الوكالة الدولية للطاقة الذرية

سلسلة الطاقة النووية

العدد NR-T-1.19

المصطلحات المستخدمة في وصف محطات القوى النووية المتقدِّمة

IAEA
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة

هيكل سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة

بمقتضى أحكام الفقرة ألف-3 من المادة الثالثة والفقرة جيم من المادة الثامنة من النظام الأساسي للوكالة، يُخوَّل للوكالة تعزيز تبادل المعلومات العلمية والتقنية بشأن الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية. وتعرض المنشورات الواردة في **سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة** الممارسات الجيدة وأوجُه التقدُّم في مجال التكنولوجيا، إلى جانب أمثلة وخبرات عملية في مجالات المفاعلات النووية، ودورة الوقود النووي، والتصرف في النفايات المشعة والإخراج من الخدمة، وعن مسائل عامة ذات صلة بالطاقة النووية. ويتألف هيكل **سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة** من أربعة مستويات:

(1) تَصِفُ منشورات **المبادئ الأساسية للطاقة النووية** الأساس المنطقي والرؤية فيما يتعلق بالاستخدامات السلمية للطاقة النووية.

(2) وتَصِفُ منشورات **أهداف سلسلة الطاقة النووية** ما تجب مراعاته والأهداف المحدَّدة المراد تحقيقها في المجالات المواضيعية في مختلف مراحل التنفيذ.

(3) وتقدِّم **أدلة ومنهجيات سلسلة الطاقة النووية** إرشادات أو أساليب رفيعة المستوى بشأن كيفية تحقيق الأهداف المتعلقة بالمواضيع والمجالات المتنوعة التي تنطوي على الاستخدامات السلمية للطاقة النووية.

(4) وتقدِّم **التقارير التقنية لسلسلة الطاقة النووية** معلوماتٍ إضافية وأكثر تفصيلاً عن الأنشطة المتعلقة بالمواضيع التي تستكشفها **سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة**.

ويخضع كل منشور لاستعراض نظراء داخلي ويُتاح للدول الأعضاء لكي تبدي تعليقاتها عليه قبل نشره.

وتُستخدم الرموز التالية في تصنيف منشورات سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة: **NG** — منشورات عامة؛ **NR** — المفاعلات النووية (سابقاً **NP** — القوى النووية)؛ **NF** — دورة الوقود النووي؛ **NW** — التصرف في النفايات المشعة والإخراج من الخدمة. وبالإضافة إلى ذلك، تُتاح المنشورات باللغة الإنكليزية على موقع الوكالة على الإنترنت:

www.iaea.org/publications

ولمزيد من المعلومات، يُرجى الاتصال بالوكالة على العنوان التالي:

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

ويُرجى من جميع مستخدمي منشورات سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة إبلاغ الوكالة بخبرتهم المكتسبة في استخدام هذه المنشورات من أجل ضمان استمرار تلبيتها لاحتياجات المستخدمين. **ويمكن إرسال المعلومات عبر موقع الوكالة على الإنترنت، أو بالبريد، أو بالبريد الإلكتروني على العنوان Official.Mail@iaea.org.**

المصطلحات المستخدمة في وصف
محطات القوى النووية
المتقدِّمة

الدول الأعضاء في الوكالة الدولية للطاقة الذرية

الاتحاد الروسي
إثيوبيا
أذربيجان
الأرجنتين
الأردن
أرمينيا
إريتريا
إسبانيا
أستراليا
إستونيا
إسرائيل
إسواتيني
أفغانستان
إكوادور
ألبانيا
ألمانيا
الإمارات العربية المتحدة
أنتيغوا وبربودا
إندونيسيا
أنغولا
أوروغواي
أوزبكستان
أوغندا
أوكرانيا
إيران، (جمهورية – الإسلامية)
آيرلندا
آيسلندا
إيطاليا
بابوا غينيا الجديدة
باراغواي
باكستان
بالاو
البحرين
البرازيل
بربادوس
البرتغال
بروناي دار السلام
بلجيكا
بلغاريا
بليز
بنغلاديش
بنما
بنن
بوتسوانا
بوركينا فاسو
بوروندي

