60 عامًا
تسخير الذرة من أجل السلام والتنمية
IAEA

مجلس المحافظين
المؤتمـــــر العـــام

GOV/INF/2017/12-GC(61)/INF/8
٢٤ آب/أغسطس ٢٠١٧

توزيع عام
عربي
الأصل: انكليزي

نسخة مخصصة للاستخدام الرسمي فقط

البند ١٨ من جدول الأعمال المؤقت للمؤتمر
(الوثيقة GC(61)/1 وإضافتها Add.1)

حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي لعام ٢٠١٧

تقرير من المدير العام

موجز

- طلب المؤتمر العام إلى الأمانة في قراره GC(50)/RES/13 أن تقدِّم، كل سنتين، تقريراً شاملاً عن حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي، بدءاً من عام ٢٠٠٨. كما طلب المؤتمر العام إلى الأمانة في قراره GC(60)/RES/12، الصادر في أيلول/سبتمبر ٢٠١٦، أن تواصل نشر التقرير المعنون *"حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي"* كل أربع سنوات، ابتداءً من عام ٢٠١٧، بغية تعزيز حضورها على الساحة وجعل هذا التقرير وثيقة مدخلات في المؤتمر الوزاري الدولي بشأن القوى النووية في القرن الحادي والعشرين لعام ٢٠١٧. ويأتي هذا التقرير استجابة للقرار GC(60)/RES/12.

حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي لعام ٢٠١٧

تقرير من المدير العام

ألف- مقدِّمة

١- يبلغ عدد مفاعلات القوى النووية العاملة ٤٤٧ مفاعلاً في ٣٠ بلداً، وثمة ٦٠ مفاعلاً قيد التشييد في ١٥ بلداً[١]. وفي نهاية عام ٢٠١٦، وصلت القدرة النووية المنشأة إلى ٣٩٢ غيغاواط (كهربائي)، وهو أعلى مستوى يُفاد به على الإطلاق. وما زالت حصَّة الطاقة المتجدِّدة تتزايد، إلا أنَّ الوقود الأحفوري بأنواعه، ولا سيما الفحم، لا يزال الوقود الرئيسي المستخدم في إمدادات الطاقة.

٢- ولا يزال العديد من الدول الأعضاء ينظر إلى القوى النووية باعتبارها تكنولوجيا مُثبَتة ونظيفة وقابلة للتوزيع واقتصادية يُتوقع أن تؤدي دوراً متزايد الأهمية في تحسين أمن إمدادات الطاقة والتخفيف من حدة تغيُّر المناخ. وكان هذا أيضًا هو الاستنتاج الذي خلص إليه المؤتمر الوزاري الدولي بشأن القوى النووية في القرن الحادي والعشرين لعام ٢٠١٣[٢]، الذي عقدته الوكالة في سانت بطرسبرغ، الاتحاد الروسي. ومنذ ذلك الحين، أدَّى تطوُّران عالميان رئيسيان إلى تسليط الضوء مجدَّداً على الدور الذي يمكن أن تؤديه القوى النووية في مزيج الطاقة العالمي، ألا وهما: اعتماد أهداف التنمية المستدامة ودخول اتفاق باريس بشأن تغيُّر المناخ حيز النفاذ. ولا يزال من المسلَّم به أنَّ الوكالة تضطلع بدور قيادي في ترويج الاستخدامات السلمية للتكنولوجيا النووية، وفي وضع معايير الأمان وإرشادات الأمن النووي، وفي تعزيز التعاون وبذل الجهود على الصعيد الدولي في سبيل توطيد دعائم الأمان النووي والأمن النووي والضمانات النووية عالميًّا.

٣- وفي الحالة المرتفعة، تُشير التوقُّعات التي وضعتها الوكالة بشأن القدرة العالمية المنشأة على توليد القوى النووية إلى زيادة بنسبة ٤٢% في عام ٢٠٣٠ وبنسبة ٨٣% في عام ٢٠٤٠ وبنسبة ١٢٣% في عام ٢٠٥٠، وذلك مقارنة بمستويات عام ٢٠١٦. أمَّا في الحالة المنخفضة، فمن المتوقع انخفاض القدرة بنسبة -١٢% في عام ٢٠٣٠ وبنسبة -١٥% في عام ٢٠٤٠، قبل أن تعود إلى مستوياتها الراهنة في عام ٢٠٥٠. ويبلغ عدد البلدان المهتمة بالأخذ بالقوى النووية ٢٨ بلداً. ومن بين البلدان التي تشغِّل محطات قوى نووية بالفعل والبالغ عددها ٣٠ بلداً، ثمة ١٣ بلداً تعكف إمَّا على تشييد محطات قوى نووية جديدة أو استكمال مشاريع تشييد جرى تعليقها في وقت سابق، وثمة ١٦ بلدًا لديها خطط أو اقتراحات لبناء مفاعلات جديدة.

---

[١] حتى ١ تموز/يوليه ٢٠١٧، وبهدف توفير معلومات أساسية تتيح إلقاء نظرة على آفاق القوى النووية على المدى القريب والمدى الأطول، يتضمَّن هذا التقرير أبرز النقاط الواردة في الوثيقة المعنونة *استعراض التكنولوجيا النووية لعام ٢٠١٧* (الوثيقة GC(61)/INF/4)، والتي تعرض بالتفصيل حالة القوى النووية حتى ٣١ كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٦.

[٢] عُقد هذا المؤتمر في إطار متابعة المؤتمرين الوزاريين اللذين عُقدا في باريس، فرنسا، عام ٢٠٠٥، وفي بيجين، الصين، عام ٢٠٠٩. وسوف يُعقد المؤتمر الوزاري التالي بشأن هذا الموضوع في أبو ظبي، الإمارات العربية المتحدة، في الفترة من ٣٠ تشرين الأول/أكتوبر إلى ١ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٧.

باء- القوى النووية اليوم

باء-١- السياق المتطوِّر

٤- تشهد السياسات والأسواق والتطورات التكنولوجية الوطنية والدولية التي تشكِّل الساحة التي تتنافس فيها القوى النووية مع القوى الأخرى تحوُّلات متواصلة. ويسلِّط هذا القسم الضوء على التغيّرات المهمة التي طرأت منذ صدور التقرير المعنون *حالة القوى النووية وآفاقها على الصعيد الدولي لعام ٢٠١٤* (الوثيقة GOV/INF/2014/13-GC(58)/INF/6).

باء-١-١- المبادرات الدولية

٥- في ٤ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٦، دخلت حيز النفاذ معاهدةٌ عالمية جديدة بشأن المناخ اعتمدتها الأطراف في اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغيُّر المناخ في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٥ في باريس. ويهدف اتفاق باريس إلى التقليل كثيرًا من الانبعاثات البشرية المنشأ من غاز الدفيئة من أجل الحدِّ من الزيادة في متوسط درجة الحرارة العالمية مقارنة بمستويات ما قبل الحقبة الصناعية إلى ما دون درجتين مئويتين، أو حتى إلى ما دون درجة مئوية ونصف رهناً بتوافر المزيد من المعلومات العلمية. ويُزمع تحقيق أهداف الاتفاق بمرور الوقت عن طريق رفع مستويات الطموح الإجمالية والفردية، من خلال دورة إلزامية من المساهمات المحدَّدة وطنيًّا: إذ يجب على البلدان، كلَّ خمس سنوات وحتى تحقيق الاستقرار في درجة الحرارة العالمية، أن تُعيد تقييم التقدُّم المحرز وأن تقدِّم خطة عمل مرحلية طموحة بشأن المناخ. وتستأثر الانبعاثات المرتبطة بالطاقة بثلاثة أرباع الانبعاثات العالمية من غاز الدفيئة، ويُظهر قطاع الكهرباء أعلى مستويات النمو في هذا الميدان. وتنطوي القوى النووية، باعتبارها تكنولوجيا منخفضة الكربون، على إمكانية كبيرة للمساهمة في الجهود الرامية إلى التصدي للتحدي المناخي.

٦- وفي ١ كانون الثاني/يناير ٢٠١٦، دخلت حيز النفاذ أهدافُ التنمية المستدامة السبعة عشر المشمولة بخطة التنمية المستدامة لعام ٢٠٣٠، التي اعتُمدت في قمة الأمم المتحدة المعقودة في أيلول/سبتمبر ٢٠١٥. وتدعو أهداف التنمية المستدامة، التي يُنظر إليها على أنَّها تحلُّ محلَّ الأهداف الإنمائية للألفية، البلدانَ الفقيرة والغنية على حدٍّ سواء إلى حشد جهودها على مدى السنوات الخمس عشرة المقبلة من أجل القضاء على جميع أشكال الفقر ومكافحة أوجه انعدام المساواة والتصدي لتغيُّر المناخ. ويأتي ذلك بالاقتران مع استراتيجيات لبناء النمو الاقتصادي وتلبية الاحتياجات الاجتماعية، بما في ذلك التعليم والصحة والحماية الاجتماعية وإيجاد فرص العمل، مع التصدي في الوقت نفسه لتغيُّر المناخ وحماية البيئة. وفي حين لم تكن مسألة الطاقة متضمَّنة في الأهداف الإنمائية للألفية، فقد صارت الآن تحظى بالاعتراف الكامل بوصفها ركيزة أساسية مستقلة بذاتها، على النحو الذي يعبِّر عنه الهدف ٧: "ضمان حصول الجميع بتكلفة ميسورة على خدمات الطاقة الحديثة الموثوقة والمستدامة".

٧- ويهدف سيناريو الدرجتين المئويتين الذي وضعته الوكالة الدولية للطاقة إلى تلافي أوخم العواقب التي ينطوي عليها تغيُّر المناخ. وتوصي الوكالة الدولية للطاقة في تقريرها لعام ٢٠١٧ عن *تتبُّع التقدم المحرز في مجال الطاقة النظيفة* بزيادة كبيرة في استخدام الطاقة النووية. ويلاحظ التقرير إضافة ١٠ غيغاواط (كهربائي) من القدرة الجديدة على توليد الكهرباء نوويًّا في عام ٢٠١٦ - وهي الإضافة الأكبر منذ عام ١٩٩٠. بيد أنَّ التقرير يسلِّط الضوء على أنَّه يتعيَّن إضافة ٢٠ غيغاواط (كهربائي) من القدرة سنويًّا بحلول عام ٢٠٢٥ من أجل تحقيق أهداف سيناريو الدرجتين المئويتين. ولوحظ في عامي ٢٠١٥ و٢٠١٦ حدوث تحوُّل كبير في

الاستثمارات في مجال الطاقة من الوقود الأحفوري إلى التكنولوجيات المنخفضة الكربون. ومع ذلك، ورغم أنَّ الاستثمارات في توليد القوى النووية بلغت ٢١ مليار دولار أمريكي في عام ٢٠١٥، فقد استُثمر في المبادرات المتعلقة بكفاءة استخدام الطاقة ٢٢١ مليار دولار أمريكي وفي مصادر الطاقة المتجددة ٣١٣ مليار دولار أمريكي.

