يكمن في مجموع القدرات المنشأة في ٣٠ بلداً بدأت فعلاً باستخدام القوى النووية، وفي الزيادة التي يشهدها عدد البلدان التي لديها قوى نووية. وفيما يخص القدرات المنشأة، فإن الزيادة الشاملة في التوقع المرتفع جاءت، في الأساس، نتيجة للزيادات في البلدان الثلاثين التي بدأت فعلاً باستخدام القوى النووية، ولا سيما الصين والهند وغيرهما من بلدان الشرق الأقصى، بالإضافة إلى الاتحاد الروسي وبلدان في أوروبا وأمريكا الشمالية.

٥٩- ويتضمن الجدول جيم-١، بصفته أحد سبل قياس ما يمكن توقعه من جانب البلدان الثلاثين التي تستخدم حالياً القوى النووية، استعراضاً للمعلومات المتوافرة. ويشمل ذلك ما قدّمته الدول الأعضاء من معلومات إلى المؤتمر العام في دورته لعام ٢٠٠٧ وغيره من المواقف التي أدلت بها علناً. وبناءً على ذلك، فإن غالبية التوسع الذي تشهده البرامج النووية القائمة تتركّز حالياً في آسيا، حيث يُتوقع أيضاً حدوث أكبر زيادة في احتياجات الطاقة. وتتوقع بلدان عديدة في أوروبا وأمريكا الشمالية توسيع برامجها النووية، رغم ضآلة عدد المرافق الجديدة التي بدأ تشييدها.

٦٠- وتم تصنيف كلٍّ من البلدان الثلاثين ضمن إحدى مجموعات الجدول جيم-١، الذي يوفّر بالتالي مؤشراً عن النوايا المستقبلية المتوقعة للبلدان الثلاثين التي تستخدم فعلاً القوى النووية.

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

| وصف المجموعة | عدد البلدان |
|---|---|
| | |
| تنوي التخلي تدريجياً عن المحطات النووية عندما تبلغ المحطات القائمة نهاية عمرها التشغيلي أو عند بلوغ خرج قوى تراكمي متفق عليه | ٦ |
| تنوي الترخيص لمحطات جديدة يُتوقع اقتراحها، ولكن دون توفير المحفزات التي تشجع على ذلك | ٥ |
| تنوي دعم إقامة محطات جديدة | ٦ |
| تدعم تشييد محطة جديدة | ٤ |
| تدعم إرساء برنامج جديد للمحطات النووية | ٩ |

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

٦١- كما هو مبيّن في الجدول جيم-٢، على مدى السنتين الفائتتين، أعربت حوالى ٤٣ دولة عضواً للوكالة عن اهتمامها بدراسة إمكانية بدء استخدام القوى النووية[١١]، وذلك عبر طلبات للمشاركة في مشاريع التعاون التقني.

الجدول جيم-٢: مواقف البلدان التي ليست لديها محطات قوى نووية قيد التشغيل

| وصف المجموعة | عدد البلدان |
|---|---|
| لا تخطط لإنشاء محطات قوى نووية، ولكنها مهتمة بدراسة المسائل المرتبطة ببرنامج خاص بالقوى النووية | ١٦ |
| تدرس إمكانية إقامة برنامج نووي للإيفاء باحتياجاتها المعيّنة من الطاقة، مع إشارة قوية إلى نيتها في المضي قدماً | ١٤ |
| تحضر فعلياً لبرنامج قوى نووية محتمل دون اتخاذ قرار نهائي | ٧ |
| قررت البدء باستخدام القوى النووية وبدأت إعداد البنية الأساسية الملائمة لذلك | ٤ |
| أعدّت المناقصة الخاصة بتوريد محطة قوى نووية | ١ |
| طلبت محطة قوى نووية جديدة | |
| بدأت بتشييد محطة قوى نووية جديدة | ١ |

٦٢- يعكف بلد واحد، هو جمهورية إيران الإسلامية، على تشييد أولى محطاته للقوى النووية. وهناك ١٢ بلداً تستعد بنشاط لاستخدام القوى النووية، كما أشار ٣٨ بلداً إضافياً إلى اهتمامه بإمكانية إقامة محطة للقوى النووية.

٦٣- ومن أصل ٥١ بلداً أبدت اهتمامها ببدء استخدام القوى النووية، يقع ١٧ بلداً في منطقة آسيا والمحيط الهادئ (من البحر المتوسط إلى المحيط الهادئ)، و١٣ بلداً في منطقة أفريقيا، و١١ بلداً في أوروبا، و٩ بلدان في أمريكا اللاتينية.

٦٤- وإجمالاً، يتّسق الجدولان جيم-١ وجيم-٢ مع التوجهات المعبّر عنها في توقعي الوكالة المنخفض والمرتفع الموصوفين أدناه، أي أنه ما زال هناك عدم تيقّن ملموس بشأن التوقعات الخاصة بالقوى النووية، كما أن الازدياد المتوقع في استخدام القوى النووية قد ينتج عن التوسع في البلدان التي لديها نظم قوى نووية قائمة أكثر ممّا قد ينتج عن بلدان تستهل برامج قوى نووية جديدة، وأن حوالي ٢٠ بلداً جديداً قد تكون لديه محطة قوى نووية أولى قيد التشغيل بحلول عام ٢٠٣٠ وفقاً للتوقع المرتفع، مقابل ٥ بلدان جديدة فقط وفقاً للتوقع المنخفض.

## جيم-٣- التعاون الإقليمي

٦٥- يجري، في بعض المناطق، التخطيط لاتخاذ إجراءات بشأن استحداث محطات جديدة للقوى النووية. وتخطط دول البلطيق لتنفيذ مشروع إقليمي في موقع إغنالينا في ليتوانيا. وتفكّر الدول الأعضاء في مجلس التعاون الخليجي في إمكانية وضع نهج إقليمي لاستحداث برنامج نووي. وتخطط الأرجنتين والبرازيل، ولديهما معاً برامج قوى نووية قائمة، لزيادة التعاون في المجال النووي، بما في ذلك إعداد مفهوم نموذجي لمحطات القوى النووية لفائدة البلدين معا، وربما بلدان أخرى في المنطقة.

---

١١ فضلاً عن ذلك، كانت ١٠ بلدان تقريباً قد أشارت سابقاً إلى اهتمامها بدراسة إمكانية استخدام القوى النووية ولكنها لم تتقدّم بأي طلب رسمي للحصول على المساعدة في مجال التعاون التقني.

## جيم-٤- الدوافع المحتملة لاستحداث قوى نووية

٦٦- إن تعبير 'تصاعد التوقعات' يصف على أفضل وجه الآفاق الحالية للقوى النووية في عالم يواجه طلباً متنامياً على الطاقة، وأسعاراً أكثر ارتفاعاً للطاقة، ومخاوف تتعلق بتأمين إمدادات الطاقة، وضغوطاً بيئية متزايدة. وثمة دوافع عدة لهذه التوقعات المتصاعدة فيما يتعلق بنمو الطاقة النووية، من بينها:

- ارتفاع الاحتياجات من الطاقة
- تأمين إمدادات الطاقة
- المخاوف والقيود البيئية
- ارتفاع أسعار الوقود الأحفوري وتقلبها
- تحسّن القدرة التنافسية الاقتصادية للقوى النووية
- الخبرة الممتدة والأداء الجيد للقوى النووية
- الاهتمام بالتطبيقات المتقدمة للطاقة النووية

٦٧- ويتناول هذا القسم الدوافع المحتمل أن تُفضي إلى نمو القوى النووية عموماً، مع التسليم بأن الجاذبية النسبية للقوى النووية مقارنة بالبدائل ستكون مختلفة في حالات مختلفة. وتكون القوى النووية، عموماً، أكثر جاذبية عندما يتزايد الطلب على الطاقة بسرعة، أو عندما تكون البدائل نادرة أو باهظة الثمن، أو عندما يكون تأمين إمدادات الطاقة أحد الأولويات، أو عندما يكون الحد من تلوث الهواء ومن انبعاثات غازات الدفيئة من الأولويات، أو عندما يكون بالإمكان توافر تمويل أطول أمداً.

*أسعار الوقود الأحفوري*

٦٨- ووفقا للمنشور المعنون *استشراف الطاقة العالمية لعام ٢٠٠٧* الذي أعدّته الوكالة الدولية للطاقة، تم توليد ما نسبته ٤٠ في المائة من الكهرباء العالمية في عام ٢٠٠٥ من الفحم، و٢٠ في المائة من الغاز الطبيعي، و١٦ في المائة من القوى المائية، و١٥ في المائة من القوى النووية، و٧ في المائة من النفط، و٢ في المائة من مصادر طاقة متجددة بخلاف القوى المائية. ويُتوقع أن تنخفض حصة النفط في توليد الكهرباء، أما حصص الفحم والغاز الطبيعي فمن المتوقع أن ترتفع. وستكون هذه المواد هي البدائل الأساسية للقوى النووية في الأمد القريب والمتوسط. وأسعار الفحم متقلبة، كما أنها ارتفعت في مناطق مختلفة من العالم بنسب تتراوح بين ٥٠ في المائة و١٢٥ في المائة، بين عامي ٢٠٠٣ و٢٠٠٦. وبالمثل، ارتفعت أسعار الغاز بنسبة تفوق ١٣٠ في المائة خلال الفترة ذاتها. وتشكّل هذه التغييرات أحد العوامل المفضية إلى تصاعد التوقعات المتعلقة بالقوى النووية. وقد ارتفعت أسعار اليورانيوم كذلك وأظهرت تقلباً في السنوات القليلة الماضية. بيد أن أحد الاختلافات يتمثل في أن تكاليف اليورانيوم تمثل حصة أقل في مجمل تكاليف التوليد مقارنة بتكاليف الغاز والفحم. ويترجَم تضاعف أسعار الوقود إلى زيادة في تكاليف التوليد تتراوح نسبتها بين ٣٥ و٤٥% تقريباً من تكاليف الكهرباء المولدة بالفحم، ونسبة تتراوح بين ٧٠ و٨٠% للكهرباء المولّدة من الغاز الطبيعي. وفي المقابل، فإن تضاعف أسعار اليورانيوم يُزيد تكاليف التوليد بنسبة تتراوح بين ٥ و١٠% تقريباً بمستويات الأسعار الراهنة.

*أمن الطاقة*

٦٩- كان للهواجس المثارة حول تأمين إمدادات الطاقة أهميتها في برامج التوسع النووي لكلٍّ من فرنسا واليابان إبان الهزة النفطية في حقبة السبعينات. وهذه الهواجس تمثل إحدى الحجج المطروحة اليوم في البلدان التي تنظر في تبني خيار القوى النووية. ففي المملكة المتحدة، على سبيل المثال، كان تأمين إمدادات الطاقة إحدى القضايا الرئيسية في إعادة تقويم وضع الطاقة على المستوى الوطني، كما كان أحد العوامل الرئيسية في تغيير النهج المتبع حيال القوى النووية طوال العامين الماضيين.

٧٠- يضاف إلى ذلك أن القوى النووية تتسم بخاصتين من شأنهما زيادة المرونة بوجه عام. فالوقود الأساسي، أي اليورانيوم، متوافر من بلدان منتجة متنوعة، وتلزم مقادير صغيرة منه، مما ييسر تكوين احتياطيات استراتيجية. وفي الممارسة العملية، فإن الاتجاه السائد على مدى السنوات ظل بعيداً عن المخزونات الاستراتيجية، ويميل إلى تأمين الإمدادات على أساس سوق متنوعة تعمل بآليات جيدة لتوفير خدمات الإمداد باليورانيوم والوقود. لكن خيار تكوين احتياطيات استراتيجية منخفضة التكاليف تتيح خزن وقود كافٍ لتشغيل محطات القوى النووية لعدة سنوات يظل متاحاً للبلدان التي تجده خياراً ذا أهمية.