البوسنة والهرسك
بولندا
بوليفيا، (دولة - المتعددة القوميات)
بيرو
بيلاروس
تايلند
تركمانستان
تركيا
ترينيداد وتوباغو
تشاد
توغو
تونس
تونغا
جامايكا
الجبل الأسود
الجزائر
جزر البهاما
جزر القمر
جزر كوك
جزر مارشال
جمهورية أفريقيا الوسطى
الجمهورية التشيكية
الجمهورية الدومينيكية
الجمهورية العربية السورية
جمهورية الكونغو الديمقراطية
جمهورية تنزانيا المتحدة
جمهورية كوريا
جمهورية لاو
الديمقراطية الشعبية
جمهورية مولدوفا
جنوب أفريقيا
جورجيا
جيبوتي
الدانمرك
دومينيكا
رواندا
رومانيا
زامبيا
زمبابوي
ساموا
سان مارينو
سانت فنسنت وجزر غرينادين
سانت كيتس ونيفس
سانت لوسيا
سري لانكا

السلفادور
سلوفاكيا
سلوفينيا
سنغافورة
السنغال
السودان
السويد
سويسرا
سيراليون
سيشيل
شيلي
صربيا
الصومال
الصين
طاجيكستان
العراق
عُمان
غابون
غامبيا
غانا
غرينادا
غواتيمالا
غيانا
غينيا
فانواتو
فرنسا
الفلبين
فنزويلا، (جمهورية - البوليفارية)
فنلندا
فيجي
فييت نام
قبرص
قطر
قيرغيزستان
كابو فيردي
كازاخستان
الكاميرون
الكرسي الرسولي
كرواتيا
كمبوديا
كندا
كوبا
كوت ديفوار
كوستاريكا
كولومبيا
الكونغو

الكويت
كينيا
لاتفيا
لبنان
لختنشتاين
لكسمبورغ
ليبيا
ليبيريا
ليتوانيا
ليسوتو
مالطة
مالي
ماليزيا
مدغشقر
مصر
المغرب
مقدونيا الشمالية
المكسيك
ملاوي
المملكة العربية السعودية
المملكة المتحدة لبريطانيا العظمى وآيرلندا الشمالية
منغوليا
موريتانيا
موريشيوس
موزامبيق
موناكو
ميانمار
ناميبيا
النرويج
النمسا
نيبال
النيجر
نيجيريا
نيكاراغوا
نيوزيلندا
هايتي
الهند
هندوراس
هنغاريا
هولندا، (مملكة -)
الولايات المتحدة الأمريكية
اليابان
اليمن
اليونان

وافق المؤتمر المعني بالنظام الأساسي للوكالة الدولية للطاقة الذرية الذي عُقد في المقرّ الرئيسي للأمم المتحدة في نيويورك، في 23 تشرين الأول/أكتوبر 1956، على النظام الأساسي للوكالة الذي بدأ نفاذه في 29 تموز/يوليه 1957. ويقع المقرُّ الرئيسي للوكالة في فيينا. ويتمثَّل هدف الوكالة الدولية للطاقة الذرية الرئيسي في "تعجيل وتوسيع مساهمة الطاقة الذرية في السلام والصحة والازدهار في العالم أجمع".

العدد NR-T-1.19 من سلسلة الطاقة النووية الصادر ة عن الوكالة

المصطلحات المستخدمة في وصف محطات القوى النووية المتقدِّمة

الوكالة الدولية للطاقة الذرية
فيينا، 2025

ملاحظة بشأن حقوق النشر

جميع منشورات الوكالة العلمية والتقنية محمية بموجب أحكام الاتفاقية العالمية لحقوق النشر بشأن الملكية الفكرية بصيغتها المعتمدة في عام 1952 (برن) والمنقحة في عام 1972 (باريس). وقد تم تمديد حق النشر منذ ذلك الحين بواسطة المنظمة العالمية للملكية الفكرية (جنيف) ليشمل الملكية الفكرية الإلكترونية والفعلية. ويجب الحصول على إذن باستخدام النصوص الواردة في منشورات الوكالة بشكل مطبوع أو إلكتروني، استخداما كلياً أو جزئياً؛ ويخضع هذا الإذن عادة لاتفاقات حقوق النشر والإنتاج الأدبي. ويُرحَّب بأية اقتراحات تخص الاستنساخ والترجمة لأغراض غير تجارية، وسيُنظَر فيها على أساس كل حالة على حدة. وينبغي توجيه أية استفسارات إلى قسم النشر التابع للوكالة (IAEA Publishing Section) على العنوان التالي:

Marketing and Sales Unit, Publishing Section
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Vienna, Austria
fax: +43 1 26007 22529
tel.: +43 1 2600 22417
email: sales.publications@iaea.org
https://www.iaea.org/publications/ar/almanshurat