٨- وتتوخَّى رؤية الرابطة النووية العالمية بشأن مستقبل توليد الكهرباء، والتي تحمل عنوان برنامج "هارموني" (Harmony)، مزيجاً متنوعاً من تكنولوجيات التوليد المنخفضة الكربون التي تُنشر بطريقة تكفل تحقيق أقصى استفادة من مزايا كلٍّ منها مع تقليل الآثار السلبية إلى أدنى حد. وقد وضعت الرابطة النووية العالمية هدفاً يتمثَّل في توفير ٢٥% من كهرباء العالم في عام ٢٠٥٠ باستخدام الطاقة النووية، وهو ما يتطلب تشييد نحو ١٠٠٠ غيغاواط (كهربائي) من القدرة النووية الجديدة، رهناً بعوامل أخرى مثل حالات إحالة المفاعلات إلى التقاعد ونمو الطلب على الكهرباء. ولتحقيق ذلك الهدف، سوف يحتاج القطاع النووي العالمي إلى بيئة تكفل تكافؤ الفرص بين مختلف مصادر الطاقة، وعمليات رقابية منسَّقة، ونموذج فعَّال للأمان.

٩- وفي عام ٢٠١٥، أطلقت وكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي مبادرة الابتكار في المجال النووي لعام ٢٠٥٠. ويتمثل الهدف من المبادرة في وضع خريطة طريق لبرامج البحوث في المجالات الرئيسية ذات الأولوية والبنى الأساسية اللازمة لدعم الدور الذي يمكن أن تؤديه الطاقة النووية في قطاع الطاقة المنخفضة الكربون في المستقبل. ويتألَّف العمل الذي يُزمع الاضطلاع به في إطار مبادرة الابتكار في المجال النووي لعام ٢٠٥٠ من مرحلة للاستقصاء، ومرحلة لوضع خريطة طريق، ومرحلة للتنفيذ، وسوف تُستكمل المبادرة في عام ٢٠١٧.

١٠- وفي عام ٢٠١٥، أرسى اتفاق وقعته الوكالة الدولية للطاقة الذرية مع الوكالة الدولية للطاقة المتجددة إطاراً للتعاون في مجال تخطيط الطاقة، بهدف تعزيز فعالية وتأثير جهود بناء القدرات ذات الصلة. ويحدِّد الاتفاق عدة مجالات للتعاون، بما في ذلك تبادل المعلومات، وتقاسم البيانات والمنهجيات، والمشاركة في فعاليات التدريب، والتعاون بشأن دراسات الحالات.

باء-١-٢- الاتجاهات التكنولوجية

١١- في الوقت الراهن، استُحدث ما يزيد على ١٧ من التصاميم والتكنولوجيات الخاصة بالمفاعلات المتقدِّمة المبرَّدة بالماء في ٧ دول أعضاء. وهذه التصاميم الخاصة بالمفاعلات المتقدِّمة متاحة تجاريًّا للنشر آنيًّا أو في الأمد القريب، وهناك أكثر من ٣٠ من تلك المفاعلات قيد التشييد. ولهذه التصاميم هدفٌ مشترك يتمثل في تعزيز الأمان وقابلية التشغيل والموثوقية، كما أنَّها تبشِّر بزيادة القدرة التنافسية الاقتصادية من خلال التحسينات التقنية. وكان من بين جملة العوامل التي تبيَّن أنَّها تؤثر على نجاح نشر هذه المفاعلات المتقدِّمة قابليةُ التصاميم الجديدة للترخيص، ومدى استعداد الإطار الرقابي وتكنولوجيات التشييد والإدارة للأخذ بها، وتوافر سلاسل الإمداد والتمويل الفعَّال للمشاريع.

١٢- وأُحرز تقدُّم كبير أيضاً في تطوير تصاميم وتكنولوجيات المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو النمطية. وهذا الجيل الجديد من المفاعلات النمطية مصمَّم لتوليد ما يصل إلى ٣٠٠ ميغاواط (كهربائي). وتهدف المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو النمطية إلى تحقيق وفورات اقتصادية عن طريق الإنتاج التسلسلي والتشييد وفقاً لجداول زمنية قصيرة، حيث تُجهَّز بنظم ومكوِّنات سابقة التجهيز في المصنع، وتتسم بالقابلية للنقل كوحدات نمطية إلى المواقع عند الطلب. وتكفل هذه المفاعلات خياراً يتمتع بالمرونة في توليد القوى لطائفة

أوسع من المستخدمين والتطبيقات، بما في ذلك إحلالها محلَّ محطات القوى الأحفورية المتقادمة. ويمكن نشر المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو النمطية في أماكن لا تحتمل إنشاء محطات القوى النووية الكبيرة، بالنظر إلى أنَّ تلك المفاعلات يمكن أن تنطوي على تصغير منطقة تطبيق خطة الطوارئ وأن تحتاج إلى كميات أقل من ماء التبريد. وهناك نحو ٥٠ من تصاميم ومفاهيم المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو النمطية في مختلف أنحاء العالم، ويُقال أنَّ بعضها قابل للنشر في الأمد القريب، وتضطلع عدة بلدان لديها برامج قائمة للقوى النووية وكذلك بلدان مستجدة بجهود للبحث والتطوير بشأن تلك المفاعلات. ووصلت ثلاثة من أنواع المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو النمطية إلى المراحل المتقدَّمة من التشييد، في الاتحاد الروسي (KLT40) والأرجنتين (CAREM) والصين (HTR-PM)[٣]، ومن المقرَّر أن يبدأ تشغيلها التجاري في الفترة بين عامي ٢٠١٨ و٢٠٢٠. ومن المتوقع أن يبدأ تشغيل أول أسطول تجاري من المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو النمطية في الإطار الزمني ٢٠٢٥-٢٠٣٠.

١٣- وفي بعض البلدان، توفِّر المفاعلات السريعة خياراً حيويًّا للمستقبل بغية تحقيق استدامة القوى النووية على المدى الطويل. وفي الاتحاد الروسي، وُصِّل المفاعل BN-800 السريع المبرَّد بالصوديوم بالشبكة الكهربائية بطاقته الكاملة في عام ٢٠١٦، في حين يُتوقع أن يبدأ تشغيل المفاعل النموذجي السريع التوليد في الهند في عام ٢٠١٧. وتواصل عدة بلدان أخرى تنفيذ برامجها المعنية بالمفاعلات السريعة ودورات الوقود، مع اختلاف وتيرة التقدُّم فيما بينها.

١٤- وتوفِّر المفاعلات المرتفعة الحرارة المبرَّدة بالغاز طائفة عريضة من التطبيقات غير الكهربائية المستندة إلى الحرارة المرتفعة (مثل معامل تكرير المنتجات البتروكيميائية، وإنتاج الهيدروجين باستخدام العمليات الكيميائية الحرارية، وغير ذلك من التطبيقات الصناعية)، والتي يمكن أن يكون لها أثر كبير في الحدِّ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وفي الآونة الأخيرة وقَّعت الصين، التي تخطِّط لإدخال أول مفاعلاتها المرتفعة الحرارة المبرَّدة بالغاز في الخدمة قريباً، اتفاق تعاون بشأن إجراء دراسة مشتركة بشأن جدوى تشييد المفاعلات المرتفعة الحرارة المبرَّدة بالغاز في المملكة العربية السعودية. وتنظر بولندا في الإيضاح العملي للتوليد المشترك في موقع صناعي باستخدام مفاعل مرتفع الحرارة مبرَّد بالغاز، في إطار مشروع مدعوم من الاتحاد الأوروبي وجمهورية كوريا والولايات المتحدة الأمريكية واليابان، من خلال مبادرة مشتركة تحمل اسم (PRIME).

باء-٢- الحالة الراهنة للقوى النووية

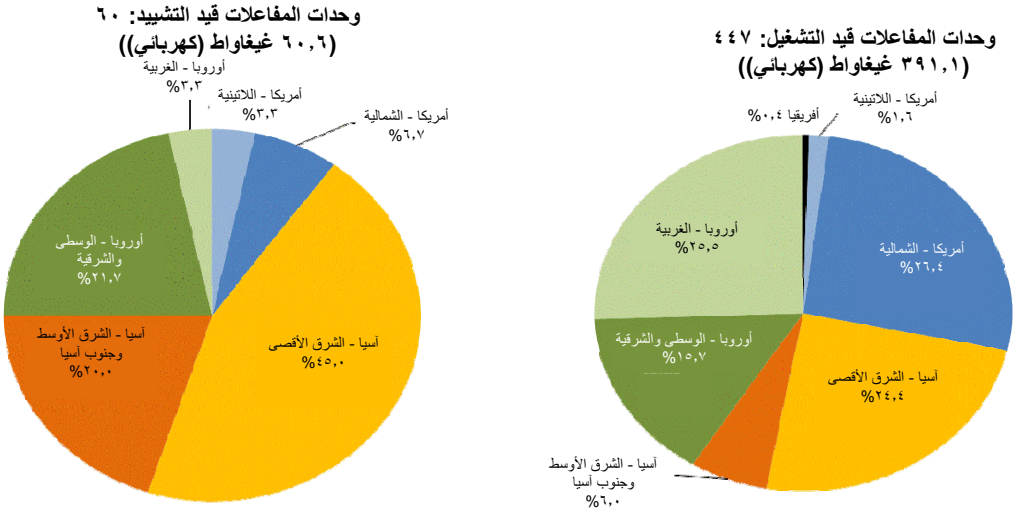
١٥- في عام ٢٠١٦، بلغ توليد الكهرباء نوويًّا على الصعيد العالمي ٢ ٤٦٧ تيراواط-ساعة، وهو أقل بمقدار ٩١ تيراواط-ساعة عن متوسط توليدها في العقد الأول من القرن الحادي والعشرين. وجاء هذا التراجع في المقام الأول نتيجة للانخفاضات الناجمة عن حالات الإغلاق الدائمة والمؤقتة لمفاعلات في اليابان، وحالات الإغلاق الدائمة لمفاعلات في ألمانيا والولايات المتحدة الأمريكية، والتي عوَّضتها جزئيًّا زيادات في الصين وبلدان أخرى.