*البيئة*

٧١- والقوى النووية عند نقطة توليد الكهرباء لا تنتج أية انبعاثات تضر بجودة الهواء على النطاق المحلي، كما أنها لا تتسبب في التحمُّض على المستوى الإقليمي ولا تسهم في تغير المناخ. والسلسلة الكاملة للقوى النووية، بدءاً من استخراج الموارد إلى التخلص من النفايات، مروراً تشييد المفاعلات والمرافق، تبتعث مكافئ كربون لكل كيلوواط-ساعة يعادل انبعاثات الرياح والقوى المائية. ويشار إليها بصورة متزايدة باعتبارها تكنولوجيا إيجابية بديلة لمصادر القوى التي تبتعث غازات الدفيئة. وقد اكتسبت قلة انبعاثات غازات الدفيئة الناتجة عن القوى النووية قيمة اقتصادية ملموسة عندما دخل بروتوكول كيوتو حيز النفاذ في شباط/فبراير ٢٠٠٥. ومن بين تسع تكنولوجيات للتخفيف من آثار توليد الكهرباء قام الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ بتقويمها، كانت القوى النووية هي الأكثر قدرة على التخفيف من هذه الآثار بهامش كبير، واحتلت الرتبة الثانية (بعد القوى المائية) في انخفاض حجم التكاليف المرتبطة بهذا التخفيف. بيد أنه تجدر الإشارة إلى أنه حتى في ظل أكثر برامج التوسع النووي العالمية طموحاً، لا يمكن للنمو في القوى النووية أن يؤدي بمفرده إلى تثبيت انبعاثات غازات الدفيئة على نطاق العالم.

*سجلات الأداء والأمان*

٧٢- خلال السنوات الأخيرة، تحسنت سجلات الأداء والأمان بدرجة ملموسة وظلت عالية[١٢]، كما ثبت أن محطات القوى النووية التي تدار بصورة جيدة مربحة إلى حد بعيد. ويعكس التحسُّن في متوسط مُعامِل وفرة الطاقة عالمياً وتضاؤل عدد حالات إيقاف المفاعلات غير المخطَّط لها في حالات الطوارئ هذا التحسُّن[١٣]. بيد أنه في كلا المجالين، لا يزال مجال التحسين مفتوحاً أمام الكثير من المشغلين، وهو ما سيفضي بالضرورة إلى مزيد من التحسُّن إجمالاً. وجودة سجلات الأمان والأداء طوال العقدين الماضيين، مع تزايد الربحية نتيجة ذلك وتوقع مزيد من التحسينات، كلها تسهم في تصاعد التوقعات بشأن القوى النووية.

---

١٢ *استعراض الأمان النووي لعام ٢٠٠٧* ، الوثيقة GOV/2008/2 كانون الثاني/يناير ٢٠٠٨.

١٣ الرابطة العالمية للمشغلين النوويين، *مؤشرات الأداء لعام ٢٠٠٦، ٢٠٠٧* .

## جيم-٥- توقعات النمو في القوى النووية

٧٣- للأسباب المسرودة أعلاه، شهدت السنوات الأخيرة تصاعداً بوجه عام في توقعات القوى النووية التي تواظب عدة منظمات على نشرها.

٧٤- وقد دأبت الوكالة سنوياً، منذ عام ١٩٨١، على نشر توقعات الاستخدام العالمي للطاقة والكهرباء والقوى النووية[١٤]. وتُعَدُّ هذه التقديرات في إطار من التعاون والتشاور بشكل وثيق مع عدة منظمات دولية وإقليمية ووطنية ومع العديد من الخبراء الدوليين المختصين بالإحصائيات والتوقعات المتصلة بالطاقة. ويعرض الجدول جيم-٣ أحدث التوقعات المستوفاة لقدرة التوليد النووية، مصنَّفة حسب مناطق العالم. ففي التوقع المنخفض، تزداد القدرة النووية من ٣٧٢ غيغاواط (كهربائي) في عام ٢٠٠٧ إلى ٤٧٣ غيغاواط (كهربائي) في عام ٢٠٣٠. أما في التوقع المرتفع، فتزداد إلى ٧٤٨ غيغاواط (كهربائي).

الجدول جيم-٣- تقديرات القدرة النووية على توليد الكهرباء (مقدَّرةً بالغيغاواط (كهربائي))

| المنطقة | ٢٠٠٧ | ٢٠١٠ | | ٢٠٢٠ | | ٢٠٣٠ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ضعيفة | عالية | ضعيفة | عالية | ضعيفة | عالية |
| أمريكا الشمالية | ١١٣,٢ | ١١٣,٥ | ١١٤,٥ | ١٢١,٤ | ١٢٧,٨ | ١٣١,٣ | ١٧٤,٦ |
| أمريكا اللاتينية | ٤,١ | ٤,١ | ٤,١ | ٦,٩ | ٧,٩ | ٩,٦ | ٢٠,٤ |
| أوروبا الغربية | ١٢٢,٦ | ١١٩,٧ | ١٢١,٣ | ٩٢,١ | ١٢٩,٥ | ٧٣,٩ | ١٥٠,١ |
| أوروبا الشرقية | ٤٧,٨ | ٤٨,٢ | ٤٨,٣ | ٧٢,١ | ٩٤,٧ | ٨١,٢ | ١١٩,٤ |
| أفريقيا | ١,٨ | ١,٨ | ١,٨ | ٣,١ | ٤,٥ | ٤,٥ | ١٤,٣ |
| الشرق الأوسط وجنوب آسيا | ٤,٢ | ٧,٦ | ١٠,١ | ١٢,٥ | ٢٤,٣ | ١٥,٩ | ٤١,٥ |
| جنوب شرق آسيا والمحيط الهادئ | ٠ | ٠ | ٠ | ٠ | ١,٢ | ١,٢ | ٧,٤ |
| الشرق الأقصى | ٧٨,٥ | ٨١,٣ | ٨٣,١ | ١٢٩,٢ | ١٥١,٨ | ١٥٥,٧ | ٢١٩,٩ |
| المجموع العالمي | ٣٧٢,٢ | ٣٧٦,٣ | ٣٨٣,١ | ٤٣٧,٤ | ٥٤١,٦ | ٤٧٣,٢ | ٧٤٧,٥ |

٧٥- ويوضح الجدول جيم-٣ أن التوسع الأكبر للقدرة النووية يُتوقَّع أن يكون من نصيب الشرق الأقصى. كما يُتوقع حدوث توسع بارز في الشرق الأوسط وجنوب آسيا، وهي المنطقة التي تشمل الهند. والمنطقة المشوبة بأكبر قدر من عدم التيقن، أي صاحبة أكبر اختلاف بين التوقعات المنخفضة والمرتفعة، هي أوروبا الغربية. ورغم أن عام ٢٠٣٠ يشمل قرابة ٢٠ بلداً جديداً، فإن الزيادة العالمية في التوقع المرتفع تأتي أساساً من زيادات في البلدان الثلاثين التي تملك قوى نووية بالفعل. كما يشمل التوقع المنخفض نحو خمسة بلدان جديدة ربما بدأت تشغيل أولى محطاتها للقوى النووية بحلول عام ٢٠٣٠.

٧٦- وقد تغيرت التوقعات التي وضعتها الوكالة خلال السنوات القليلة الماضية. ويشار خصوصاً إلى أن التوقع المرتفع لمعدل الزيادة في القدرة المنشأة لمحطات القوى النووية فيما بين عامي ٢٠٢٠ و٢٠٣٠ قد تضاعف عن التوقعات التي وُضِعت في عام ٢٠٠١، بما يعكس زيادة في التفاؤل حيال القوى النووية في بعض المناطق. وأشار التوقع المنخفض في عام ٢٠٠١ إلى قدرة منشأة آخذة في التناقص حيث أُخرجت محطات من الخدمة دون إحلالها بغيرها. وحتى التوقع المنخفض يتنبأ حالياً بازدياد طفيف مستمر في القدرة المنشأة.

---

١٤ الوكالة الدولية للطاقة الذرية (الوكالة)، *تقديرات الطاقة والكهرباء والقوى النووية للفترة الممتدة حتى عام ٢٠٣٠*، العدد ١، ٢٠٠٨ من سلسلة البيانات المرجعية.

٧٧- وتُظهر دراسات أخرى أيضاً ازدياداً في القدرة المنشأة للمحطات النووية.

٧٨- كما تشتمل وثيقة "آفاق الاقتصاد العالمي" التي تنشرها وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي على توقعات للقوى النووية يجري استيفاؤها بانتظام. وتتضمن هذه الوثيقة دائماً سيناريو مرجعياً، وليس توقعات منخفضة ومرتفعة كتلك التي تضعها الوكالة. كما تُنشَر سيناريوهات بديلة في كثير من الأحيان. والسيناريو المرجعي يلقي الضوء على تطور العرض والطلب بشأن الطاقة في ظل افتراض استمرار السياسات الراهنة. ومن ثم فإنه يكون عادةً، فيما يخص القوى النووية، قريباً من التوقع المنخفض للوكالة. وقد ارتفع ارتفاعاً طفيفاً في الأعوام الأخيرة، وأحدث سيناريو وضعته الوكالة بعنوان 'سيناريو السياسات البديلة'، الذي يفترض تدابير إضافية لمواجهة الهواجس المتصلة بتأمين الطاقة وتغير المناخ، يتصور أن القوى النووية في عام ٢٠٣٠ ستكون أعلى بنسبة ٢٥% مما يمكن أن تكون عليه في السيناريو المرجعي[١٥].

٧٩- وتشير تنبؤات أخرى إلى انتشار واسع جداً في النطاق المحتمل لاستخدام الطاقة النووية مستقبلاً. وتقوم الرابطة العالمية للطاقة النووية بنشر سيناريوهات عالية ومنخفضة ومرجعية للقدرة النووية مرة كل عامين. والنطاق الوارد ضمن الاستيفاء الذي قدمته في عام ٢٠٠٧، من ٢٨٥ غيغاواط (كهربائي) في عام ٢٠٣٠ إلى ٧٣٠ غيغاواط (كهربائي)، أكبر من النطاق الواقع بين التوقعين المنخفض والمرتفع للوكالة، بما يمكن أن يشير إما إلى تراجع أو تضاعف القوى النووية.

٨٠- وفي عام ٢٠٠٠، نشر الفريق الحكومي الدولي المعني بتغيُّر المناخ مجموعة مؤلَّفة من ٤٠ سيناريو للانبعاثات العالمية من غازات الدفيئة حتى عام ٢١٠٠. وتعرض هذه السيناريوهات مجموعة بالغة التنوع من الآفاق الممكنة للقوى النووية. وتزداد حصة القوى النووية من إمدادات الطاقة الأولية العالمية في معظم السيناريوهات من النسبة الحالية التي تتراوح بين ٦ و٧% إلى نسبة تتراوح بين ١٠% و٤٠%. كما يخلص تقرير الفريق المذكور إلى أن المساهمة المحتملة للقوى النووية في مزيج الكهرباء العالمي يمكن أن تصل نسبتها إلى ١٨% في عام ٢٠٣٠. وهذا الرقم يتسق مع التوقع المرتفع للوكالة فيما يخص ذلك العام.

*أوجه عدم التيقن في التوقعات*

٨١- كما يتبين مما سبق، يظل مدى التوقعات عن الاستخدام المستقبلي للقوى النووية واسعاً. وثمة قضايا عديدة تؤثر على تنفيذ برامج القوى النووية مستقبلاً وتؤثر بالتالي على دقة التوقعات بشأن استخدام القوى النووية.