حقوق النشر محفوظة للوكالة الدولية للطاقة الذرية، 2025

طُبِع من قِبَل الوكالة الدولية للطاقة الذرية في النمسا

كانون الثاني/يناير 2025

STI/PUB/2071

ISBN 978-92-0-600624-5 (paperback: alk. paper) | ISBN 978-92-0-600824-9 (pdf) | ISBN 978-92-0-600724-2 (epub)

ISSN 2664-9365

تصدير

يتمثَّل أحد أدوار الوكالة الواردة في نظامها الأساسي في أن "تعمل الوكالة على تعجيل وتوسيع مساهمة الطاقة الذرية في السلام والصحة والازدهار في العالم أجمع". ومن بين وظائف أخرى، يؤذَن للوكالة أن "تيسِّر تبادُل المعلومات العلمية والتقنية بشأن الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية". وإحدى الأساليب التي يتحقق بها ذلك هي من خلال مجموعة من المنشورات التقنية بما في ذلك سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة.

وتتألف سلسلة الطاقة النووية الصادر ة عن الوكالة من منشورات مصممة للتوسُّع في استخدام التكنولوجيات النووية دعماً للتنمية المستدامة، والنهوض بالعلوم والتكنولوجيا النووية، وتحفيز الابتكار، وبناء القدرات لدعم ما هو الاستخدام القائم والمتوسَّع للقوى النووية ولتطبيقات العلوم النووية. وتشمل المنشورات معلومات تغطي جميع جوانب السياسات والتكنولوجيا والإدارة من تعريف وتنفيذ الأنشطة التي تنطوي على استخدام التكنولوجيا النووية في الأغراض السلمية. ورغم أن الإرشادات الواردة في منشورات سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة لا تمثِّل توافقاً في آراء الدول الأعضاء، فقد خضعت لاستعراض نظراء داخلي وأُتيحت للدول الأعضاء للتعليق عليها قبل نشرها.

وتضع معايير الأمان الصادرة عن الوكالة مبادئ ومتطلبات وتوصيات أساسية لضمان الأمان النووي وهي تشكِّل مرجعاً عالمياً لحماية الناس والبيئة المحيطة بهم من التأثيرات الضارة للإشعاعات المؤينة.

وعندما تتناول منشورات سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة مسألة الأمان، يتم التأكد من أن معايير الأمان الصادرة عن الوكالة يُشار إليها على أنها الشروط الحدِّية الحالية لتطبيق التكنولوجيا النووية.

ويشمل وضع تصاميم جديدة لمحطات القوى النووية مجموعة واسعة من البدائل. وبعض هذه التصاميم هي تمديدات طفيفة للتصاميم الحالية، بينما تنطوي تصاميم أخرى على تعديلات أكثر أهمية. والمصطلحات المستخدمة في وصف التصاميم في مختلف مراحل تصميمها وتطويرها قد دفعت الوكالة إلى نشر المصطلحات المستخدمة في وصف محطات القوى النووية الجديدة والمتقدمة (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة TECDOC-936) في عام 1997. وكانت المصطلحات المستخدمة في وقت وصف التصاميم الجديدة تنطوي على التصاميم المتقدِّمة وتصاميم الجيل المقبل والتصاميم التطورية، بالإضافة إلى مصطلحات أقل تقنية مثل التصاميم الآمنة أماناً سلبياً والتصاميم الآمنة في جوهرها والتصاميم الآمنة بطريقة حتمية. ولم يكن هناك تفسير دقيق لانعكاسات هذه المصطلحات وما شابهها في ذلك الوقت، واستخدمت منظمات مختلفة المصطلحات ذاتها ولكن بمعان مختلفة. وكان يُعتقد أنَّ من المحتمل أن تؤدي أوجه عدم الاتساق هذه إلى حدوث التباس، مما يؤدي إلى ظهور مشاكل تتعلق بالمصداقية. وكان