١٦- وتبيِّن اللوحة اليسري في الشكل ١ التوزُّع الجغرافي لمفاعلات القوى النووية العاملة والبالغ عددها ٤٤٧ مفاعلاً في ٣٠ بلداً في جميع أنحاء العالم. ولا تزال البلدان الصناعية تستأثر بمعظم الاستخدام التجاري للقوى النووية. بيد أنَّ الوضع يختلف تماماً فيما يخصُّ المحطات قيد التشييد (انظر اللوحة اليمنى في الشكل ١):

---

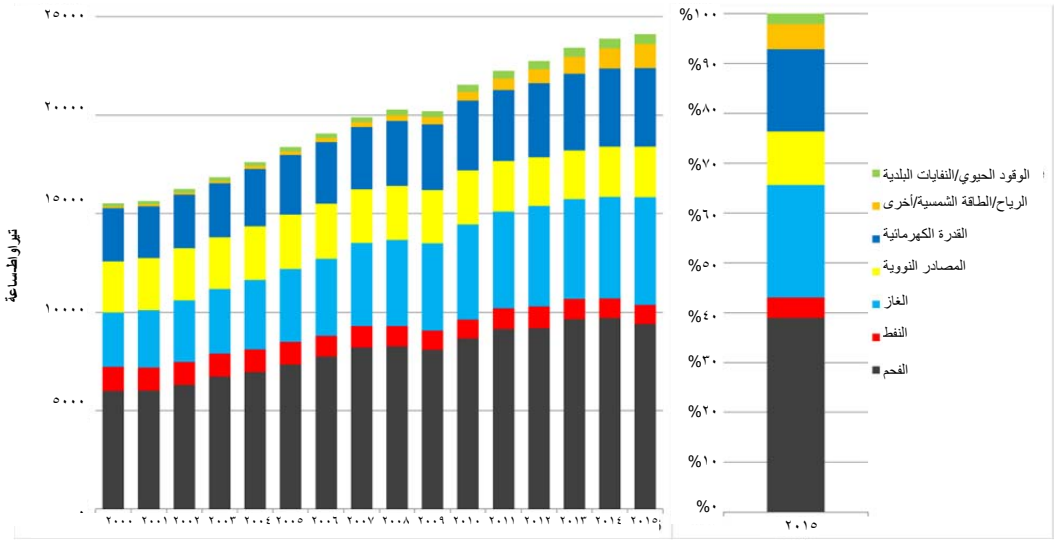
[٣] HTR-PM: مفاعل نمطي مرتفع الحرارة حصوي القاع.

فمن أصل ٦٠ مفاعلاً جديداً قيد التشييد في مختلف أنحاء العالم، يبلغ نصيب البلدان السريعة النمو في آسيا ٣٩ مفاعلاً منها. ومنذ عام ٢٠٠٠، استأثرت هذه المنطقة بما مجموعه ٨٥ عملية تشييد جديدة من أصل ١٠٥، و٦٣ مفاعلاً من أصل ٧٨ مفاعلاً جديداً وُصِّلت بالشبكة الكهربائية. وشهد عامـا ٢٠١٥ و٢٠١٦ توصيل ٢٠ مفاعلاً جديداً بالشبكات الكهربائية في مختلف أنحاء العالم، وهو العدد الأكبر منذ عام ١٩٨٠.



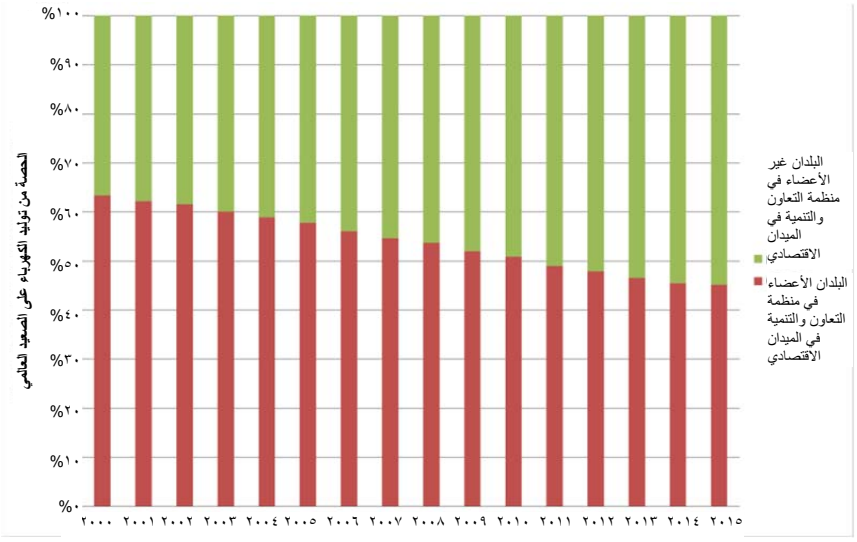
الشكل- ١ - الحالة العالمية لمفاعلات القوى النووية العاملة (الجهة اليمنى) ومفاعلات القوى النووية قيد التشييد (الجهة اليسرى)، حتى ١ تموز/يوليه ٢٠١٧ . المصدر: نظام المعلومات عن مفاعلات القوى الخاص بالوكالة الدولية للطاقة الذرية.

١٧- وانخفضت حصة القوى النووية من إجمالي توليد الكهرباء على الصعيد العالمي للعام العاشر على التوالي، إلى نحو ١١٪ في عام ٢٠١٥. ومع ذلك، فإنَّ هذه الحصة لا تزال تشكِّل قرابة ثلث ما ينتجه العالم من الكهرباء باستخدام التكنولوجيات المنخفضة الكربون. واستمر التوسُّع السريع المدفوع بالسياسات العامة في استخدام طاقة الرياح والطاقة الشمسية والكتلة الحيوية في توليد الكهرباء، إلا أنَّ الوقود الأحفوري، ولا سيما الفحم، لا يزال الوقود الرئيسي المستخدم في إمدادات الطاقة (انظر الشكل ٢). ورغم أنَّ الأشكال الجديدة من الطاقة المتجدِّدة (التي تشمل طاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الحرارية الأرضية لكنها لا تشمل القدرة الكهرمائية) قد تجاوزت القوى النووية من حيث إجمالي القدرة المنشأة، فإنَّ حصتها في توليد الكهرباء الفعلي أقل من ثلث ما يُنتج باستخدام القوى النووية بسبب تقطُّع مصادرها.



الشكل- ٢ - إمدادات الطاقة على الصعيد العالمي بحسب نوع الوقود، ٢٠٠٠-٢٠١٥ المصدر: نقلاً عن الوكالة الدولية للطاقة وشركة البترول البريطانية (BP).

١٨- وأخذ الطلب على الكهرباء في البلدان النامية يقترب من مستوى الطلب عليها في البلدان الصناعية، ويُرجَّح أن يتجاوز هذا المستوى قبل حلول عام ٢٠٢٠ بوقت طويل. وخلافاً لما يجري في المناطق التي تشهد ركوداً في الطلب، فإنَّ النمو المتسارع في الطلب عادةً ما يشجِّع على الأخذ بجميع خيارات توليد الكهرباء المتاحة والمناسبة محليًّا، بما في ذلك القوى النووية. ويبيِّن الشكل ٣ التحوُّل في توليد الكهرباء على الصعيد العالمي من البلدان الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي إلى البلدان غير الأعضاء في تلك المنظمة.



الشكل- ٣ - الحصة من توليد الكهرباء على الصعيد العالمي في البلدان الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي والبلدان غير الأعضاء في تلك المنظمة، ٢٠٠٠-٢٠١٥ . المصدر: نقلاً عن الوكالة الدولية للطاقة وشركة البترول البريطانية (BP).

١٩- وحتى وقت قريب، كانت القوى النووية قد صمدت جيِّداً وعلى نحو لافت للنظر في مواجهة التحوُّل من أسواق الكهرباء الخاضعة للتنظيم الرقابي إلى الأسواق المحرَّرة من التنظيم الرقابي (التنافسية). وأثبتت

المفاعلات أنَّها مولِّدات تنافسية منخفضة التكلفة، وهو ما يرجع في جزء كبير منه إلى أنَّ تكاليفها الاستثمارية الأوَّلية رغم ارتفاعها تخضع للإهلاك بالكامل، ولا يتعيَّن على الجهات المشغِّلة سوى تحمُّل تكاليف التشغيل والوقود، وهي تكاليف منخفضة مقارنةً بتكاليف التوليد باستخدام الوقود الأحفوري. وكانت هذه المزيَّة من حيث التكلفة هي السبب الرئيسي الذي حدا بالمرافق إلى السعي لتمديد التراخيص وإدخال تحسينات على الأمان وزيادة قدرة التوليد. ومع ذلك، ففي السنوات الأخيرة أعلنت بعض المنظمات المالكة/المشغِّلة عن خطط بشأن الإغلاق المبكر لعدد من محطات القوى النووية التي لا تزال تراخيص تشغيلها سارية أو التي كان من المعقول أن يمكن تمديد تراخيص تشغيلها. وفي العديد من الحالات، أُشير إلى تراجع القدرة التنافسية باعتباره السبب الرئيسي وراء عمليات الإغلاق المبكر: حيث أدَّى انخفاض أسعار الغاز الطبيعي، ولا سيما في الولايات المتحدة الأمريكية، بسبب التوسُّع السريع في إنتاج غاز الطُفال، إلى تحوُّل جذري في اقتصاديات الطاقة.