- لقد ولَّدت القوى النووية أهواءً سياسية أقوى مما أوجدته من بدائل. فلا وجه للمقارنة بين بدائل القوى النووية – أي الغاز الطبيعي والفحم والقوى المائية والنفط ومصادر الطاقة المتجددة – والمحظورات وسياسات الإنهاء التدريجي التي تبنَّتها بلدان عديدة حيال القوى النووية.
- بسبب هيكل تكاليف محطات القوى النووية القائم على تركيز المصروفات في البداية، فإن من شأن ارتفاع أسعار الفائدة، أو عدم التيقن بشأن أسعار الفائدة، أن يُضعِف دراسة جدوى القوى النووية بدرجة تفوق البدائل.
- إن هيكل تكاليف القوى النووية المبني على تركيز صرف الموارد في البداية يعني أيضاً أن تكلفة حالات التأخير الرقابي أثناء التشييد تكون أعلى في حالة القوى النووية منها في حالة البدائل. وفي

١٥ الوكالة الدولية للطاقة، *توقعات الطاقة العالمية لعام ٢٠٠٧* ، باريس، ٢٠٠٧.

البلدان التي كانت فيها عمليات الترخيص غير خاضعة نسبياً للاختبار في السنوات الأخيرة، يواجه المستثمرون مخاطر رقابية يُحتمَل أن تكون أعلى تكلفة في حالة القوى النووية منها في حالة البدائل.

- من شأن عوامل مثل قوة واتساع واستمرارية التعهدات بتقليص انبعاثات غازات الدفيئة أن تؤثر أيضاً على نمو القوى النووية.
- إن الصناعة النووية هي صناعة عالمية يواكبها تعاون دولي جيد، ومن ثم فإن انعكاسات وقوع حادث في أي مكان سيتم استشعارها على نطاق هذه الصناعة في أنحاء العالم.
- بالمثل، فإن تأثير الإرهاب النووي ربما كان أبعد نطاقاً من أي إرهاب مماثل يوجَّه إلى أنواع أخرى من الوقود.
- في حين أن محطات القوى النووية ليست في حد ذاتها عاملاً رئيسياً مساهماً في مخاطر الانتشار، فإن مخاوف الانتشار يمكن أن تؤثر على التقبل العام والسياسي للقوى النووية.
- من بين مصادر الطاقة، تُعتبَر النفايات الشديدة الإشعاع خاصية تنفرد بها القوى النووية. ربما تفاوت حجم التأثير لدى دوائر صناعة القوى النووية في حالة مواجهة مشاكل عويصة في أيٍّ من برامج المستودعات الأكثر تقدماً (أي في فنلندا وفرنسا والسويد والولايات المتحدة الأمريكية).

## جيم-٦- التوقعات الخاصة بالتطبيقات غير الكهربائية والآفاق المستقبلية

٨٢- يمكن أيضاً أن تنتج عن القوى النووية حرارة (أو توليفة من الحرارة والكهرباء) في طائفة متنوعة من العمليات الصناعية (مثل تصنيع الورق والمواد الكيميائية والأسمدة ومعامل التكرير)، أو لغرض إنتاج ناقل للطاقة (الهيدروجين)، أو تحسين إمكانية الحصول على أنواع الوقود الأحفوري (عبر تسييل الفحم أو استخلاص النفط من الرمال القطرانية). بيد أن غالبية المفاعلات الراهنة (مفاعلات الماء الخفيف)، كما يوضح الشكل جيم-١، لا تنتج البخار أو الحرارة المتوفرة عند درجات حرارة يمكن أن تتيح الأخذ ببعض هذه التطبيقات الإضافية. وعلى وجه الخصوص، فإن استخدام مفاعلات شديدة الحرارة ومواد ملائمة ضروري وجارٍ تطويره على النحو الموصوف لاحقاً في القسم واو.

*الشكل جيم-١ - نطاق درجات الحرارة التشغيلية ومتطلبات حرارة المعالجة*

*التحلية*

٨٣- في الوقت الراهن، تُستخدَم التحلية النووية في عدد محدود جداً من البلدان. وتشير التوقعات التي يوردها تقرير الأمم المتحدة عن تنمية المياه في العالم إلى أن عدد من يعانون من شح أو ندرة المياه قد يزداد إلى ٥ر٣ بليون نسمة بحلول عام ٢٠٢٥. ومن ثم فإن الحاجة إلى نظم للتحلية قد يكون بمثابة عامل مساهِم في توسيع نطاق القوى النووية ليشمل بلداناً واقعة في الشرق الأوسط أو أفريقيا تعاني من ندرة مياه الشرب. وتقوم اليابان في الوقت الراهن بتشغيل محطات تحلية للمياه المُرَكَّبة في ١٠ محطات للقوى النووية، ولدى اليابان العديد من المشاريع الإيضاحية قيد التشغيل، كما تعكف باكستان وجمهورية كوريا والاتحاد الروسي على العمل في مشاريع تصميمية وإيضاحية. وتدرس بلدان أخرى الجدوى التقنية والاقتصادية للعمليات المختلفة.

*النقل*

٨٤- يُعَدُّ النقل أحد العوامل المهمة المساهِمة في انبعاثات غازات الدفيئة. وإذا أمكن للطاقة النووية أن تسهم بدرجة أكبر في قطاع النقل، فإن بوسعها أن تُحدِث تأثيراً ملموساً في هذا الصدد. وبمقدور القوى النووية أن تسهم بشكل متزايد في إنتاج الكهرباء لتسيير المركبات الهجينة أو الكهربائية أو وسائل النقل الجماعي، وعبر إنتاج الهيدروجين (أنظر القسم هاء-٣ أدناه).

## دال- التحديات التي تواجه التوسع النووي

### دال-١- أهم القضايا والاتجاهات المؤثرة على التوسّع النووي في المدى القريب

#### دال١-١- الأمان والعولية

٨٥- يتسم الأمان والعولية بأهمية جوهرية لأي برنامج فعال للقوى النووية. ويلزم توخّي الحيطة واليقظة بشأن تشغيل محطات القوى النووية، وكذلك فيما يخص التحضير لبدء استخدامها. فأي ضرر يلحق بالمحطة، أو أي تأخير هام يطرأ على المشروع، أو أي انخفاض في المعايير، سواء كان ذلك في البلدان التي تشغل محطات قوى نووية أو في تلك التي تحضر لبدء استخدام القوى النووية في المستقبل، قد يخلّف أثراً ملموساً جداً على التوسّع في استخدام الطاقة النووية على صعيد العالم. لذا فمن الأهمية بمكان مواصلة الجهود الرامية إلى تخفيض تكاليف التشييد وتقليص الوقت اللازم له، كما هي موصوفة في القسم هاء-١-١.

#### دال-١-٢- التنافسية الاقتصادية والتمويل

٨٦- تتطلب محطات القوى النووية استثمارات رأسمالية أكثر ممّا تحتاجه محطات توليد القوى الضخمة الأخرى. وفي الكلفة الشاملة لتوليد الكهرباء نووياً، تُعوَّض الكلفة الرأسمالية بتكاليف وقود أدنى وأكثر استقراراً خلال التشغيل. وتمثل الاستثمارات في العادة نحو ٦٠% من الكلفة الإجمالية لتوليد الكهرباء نووياً. ولما كان يجب الاهتمام برأس المال خلال التشييد، فإن تنافسية القوى النووية تتأثر بتأخُّر التشييد قبل التشغيل، بسبب مسائل الترخيص أو المسائل القانونية، أو المشاكل التقنية، أو توافر الدراية والمعدات والمكوّنات.

٨٧- وثمة مسألة أخرى تؤثر في التنافسية الاقتصادية للقوى النووية على المدى القريب وهي مسألة كلفة المواد. ومنذ أوائل عام ٢٠٠٧، ارتفعت تكاليف المواد الرئيسية مثل الفولاذ أو المعادن غير الحديدية بنسبة تتراوح بين ٥٠ و١٠٠%، تبعاً لموقعها ونوعيتها وكميتها، وغيرها من الأمور. فالاقتصادات الآسيوية المتسارعة النمو تستهلك المواد الخام وتدفع أسعار الفولاذ والخرسانة وغيرها من المواد صعوداً. وفي حين تتأثر أنواع محطات القوى الأخرى بهذه القيود ذاتها، يمكن للقطاع النووي أن يتأثر بشكل أكثر تفاوتاً نتيجة لتركُّز تكاليفه في مرحلة البداية. وهناك مسائل أخرى تؤثر في التنافسية الاقتصادية للقوى النووية على المدى القريب في بعض البلدان، وهي قابلية التأخير نتيجة لتطبيق إجراءات رقابية جديدة على الترخيص المتكامل، واستعادة هذا القطاع الصناعي عافيته بعد عقود من الركود. وثمة مخاطر اقتصادية أخرى ترتبط بمرحلة التشغيل، بما يشمل تكاليف الوقود، ومدى تنظيم سوق الكهرباء، وعولية المحطة وأداءها.

٨٨- وتتوقف اقتصاديات القوى النووية على الظروف الوطنية. والتنافسية الاقتصادية تعتمد على الكلفة الرأسمالية، والبيئة الرقابية، كما تتوقف على توافر مصادر بديلة للطاقة وكلفتها، وعلى تكاليف الطاقة، وعلى الحالة التجارية لمشروع قوى معيّن. وتتفاوت توقعات تكاليف التوليد النووي بالنسبة للمحطات الجديدة (بما يشمل تكاليف إدارة المحطة وتشغيلها، وتكاليف الوقود) بشكل كبير، قد يصل إلى الضعفين، في البلدان المختلفة من حوالى ٣٠ دولاراً للميغاواط/ساعة إلى قرابة ٧٠ دولاراً للميغاواط/ساعة. وبالمقارنة، تتراوح تكاليف التوليد بالغاز بين ٤٠ و ٦٥ دولاراً للميغاواط/ساعة. وفي غالبية البلدان التي تستخدم القوى النووية حالياً، يُتوقع أن تكون تكاليف التوليد النووي المستقبلية أقل من تكاليف التوليد بالغاز أو الفحم. وبناءً على توقعات وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي بشأن تكاليف توليد الكهرباء، يُتوقع، في سبعة بلدان من أصل عشرة تمت دراستها، أن تكون كلفة التوليد النووي أقل من كلفة التوليد بالفحم بهامش ١٠% أو أكثر، فيما ستكون هذه الكلفة أقل من كلفة التوليد بالغاز بهامش ١٠% أو أكثر في تسعة بلدان.[١٦]

٨٩- وتكمن إحدى خصائص القوى النووية في الحاجة إلى نفقات هائلة بعد توقف إنتاج القوى وتوليد العائدات لأجل سداد كلفة إخراج المفاعلات من الخدمة والتصرّف في الوقود المستهلك والنفايات المشعة. ويقدّر أن تكاليف الإخراج من الخدمة تمثل ما بين ١٠ و١٥% من التكاليف الرأسمالية للمحطات النووية. والتكاليف الإجمالية للتصرف في النفايات إلى حين التخلص منها نهائياً في مستودع قيد التشغيل تكاد تكون بالقدر ذاته. وتستخدم الصناعة النووية تشكيلة واسعة من الآليات والمخططات لكفالة تقييم هذه التكاليف وتوافر الأموال الضرورية عند الحاجة إليها. وعلى وجه العموم، تعتبر هذه التكاليف بمثابة تكاليف تشغيلية ويقوم المشغلون بجمع الأموال خلال فترة توليد المحطة للكهرباء. ويشكل التمويل المضمون لبرامج التصرف في النفايات والوقود المستهلك جانباً مهماً من اقتصاديات إنتاج القوى النووية ومن أمان البرنامج النووي وأمنه إجمالاً.