الهدف من الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة TECDOC-936 هو تحسين فهم المصطلحات التقنية المستخدمة على نطاق واسع في الدول الأعضاء وتقديم توضيح لاستعمالها الصحيح، وكذلك للمصطلحات المماثلة ذات الصلة. وفي عام 2005، أطلقت الوكالة قاعدة البيانات الإلكترونية لنظام المعلومات الخاصة بالمفاعلات المتقدمة، حيث كانت المصطلحات المستخدمة تتوافق أساساً مع الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة TECDOC-936؛ والمصطلحات ذات الصلة بالأمان المستخدمة في المحطات النووية المتقدمة (الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة TECDOC-626)؛ ومسرد مصطلحات الأمان الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية. ومنذ نشر الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة TECDOC-936 ما انفكت الدول الأعضاء في الوكالة تحيل في الكثير من الأحيان إلى المصطلحات الواردة فيها والتي تعبِّر عن أوجه التقدم في تطوير محطات القوى النووية في منتصف تسعينات القرن العشرين. ولقد أحرزت التكنولوجيا تقدُّماً منذئذ، وتغيَّرت المصطلحات وتوسَّع مداها. لذلك، يهدف هذا المنشور إلى توفير المصطلحات المستخدمة على نطاق واسع لوصف محطات القوى النووية المتقدمة، وتوضيح التعاريف والاستعمال الصحيح للمصطلحات. ويتوسَّع نطاق التحديثات بشأن المصطلحات من خلال إدماج التطورات والمبادرات المتخذة منذ عام 1997 في مجالات تصاميم المفاعلات النووية المتقدمة والتطورية والابتكارية، بما في ذلك مواصفات مراحل تطوير التصميم. وينبغي أن تكون المصطلحات المستخدمة في وصف محطات القوى النووية المتقدمة أيا كان نوعها متوافقة مع الفهم العام الواسع لدى الجمهور وكذلك الأوساط التقنية.

والموظفان المسؤولان في الوكالة عن هذا المنشور هما مارتان كراوس (M. Krause) وتاتيانا جيفريموفيتش (T. Jevremovic) من شعبة القوى النووية.

ملحوظة تحريرية

حُرِّر هذا المنشور من جانب موظفي هيئة التحرير في الوكالة بقدر ما اعتُبِر ذلك ضرورياً لمساعدة القارئ. وهو لا يتناول مسائل تتعلق بالمسؤولية، قانونية كانت أم غير قانونية، عن أفعال أو الامتناع عن أفعال من جانب أي شخص.

وتمثل الإرشادات والتوصيات المقدمة هنا فيما يتعلق بالممارسات الجيدة المحددة آراء الخبراء ولكنها غير مستندة إلى توافق في آراء جميع الدول الأعضاء.

وعلى الرغم من توخي قدر كبير من الحرص للحفاظ على دقة المعلومات الواردة في هذا المنشور، لا تتحمل الوكالة ولا دولها الأعضاء أي مسؤولية عن العواقب التي قد تنشأ عن استخدام تلك المعلومات.

واستخدام تسميات معيَّنة لبلدان أو أقاليم لا يعني ضمنًا إصدار أي حكم من جانب الناشر، أي الوكالة، بشأن الوضع القانوني لهذه البلدان أو الأقاليم أو سلطاتها ومؤسساتها أو تعيين حدودها.

وذكر أسماء شركاتٍ أو منتجاتٍ معيَّنة (سواء مع الإشارة إلى أنها مسجـّلة أو دون تلك الإشارة) لا يعني ضمنًا وجود أي نية لانتهاك حقوق الملكية، كما لا ينبغي أن يُفسَّر على أنه تأييد أو توصية من جانب الوكالة.

ولا تتحمَّل الوكالة أي مسؤولية عن استمرارية أو دقّة الوصلات الإلكترونية للمواقع الشبكية الخاصة بطرف خارجي أو طرف ثالث المشار إليها في هذا الكتاب ولا تضمن أن يكون، أو أن يظلَّ، أي محتوى يرد في تلك المواقع الشبكية دقيقًا أو ملائمًا.

المحتويات

1- المقدمة 1

1-1- الخلفية 1
1-2- الهدف 3
1-3- النطاق والهيكل 3
1-4- مستخدمو المنشور 4

2- المصطلحات المتصلة بتطوير التصميم 4

2-1- مراحل تطوير التصميم 4
2-2- المنظمات 6
2-3- موقع المفاعل وحجمه 7

3- فئات تصميم المفاعلات المتقدمة 9

3-1- التصميم المتطور أو قيد التشغيل حالياً أو قيد التشييد أو المرخص به 11
3-2- التصميم التطوري 12
3-3- التصميم الابتكاري 13
3-4- التصميم السلبي 14
3-5- المصطلحات ذات الصلة بالانتشار 14
3-6- مصطلحات ذات صلة بالوقت 15
3-7- المصطلحات التقنية 16
3-8- المصطلحات غير التقنية الشائعة الاستخدام 17

4- أنواع المفاعلات 18

4-1- المفاعلات المبرَّدة بالماء 18
4-2- المفاعلات المبرَّدة بالغاز 21

4-3- مفاعلات ملح مصهور 22
4-4- مفاعلات سريعة 22
4-5- مفاعلات صغيرة ومتوسطة الحجم أو نمطية 23
4-6- مفاعل متناهي الصغر 24
4-7- نظم تعمل بواسطة المُعجِّلات 24