٢٠- ويجري تصريف الوقود المستهلك بمعدل يقترب من ٧٠٠٠ طن من الفلزات الثقيلة سنويًّا. ويُخزَّن معظم الوقود المستهلك في ظروف رطبة في مرافق للخزن داخل مواقع المفاعلات، بيد أنَّ كمية الوقود التي تُنقل إلى مرافق للخزن الجاف خارج مواقع المفاعلات قد شهدت زيادة كبيرة في السنوات الأخيرة وباتت تشكِّل الآن نحو ٢٥% من جملة الوقود المخزَّن. وتقع أكبر أرصدة الوقود قيد الخزن الجاف في كندا والولايات المتحدة الأمريكية. وفي ظل وجود عدد من المرافق الكبرى قيد التشغيل في فرنسا والمملكة المتحدة والاتحاد الروسي، فمن المتوقع أن يظلَّ المتوسط العالمي لقدرة إعادة المعالجة كما هو دون تغيير، رغم اعتزام إغلاق محطتين لإعادة المعالجة في موقع سيلافيلد في المملكة المتحدة في عام ٢٠١٨ ونحو عام ٢٠٢٠. ويخطِّط كلٌ من الصين والاتحاد الروسي إلى إضافة المزيد من قدرة إعادة المعالجة، ومن المتوقع إدخال محطة روكاشو إلى الخدمة في اليابان في المستقبل القريب.

٢١- ويجري إخراج محطات القوى النووية من الخدمة، شأنها في ذلك شأن سائر المرافق الصناعية، عقب انتهاء مرحلتها التشغيلية. وحتى اليوم، بلغ عدد مفاعلات القوى التي أُغلقت أو التي يجري إخراجها من الخدمة ١٦٢ مفاعلاً، منها ١٩ مفاعلاً تم إخراجها من الخدمة. وبلغ عدد مرافق دورة الوقود التي أُغلقت بصفة دائمة أو التي يجري إخراجها من الخدمة ١٥٠ مرفقاً، منها ١٢٧ مرفقاً اكتملت عملية إخراجها من الخدمة. ومع الزيادة في خبرات التشغيل المأمونة، كثيراً ما جرى تمديد المرحلة التشغيلية.

جيم- آفاق القوى النووية

جيم-١- الخطط ذات الصلة في البلدان التي تنظر في الأخذ ببرامج جديدة في مجال القوى النووية أو تعمل على ذلك أو توسِّع برامجها القائمة

٢٢- يبيِّن الجدول ١ خطط التوسيع[٤] في البلدان التي لديها محطات قوى نووية عاملة في الوقت الراهن والبالغ عددها ٣٠ بلداً، ومنها ١٣ بلداً تعكف إمَّا على تشييد محطات قوى نووية جديدة أو استكمال مشاريع تشييد جرى تعليقها في وقت سابق. وثمة خطط أو اقتراحات بشأن مفاعلات جديدة في ١٦ من البلدان المشغِّلة.

[٤] بناءً على البيانات التي أدلت بها الدول الأعضاء في الدورة العادية الستين للمؤتمر العام في أيلول/سبتمبر ٢٠١٦ وفي محافل عامة أخرى، حتى تموز/يوليه ٢٠١٧.

الجدول ١- أوضاع البلدان التي لديها محطات قوى نووية عاملة.

الفئة	البلدان
لديها وحدة (وحدات) جديدة قيد التشييد	الاتحاد الروسي، الأرجنتين، أوكرانيا، باكستان، البرازيل، جمهورية كوريا، سلوفاكيا، الصين، فرنسا، فنلندا، الهند، الولايات المتحدة الأمريكية، اليابان
لديها وحدة (وحدات) جديدة قيد التشييد إلى جانب المزيد من الوحدات المخططة/المقترحة	الاتحاد الروسي، باكستان، جمهورية كوريا، الصين، فنلندا، الهند، الولايات المتحدة الأمريكية، اليابان
ليس لديها وحدات قيد التشييد ولكن ثمة خطط/اقتراحات لبناء وحدة (وحدات) جديدة	أرمينيا، جمهورية إيران الإسلامية، الجمهورية التشيكية، جنوب أفريقيا، رومانيا، كندا، المملكة المتحدة، هنغاريا
لديها سياسة صارمة تقضي بعدم بناء وحدات جديدة	إسبانيا، بلجيكا، سويسرا[٥]
لديها سياسة صارمة تقضي بإغلاق الوحدات القائمة	ألمانيا

٢٣- وفي الوقت الراهن، هناك ٢٨ دولة عضواً[٦] تنظر في الأخذ ببرامج جديدة في مجال القوى النووية أو تخطِّط لذلك أو تستهلُّ برامج من هذا القبيل، ولكنها لم توصِّل بعدُ أول محطة قوى نووية بالشبكة الكهربائية. ويرد في الجدول ٢ تقسيم هذه البلدان إلى خمس فئات، على أساس مستوى تطور بناها الأساسية وفقاً لنهج المعالم المرحلية البارزة الخاص بالوكالة[٧]. وثمة ٢٠ بلداً إضافية (الصف الأخير من الجدول ٢) أعربت عن اهتمامها بالقوى النووية، وتشارك في بعض أنشطة الوكالة لمتعلقة بالبنية الأساسية النووية، وتساهم في مشاريع مدعومة من الوكالة للتعاون التقني في مجال تخطيط الطاقة.

٢٤- ومنذ التقرير الأخير الصادر في عام ٢٠١٤، حقَّقت الإمارات العربية المتحدة وبيلاروس تقدُّماً في بناء أول محطة للقوى النووية لكل منهما، وقرَّرت أربعة بلدان تأجيل خططها بشأن القوى النووية أو إلغائها. ومضت سبعة بلدان في أفريقيا قُدُماً في خططها عقب استضافة بعثات أوفدتها إليها الوكالة في إطار الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية. وطلبت بعض البلدان، مثل بنغلاديش وتركيا، شراء أولى محطاتها للقوى النووية، واستهلَّت عمليات الترخيص الخاصة بالموقع والتشييد. ودخلت بعض البلدان الأخرى، مثل الأردن ومصر،

---

[٥] أيَّد نحو ٥٨,٢% من الناخبين في سويسرا فرض حظر على إنشاء محطات قوى نووية جديدة في استفتاء أُجري في أيار/مايو ٢٠١٧. ويظلُّ تشغيل المحطات الخمس التي تولِّد ٣٤% من الكهرباء في سويسرا مسموحاً به ما دامت تلك المحطات تُعتبر مأمونة.

[٦] استناداً إلى مشاريع المساعدة التي تضطلع بها الوكالة من أجل تطوير البنى الأساسية للقوى النووية، وكذلك بناءً على البيانات التي أدلت بها الدول الأعضاء في الدورة العادية الستين للمؤتمر العام في أيلول/سبتمبر ٢٠١٦ وفي محافل عامة أخرى، حتى تموز/يوليه ٢٠١٧.

[٧] يُقصد بذلك النهجُ المبيَّن في المنشور المعنون *المعالم البارزة لإرساء بنية أساسية وطنية للقوى النووية* (الصيغة المنقحة Rev. 1 من العدد NG-G-3.1 من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة).

مرحلة التفاوض التعاقدي، ويوشك بعض آخر على اتِّخاذ قرار عن دراية أو على الاستعداد للتعاقد، مثل بولندا والسودان وغانا وكينيا والمملكة العربية السعودية ونيجيريا، بيد أنَّه في بعض الحالات لم يُتوصل بعدُ إلى قرار وطني يعبِّر عن تأييد سياسي واسع النطاق.

الجدول ٢- أوضاع البلدان التي ليست لديها محطات قوى نووية عاملة.

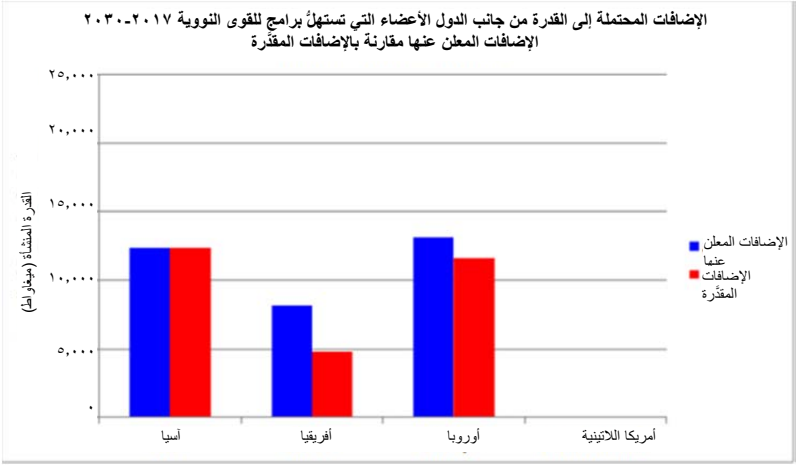
حالة البلد	البلدان
بدأ تشييد أول محطة قوى نووية	٢
طُلب شراء أول محطة قوى نووية	٢
اتُّخذ قرار، ويجري الإعداد لإرساء البنية الأساسية	٥
أجريت تحضيرات فعلية دون اتخاذ قرار نهائي	٧
يجري النظر في استهلال برنامج للقوى النووية	١٢
أعربت عن اهتمامها بالقوى النووية	٢٠

٢٥- وقد اعتمدت جميع البلدان "المستجدة" — أي البلدان التي تأخذ بالقوى النووية للمرة الأولى — نهج المعالم المرحلية البارزة الخاص بالوكالة وتتَّبع بعناية الخطوات المطلوبة فيما يتعلق بكلٍّ من المسائل ذات الصلة بالبنية الأساسية والبالغ عددها ١٩ مسألة. ونتيجة لذلك، فقد ازداد الطلب بين الدول الأعضاء على الدعم الذي تقدِّمه الوكالة، وتحديداً فيما يتعلق باستعراض البنى الأساسية للقوى النووية بطريقة منهجية ومتكاملة في ضوء معايير الأمان وغيرها من الإرشادات الصادرة عن الوكالة، بغية الوقوف على الثغرات ووضح الخطط المناسبة لعلاجها. ومن بين خدمات الاستعراض التي تقدِّمها الوكالة وتطلبها الدول الأعضاء أكثر من سواها خدمة الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية، التي أُطلقت في عام ٢٠٠٩. وحتى اليوم، ساعدت ٢٢ بعثة أُوفدت في إطار تلك الخدمة ١٦ دولة عضواً على تقييم حالتها من حيث مستوى تطوُّر البنية الأساسية النووية، والاستفادة من توصيات قدَّمها خبراء دوليون بشأن كيفية إدخال مزيد من التحسينات عليها. ومن ثمَّ فقد تمكَّنت هذه الدول الأعضاء من اعتماد نهج كلي ومتسق إزاء النظر في بُناها الأساسية النووية وإرسائها واستعراضها، مع إيلاء اهتمام وثيق للمسائل المتصلة بالأمان والأمن والضمانات والاستدامة. وسلَّمت جنوب أفريقيا أيضاً، باعتبارها بلداً مشغِّلاً، بقيمة استضافة بعثة في إطار خدمة الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية قُبيل الأخذ بخطط التوسُّع. كما اتَّخذ الدعم الذي تقدِّمه الوكالة أشكالاً أخرى، بما في ذلك إعداد وثائق بشأن إدارة المخاطر المالية لفائدة مشاريع محطات القوى النووية الجديدة.