٩٠- وفي الوقت الحالي، لا تمثل الميزة الخارجية للقوى النووية أي الضآلة الشديدة لانبعاثات غازات الدفيئة سوى قيمة اقتصادية بسيطة بالنسبة للمستثمرين، ولكن ذلك قد يتبدّل لو أمكن إدراج القوى النووية ضمن الآليات التي تفرض قيوداً أو ضرائب على مثل هذه الانبعاثات. ومن شأن التنافسية الاقتصادية للقوى النووية أن تتحسن في المدى القريب لو تأهل القطاع النووي للمشاركة في المخططات العالمية لتبادل الكربون المرتبطة بتخفيض انبعاثات غازات الدفيئة.

---

١٦ وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، التكاليف المتوقعة لتوليد الكهرباء: *الصيغة المحدّثة لعام ٢٠٠٥* ، باريس، ٢٠٠٥.

**دال-١-٣- تصور عامة الجمهور**

٩١- ظل تصور عامة الجمهور للطاقة النووية منصبّاً على الشواغل المرتبطة بالأمان والانتشار والتصرف في النفايات. فبعد الحادثين النوويين اللذين وقعا في جزيرة "ثري مايل آيلند" وتشرنوبل، انتاب القلق عامة الجمهور ليس حيال مخاطر الإشعاعات على البشر والبيئة فحسب، بل بشأن سرعة المعلومات المتوفرة ودقتها أيضاً. ولا تفتأ الشواغل إزاء الانتشار والإرهاب النووي تؤدي دوراً في بناء تصور عامة الجمهور للقوى النووية.

٩٢- ويتوقّف تصور عامة الجمهور أيضاً على عوامل عديدة خاصة بمجتمع معيّن مثل حالة الإمداد المحلي بالطاقة، والخبرات الوطنية في مجال القوى النووية، والتصوّرات الوطنية للاعتبارات البيئية. ويعود جزء من التغير الذي يشهده تصور عامة الجمهور للقوى النووية إلى الأداء الناجح للطاقة النووية على مدى السنوات العشرين الماضية، وأيضاً إلى تصوّر أنه يمكن للطاقة النووية أن تقدّم مساهمة قيّمة في كبح الاحترار العالمي. ويمكن للخبرة المكتسبة من النجاح في الإخراج من الخدمة والتصرف في النفايات أن تؤدي أيضاً إلى رفع مستوى ثقة الجمهور. وفي بعض البلدان، قد يتأثر تصور عامة الجمهور تأثراً كبيراً بالنقص في البدائل العملية والميسورة وبالملاحظات القائلة بأن القوى النووية قدّمت مساهمات قيّمة في رفع مستويات المعيشة في بلدان أخرى.

٩٣- وبالنسبة لأي بلد يفكر في استخدام القوى النووية أو يستخدمها فعلاً، من الأمور الجوهرية أن يكون هناك تواصل مفتوح مع جميع أصحاب المصلحة (متخذي القرارات، وعامة الجمهور، ووسائل الإعلام، والبلدان المجاورة) بشأن جميع المسائل المحيطة بالقوى النووية (المزايا، والمخاطر، والتعهّدات، والالتزامات)، وذلك بغية بناء وتعهّد الثقة والطمأنينة في أي برنامج للقوى النووية.

**دال-١-٤- الموارد البشرية**

٩٤- يشكل توافر الموارد البشرية تحدّياً حاسماً بالنسبة لتوسّع القوى النووية ونموها. والصناعة النووية تواجه تحدياً في تعيين وتدريب عدد كبير من الأفراد المؤهلين لمجرد أن يحلوا محل ذوي الخبرة الهائلة الذين باتوا على أبواب التقاعد. وسيلزم أن تتوافر موارد بشرية إضافية لدعم التوسع المزمع أو تطبيق برامج قوى نووية جديدة. وهذان التحدّيان، لدى اجتماعهما معاً، يصبحان هائلين.

٩٥- وبالنسبة للبلدان التي تستهل برنامجاً نووياً، فإن إحدى السبل المثبتة التي يمكن من خلالها لمن سيضطلعون بتشغيل وصيانة المحطات الأولى أن يحصلوا على الكفاءة اللازمة هي اكتساب الخبرات في مرافق قائمة تستخدم تكنولوجيا مماثلة. ومن خلال هذا التدريب العملي وهذه الخبرة، يمكن نقل أوجه الكفاءة وثقافة الأمان اللازمتين في قطاع القوى النووية. ونتيجة للتزامن بين العدد الهائل من حالات التقاعد وبين التوسعات المخطط لها، فإن امتلاك الموارد البشرية الكافية التي تملك قدراً ملائماً من الخبرة للاضطلاع بهذه المهام يمكن أن يشكل تحدياً ضخماً.

٩٦- ويتفق غالبية القائمين على إدارة الصناعة على ضرورة التخطيط بشكل دقيق لبناء قوى عاملة نووية. بيد أنه لا ضرورة لأن تتوافر القوى العاملة بأسرها قبل بدء التشييد، إذ أن السنوات التي يستغرقها بناء محطة تتيح الوقت لتدريب معظم أفراد هذه القوى العاملة غير المتخصصين في الميدان النووي.

**دال-١-٥- التصرف في الوقود المستهلك والنفايات**

٩٧- عند التخطيط لتوسيع نطاق القوى النووية أو لبدء استخدامها، يجب دراسة كيفية التصرف في الكميات الجديدة أو الإضافية من الوقود النووي المستهلك والنفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع، كما يجب وضع سياسة واستراتيجية لتنفيذ عملية التصرف هذه وتمويلها.

٩٨- وكثيراً ما يشار إلى التصرف في الوقود المستهلك والتخلص النهائي من النفايات المشعة على أنهما يشكلان تحدياً يواجه توسيع نطاق القوى النووية. ورغم أنه يمكن، من وجهة النظر التقنية، خزن الوقود المستهلك والنفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع خزناً مأموناً لمدة طويلة، فإن بعض البلدان ربما احتاجت إلى اتخاذ قرار بشأن إيجاد حل دائم للنفايات قبل البت في توسيع استخدام القوى النووية. وقد وصلت تكنولوجيات معالجة النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع وخزنها الطويل الأمد إلى مرحلة النضوج، شأنها شأن التخلص من هذه النفايات. بيد أن التجارب أظهرت إمكانية مواجهة صعوبات في تقبّل الجمهور لفكرة تشييد مرفق للتخلص من النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع.

٩٩- وتبعاً للظروف الاقتصادية، إما أن تعاد معالجة الوقود النووي المستهلك بغية إعادة استخدامه، أو يُعتبَر بمثابة نفايات. وفي إطار إعادة المعالجة، يُفصَل البلوتونيوم واليورانيوم عن النفايات لإعادة تدويرهما كوقود خليط الأكسيدين (أي وقود موكس). أمّا النفايات القوية الإشعاع المتبقية، فتحتاج إلى سبل آمنة للتخلص منها. وفي الوقت الحالي، تقوم بلدان قليلة فقط بإعادة معالجة وقودها وإعادة تدويره (دورة الوقود المغلقة). وقررت بلدان أخرى عدم إعادة المعالجة بسبب النواحي الاقتصادية ونظراً لشواغل الانتشار أو الشواغل البيئية المرتبطة بفصل البلوتونيوم. وسيتم في هذه البلدان التخلص من الوقود في مرفق تخلص جيولوجي بعد ما يتراوح بين ٣٠ و٤٠ سنة من الخزن المؤقت (دورة الوقود الأحادية المسار). ولكن معظم البلدان التي لديها محطات قوى نووية فضلت الانتظار حتى تتضح الرؤية. وفي الآونة الأخيرة، ازداد الاهتمام بدورة الوقود المغلقة على صعيد العالم لأسباب لها علاقة بالاستدامة (أي استخدام الموارد بصورة أفضل). ويمكن لإعادة المعالجة المتقدّمة أيضاً أن تبسِّط التخلص النهائي من النفايات القوية الإشعاع المتبقية.

١٠٠- وفضلاً عن ذلك، تتم حالياً دراسة نُهُج دولية أو متعددة الجنسيات للمرحلة الختامية من دورة الوقود، بغية زيادة الكفاءة والحد من شواغل الانتشار. وتشمل هذه النُهُج إقامة مستودعات متعددة الجنسيات، وتأجير واسترجاع الوقود، وخدمات إعادة المعالجة.

١٠١- وعلاوةً على ذلك، يجب أيضاً النظر بعين الاعتبار إلى إخراج المفاعلات النووية من الخدمة مستقبلاً وإلى التصرّف في النفايات المشعة المنبثقة عن الإخراج من الخدمة. وقد باتت تكنولوجيا الإخراج من الخدمة متوافرة ووصلت إلى مرحلة النضوج.

**دال-١-٦- النقل**

١٠٢- من شأن حدوث زيادة في عدد البلدان التي لديها مفاعلات قيد التشغيل على صعيد العالم أن تؤدي إلى زيادة في الحجم الإجمالي لعمليات نقل اليورانيوم، والوقود الطازج والمستهلك، والنفايات. وفيما يخص الوقود الطازج، ستتناسب الزيادة مع النمو في إنتاج الكهرباء، بزيادة نسبتها حوالي ٢٠% بحلول عام ٢٠٣٠ بناءً على توقع الوكالة المنخفض وزيادة بنسبة ٨٥% بناءً على التوقع المرتفع. ويصعب بدرجة أكبر التنبؤ بحجم عمليات نقل الوقود المستهلك والنفايات، إذ يرتبط ذلك بالسياسات الوطنية حيال إعادة المعالجة وبعوامل أخرى. وفي

المدى القريب، يرجح أن يبقى عدد عمليات نقل الوقود المستهلك عبر الحدود عند مستوى أقل ممّا كان عليه في التسعينات من القرن الماضي، مع افتتاح محطة روكاشو لإعادة المعالجة في اليابان، وانتهاء عقود إعادة معالجة الوقود الأجنبي في كلٍّ من المملكة المتحدة وفرنسا. وعلى المدى الأبعد، من المرجح أن يرتفع عدد عمليات النقل هذه نتيجة لتزايد إعادة المعالجة وإعادة التدوير.

١٠٣- وعلى مدى السنوات القليلة الفائتة، أحاطت الوكالة علماً بتزايد حالات رفض شحن المواد المشعة، خاصة المصادر المشعة المستخدمة لأغراض طبية أو صناعية، لكن ذلك الرفض شمل أيضاً اليورانيوم والوقود النووي الطازج، بصرف النظر عن وسيلة النقل. والوكالة بصدد جمع معلومات إضافية حول هذا التوجّه وقد أنشأت لجنة توجيهية لمتابعة تقصي آثاره. ولم تؤثر حالات رفض الشحن على نقل الوقود المستهلك والنفايات، الذي يتم عادةً ضمن شحنات مخصصة لذلك، ولكن هذا النقل أثار احتجاجات لدى عامة الجمهور نتيجة للاعتراض على استخدام الطاقة النووية.

**دال-١-٧- مخاطر الانتشار، والأمن النووي**

١٠٤- رغم أن محطات القوى النووية المدنية بحد ذاتها لا تنذر بتزايد مخاطر الانتشار، فإن تزايد المواد النووية قيد الاستخدام قد يزيد من مخاطر تحريفها في اتّجاه استخدامات غير سلمية أو لأغراض الإرهاب. كما أن انتشار التكنولوجيا النووية ووجود إرهابيين دوليين يمكن أن يعززا إدراك مدى المخاطر المتنامية.