5- الغرض من تصميم المفاعل 24

5-1- غرض تجاري 24
5-2- الأول من نوعه والأحدث من نوعه 25
5-3- نموذج أولي 25
5-4- عرض توضيحي 25
5-5- عرض تجريبي 25

6- بارامترات الأداء 26

6-1- الأداء التقني 26
6-2- أداء اقتصادي 27

المراجع 29
قائمة المختصرات 31
المساهمون في الصياغة والاستعراض 33
هيكل سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة 34

1- المقدمة

1-1- الخلفية

نظراً لأهمية التواصل مع الجمهور وكذلك الأوساط التقنية على وجه العموم وفيما بين مصمِّمي مختلف خطوط المفاعلات النووية المتقدمة داخل الصناعة النووية نفسها، يُستصوَب أن يكون هناك اتساق وتوافق على الصعيد الدولي في الآراء فيما يتعلق بالمصطلحات المستخدمة في وصف مختلف فئات التصاميم المتقدمة. وفي عام 1997، صدرت الوثيقة التقنية للوكالة TECDOC-936 بشأن المصطلحات المستخدمة في وصف المحطات النووية الجديدة والمتقدمة [1] واستُخدمت على نطاق واسع منذ ذلك الحين. وفي عام 2005، أطلقت الوكالة قاعدة بيانات إلكترونية لنظم المعلومات الخاصة بالمفاعلات المتقدمة [2] حيث كانت المصطلحات المستخدمة تتوافق أساسا مع تلك الوثيقة التقنية TECDOC ومع الوثيقة التقنية الصادرة عن الوكالة TECDOC-626 بشأن مصطلحات الأمان المستخدمة في وصف المحطات النووية المتقدمة [3].

وهذا المنشور هو تنقيح للوثيقة التقنية TECDOC-936 الصادرة عن الوكالة، وهو يتضمَّن التطورات والمبادرات المتخذة منذ عام 1997 في مجالات تصاميم المفاعلات النووية المتقدمة والتطورية والابتكارية، كما يتضمَّن وصفاً لمراحل وضع التصاميم، وبعض مصطلحات الأمان والمصطلحات الرقابية، بما يتَّسق مع أحدث الطبعات لمسرد مصطلحات الأمان الصادر عن الوكالة [4]، والعدد SSR-2/1 (الصيغة المنقَّحة Rev. 1) من سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة، ومع المنشور المعنون 'أمان محطات القوى النووية: التصميم' [5]، ومع مسرد مصطلحات الوكالة بشأن التصرف في النفايات المشعة [6]، كما أنه يكمِّل هذه الطبعات. وينبغي أن تكون مصطلحات وصف محطات القوى النووية المتقدمة متوافقة مع الفهم الواسع والعام والمشترك لدى الجمهور وكذلك الأوساط التقنية. لذلك، فإنَّ المصطلحات الموضَّحة في هذا المنشور تشير في المقام الأول إلى حالة وضع التصاميم وإلى المستوى العام للجهد اللازم لتحقيقها، في حين أنَّ المصطلحات ذات الصلة بالأمان هي ليست محور تركيز هذا المنشور. وفي هذا المنشور، يُستَخدم مصطلح المفاعل كمرادف للمفاعل النووي، والمحطة كمرادف لمحطة القوى النووية.

وقد وضعت منظمات عديدة ولا تزال تضع تصاميم للمفاعلات ونظما من أجل تحسين التكنولوجيا النووية والنهوض بها. وهناك انتشار كبير جدا في درجة الابتكار في نُهُج التصميم المقترحة وفي الدرجة المقابلة من النضج التقني للحلول التي يجري تحقيقها أو اقتراحها. ورغم أنَّ هناك أيضاً توسُّعاً في أهداف التصميم تتراوح بين تحسين الأداء والاقتصاديات والأمان مقارنة بما تحقَّق بالفعل باستخدام التكنولوجيا الحالية وتوسيع مجال تطبيق الطاقة النووية، فإنَّ القواسم

المشتركة القوية تشمل تعزيز الأمان، والتعقيبات المستمدة من الخبرات المكتسبة من المحطات العاملة، وإدماج أوجه التقدم الحديثة في الإلكترونيات والحواسيب والعوامل البشرية. وتُستَخدم المصطلحات الموضَّحة في هذا المنشور للتمييز بين التصاميم في مراحل مختلفة من التطوير.