٢٦- ومن المتوقع أن تُدخل الإمارات العربية المتحدة أول مفاعلاتها النووية في الخدمة في عام ٢٠١٨، على أن تعقبه ثلاث وحدات أخرى بحلول عام ٢٠٢٠. وسوف تليها بيلاروس، وهي بلدٌ آخر في طور متقدِّم من المرحلة ٣، بإدخال أول وحدتين لديها في الخدمة في عامي ٢٠١٩ و٢٠٢٠. وتعرض الوكالة للمرة الأولى إيفاد بعثة في إطار المرحلة ٣ من الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية لاستعراض التأهب لإدخال أول محطة قوى نووية إلى الخدمة. ويُضطلع ببعثات الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية بناءً على طلب

الدولة العضو، حيث تزوِّد هذه البعثات الحكومة برؤية عامة متكاملة، بما في ذلك ملخصٌ لنتائج أيِّ بعثات أو استعراضات اضطُلع بها بشأن مسألة محدَّدة قبل بعثة الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية. ومن ثمَّ فإنَّ بعثات المرحلة ٣ من الاستعراض المتكامل للبنية الأساسية النووية تقدِّم تقييماً نهائيًّا بشأن مدى استعداد البنية الأساسية عموماً للإدخال في الخدمة والعمليات.

٢٧- ويقدِّم الشكل ٤ لمحة عامة عالمية عن الإضافات المحتملة إلى قدرة التوليد من جانب الدول الأعضاء التي تستهلُّ برامج للقوى النووية للمرة الأولى بحلول عام ٢٠٣٠. ويعقد الشكل مقارنة بين إضافات القدرة المعلن عنها والإضافات المتوقعة في حال الأخذ برأي متحفظ بشأن خطط الدول الأعضاء.



الشكل- ٤- لمحة عامة عالمية عن الإضافات المحتملة إلى قدرة التوليد في البلدان المستهلة بحلول عام ٢٠٣٠.

جيم-٢- توقُّعات نمو القوى النووية في المستقبل وتفسيراتها

٢٨- تنشر[٨] الوكالة سنويًّا توقُّعات للقدرة العالمية على توليد القوى النووية في حالتين: حالة منخفضة وحالة مرتفعة. ويشارك خبراء بارزون من مختلف أنحاء العالم في هذه العملية التي تأخذ في الحسبان جميع المفاعلات العاملة، وحالات تجديد التراخيص المحتملة، وحالات الإغلاق المعتزمة، ومشاريع التشييد المعقولة المتوخَّاة على مدى عدة عقود مقبلة. ويضع هؤلاء الخبراء تقديرات للقدرة على توليد القوى النووية في المستقبل على أساس كل مشروع على حدة، من خلال تقييم معقولية كلِّ تقدير في ضوء الافتراضات التي تستند إليها التوقُّعات في الحالتين المنخفضة والمرتفعة. ويعرض هذا القسم بإيجاز نتائج هذه العملية التي تتدرج "من التفصيل إلى الإجمال" في كلتا الحالتين، ثم يتناول تفسير التوقُّعات الناتجة في كلٍّ منهما بمراعاة الملاحظات الواردة في الأقسام السابقة من هذا التقرير.

جيم-٢-١- الحالة المنخفضة التوقُّعات

٢٩- تفترض الحالة المنخفضة التوقُّعات أنَّ الاتجاهات الراهنة سوف تستمر كما هي، وأنَّ السياسات التي تؤثِّر في القوى النووية لن تطرأ عليها سوى تغييرات طفيفة. وهي لا تفترض أن جميع الأهداف الوطنية للقوى النووية سوف تتحقَّق. وتُعتبر التوقُّعات في هذه الحالة "متحفظة وإنما معقولة".

[٨] *التقديرات بشأن الطاقة والكهرباء والقوى النووية للفترة حتى عام ٢٠٥٠* (العدد رقم ١ من سلسلة البيانات المرجعية الصادرة عن الوكالة)، طبعة ٢٠١٧، من المقرر صدوره في أيلول/سبتمبر ٢٠١٧.

٣٠- ووفقاً للحالة المنخفضة التوقُّعات لعام ٢٠١٧، فسوف تتراجع القدرة العالمية على توليد القوى النووية من ٣٩٢ غيغاواط (كهربائي) في نهاية عام ٢٠١٦ إلى ٣٤٥ غيغاواط (كهربائي) بحلول عام ٢٠٣٠، ثم ستتراجع مجدداً إلى ٣٣٢ غيغاواط (كهربائي) بحلول عام ٢٠٤٠، قبل أن تعود إلى مستوياتها الراهنة عام ٢٠٥٠[٩]. غير أنَّ هذه القيم العالمية الإجمالية تنطوي على تفاوت كبير في التطورات الإقليمية، حيث يُتوقَّع حدوث تراجع كبير في أمريكا الشمالية وفي المنطقة التي تضمُّ شمال أوروبا وغربها وجنوبها، مقترناً بزيادات طفيفة في أفريقيا وغرب آسيا. وفي المقابل، فمن المرتقب حدوث نمو كبير في المنطقة التي تضمُّ آسيا الوسطى وشرق آسيا، حيث يُتوقَّع أن تشهد القدرة على توليد القوى النووية في تلك المنطقة زيادة بنسبة ٤٣% بحلول عام ٢٠٥٠.

٣١- ومن بين المفاعلات العاملة البالغ عددها ٤٤٧ مفاعلاً، فإنَّ أكثر من نصف هذا العدد يتجاوز عمره ٣٠ عاماً. وفي حين يبدو أنَّ الحالة المنخفضة التوقُّعات حتى عام ٢٠٥٠ لا تُشير إلى حدوث زيادة في صافي القدرة المنشأة؛ فإنَّ ذلك لا يعني أنَّه لن يُضطلع بأعمال تشييد جديدة. وفي واقع الأمر، حتى في الحالة المنخفضة، سوف يُنشأ نحو ٣٢٠ غيغاواط (كهربائي) من القدرة الجديدة على توليد القوى النووية بحلول ٢٠٥٠، وهو ما يعوِّض الخسائر الناجمة عن المفاعلات التي ستتقاعد، وإن لم يجرِ ذلك بالضرورة في المناطق نفسها.

جيم٢-٢- الحالة المرتفعة التوقُّعات

٣٢- تفترض الحالة المرتفعة استمرار المعدلات الحالية للنمو الاقتصادي والزيادة في الطلب على الكهرباء، مع زيادة كبيرة بوجه خاص في منطقة الشرق الأقصى. وتفترض أيضاً أنَّ القوى النووية سوف تحظى بالقبول في العديد من البلدان باعتبارها خياراً مجدياً من حيث التكلفة في مجال التخفيف من حدّة تغيُّر المناخ.[١٠]

٣٣- ووفقاً للحالة المرتفعة التوقُّعات، فسوف تصل القدرة العالمية على توليد القوى النووية إلى ٥٥٤ غيغاواط (كهربائي) بحلول عام ٢٠٣٠، و٧١٧ غيغاواط (كهربائي) بحلول عام ٢٠٤٠، و٨٧٤ غيغاواط (كهربائي) بحلول عام ٢٠٥٠. وتُسهم جميع المناطق في ذلك التوسع، مع تحقُّق أكبر مستويات النمو في المنطقة التي تضمُّ آسيا الوسطى وشرق آسيا، والتي تشهد زيادة في القدرة تتجاوز الضعف بحلول عام ٢٠٣٠، وزيادة بمقدار ٢,٩ مرة بحلول عام ٢٠٤٠، وبمقدار ٣,٥ مرات بحلول عام ٢٠٥٠، مقارنةً بالمستويات الحالية. وتشهد القدرة في منطقة أمريكا الشمالية تراجعاً طفيفاً بحلول عام ٢٠٥٠، كما تنخفض بحدة في بادئ الأمر في المنطقة التي تضمُّ شمال أوروبا وغربها وجنوبها قبل أن تعود لتصل إلى ١٢٠ غيغاواط (كهربائي) بحلول عام ٢٠٥٠، وهو ما يمثِّل زيادة طفيفة مقارنة بالمستوى الراهن البالغ ١١٣ غيغاواط (كهربائي).

٣٤- ورغم أوجه التحسُّن التي ستشهدها الكفاءة الكهربائية، فإنَّ الطلب العالمي على الكهرباء سيظلُّ ينمو، مدفوعاً في المقام الأول بالاقتصادات الناشئة، التي سيكون العديد منها قد استهلَّ برامج جديدة للقوى النووية أو وسَّع البرامج القائمة. ويمكن لهذه الاقتصادات أن تستفيد بوجه خاص من "النقل القائم على الكهرباء"، أي التحوُّل بعيداً عن استخدام الوقود الأحفوري في وسائل النقل، ومن ثمَّ تفادي تلوُّث الهواء والانبعاثات الكربونية.