١٠٥- ولعله يلزم، نتيجة لذلك، أن ينظر المجتمع الدولي في التحدّيات المرتبطة بتحسين المراقبة على الأجزاء الحسّاسة من دورة الوقود النووي (مثل تنفيذ نُهُج متعدّدة الجنسيات بشأن دورة الوقود النووي)، وتعزيز الالتزام الدولي بدعم نظام ضمانات الوكالة المقوّى، وتحسين المشاركة في التدابير الأمنية الدولية.

١٠٦- ويتطلّب النموّ في مجال القوى النووية أنشطة رقابية إضافية، إلا أنه من غير المرجّح أن يزداد عبء عمل الوكالة المتصل بالتحقّق تناسبياً إذا ما قبلت الدول قدراً أكبر من تدابير الشفافية. وستصبح أنشطة التحقّق مدفوعة أكثر فأكثر بالمعلومات. وتزايُد عدد المرافق التي تقترب من نهاية عمرها التشغيلي يطرح تحدّياً متصاعداً أمام التحقّق أثناء الإغلاق والإخراج من الخدمة. ويمكن تقليل عبء التحقّق الناشئ من تكنولوجيا المفاعلات الجديدة ومن تعدّد أنواع مرافق دورة الوقود عن طريق العمل على تطوير وتكامل تكنولوجيا 'موائمة رقابياً' تتيح التحقّق على نحو كفء وفعّال.

١٠٧- واحتمال تعرّض المواد للخطر أثناء مرحلة العبور هو أحد الجوانب التي قد تتطلّب اتّخاذ تدابير إضافية فيما إذا ازداد حجم شحنات وقود المفاعلات. وفي هذا الصدد، سيلزم تنقيح الوثيقة INFCIRC/225، المعنونة *الحماية المادية للمواد والمرافق النووية*، لتشمل أحكاماً إضافية بشأن النقل.

**دال-١-٨- إرساء البنية الأساسية في البلدان النووية المستجدّة**

١٠٨- إن مسألة تفعيل بنية أساسية ملائمة لمعالجة جميع القضايا ذات الصلة لدى الأخذ بالقوى النووية تمثل محوراً للاهتمام، وبخاصة بالنسبة للبلدان التي تخطّط لإقامة أول محطة للقوى النووية. وتشمل البنية الأساسية الدعم الحكومي والقانوني والرقابي والإداري والتكنولوجي والبشري وغير ذلك من موارد الدعم للبرنامج النووي طوال عمره التشغيلي. وهي تنطوي على طائفة عريضة من القضايا – بدءاً من الإمدادات المادية بالكهرباء، ونقل المواد واللوازم إلى الموقع، والموقع نفسه، والمرافق الخاصة بمعالجة مواد النفايات المشعّة، وصولاً إلى وضع الإطار التشريعي والرقابي، وتدبير الموارد البشرية والمالية الضرورية. وبإيجاز، تتضمّن

البنى الأساسية، وفق استخدامها في هذا السياق، جميع الأنشطة والترتيبات اللازمة لإقامة وتشغيل برنامج نووي.[١٧] وهذا صحيح سواء كان برنامج القوى النووية معتزماً لإنتاج الكهرباء، أو لتحلية مياه البحر، أو لأي غرض سلمي آخر.

١٠٩- وجميع المنظمات الحكومية، والمرافق، والمنظمات الصناعية، والهيئات الرقابية في أي بلد يعتمد أو يوسّع برنامجاً للقوى النووية تؤدّي دوراً ما في إرساء بنية أساسية وطنية. والحكومات المصدّرة والجهات المورّدة قد تؤدي أدواراً كأصحاب مصلحة في فهم مدى كفاية البنية الأساسية الوطنية قبل توريد أية معدّات ومواد نووية. ويُعدّ تطوير كفاءة تلك المنظمات جانباً رئيسياً يلزم تحديده في بداية الإعداد لأي برنامج قوى نووية.

١١٠- وينبغي التخطيط لإرساء جميع عناصر البنية الأساسية النووية الوطنية بدّقة. بيد أنه ليس من الضروري إرساء البنية الأساسية برمـّتها قبل البدء بإعداد برنامج قوى نووية؛ ذلك لأنه ينبغي تطوير البنية الأساسية بأسلوب مرحلي يتساوق مع تطوّر البرنامج.

### دال-١-٩- العلاقة بين الشبكات الكهربائية وتكنولوجيا المفاعلات

١١١- إن قضايا حجم الشبكات وجودتها واستقرارها والترابط فيما بينها تستوجب الدراسة من قِبَل البلدان التي تستخدم القوى النووية في الوقت الراهن، غير أن هذا الأمر مهم خصوصاً بالنسبة للقادمين النوويين الجدد. ويسود الاعتقاد على نطاق واسع بأن قيمة ١٠ بالمائة من قدرة الشبكة الكهربائية هي القدرة القصوى لأي وحدة إضافية من أي نوع تلزم للحيلولة دون وقوع مشاكل الترابط البيني الشبكي. ومن شأن ترابط الشبكات أن يزيد من القدرة العامة لهذه الشبكات. ونظم الحماية التي تعزل أجزاء من الشبكة في حالة وقوع تغيـّرات عابرة يمكن أن تحدّ من مخاطر عدم الاستقرار.

١١٢- وكثير من البلدان المهتمـّة باستحداث محطات قوى نووية لديها شبكات كهربائية صغيرة ومعزولة. وعشرون بلداً ممن تبدي اهتماماً بالقوى النووية لديها شبكات تقلّ قدرتها عن ٥ غيغاواط (كهربائي)، مما يجعلها صغيرة أكثر مما ينبغي، وفقاً للإرشادات القائمة على نسبة الـ١٠ بالمائة السالفة الذكر اللازمة لاستيعاب أيٍّ من تصاميم المفاعلات المتاحة في الوقت الراهن. وقد تفرض القضايا الشبكية تقييدات على الخيارات في مجال التكنولوجيا بالنسبة للبلدان الثمانية والعشرين التي لديها شبكات قدرتها تقلّ عن ١٠ غيغاواط (كهربائي). والوفرة التجارية للتصاميم التي تتـّسم بقدرة أدنى من ٦٠٠ ميغاواط (كهربائي) محدودة، وإن كان عديد من التصاميم في مرحلة التطوير. وأوجه التقدّم التكنولوجي في المفاعلات الصغيرة الرامية إلى تحسين الاستدامة التجارية بالإضافة إلى تقليل الاعتماد على استقرار وعولية الشبكات من شأنها أن توسع نطاق الخيارات المتاحة للبلدان التي لديها شبكات صغيرة. والمفاعلات الصغيرة للغاية التي تتميـّز بخصائص تمكـّنها من أن تكون مستقلـّة تماماً عن أي شبكة كهربائية ربما كانت هي الأخرى موضع اهتمام بالنسبة للتطبيقات في ظروف العزل.

### دال-٢- القضايا الرئيسية التي تواجه التوسّع الطويل الأجل

١١٣- من الضرورة بمكان تطوير تصاميم كلٍّ من المفاعلات ودورات الوقود من أجل تحقيق زيادة في مساهمة الطاقة النووية على المدى الطويل في التنمية المستدامة. ويتمثـّل هدف التنمية المستدامة في تحقيق العدالة داخل البلدان وعبرها وعلى مرّ الأجيال، وذلك عن طريق تحقيق التكامل بين عناصر النموّ وحماية البيئة

---

١٧ منشور الوكالة المعنون *المعالم البارزة لتطوير بنية أساسية وطنية للقوى النووية* (سلسلة وثائق الطاقة النووية التي تصدر عن الوكالة، العدد NG-G-3.1) يسرد قائمة تتضمـّن ١٩ قضية يلزم تناولها في إطار إرساء بنية أساسية وطنية.

والرعاية الاجتماعية. ويمكن النظر إلى الاستدامة انطلاقاً من أربع وجهات نظر أو أبعاد متصلة لكنها مختلفة: بنى أساسية اجتماعية واقتصادية ومتصلة بالبيئة ومؤسّسية. ومن أجل تحقيق ذلك في أي نظام للطاقة النووية، يُنظر إلى تحسينات الاستدامة في سياق ما يجري من تطوّرات في مجالات الأمان، والاقتصاد، ومقاومة الانتشار، والنفايات، والبيئة، واستخدام الموارد، والأمن، والبنى الأساسية.

**دال-٢-١- استخدام الموارد المتاحة على نحو فعّال**

١١٤- يُظهر آخر تقدير للموارد العالمية من اليورانيوم، منشور من جانب وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي بالاشتراك مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية في عام ٢٠٠٨، أنه تم اكتشاف موارد يورانيوم تقليدية تبلغ ٥,٥ مليون طن (مليون طن من اليورانيوم). ويوازي ذلك ما يُستهلَك على مدى ١٠٠ عام تقريباً وفقاً لمستوى الاستهلاك الحالي. ومع أن هذا يُعدّ رقماً عالياً، إذا ما قورن بالموارد المعدنية الأخرى، فإن التحدّي المهم القائم هو تحسين استخدام موارد اليورانيوم، أي زيادة مُخرجات الطاقة لكل طن من اليورانيوم المستخرج. وبالتوازي مع ذلك، يمكن توقّع أن تؤدّي زيادة الاستكشاف إلى زيادة موارد اليورانيوم.

١١٥- ويمكن تحقيق تحسينات معيّنة (إلى حدّ مضاعفة مُخرجات الطاقة) فيما يخصّ الجيل الحالي من المفاعلات عن طريق تقليص جزئية اليورانيوم-٢٣٥ في مخلّفات محطات الإثراء، وإعادة استخدام اليورانيوم والبلوتونيوم المستخرج من الوقود المستهلك، وزيادة معدّلات احتراق الوقود.

١١٦- وسيكون أحد التدابير لتحسين فعّالية استخدام الموارد المتاحة هو استحداث مفاعلات سريعة ودورات الوقود المرتبطة بها. ومع تعدّد عمليات إعادة التدوير فإن مُخرجات الطاقة لكل طن من اليورانيوم يمكن أن تزداد بنحو ٦٠ مِثلاً مقارنةً بما هي عليه الحال بالنسبة لمفاعلات الماء الخفيف العاملة في الوقت الحاضر. كما يمكن أن تُطوَّر تجارياً مفاعلات ابتكارية تستخدم وقود الثوريوم، وهو ما يزيد بالتالي المصادر العالمية من الوقود النووي الصالح للاستخدام.

١١٧- وبالإضافة إلى مراعاة الكفاءة في استخدام موارد اليورانيوم والثوريوم، ينبغي السعي إلى الاستخدام الفعال للمواد الهيكلية، مثل الصلب. فعديد من مفاهيم المفاعلات المتطوّرة يوفّر حلولاً تقنية من شأنها أن تتيح وفورات مباشِرة أو غير مباشِرة في المواد مما يساعد على المنافسة الاقتصادية. ومن بين تلك الحلول ما يلي: إطالة عمر التصميم، وزيادة الكفاءة الحرارية لدورة تحويل القوى، والحدّ من استهلاك الصلب، ودمج الترتيب النسقي للمحطات. ومن منظور أطول أمداً، ربما تساهم أيضاً إعادة تدوير المواد الهيكلية المشعّة الناشئة من المفاعلات النووية المُخرَجة من الخدمة في استخدام الموارد بفعّالية.