والتصاميم قيد النظر هي تصاميم محطات القوى النووية وليست تصاميم المفاعلات، لأنَّ المفاعل ليس سوى جزء من التركيب الكامل اللازم لإنتاج كهرباء نووية اقتصادية ويمكن الاعتماد عليها ومأمونة ولإنتاج مخرجات أخرى (مثل الهيدروجين والحرارة). ومنذ صدور المنشور السابق في عام 1997، شمل تطوير تصاميم محطات القوى النووية المتقدمة مجموعة واسعة من البدائل؛ ويمثل بعضها تمديدات صغيرة في التصاميم الحالية بينما ينطوي بعضها الآخر على خروج كبير عنها أو يمثل مفاهيم مختلفة أو جديدة. ومن ثم، فإنَّ المصطلحات الواردة في الوثيقة التقنية TECDOC-936 الصادرة عن الوكالة قد جرى تحديثها هنا لإدراج هذه التطورات الجديدة التي طرأت في تصاميم محطات القوى النووية.

وقد استُخدِم العديد من المصطلحات الموصوفة في هذا المنشور على نطاق واسع في بعض البلدان، وأحيانا دون فهم واضح بما فيه الكفاية لما تعنيه وما تدلُّ عليه ضمناً. وبعض هذه المصطلحات يمكن أن تكون مضلِّلة لغير الخبراء ويمكن أن تنقل إلى الجمهور دلالات غير مرغوب فيها ولا يقصدها مصمِّمو محطات القوى النووية المتقدمة. ولقد كان معيار إدراج كل مصطلح في تعاريف هذا المنشور هو ما إذا كان المصطلح شائعاً بالفعل وواسع الاستخدام، وليس ما إذا كان مثل هذا الاستخدام مستصوَباً. وبعض المصطلحات الموضَّحة هنا لا تتوافق مع هذا المعيار. لذلك فهي غير مستصوَبة، ولا يُنصح باستخدامها؛ وعندما يكون الحال كذلك، فإنَّ الأسباب يُشار إليها في وصف تلك المصطلحات. وقد حُذِفت عمداً أوصاف بعض المصطلحات التي يُحتمل أن تكون مفيدة والتي لا تُستخدم الآن على نطاق واسع لتجنُّب صياغة مصطلحات جديدة أو الترويج لها، الأمر الذي من شأنه، مرة أخرى، أن يزيد من احتمال إساءة الفهم بدلا من تقليل ذلك الاحتمال.

وقد يكون من الصعب تسوية الاختلافات الناجمة عن اختلاف الأهداف والنُهُج والجداول الزمنية الإنمائية على مر التاريخ في مختلف البلدان، بين المصالح المتنوعة، وبين الفهم الثقافي المختلف للكلمات؛ وكان من اللازم التوصل إلى بعض الحلول التوفيقية على الصعيد الدولي.

1-2- الهدف

الهدف من هذا المنشور هو تزويد الدول الأعضاء بأحدث المصطلحات لوصف محطات القوى النووية المتقدمة، والتمييز بين مراحل التصميم التي تجسِّد اكتمال التصاميم، وتوضيح تعاريف المصطلحات الشائعة الاستخدام في وصف محطات القوى النووية المتقدمة.

والأوصاف الواردة هنا تتوافق عموماً مع التعاريف ولكنها تتضمن شيئاً من البلورة والتنقيح والدقة اللازمة لجعلها قابلة للتطبيق ومفيدة لوصف محطات القوى النووية المتقدمة. والغرض العام من هذه المصطلحات هو المساعدة على ما يلي:

- الترويج لاستخدام المصطلحات استخداماً صحيحاً من طرف الأوساط النووية، وجعل المصطلحات أكثر اتساقاً وبالتالي تحسين التواصل المُجدي داخل الأوساط التقنية ومع الجمهور؛
- تفسير هذه المصطلحات وبالتالي التوصل إلى فهم أفضل لما يلزم من وقت وجهد واستثمار من أجل تشغيل مختلف التصاميم المتقدمة.

وثمة معيار مهم هو الوضوح، وكذلك إزالة الغموض وتيسير سهولة التطبيق. وينبغي أن يكون أي شخص يستوعب مفهوم تصميمٍ ما قادراً على أن يحدِّد بسرعة وسهولة ما إذا كان المصطلح المتصل بالتصميم يتوافق مع الوصف. ويمكن تحقيق ذلك بسهولة أكبر عن طريق التمييز على أساس المبادئ والنُهُج النوعية بدلا من المعايير الكمية.

وتمثل الإرشادات والتوصيات المقدمة هنا فيما يتعلق بالممارسات الجيدة المحددة رأي الخبراء ولكنَّها لا تُقدَّم على أساس توافق آراء جميع الدول الأعضاء.