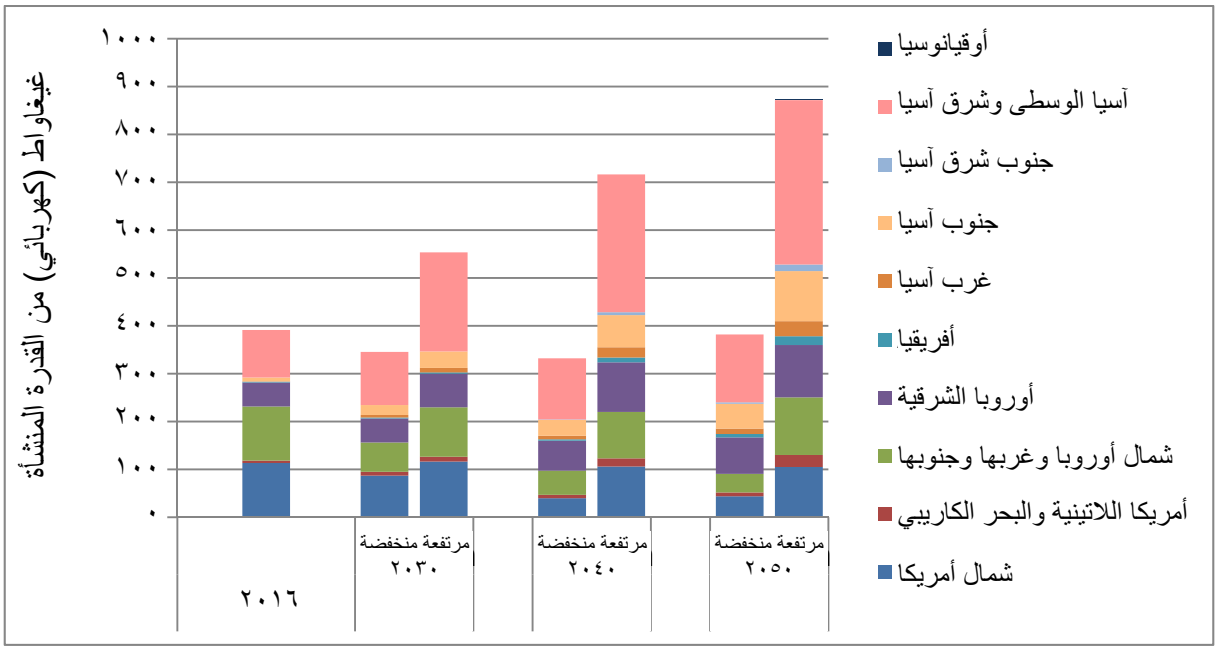
---

[٩] تشمل التوقُّعات جميع القدرة المتاحة التي تصنِّفها الدول الأعضاء على أنَّها قدرة "عاملة"، بصرف النظر عمَّا إذا كانت قيد التشغيل الفعلي أو مغلقة بصفة مؤقتة. وفي عام ٢٠١٦، كان جانب كبير من القدرة اليابانية مغلقاً بصفة مؤقتة.

[١٠] انظر المنشور المعنون *تغيُّر المناخ والقوى النووية ٢٠١٢* (الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا، ٢٠١٦).

جيم-٢-٣- المقارنة بين الحالتين المرتفعة التوقُّعات والمنخفضة التوقُّعات

٣٥- منذ عام ٢٠١٠، ما فتئت التوقُّعات السنوية التي تُعدُّها الوكالة فيما يتعلق بالقدرة الإجمالية على توليد القوى النووية تشهد تراجعاً مطرداً. ومع ذلك، فلا تزال القوى النووية تنطوي على إمكانات كبيرة على الأمد الطويل. ويعقد الشكل ٥ مقارنة بين مستويات القدرة في عام ٢٠١٦ وطائفة واسعة من توقُّعات القدرة في المستقبل، مبرزاً الدرجة الكبيرة من انعدام اليقين بشأن مستقبل القوى النووية. وتندرج الخطط الراهنة بشأن نشر المفاعلات، على النحو المفاد به في القسم جيم-١، ضمن نطاق هذه التوقعات. وفي الحالة المنخفضة التوقعات، تتراجع حصة القوى النووية في توليد الكهرباء على الصعيد العالمي من المستوى الراهن البالغ نحو ١١% إلى ٧,٨% في عام ٢٠٣٠، وإلى ٦,٢% في عام ٢٠٤٠، وإلى ٦% بحلول عام ٢٠٥٠. ومع ذلك، يظلُّ توليد الكهرباء نوويًّا على الصعيد العالمي يشهد نمواً من حيث القيم المطلقة، وإن كان نمواً متواضعاً. وفي المقابل، فإنَّ توليد الكهرباء نوويًّا يتزايد في آسيا بمعدلات أكبر، بما يتفق ومعدل النمو العام لتوليد الكهرباء حتى في الحالة المنخفضة.



الشكل-٥- توقُّعات الوكالة لعام ٢٠١٧ في الحالتين المنخفضة والمرتفعة بحسب القدرة النووية المنشأة بالغيغاواط (كهربائي) في كلِّ منطقة.

٣٦- وفي الحالة المرتفعة التوقُّعات، تزداد الحصة المقدَّرة للقوى النووية في إجمالي إمدادات الكهرباء من ١١% حاليًّا إلى ١٢,٤% في عام ٢٠٣٠، و١٣,٤% في عام ٢٠٤٠، و١٣,٧ في عام ٢٠٥٠. وتأتي هذه الزيادة المتوقعة في حصة القوى النووية مدفوعةً بالنمو في مجال الطاقة في البلدان النامية. وعلى الصعيد العالمي، تنطوي الحالة المرتفعة التوقُّعات على توقُّع توصيل ما بين ٣٠ إلى ٣٥ مفاعلاً جديداً بالشبكة الكهربائية في كلِّ عام بدءاً من عام ٢٠٢٥ تقريباً. وكان آخر عام شهد فيه العالم هذا المعدل للتوصيل هو عام ١٩٨٤، حين وُصِّل ٣٣ مفاعلاً جديداً بالشبكة الكهربائية. وفي الوقت الراهن، تُقدَّر القدرة التصنيعية العالمية (في مجال المطروقات الثقيلة أساساً) بما بين ٣٠ إلى ٣٤ مفاعلاً في العام. غير أنَّ القيود الأكبر لا تتعلق بالإنتاج، وإنما بالحصول على الدعم السياسي، وتقدير فوائد القوى النووية تقديراً نقديًّا بالمقارنة بسائر نظم إمدادات القوى (مثل انخفاض الانبعاثات الكربونية، وأمن الطاقة، وإيجاد فرص العمل)، وتحسين التواصل مع المستثمرين والجمهور

بشأن المزايا والمخاطر. وباختصار، فإنَّ توصيل ٣٣ مفاعلاً بالشبكة الكهربائية بحلول عام ٢٠٢٥ يتطلَّب اتخاذ إجراءات فورية في الوقت الحاضر.

٣٧- وحتى ١ كانون الثاني/يناير ٢٠١٥، كان الإنتاج السنوي العالمي من اليورانيوم والبالغ ٩٧٥ ٥٥ طنًّا يوفِّر نحو ٩٩% من الاحتياجات السنوية للمفاعلات على الصعيد العالمي، مع توريد الكمية المتبقية من اليورانيوم الذي جرى تعدينه في أعوام سابقة. وتُعتبر قاعدة موارد اليورانيوم أكثر من كافية لتلبية احتياجات الطلب المتوقَّعة حتى عام ٢٠٣٠. ومع ذلك، وحتى يمكن تلبية الطلب في الحالة المرتفعة، فسوف يلزم توفير الاستثمارات في الوقت المناسب من أجل إتاحة نقل تلك الموارد إلى مواقع الإنتاج بحيث تكون جاهزة للاستخدام في إنتاج الوقود النووي.

دال- العوامل المؤثِّرة

٣٨- يسلِّط هذا القسم الضوء على بعض العوامل التي يمكن أن تكون مهمة في تحديد ما إذا كانت التطورات التي سيشهدها المستقبل ستكون أقرب إلى الحالة المنخفضة التوقُّعات أو الحالة المرتفعة التوقُّعات.

دال-١- الأمان

٣٩- يحظى أداء المنشآت النووية في مجال الأمان بأهمية حاسمة فيما يتعلق بمستقبل القوى النووية، إذ أنَّ التمتُّع بسجل راسخ في ذلك المجال أمرٌ لا غنى عنه حتى يقبلها الجمهور.

٤٠- ومنذ حادث فوكوشيما داييتشي واعتماد خطة عمل الوكالة بشأن الأمان النووي في عام ٢٠١١، تعكف الوكالة ودولها الأعضاء والمنظمات ذات الصلة على تنفيذ تدابير من أجل تعزيز الأمان النووي في جميع أنحاء العالم. وقد انصبَّ التركيز تحديداً على أمان محطات القوى النووية خلال الأحداث الطبيعية العنيفة، وعلى ما يتصل بذلك من المسائل المتعلقة بدورة الوقود والتصرف في النفايات المشعة والأمان الإشعاعي. وشمل التقدُّم المحرز في تحسين الأمان النووي على الصعيد العالمي زيادة فعالية الدفاع في العمق، وتعزيز قدرات التأهب والتصدي للطوارئ، ووضع تدابير محسَّنة لحماية الناس والبيئة من الإشعاع المؤيِّن.

٤١- وما فتئت الوكالة تعمل على تنقيح متطلبات الأمان الصادرة عنها بهدف مراعاة الدروس المستفادة من حادث فوكوشيما داييتشي. واستمر تزايُد طلبات الدول الأعضاء للحصول على خدمات استعراض النظراء والخدمات الاستشارية التي تقدِّمها الوكالة، وكذلك طلبات الحصول على المساعدة في وضع برامجها المعنية بالقيادة والإدارة فيما يتعلق بالأمان، وفي بناء القدرات.

٤٢- وللأنشطة المتعلقة بالمشتريات تأثير رئيسي على الأمان. وقد شهدت السنوات الأخيرة الاضطلاع بأنشطة عديدة في أوساط الصناعة النووية بهدف التصدي للمسائل المتعلقة بالمفردات المزيَّفة والمغشوشة والمشبوهة. ومن شأن الاستعانة بهندسة المشتريات ووجود برنامج فعَّال معني بسلاسل الإمداد ينطوي على عمليات مشددة لمراقبة الجودة وضمانها أن يدعما تشغيل المرافق النووية على نحو مأمون واقتصادي.

دال-٢- تخصيص الأموال والتمويل

٤٣- تنشأ احتياجات التمويل خلال مختلف المراحل التي ينطوي عليها استهلال برنامج للقوى النووية أو توسيعه في بلد ما، ومنها مثلاً الحاجة إلى تخصيص الأموال من أجل إنشاء هيئة رقابية وطنية وتشغيلها، وإلى إنشاء آليات لتخصيص الأموال من أجل الوفاء "باستحقاقات المراحل الختامية" المتعلقة بالإخراج من الخدمة والتصرف في النفايات. وتقع المسؤولية عن هذا الدور على عاتق الحكومة في المقام الأول. وقد قدَّمت الوكالة المساعدة إلى عدد من الدول الأعضاء في هذا المجال، بما في ذلك من خلال حلقات عمل وطنية عُقدت في الأردن وبيلاروس وتركيا.