**دال-٢-٢- الابتكار في مجال تصميم المفاعلات**

١١٨- القضية الثانية فيما يخص التوسّع الطويل الأجل هي الابتكار في مجال تصميم المفاعلات. وترد في القسم هاء-١-٢- الابتكارات المتعلقة بمفاعلات القوى الكبيرة. ومن بين الابتكارات الرامية إلى توسيع نطاق استخدام محطات القوى النووية زيادة معدلات الحرارة في عمليات التشغيل، وبالتالي في المنافذ. وتجري مقاربة تلك الابتكارات سواء عبر استحداث مفاعلات مرتفعة الحرارة مبرّدة بالغاز أو عمليات تطوير لزيادة الحرارة المُخرجة من المفاعلات المبرّدة بالماء، بما في ذلك استحداث مفاعلات مبرّدة بالماء فوق حرجية. والابتكارات الهادفة إلى الاستجابة للاهتمام المتزايد بالقوى النووية لأغراض التطبيقات التي تقتضي استخدام مفاعلات صغيرة، تركّز على استحداث مفاعلات يمكن تشغيلها على شبكات كهربائية صغيرة أو بعيداً عن الشبكة. ورغم

تصاعد الاهتمام بشكل يمكن إدراكه، فليس واضحاً ماذا ستكون عليه حالة سوق المفاعلات المندرجة في نطاق الحجم هذا. يُضاف إلى ذلك أنه يجري أيضاً استحداث مفاعلات يمكن نقلها أو مفاعلات متنقّلة لأغراض التطبيقات عن بعد أو التطبيقات المعزولة.

**دال-٢-٣- الابتكارات في مجال دورة الوقود**

١١٩- بالتوازي مع استحداث مفاعلات ابتكارية، يلزم تطوير مرافق دورة الوقود المقابلة لها على المدى الطويل. ويتضمّن ذلك مرافق إعادة معالجة متقدّمة يمكنها التعامل مع وقود المفاعلات الابتكارية ويمكنها فصل البلوتونيوم والأكتينات الثانوية لأغراض إعادة التدوير، وكذلك تكنولوجيات صنع الوقود بما يلزم أنواع الوقود تلك.

١٢٠- ومن شأن استحداث مفاعلات ابتكارية وزيادة التدوير أن يفضيا إلى زيادة التعامل مع مواد حسّاسة من زاوية الانتشار، بما قد يؤدي إلى زيادة المتطلبات الرقابية. وقد اقتُرح عدد من النُهُج الابتكارية لمعالجة هذه القضية، بما يشمل تعددية أطراف مرافق دورة الوقود الحسّاسة، أي مرافق الإثراء وإعادة المعالجة. وربما شملت حلول أخرى ممكنة وضع نظام تقوم فيه بعض البلدان في آن معاً بتوفير وقود طازج للمفاعلات واسترجاع الوقود المستهلك كخدمة. وهكذا، سيكون الوقود المستهلك أحد موارد إعادة التدوير في المفاعلات السريعة وربما كانت له قيمة إيجابية من منظور أطول أمداً. واستخدام المواد المعاد تدويرها قد يُزيد أيضاً شواغل الأمان والأمن أثناء النقل.

١٢١- كما أن الاستخدام المتزايد لدورات الوقود المغلقة قد يغيِّر الوضع المتعلق بالتخلّص النهائي من النفايات القوية الإشعاع. ومع إزالة البلوتونيوم والأكتينات الثانوية، سوف يتقلّص حجم السمّية الإشعاعية والأحمال الحرارية الناتجة عن النفايات القوية الإشعاع، وهو ما سيجعل بالإمكان زيادة سعة المستودعات عن طريق التمكن من التخلّص من طرود النفايات معاً في أوقات متقاربة. وتجري أيضاً مناقشة الفوائد المحتملة لإقامة مستودعات دولية أو إقليمية، بيد أن الترتيبات المتعلقة بهذه المرافق ما زالت تواجه تحديات بشأن قبولها سياسياً ومن جانب الجمهور.

## هاء- تطور تكنولوجيا المفاعلات ودورة الوقود

### هاء-١- التطوّرات في مجال تكنولوجيا المفاعلات النووية والتكنولوجيا الداعمة لها

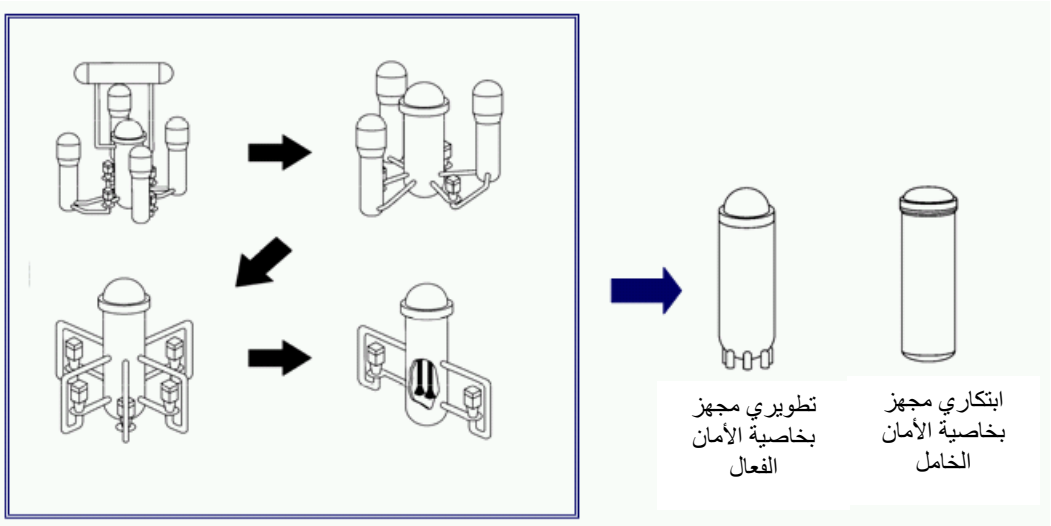
١٢٢- معظم محطات القوى النووية المتقدّمة الموجودة في الوقت الحاضر هي بمثابة تحسينات تطويرية لتصاميم سابقة. ويفيد ذلك في الاحتفاظ بسمات تصميمية مُثبتة، بما يقلل المخاطر التكنولوجية إلى أدنى حد. وتلك التصاميم التطورية تتطلّب عموماً مزيداً من البحث والتطوير أو إجراء اختبارات إثباتية.

١٢٣- وتتضمّن التصاميم الابتكارية، من ناحية أخرى، تغييرات مفاهيمية جذرية في النُهُج التصميمية أو في أنساق النظم بالمقارنة مع الممارسات القائمة. ويُحتمل أن تتطلّب التصاميم الابتكارية قدراً أكبر من الاستثمار في البحوث التطويرية بالإضافة إلى تشييد محطة نموذجية أو إيضاحية.

### هاء-١-١- التنمية التطورية

١٢٤- إن نموّ استخدام القوى النووية على المدى القصير سوف يقوم في الأغلب على تصاميم تطوّرية. وتراعي التصاميم التطورية تعقيبات الخبرات التشغيلية في مجالات التواصل بين الإنسان والآلة، وعولية المكوّنات، وتحسين الجوانب الاقتصادية، والأمان. ونظراً لأن جزءاً من النظام قد ثبُتت جدواه بالفعل، فإن أقصى ما تتطلّبه التصاميم التطورية هو إجراء اختبارات هندسية وإثباتية. ومن أمثلة العناصر الشائع استخدامها في التصاميم التطورية لتحسين الجوانب الاقتصادية ما يلي:

- التصاميم المُبسّطة (انظر الشكل هاء-١: مثال لمفاعل ماء مغلي)
- زيادة قدرة المفاعل
- تقصير الجدول الزمني للتشييد، بما يقلّص الأعباء المالية التي تتراكم بدون الحصول على إيرادات لقاء ذلك
- مراعاة التوحيد والتشييد في سلسلة تتيح توزيع التكاليف الثابتة على عدّة وحدات
- تحقيق مكاسب الإنتاجية في مجال تصنيع المعدّات، والهندسة الميدانية، والتشييد
- تعدد تشييد الوحدات في موقع واحد
- الاعتماد على الذات والمشاركة المحلية




*الشكل هاء-١ - مثال لتطوّر تصميم مفاعل ماء مغلي*

١٢٥- وبالإضافة إلى تحسين الجوانب الاقتصادية، يشيع استخدام عدّة وسائل لتحسين الأمان والعولية في التصاميم التطورية وذلك من خلال زيادة الاهتمام بالمخاطر الخارجية وإدخال تحسينات على الاختبار والتفتيش، وتطبيق التقييم الاحتمالي للأمان. كما أن التصاميم التطورية تشدّد التركيز على التواصل بين الإنسان والآلة، بما في ذلك تحسين تصميم غرف التحكّم وتصميم المحطات بما يسهّل الصيانة. ويجري أيضاً تحديث نظم الأجهزة والتحكّم بما يساعد على استخدام النظم الرقمية.

*مفاعلات الماء الخفيف (LWRs)*

١٢٦- يجري استحداث تصاميم متقدّمة لمفاعلات الماء الخفيف في عدّة بلدان.

١٢٧- ففي الصين، جرى إعداد تصميم محلّي لمفاعل ماء مضغوط قدرته ١٠٠٠ ميغاواط (كهربائي). وتعتزم الصين إتمام هذه الوحدة البالغة قدرتها ١٠٠٠ ميغاواط (كهربائي) بحلول عام ٢٠١٣.

١٢٨- وفي ألمانيا وفرنسا، قامت مجموعة شركات أريفا (AREVA) بتصميم المفاعل الأوروبي الذي يعمل بالماء المضغوط البالغة قدرته ١٦٠٠ ميغاواط (كهربائي)، والذي يفي بمتطلبات المرافق الأوروبية. والمفاعل الأول من المفاعلات الأوروبية التي تعمل بالماء المضغوط، وهو مفاعل أولكيليوتو-٣ (Olkiluoto-3) في فنلندا، قيد التشييد ويُتوقّع أن يبدأ تشغيله تجارياً في عام ٢٠١٢. كما بدأت شركة كهرباء فرنسا (lectricité de France) تشييد مفاعل كهذا في فلامان فيل، ويُتوقع إتمامه بحلول عام ٢٠١٢ تقريباً. ووقّعت مجموعة شركات أريفا عقداً لتوريد محطتيْ مفاعل أوروبي يعمل بالماء المضغوط في موقع تايشان بالصين، يُعتزَم أن تدخلا الخدمة في عام ٢٠١٤. كما تعمل أريفا حالياً على وضع صيغة للمفاعل الأوربي الذي يعمل بالماء المضغوط على نحو يفي بمتطلبات الولايات المتحدة.

١٢٩- وتعمل اليابان باستمرار على التوسّع في استخدام محطات مفاعل ماء مغلي متقدّمة (ABWR) تتراوح قدرتها بين ١٣٥٦ و١٣٨٥ ميغاواط كهربائي، بما يشمل الصيغة القائمة على استخدام كامل لوقود موكس في أوهما. ويجري حالياً استعراض ترخيص مفاعل متقدّم يعمل بالماء المضغوط (APWR) مُصمّم حديثاً تبلغ قدرته ١٥٣٨ ميغاواط (كهربائي) من أجل وضعه موضع التطبيق في وحدتيْ توسروغا-٣ و٤.