1-3- النطاق والهيكل

تُعرَّف المصطلحات الهامة المستخدمة لوصف محطات القوى النووية المتقدمة وتوصَف بإيجاز وتوضَع في سياقها في هذا المنشور فيما يتعلق بالمجالات المواضيعية التالية:

- مراحل تطوير التصميم (القسم 2)؛
- فئات تصاميم محطات القوى النووية المتقدمة (القسم 3)؛
- أنواع المفاعلات (القسم 4)؛
- الغرض من التصميم (القسم 5)؛
- أداء محطة القوى النووية (القسم 6).

1-4- مستخدمو المنشور

مستخدمو هذا المنشور هم أشخاص تقنيون وغير تقنيين يعملون في صناعة القوى النووية.

2- المصطلحات المتصلة بتطوير التصميم

2-1- مراحل تطوير التصميم

يرد في هذا القسم وصف للفهم المشترك للمصطلحات التي تشير إلى المراحل النموذجية لتطوير تصميم محطة القوى النووية من وضع مفهوم التصميم حتى استكماله. ورغم أن العمل الذي يتعيَّن القيام به في جميع الحالات مماثل لما تمليه المتطلبات التقنية، فإنَّ الممارسة المتبعة في مختلف البلدان تختلف كثيراً في طريقة تقسيم العمل إلى مراحل وفي المصطلحات المستخدمة لوصف تلك المراحل. ويتأثر هذا التقسيم أيضا بشدة بالكيفية التي تكون بها أنشطة البحث والتطوير والاختبار والترخيص متسلسلة في المشروع.

وحالة التصميم والترخيص هي مؤشر هام للحالة الهندسية لتصميم محطة للقوى النووية؛ أي مدى جاهزية المحطة للانتشار. ويمكن أن يؤدي الاستخدام العشوائي لمصطلحات مختلفة لوصف حالة التصميم ووجود معالم مرحلية مختلفة للترخيص إلى حدوث التباس ويمكن أن يحول ذلك دون الحصول على فهم واضح للحالة الحقيقية. ولمعالجة هذه المشكلة، يرد في الشكل 1 نموذج تصنيف يستند إلى الممارسات المتبعة في بعض الدول الأعضاء في الوكالة.

في هذا النموذج الخاص بتصنيف التصاميم، تُقيَّم حالة تصميم محطات القوى النووية قياساً على مجموعة من المعالم المرحلية البارزة التي تُستَخدم في كثير من الأحيان مع هذه المراحل النموذجية الأربع الواسعة:

- وصف المفهوم؛
- التصميم المفاهيمي؛
- التصميم الأساسي؛

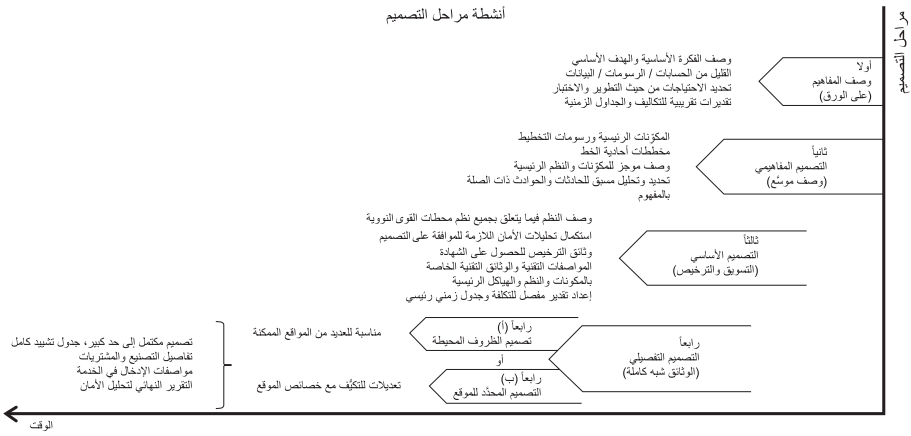
— التصميم التفصيلي، إما لظروف الموقع المحيطة (رابعاً(أ)) أو للظروف الخاصة بالموقع (رابعاً(ب)).

يظهر الشكل 1 الأنشطة الهندسية النموذجية فقط في كل مرحلة من هذه المراحل الأربع. ونظراً لاختلاف الممارسات في مختلف البلدان، فقد يكون من الصعب التوصل إلى توافق في الآراء بشأن هذا المصطلح ونطاقه. ومن الصعب أيضا التوصل إلى توافق في الآراء بشأن المصطلحات المقابلة المستخدمة لأغراض البحث والتطوير والاختبار والترخيص، وبالتالي ليس هناك أي محاولات لإدراج تلك الجوانب.