٤٤- ويشكِّل تمويل المشاريع النووية تحديًّا، بالنظر إلى طبيعتها القائمة على كثافة رأس المال بدرجة كبيرة، وما يترتب على ذلك من الحساسية إزاء أسعار الفائدة وطول فترات التشييد، وكذلك طبيعة أوجُه انعدام اليقين المرتبطة بها. وقد وُضعت طائفة متنوعة من نماذج التمويل الممكنة بهدف التصدي لبعض أوجُه انعدام اليقين المذكورة، ولا سيما مخاطر السوق التي يمكن أن يتعرَّض لها مطوِّرو المشاريع — ومقدِّمو التمويل — خلال المرحلة التشغيلية من دورة عمر المحطة. ويمكن لهذه المخاطر أن تؤدِّي إلى عجز المحطة عن بيع الكهرباء التي تنتجها بسعر مناسب، ومن ثمَّ يمكن النظر إليها على أنَّها تزداد حدة بوجه خاص في أسواق الكهرباء المحرَّرة من التنظيم الرقابي. ويمكن التخفيف من حدة هذه المخاطر عن طريق إجراء ترتيبات — ربما بدعم من حكومة البلد الذي يستضيف المحطة — لشراء الكهرباء التي تنتجها المحطة جزئيًّا أو كليًّا بسعر ثابت مضمون. وقد كانت تلك الترتيبات عنصراً محوريًّا في إقامة مشاريع مثل أكويو (تركيا)، وهنكلي بوينت ج (المملكة المتحدة)، وأولكيليوتو وهانهيكيفي (فنلندا).

٤٥- ورغم أنَّ تلك الترتيبات يمكن أن تساعد في توفير التمويل للمشاريع من خلال الحدِّ من مخاطر السوق، فإنَّ فائدتها محدودة في التصدي للمخاطر التي يُنظر إلى المشاريع النووية باعتبارها عرضة لها في المراحل المبكرة من دورة عمرها — ألا وهي حالات التأخُّر في التشييد وما يرتبط بها من تجاوز التكاليف للحدود المقررة. وبغية زيادة حصة القروض المنخفضة التكاليف في هيكل تمويل المشروع إلى أقصى حد ممكن، فمن المهم أن يجري "تفنيد مخاطر" المشروع من منظور المقرضين. ويمكن تحقيق ذلك بعدد من الطرق، منها على سبيل المثال أن تقدِّم الحكومة المضيفة ضمانات سيادية مباشرة للمقرضين، أو أن يقبل بائعو نظم الإمداد البخاري النووي بالحصول على حصة في ملكية المشروع. وقد اتُّبعت الطريقة الأخيرة في مشروع براكة بالإمارات العربية المتحدة، حيث حصلت شركة كوريا للقوى الكهربائية على حصة مقدارها ١٨% من ملكية شركة براكة الأولى، وكذلك في مشروع هانهيكيفي في فنلندا، حيث حصلت الشركة الحكومية للطاقة الذرية "روزاتوم" على حصة مقدارها ٣٤%.

دال-٣- أسواق الكهرباء والسياسات النووية

٤٦- شملت التطورات الرئيسية التي شهدتها أسواق الكهرباء العالمية منذ عام ٢٠١٤ تراجع أسعار الغاز، والنشر السريع لكميات كبيرة من مصادر الطاقة المتجددة، وتحوُّل الطلب على الكهرباء من البلدان الأعضاء في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي إلى البلدان غير الأعضاء في تلك المنظمة، لا سيما في آسيا، وعدم وجود مؤشرات ذات مغزى على النحو اللازم لتسعير انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

٤٧- ويمكن أن يكون لاتفاق باريس (انظر القسم باء-١-١) تأثير إيجابي على تطور القوى النووية إذا ما اتَّسع نطاق التسليم بإمكانات القوى النووية باعتبارها من مصادر الطاقة المنخفضة الكربون. وفي بعض البلدان،

تُعتبر قضية تغيُّر المناخ حافزاً يدعم مواصلة تشغيل محطاتٍ للقوى النووية كانت ستُغلق لأسباب اقتصادية لولا ذلك الحافز، أو تُعتبر جزءاً من مسوغات استهلال برنامج لبناء منشآت جديدة. وعلى المدى الطويل، يمكن أن تشمل العوامل المؤثرة الأخرى التحديثاتِ الخماسية السنوات للمساهمات المحدَّثة وطنيًّا التي تقدِّمها البلدان بموجب اتفاق باريس والأهميةَ التي يوليها ذلك الاتفاق للابتكار، إذ أنَّ من شأن تصاميم المفاعلات المتقدِّمة أن تزيد من التحسُّن المتحقِّق على صعيدي الأمان والتصرف في النفايات المشعة. وبمرور الوقت، يمكن أن تصير التكنولوجيات المتقدِّمة متاحةً تجاريًّا بحيث تؤخذ في الاعتبار كجزء من مزيج للطاقة المنخفضة الكربون. ومع ذلك، فلا يزال الاحتفاظ بأسطول عامل أمراً لازماً من أجل سدِّ الفجوة بين التكنولوجيات القائمة والجيل المقبل من التكنولوجيات.

٤٨- وتُشير توقُّعات الوكالة الدولية للطاقة إلى أنَّ تحقيق أهداف اتفاق باريس (انظر القسم باء-١-١) سوف يتطلَّب على الأقل مضاعفة المستويات الحالية للقدرة على توليد القوى النووية بحلول عام ٢٠٥٠. وسوف يكون لتقديم الحوافز في أسواق الكهرباء بهدف ترويج جميع أنواع الحلول المنخفضة الكربون، بما في ذلك القوى النووية، دورٌ رئيسي في توفير اليقين التمويلي اللازم للاستثمار في القوى النووية، ومن ثَمَّ ضمان نشرها في الوقت المناسب للتخفيف من حدة تغيُّر المناخ. وبالتوازي مع ذلك، فهناك حاجة إلى الاعتراف بالمزايا التي تكفلها القوى النووية من حيث أمن الإمدادات والموثوقية والقابلية للتنبؤ. وقد صار هذا الأمر أكثر إلحاحاً بالنظر إلى أنَّ بيئة إنتاج الكهرباء قد أضحت أكثر تقلُّبًا من أي وقت مضى بسبب استحداث كميات كبيرة من تكنولوجيات الطاقة المتجدِّدة المتغيِّرة من قبيل طاقة الرياح والخلايا الفلطائية – الضوئية. وتُشدِّد الأمثلة الحديثة للسياسات المتَّبعة في هذا الصدد على أهمية دور أسواق الكهرباء في تطوير القوى النووية: ففي المملكة المتحدة، تضمن آلية "العقود بشأن الفارق" سعر الكهرباء؛ وفي الولايات المتحدة الأمريكية، يشمل معيار الطاقة النظيفة الخاص بولاية نيويورك نظاماً لمكافأة توليد الكهرباء العديم الانبعاثات يكفل إعطاء قيمة لخاصية انعدام الانبعاثات التي تتسم بها الطاقة النووية؛ وفي المكسيك، تُعقد مزادات سنوية لتحقيق النسبة المستهدفة للطاقة المنخفضة الكربون (بما في ذلك القوى النووية) من جملة توليد الطاقة والبالغة ٣٥% بحلول عام ٢٠٢٤. وفي حال عدم اتِّخاذ إجراءات فعَّالة لدعم الترتيبات المالية الطويلة الأجل، قد تتراجع وتيرة تطوير القوى النووية بما يقوِّض الجهود الرامية إلى التخفيف من حدة تغيُّر المناخ.

٤٩- وحيث إنَّ الطاقة قد صارت الآن ركيزة رئيسية مستقلة في إطار أهداف التنمية المستدامة (انظر القسم باء-١-١)، فمن الممكن أن تتجلى بوضوح أكبر فائدة القوى النووية في تحقيق التنمية المستدامة. وقد كان دور القوى النووية في المسائل المتصلة بالاستدامة مثار جدل واسع حتى الآن، بسبب المقايضة التي تنطوي عليها القوى النووية بين توليد الكهرباء المنخفضة الكربون والشواغل بشأن مخاطر الحوادث وبشأن ما يقترن بالتصرف في النفايات المشعة من المسائل البيئية والمتعلقة بالصحة البشرية. وقد استعرضت الوكالة سمات القوى النووية مقارنةً بالمصادر البديلة لإمدادات الكهرباء، وفيما يتصل بأهداف التنمية المستدامة المتعلقة بالركائز الاقتصادية والاجتماعية والبيئية للاستدامة. وفي ضوء طائفة واسعة من المؤشرات، يمكن اعتبار القوى النووية مصدراً موثوقاً للكهرباء يمكن أن يكون له دورٌ في تنويع إمدادات الطاقة وأن يرسي نموذجاً أكثر قدرة على الصمود للإمداد بالكهرباء على نحو مستدام.

دال-٤- الابتكار: المفاعلات المتقدِّمة ودورات الوقود

٥٠- ثمة اهتمام متجدِّد بتصاميم الوقود البديلة المتقدِّمة التي من شأنها أن تُحسِّن الأداء وأن تكون أكثر مقاومة لأعطال الوقود وإنتاج الهيدروجين في الظروف المفضية إلى وقوع حوادث. ويمكن نشر بعض تصاميم الوقود

الجديدة المذكورة مع المفاعلات القائمة والمفاعلات قيد التشييد. وهناك أيضاً عدة تصاميم وقود متقدِّمة قيد التطوير من أجل استخدامها في نظم المفاعلات الجديدة ودورات الوقود الخاصة بها.

٥١- ولن يكون للمفاعلات السريعة دورٌ حاسم قبل حلول عام ٢٠٥٠، إلا أنَّها يمكن أن تصبح ذات أهمية بعد ذلك، ولا سيما عندما تستدعي اعتبارات الاستدامة تقليلَ عبء النفايات إلى أدنى حد (سواء من حيث حجمها أو طول عمرها) والاستخدامَ الفعال لموارد اليورانيوم.