١٣٠- وفي جمهورية كوريا، يجري حالياً تشييد صيغة مُحسّنة لمحطة القوى النووية النمطية الكورية، أي مفاعل القوى المُحسّن على النحو الأمثل (OPR) بقدرة ١٠٠٠ ميغاواط (كهربائي)، في وحدتيْ شين-كوري ١ و٢ ويُعتزم البدء بتشغيلهما تجارياً في عامي ٢٠١٠ و٢٠١١. والوحدتان الأوليان لمفاعل القوى المتقدّم طراز APR-1400 بقدرة ١٤٥٠ ميغاواط (كهربائي)، التابع لشركة كوريا للهيدرولوجيا والقوى النووية (KHNP) والذي بُني استناداً لخبرة الشركة بمستوى قدرة أعلى، يجري تشييدهما لوحدتي شين-كوري ٣ و٤، ومن المقرّر إتمامها في عامي ٢٠١٣ و٢٠١٤.

١٣١- وفي الاتحاد الروسي، يعكف معهد Atomenergoproekt أيضاً على توسيع المفاعل المبرّد والمهدّأ بالماء طراز WWER-1000 إلى مفاعل طراز WWER-1200 ومفاعل طراز WWER-1500. ويجري في الوقت الراهن بناء وحدتيْن طراز WWER-1000 في الهند ويُعتزم البدء بتشغيلهما تجارياً في عام ٢٠٠٩. ووقّعت شركة الكهرباء الوطنية (NEK) في بلغاريا عقداً مع شركة ATOMSTROYEXPORT الروسية من أجل تشييد وحدتيْن طراز WWER-1000 في موقع بيليني. وثمة خطط أيضاً لبناء ١٧ وحدة طراز WWER-1200 بحلول عام ٢٠٢٠ في الاتحاد الروسي.

١٣٢- وقام المكتب الروسي للتصميمات التجريبية المتعلقة بتصنيع الآلات (OKBM) بوضع تصميم لمحطة قوى نووية عائمة أو برية لأغراض التوليد المشترك. وبدأ في نيسان/أبريل ٢٠٠٧ تشييد المحطة الأولي للتوليد المشترك المركّبة فوق سفينة، بما يشمل إقامة مفاعليْن طراز KLT-40S على متنها (يوفّران ٧٠ ميغاواط (كهربائي) وبعض القوى الحرارية اللازمة للتوليد المشترك) وحُدِّد هدف لإتمام المحطة بحلول عام ٢٠١٠.

١٣٣- وفي الولايات المتحدة الأمريكية، اعتُمِد تصميم المفاعلين AP-1000 و ABWR من قِبَل الهيئة الرقابية النووية في الولايات المتحدة (NRC)، وجارٍ مراجعة تصميم مفاعل الماء المغلي الاقتصادي المُبسّط (ESBWR) (١٥٢٠ ميغاواط (كهربائي)، والمفاعل طراز US-EPR (١٦٠٠ ميغاواط (كهربائي)، والمفاعل طراز US-APWR (١٧٠٠ ميغاواط (كهربائي). وتعكف الهيئة الرقابية النووية في الولايات المتحدة على

استعراض طلبات الرخصة المجمّعة (COL) المتعلقة بجميع هذه التصاميم المتقدّمة باستثناء الطلب المتعلق بالمفاعل طراز US-APWR. ووقّعت مؤسّسة وستنغهاوس (Westinghouse) عقداً مع مؤسّسة تكنولوجيا القوى النووية الحكومية الصينية (SNPTC) لتوريد أربع محطات طراز AP-1000 (تُقام وحدتان في كلٍّ من موقعيْ سانمين وهايانغ)، بحيث تصبح المحطة الأولي عاملة في أواخر عام ٢٠١٣.

١٣٤- ومن بين مفاعلات الماء الخفيف الأخرى ذات الحجم الصغير والمتوسط، تُعدّ التصاميم التطورية التالية تصاميم نموذجية: المفاعل طراز AP-600 والتصميم المتكامل الذي وضعته مؤسّسة وستنغهاوس في الولايات المتحدة الأمريكية لمشروع المفاعل الدولي المبتكر والمأمون؛ والمفاعل طراز WWER-640 التابع لمعهد Atomenergoproekt وغيدروبريس (Gidropress)، والمفاعل طراز PAES-600 التابع لمكتب التصميمات التجريبية المتعلقة بتصنيع الآلات (OKBM) والمفاعل طراز VK-300 التابع لمعهد البحوث الإنمائية لهندسة القوى (NIKIET) في روسيا؛ والمفهومان التصميميان اللذان وضعتها شركة هيتاشي في اليابان لمفاعل الماء المغلي المُبسّط (HSBWR) ومفاعل الماء المغلي المتقدّم (HABWR)؛ والمفاعل طراز NP-300 التابع لشركة تكنيكاتوم (TECHNICATOME)، بفرنسا. وجرى أيضاً اقتراح مفاهيم تصميمية أخرى عديدة معظمها تطوري، لكن بعضها يحتوي على سمات ابتكارية. بيد أن أياً منها لم يحرز تقدّماً حتى الآن فيما يتعدّى حدود مرحلة التصميم.

*مفاعلات الماء الثقيل (HWR)*

١٣٥- في كندا، تعكف شركة الطاقة الذرية الكندية المحدودة ((AECL) على استحداث مفاعل كندو (مفاعل كندي يُوقد بخليط من الديوتريوم واليورانيوم) متقدّم ينطوي على استخدام يورانيوم طفيف الإثراء للتعويض عن استخدام الماء الخفيف باعتباره المبرّد الابتدائي.

١٣٦- وينطوي تصميم مفاعل الماء الثقيل الهندي البالغة قدرته ٥٤٠ ميغاواط (كهربائي) على تعقيبات من الوحدات المُصمّمة محلياً بقدرة ٢٢٠ ميغاواط (كهربائي)، أما الوحدتان البالغة قدرتهما ٥٤٠ ميغاواط (كهربائي) المقامتان في تارابور فقد بدأتا التشغيل تجارياً. وتعكف الهند أيضاً على تصميم مفاعل ماء ثقيل تطوّري قدرته ٧٠٠ ميغاواط (كهربائي)، وكذلك مفاعل ماء ثقيل متقدّم يستخدم طريقة التهدئة بالماء الثقيل مع مبرِّد يعمل بالماء الخفيف المغلي في أنابيب ضغط رأسية، مُحسن للمستوى الأمثل لاستخدام الثوريوم، ويتضمّن نظم أمان خاملة.

*المفاعلات المبرَّدة بالغاز (GCRs)*

١٣٧- جرى في عدّة بلدان بناء وتشغيل محطات نموذجية وإيضاحية لمفاعلات مبرّدة بالغاز تتضمّن نظام تبريد بالهليوم يستخدم دورة رانكين (Rankine) البخارية لتوليد القوى الكهربائية. وفي الاتحاد الروسي وجنوب أفريقيا وفرنسا والولايات المتحدة الأمريكية واليابان، تُبذل جهود ضخمة لإقامة مفاعل فائق الحرارة به توربين غازي يعمل بدورة مباشرة، يبشر بتحقيق كفاءة حرارية عالية وخفض تكلفة توليد القوى. وفي جنوب أفريقيا، جرى استكمال تصميم المفاعل النمطي الحصوي القاع الإيضاحي (PBMR) بقدرة ١٦٥ ميغاواط (كهربائي) ويُتوقّع أن يبدأ تشييده في عام ٢٠٠٩. وفي الصين، بدأ يدخل مرحلة التصميم الأساسية المفاعل المرتفع الحرارة المبرّد بالغاز – النمطي الحصوي القاع (HTR-PM) بقدرة ٢٠٠ ميغاواط (كهربائي) الذي يستخدم دورة (توربين بخاري) تعمل بصورة غير مباشرة، بهدف تشييد محطة إيضاحية لهذا المفاعل حوالي عام ٢٠١٣.

*المفاعلات المبرَّدة بفلز سائل*

١٣٨- ظهرت سلسلة مفاعلات سريعة تجريبية ونموذجية منذ المرحلة المبكّرة لتطوّر المفاعلات النووية (وكانت باكورة تلك المفاعلات مفاعل كليمنتاين (Clementine) السريع الذي دخل مرحلة الحرجية في عام ١٩٤٦). وتكونت قاعدة معرفية قوامها أكثر من ٣٠٠ سنة-مفاعل عن طريق ما يلي: تصميم وتشغيل المفاعلات السريعة المبرّدة بالصوديوم، مثل المفاعل السريع النموذجي (PFR) بقدرة ٢٧٠ ميغاواط (كهربائي) في المملكة المتحدة، ومفاعل فينيكس (Phénix) النموذجي في فرنسا، والمفاعل طراز BN-350 في كازاخستان، والمفاعل الإيضاحي طراز BN-600 في روسيا، والمفاعل مونجو (Monju) في اليابان، والمفاعل سوبر فينيكس (Superphénix) التجاري الحجم في فرنسا (على سبيل المثال لا الحصر للمفاعلات الرئيسية). ويتواصل تطوّر المفاعلات السريعة المبرّدة بالفلزّات السائلة مع قيام الهند بتشييد مفاعل سريع مبرّد بالصوديوم بقدرة ٥٠٠ ميغاواط (كهربائي) في موقعه بكالباكام من المقرّر إتمامه في عام ٢٠١٠. ويُعتزم تشييد أربع مفاعلات سريعة أخرى بذات الحجم في الهند. كما يواصل الاتحاد الروسي حالياً تشييد مفاعل طراز BN-800 من المقرّر إتمامه بحلول عام ٢٠١٢.

١٣٩- وللاطّلاع على مزيد من التفاصيل عن حالة المفاعلات السريعة، يُرجى الرجوع إلى الملحق ٦ بوثيقة *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٨* .

**هاء-١-٢- الابتكارات مستقبلاً**

١٤٠- فيما يلي العناصر الرئيسية التي ستؤثّر في استحداث جيل جديد من نظم الطاقة النووية خلال القرن الحادي والعشرين: الاقتصاد، والأمان، ومقاومة الانتشار، وحماية البيئة، بما في ذلك تحسين استخدام الموارد والحدّ من توليد النفايات. وستركّز ابتكارات كثيرة مستقبلاً على النظم النيوترونية السريعة التي يمكن أن تنتج من المواد الانشطارية على شكل بلوتونيوم-٢٣٩ أكثر مما تستهلك. والنيوترونات السريعة المستخدمة في المفاعلات السريعة تجعل بالإمكان أيضاً استخدام أو تحويل بعض النظائر المشعّة الطويلة العمر، بما يقلّص العبء البيئي للتصرّف في النفايات القوية الإشعاع. وتعقُّد تلك السمات يوضح إلى حد ما الأسباب التي أبقت تلك النظم في مراحل تطوّر شتى على مدى أكثر من ٥٠ عاماً وجعلتها مستمرة في التطوّر وفي الأخذ بمفاهيم ابتكارية.

١٤١- وبالإضافة إلى المستحدثات التي يمكن الحصول عليها من الابتكارات اللازمة لتحسين كفاءة الوقود، ثمة قضايا أخرى تشجّع على تناول المفاهيم الابتكارية. وتشمل تلك القضايا التطبيقات المرتفعة الحرارة، والتصاميم الخاصة بالأماكن المعزولة أو النائية.

١٤٢- ومن بين نُهُج التطوير الابتكاري المحدّدة التي يمكن أن تفضي إلى إدخال تحسينات على الكفاءة، والأمان، ومقاومة الانتشار، إلى جانب منافع أخرى، ما يلي:

- الوقود ذو العمر التشغيلي الطويل المتّسم بمعدّلات احتراق بالغة الارتفاع
- تحسين كسوة الوقود ومواد المكوّنات
- استحداث مبرّدات بديلة لتحسين الأمان والكفاءة
- نظم متينة وتتّحمل التصدع

- دورة برايتون المرتفعة الحرارة لتحويل القوي
- تصميم وقود الثوريوم

١٤٣- وتتطلّب ابتكارات كهذه قدراً مستفيضاً من البحث والتطوير فضلاً عن الاختبار. ونظراً لأن الكثير من العمل الابتكاري ينطوي على استخدام كثيف للموارد، يجري تنفيذ هذا العمل في الوقت الراهن في إطار تعاون دولي أو ثنائي.