٥٢- ويتيح استخدام الطاقة النووية في التوليد المشترك للحرارة والكهرباء، وكذلك في استرداد الحرارة المنبعثة من نظام التبريد، إمكانية اختراق سوق التطبيقات غير الكهربائية. ومن شأن ذلك أن يؤدي إلى زيادة الكفاءة التشغيلية بالاقتران مع تحقيق مزايا اقتصادية. وكبديل للنظم التقليدية القائمة على الوقود الأحفوري المستخدمة في قطاع توليد الحرارة، يمكن لمحطات التوليد المشترك للطاقة النووية أن تساعد في الحد من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ويمكن للتوليد المشترك أيضاً أن ييسِّر الخرج الكهربائي المتغيِّر دعماً للمصادر المتجدِّدة المتقطعة عن طريق التبديل بين توليد الكهرباء والتطبيقات الأخرى. ومن ثمَّ يمكن للقوى النووية أن تساهم في سوق الطاقة إجمالاً، بحيث يتجاوز تأثيرها توليد الكهرباء.

٥٣- وقد أثبتت التطبيقات المنخفضة الحرارة نجاحها في عدة دول أعضاء تتمتع بما يزيد مجموعه على ٧٥٠ عاماً من الخبرة التشغيلية. وفي تلك الحالات، يجري توليد الماء الساخن والبخار لاستخدامهما في التطبيقات التي تحتاج إلى درجات حرارة تشغيلية أقل من ٢٠٠ درجة مئوية (مثل مصانع الورق، وتدفئة الأحياء السكنية، وتحلية المياه). وفي المستقبل، سوف يكون من الممكن استخدام محطات القوى النووية المتقدِّمة غير المبرَّدة بالماء في التطبيقات المرتفعة الحرارة. ويمكن أن يؤدي إدخال أول مفاعل مرتفع الحرارة مبرَّد بالغاز في الخدمة في الصين إلى تمهيد الطريق أمام نشر المفاعلات المرتفعة الحرارة المبرَّدة بالغاز على نطاق أوسع. ويمكن لتلك المفاعلات أيضاً أن تستوعب طائفة أوسع من التطبيقات غير الكهربائية المرتفعة الحرارة.

٥٤- ويمكن أيضاً أن يكون للنشر التجاري للمفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو النمطية تأثير في مستقبل القوى النووية، لما تكفله من مزايا هامة للبلدان التي لديها شبكات كهربائية صغيرة وبنية أساسية أقل تطوراً وإمكانات استثمارية محدودة، وفيما يتعلق بالتطبيقات المتخصصة مثل النشر في المناطق النائية والحرارة المستخدمة في المعالجة الصناعية وتحلية المياه (انظر القسم ب-١-٢).

دال-٥- التصرّف في النفايات

٥٥- ويمكن أن يكون للتقدُّم الذي ثبت تحقيقه في تطوير وتنفيذ مرافق التخلُّص من النفايات القوية الإشعاع تأثير عميق على قبول القوى النووية على الصعيد السياسي ومن جانب الجمهور. وتُعدُّ البلدان التي لديها سياسات محدَّدة بوضوح بشأن التصرف في النفايات والتي أحرزت تقدُّماً ملموساً صوب تشغيل مرافق للتخلُّص من النفايات القوية الإشعاع من بين البلدان التي تتمتَّع بأعلى مستويات قبول القوى النووية من جانب الجمهور.

٥٦- ولا يزال التخلُّص من الغالبية العظمى من النفايات المشعة بطريقة مأمونة وفعَّالة يتحقَّق في جميع أنحاء العالم. وفيما يتعلق بالكميات المتبقية، الأقل كثيراً، من النفايات القوية الإشعاع والوقود النووي المستهلك، يتواصل إحراز تقدُّم جيِّد صوب تشغيل مرافق للتخلُّص منها في عدة بلدان. وفي تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠١٥، مُنِحت أول رخصة لتشييد مرفق للتخلص الجيولوجي العميق من الوقود النووي المستهلك لمرفق أونكالو في فنلندا، وبدأ تشييد المرفق في كانون الأول/ديسمبر ٢٠١٦. وفي حزيران/يونيه ٢٠١٦، اعتمدت الهيئة السويدية

للأمان الإشعاعي طلب الترخيص الخاص بمستودع جيولوجي عميق للتخلُّص من الوقود المستهلك في موقع فورسمارك. وفي فرنسا، يجري العمل على إعداد طلب ترخيص مرفق سيجيو (Cigéo) للتخلُّص الجيولوجي العميق من النفايات المتوسطة الإشعاع والقوية الإشعاع.

٥٧- واستمرت المناقشات فيما بين بعض الدول الأعضاء المهتمة بشأن الخيارات المتعددة الجنسيات للتخلُّص المأمون من الوقود النووي المستهلك والنفايات القوية الإشعاع. وفي حين أنَّ هذه المناقشات لم تسفر بعدُ عن التزامات بالمضي قُدُماً في تشييد مرافق محدَّدة، فإنَّ الاستعداد للمشاركة في حوار منفتح بشأن هذا الموضوع يشير إلى إمكانية تحقيق فوائد ذات شأن.

٥٨- ويوفِّر الإخراج من الخدمة أساساً للاستعداد للمستقبل، بما يتيح إعادة استعمال الموقع في المستقبل في تشييد محطة للقوى بل وفي استخدامات صناعية أو غير صناعية لا تنطوي على استخدام مواد مشعة. ومع وصول جهود الإخراج من الخدمة والتكنولوجيا المستخدمة فيها إلى النضج الصناعي في الوقت الراهن، فإنَّ إتقان التعامل مع محطات القوى النووية في نهاية عمرها يُعدُّ أيضاً عاملاً مؤثراً في مستقبل القوى النووية.

دال-٦- بناء القدرات

٥٩- يُعدُّ تعيين الموظفين ذوي المهارات واستبقائهم بهدف ضمان وجود قوى عاملة تتمتع بالكفاءة اللازمة لجميع مراحل دورة عمر المرفق النووي من بين أكبر التحديات التي تواجه أوساط المجتمع النووي. ومن التحديات التي تواجهها مشاريع بناء المنشآت النووية الجديدة بصفة خاصة خسارةُ الخبرات ورأس المال البشري، بالنظر إلى ندرة هذه المشاريع وأنَّها غالباً ما لا تُنفَّذ إلا بعد سنوات عديدة من سابقاتها (باستثناء الاتحاد الروسي وجمهورية كوريا والصين واليابان). وهناك نُهُجٌ مبتكرة في هذا الصدد، مثل التعلُّم الرقمي والمختلط)، يجري الآن وضعها موضع الممارسة العملية من أجل تيسير حصول الأجيال الجديدة من القوى العاملة في المجال النووي على التدريب والتعليم وبناء القدرات في ذلك المجال في كلٍّ من البلدان المشغِّلة والبلدان المستجدة.

٦٠- وتواصل الوكالة إقامة الصلات فيما بين أوساط مجتمعات الممارسة في إطار الشبكات والترتيبات الإقليمية. وجرى توسيع نطاق دورات الوكالة الدراسية بشأن إدارة المعارف النووية وإدارة الطاقة النووية، حيث عُقدت دورتان دراسيتان جديدتان في الاتحاد الروسي وجنوب أفريقيا في عام ٢٠١٦، بالإضافة إلى الدورات التي تُعقد بانتظام في الإمارات العربية المتحدة وإيطاليا (بالاشتراك مع المركز الدولي للفيزياء النظرية في تريستي) واليابان.

٦١- ولا يزال استخدام مفاعلات البحوث وإمكانية الوصول إليها يثبتان أنَّهما يشكِّلان مورداً نافعاً من حيث توفير مكوِّن عملي في تدريب الطلاب والمهنيين في المجال النووي. واستجابةً لطلبات الدول الأعضاء، استحدثت الوكالة مؤخراً طائفة مختلفة من المخططات والفرص لبناء القدرات والحفاظ عليها في المجال النووي بالاستناد إلى مفاعلات البحوث، بما في ذلك دورات للتدريب العملي، وأدوات للتعلُّم عن بعد مثل مشروع مختبر المفاعلات على شبكة الإنترنت الخاص بالوكالة، ومخطط للتعاون المتبادل يُعرف بمبادرة مراكز الامتياز الدولية القائمة على مفاعلات البحوث.

٦٢- وتُستخدم على نطاق واسع وحدات التعلُّم الإلكتروني النمطية المعدَّة خصيصاً لجمهور معيَّن، مثل البلدان المستجدة في مجال القوى النووية، والممارسين المعنيين بالتصرف في النفايات المشعة والإخراج من الخدمة والاستصلاح البيئي.

دال-٧- القبول من جانب الجمهور

٦٣- يُعدُّ القبول من جانب الجمهور عاملاً رئيسيًّا فيما يتعلق بمستقبل القوى النووية. ويتوقف القبول من جانب الجمهور في جانب كبير منه على تصوُّرات الجمهور عن الفوائد والمخاطر المقترنة بالقوى النووية، ولكنه يتوقف أيضاً على الفوائد والمخاطر المقترنة بالبدائل غير النووية. وعلى وجه التحديد، فإنَّ الشواغل بشأن المخاطر الإشعاعية والتصرف في النفايات والأمان والانتشار تظلُّ هي المجالات الأكثر تأثيراً في القبول من جانب الجمهور.

٦٤- وقد صارت مشاركة الجهات المعنية في صوغ السياسات واتِّخاذ القرارات الاستثمارية في المجال النووي، ولا سيما السياسات والقرارات التي تترتَّب عليها آثار محتملة على الأمان، سمة محورية في عمليات نشر القوى النووية التي تتكلَّل بالنجاح وتحقِّق الأمان. وتُعدُّ تلك المشاركة أمراً لا غنى عنه من أجل صوغ موقف وطني في البلدان المستجدة، ومن أجل تحديد مواقع مشاريع تشييد المنشآت النووية الجديدة ومرافق التخلُّص من النفايات القوية الإشعاع. كما أنَّها تساعد على بناء الثقة والمحافظة عليها فيما يتعلق بأهلية الجهات الرقابية وكفاءتها.

٦٥- ويسهم التواصل مع الجمهور في الوقت المناسب وإشراكه في مشاريع القوى النووية في تحسين فهم تلك المشاريع، كما أنَّ ذلك النهج هو الأقرب إلى أن يفضي إلى موافقة الجهات المعنية على مشاريع القوى النووية عن علم منها بما تنطوي عليه تلك المشاريع. وتحظى العمليات الشفافة والتشاركية في جميع مراحل برنامج القوى النووية بأهمية حاسمة حتى تكون عملية اتِّخاذ القرارات منصفة ومتسقة، وكذلك حتى يتسنى تسخير كامل إمكانات القطاع النووي.