## هاء-٢- التطوّرات في تكنولوجيا دورة الوقود النووي والتكنولوجيا الداعمة لها

### هاء-٢-١- التطوّرات في تكنولوجيا دورة الوقود

١٤٤- تُعدّ التكنولوجيا الراهنة لدورة الوقود النووي وافية، وتدعم دعماً كاملاً توليد القوى النووية في الوقت الراهن. غير أن ثمة تطوّرات جديدة – كما هي الحال في جميع المجالات التقنية – تشهدها دورة الوقود بجميع خطواتها، من شأنها المضي في تحسين الجاذبية الاقتصادية والحدّ من مخاطر الأمان والأمن والانتشار ومن الشواغل البيئية، كاستحداث تكنولوجيا إثراء أكثر كفاءة وأقل استهلاكاً للطاقة مثلاً.

١٤٥- ويشهد الوقود المستخدم في المفاعلات الراهنة تطوّراً مستمراً على نحو يتيح قدراً أكبر من الأداء داخل المفاعل ومعدّلات حرق أعلى، أي استخدام اليورانيوم بشكل أفضل. وإعادة تدوير اليورانيوم المعادة معالجته، وبالأخص البلوتونيوم المستخدم كوقود موكس، تقتضي تصنيع الوقود مع مراعاة المناولة عن بعد، وتنطوي على جرعات إشعاعية أزيد للقوى العاملة الراهنة، كما تستلزم قدراً أكبر من الوقاية من الإشعاعات.

١٤٦- وفيما يخصّ تكنولوجيا إعادة المعالجة، التي استحدثت في الستينات من القرن الماضي، يجري تطوير معدّات لزيادة نقاوة المنتجات، والحد من توليد النفايات، وزيادة مراقبة الانتشار. وتجري دراسة عمليات لا تنطوي على فصل البلوتونيوم النقي لغرض إعادة المعالجة، لكن يكون فيها البلوتونيوم دائماً مخلوطاً بمواد أخرى، إما منتجات يورانيوم أو انشطارية، تزيد من مقاومته للانتشار.

١٤٧- وتحظى بالقبول تماماً على الصعيد الدولي مبادئ التخلّص من النفايات القوية الإشعاع والوقود المستهلك، بما يشمل التخلّص منهما في العمق داخل مستودعات جيولوجية وإحاطتهما بحواجز متعدّدة. والعمل التطويري جارٍ لاستقصاء مواقع مناسبة، وإجراء تقويمات للأمان، وتطبيق تكنولوجيا تغليف النفايات والتخلّص منها.

### هاء-٢-٢- الابتكارات مستقبلاً

١٤٨- يرد في القسم هاء-١-٢- عرض لمختلف الاتّجاهات في مجال تطوير المفاعلات الابتكارية. وسيتطلّب كلٌّ من هذه النظم نهجه الخاص بدورة الوقود. وسيكون لأنواع معيَّنة من المفاعلات وقود نووي خاص بها، مما سيتطلّب تطويراً موازياً لتكنولوجيا الوقود وتصنيعه، كاستخدام تركيزات أعلى من البلوتونيوم مثلاً.

١٤٩- ويتطلّب استحداث نظم مفاعلات سريعة إعادة معالجة وإعادة تدوير. ويجري استحداث تكنولوجيات لإعادة المعالجة يمكنها أن تتعامل مع المستويات الإشعاعية الأعلى لوقود المفاعلات السريعة ومع فترات التبريد الأقصر. ويشمل ذلك عمليات رطبة متقدّمة منبثقة من التكنولوجيا المستخدمة في الوقت الراهن وعمليات جافة مستحدثة، مثل المعالجة الكيميائية الحرارية.

١٥٠- ومن أجل تقليص حجم السميّة الإشعاعية الطويلة الأجل والأحمال الحرارية للنفايات القوية الإشعاع المتبقّية من إعادة المعالجة، يجري استحداث عمليات جديدة تفصل بعض النويدات المشعّة الطويلة العمر، كالأكتينات الثانوية من قبيل الأميريشيوم والكوريوم مثلاً. ويمكن إتلاف المواد المفصولة عن طريق الحرق (التحويل) في وقود المفاعلات السريعة. ويجري أيضاً دراسة فصل السيزيوم والسترُونشيوم بهدف تقليل الأحمال الحرارية للنفايات. ويرد مزيد من التفاصيل عن تطوّر نظم إعادة المعالجة المتقدّمة في الملحق ٤ بوثيقة استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠٠٨.

١٥١- والأخذ بنظم إعادة تدوير متقدّمة سيكون له أيضاً تأثير مهم على التخلّص النهائي من النفايات القوية الإشعاع. ورغم أن نظام التخلّص الجيولوجي العميق يُحتمَل أن يظل مطلوباً، فإنه يمكن تقليل الأحمال الحرارية، مما يزيد سعة المستودعات حيث تتحدد كثافة التعبئة في معظم الحالات حسب الأحمال الحرارية. كما ستقل السمّية الإشعاعية الطويلة الأجل، مما يمكن أن يُبسِّط تصميم المستودعات ويزيد من تقبُّلها لدى الجمهور.

### هاء-٣- التطبيقات غير الكهربائية

*تحلية مياه البحر وتدفئة الأحياء السكنية*

١٥٢- إن الطلب على المياه العذبة آخذ في الازدياد. وتُستخدم فعلياً الكهرباء أو البخار الناتج عن محطات القوى النووية لأغراض التحلية؛ فكلاهما لا يتطلّب تطويراً جوهرياً لتطبيقه على نطاق أوسع.

*إنتاج الهيدروجين والحرارة المستخدمة في المعالجة الصناعية*

١٥٣- تعكف الولايات المتحدة الأمريكية واليابان ودول أخرى على استكشاف وسائل لإنتاج الهيدروجين المستخرج من المياه عن طريق عمليات إلكتروليتية وكيميائية حرارية وهجينة. وقد تركّز معظم العمل على العمليات المرتفعة الحرارة التي تتطلّب درجات حرارة أعلى (أكثر من ٧٥٠ درجة مئوية) مما يمكن تحقيقه عن طريق المفاعلات المبرّدة بالماء. ويمكن أن تقوم مفاعلات متقدّمة مثل المفاعلات الفائقة الحرارة المبرّدة بالغاز (VHTGR) بتوليد حرارة عند درجات الحرارةهذه. ولا يُتوقّع أن تتم العملية الإيضاحية الأولي لإنتاج الهيدروجين باستخدام مفاعلات مبرّدة بالغاز حتى حوالي عام ٢٠١٥ في اليابان وحوالي عام ٢٠٢٠ في الولايات المتحدة الأمريكية. ويمكن أيضاً استعمال هذا البخار المرتفع الحرارة في العمليات الصناعية على نطاق الصناعات التي تستهلك مقادير ضخمة من الحرارة. وسيتوقّف مدى ملاءمة تطبيقات الهيدروجين والتطبيقات الحرارية المستخدمة في المعالجة الصناعية على تطوير المفاعلات لبلوغ درجات الحرارة المرتفعة للبخار، وعلى الجوانب الاقتصادية للبدائل أيضاً. وما زال الوضع الطويل الأجل ملتبِساً في الوقت الراهن.

## واو- التعاون المتعلق بتوسيع نطاق استخدام الطاقة النووية والتطوّر التكنولوجي

١٥٤- المحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات (GIF) هو فريق مؤلّف من ١١ عضواً[١٨] يقوم باستحداث جيل جديد من نظم الطاقة النووية التي توفّر مزايا في المجال الاقتصادي ومجالات الأمان والعولية والاستدامة،

---

١٨ أعضاء المحفل الدولي هم الأرجنتين والبرازيل وجنوب أفريقيا وجمهورية كوريا وسويسرا وفرنسا وكندا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية واليابان واليوراتوم (الاتحاد الأوروبي للطاقة الذرية).

ويمكن تعميمها تجارياً بحلول عام ٢٠٣٠. وقد جرى اختيار ستة نظم، كما أُعِدَّت خارطة طريق تكنولوجية لتوجيه البحث والتطوير. وهذه النظم هي:

- المفاعل السريع المبرّد بالغاز
- المفاعل المبرّد بفلزّ سبائك الرصاص السائل
- المفاعل المبرّد بفلزّ الصوديوم السائل
- المفاعل المبرّد بالماء الفائق الحرجية
- المفاعل المبرّد بالغاز الفائق الحرارة
- مفاعل الملح المصهور

١٥٥- وقد استهلّت الولايات المتحدة الأمريكية الشراكة العالمية في مجال الطاقة النووية (GNEP) لتعزيز التوسّع في مجال الطاقة النووية مع تعزيز الأمن وعدم الانتشار. وتتضمّن هذه الشراكة مكوّناً تكنولوجيا يركّز على دورة الوقود المغلفة باستخدام تكنولوجيا إعادة المعالجة بدون اللجوء إلى فصل البلوتونيوم، ومكوّناً دولياً أنشِئت في إطاره أفرقة عاملة معنية بتطوير البنية الأساسية وبتوفير خدمات وقود موثوقة. وحتى أيار/مايو ٢٠٠٨، كانت الشراكة المذكورة تضم ٢١ شريكاً، وثلاث منظمات دولية لها صفة المراقب[١٩]. وبالإضافة إلى ذلك، تشارك في "الشراكة" تسعة بلدان بصفة مراقب.

١٥٦- وفي عام ٢٠٠٦، أعلن الاتحاد الروسي مبادرة تدعو إلى إرساء بنية أساسية عالمية للقوى النووية (GNPI) تشكّل خطوة أولى فيها إقامة مركز دولي لإثراء اليورانيوم في أنغارسك. وأرمينيا وكازاخستان هما شريكان في هذه المبادرة. وتسعى المبادرة المذكورة إلى إتاحة الاستفادة من منافع الطاقة النووية للبلدان المهتمّة التي تمتثل لمتطلبات عدم الانتشار.

١٥٧- وفيما يتعلق بمجال الأمان، بدأ العمل على تحسين كفاءة عملية التصديق على التصميم عبر مشروع تجريبي لتقاسم المعلومات المتصلة بالتصديق على التصميم في إطار برنامج تقييم التصميمات المتعدّد الجنسيات (MDEP). ويسعى هذا البرنامج في المراحل المقبلة إلى تحقيق التقارب بين المدونات ومعايير الأمان والأهداف المقررة في أوساط الرقباء من بلدان القوى النووية الرئيسية. واستحداث عملية لاعتماد التصاميم دولياً، يمكن بمقتضاها لهيئة رقابية تتّبع معايير مقبولة أن تصدر شهادة اعتماد للتصميم تتيح لأي بلد مشترٍ أن يثق بالتصميم وأدائه، من شأنه أن يتيح توسيع القوى النووية وتنميتها.

---

١٩ الشركاء في "الشراكة العالمية في مجال الطاقة النووية" هم: الاتحاد الروسي والأردن وأستراليا وأوكرانيا وإيطاليا وبلغاريا وبولندا وجمهورية كوريا ورومانيا وسلوفينيا والسنغال والصين وغانا وفرنسا وكازاخستان وكندا وليتوانيا والمملكة المتحدة وهنغاريا والولايات المتحدة الأمريكية واليابان. ومُنحت الوكالة الدولية للطاقة الذرية، ووكالة الطاقة النووية، والمحفل الدولي للجيل الرابع من المفاعلات صفة المراقب الدائم.