2-2- المنظمات

المنظمات التي تشارك بأساليب مختلفة في تصاميم محطات القوى النووية هي منظمات تستخدم المصطلحات المتصلة بالتصميم. وأكثر المنظمات صلة هي التالية، ويرد ترتيبها بحسب مشاركتها في عملية التصميم:

حائز للتكنولوجيا / بائع / منظمة معنية بالتصميم: جهات تمتلك الملكية الفكرية لتصميم محطة القوى النووية وقد تُوظِّف فريقاً هندسياً لتطوير وبلورة التصميم. واعتماداً على مدى التقدم المُحرز في التصميم، قد يُتوقع من هذه الجهات توفير ملف تصميم مناسب لشركة التطوير بحيث يمكن الحصول على التراخيص والتصاريح بطريقة مُرضية.



الشكل 1- المراحل والأنشطة أثناء تطوير التصميم (باستثناء الاختبارات الرئيسية).

شركة التطوير: شركة تضع اللمسات الأخيرة على التصميم المحدَّدة للموقع، وتشتري وتشيِّد محطة القوى النووية. وقد تحصل على الترخيص لتشغيل محطة القوى النووية. وقد تصبح هي المنظمة المشغِّلة، أو قد تشكل لاحقاً جزءاً منها.

سلسلة التوريد: سلسلة توفِّر الخدمات طوال مراحل التصميم، ومراحل ما قبل التشييد، ومراحل التصنيع والتشييد وبدء التشغيل أو توفِّر مواد التوريد والمكونات المصنَّعة؛ وتوريد الوقود وخدمات دورة الوقود.

مشغِّل / منظمة مشغِّلة: "أي شخص أو منظمة ممن يُقدِّم طلباً للحصول على إذن أو يكون حاصلاً على إذن و/أو يكون مسؤولاً عن الأمان عند الاضطلاع بأنشطة أو فيما يتعلق بأي مرافق نووية أو مصادر إشعاعات مؤينة" [4].

مالك: منظمة يجري تأسيسها لامتلاك محطة قوى نووية. وكثيرا ما تضطلع بدور المالك ودور المشغِّل منظَّمة واحدة تكون مسؤولة عن تأمين التمويل لمحطة القوى النووية وتكون مسؤولة عن أمان محطة القوى النووية.

مرفق عام: هو عادة، شركة القوى الكهربائية التي تتلقى أو تشتري الكهرباء من محطة للطاقة النووية، أو منظمة تتلقى منتجاً آخر مثل المياه المحلاة أو الحرارة أو الهيدروجين أو النظائر الطبية. وفي كثير من الأحيان هي الشركة نفسها التي تعتبر مالكة لمحطة القوى النووية أو مشغِّلة لها.

حامل الرخصة / المرخَّص له: يحمل رخصة تشييد/تشغيل محطة للقوى النووية.

جهة رقابية / هيئة رقابية: أي سلطة أو منظومة سلطات تعيِّنها حكومة دولة ما باعتبارها صاحبة السلطة القانونية للاضطلاع بالعملية الرقابية، بما في ذلك إصدار الأذون، وبالتالي التنظيم الرقابي لشؤون الأمان النووي والأمان الإشعاعي وأمان النفايات المشعة وأمان النقل" [4]. ويسمى حامل الرخصة السارية المفعول مرخَّصاً له. والرخصة هي نتاج عملية منح الإذن، رغم أنَّ مصطلح عملية الترخيص يُستخدَم في بعض الأحيان" [6].

المنظمة المنفِّذة لبرنامج الطاقة النووية: آلية، قد تضم لجاناً رفيعة المستوى ولجاناً على المستوى العملي، لتنسيق عمل الحكومة والمالك والمشغِّل والجهة الرقابية في مجال تطوير البنية الأساسية للقوى النووية [7].

2-3- موقع المفاعل وحجمه

مصطلح هام يتعلق بموقع محطات القوى النووية المتقدمة ومكوناتها الرئيسية وحجمها، مُرتَّبة ترتيباً أبجدياً:

انشاءات غير نووية في المحطة: الهياكل والنظم والمكونات المتبقية في محطة القوى النووية التي تشمل محطة كاملة للقوى النووية ولا تكون مشمولة في نظام تحويل القوى النووية أو في النظام النووي لتوليد البخار، في حالة المفاعلات المبرَّدة بالماء.

مبنى الاحتواء / الاحتواء: هيكل الاحتواء والنظم التي تكون لها وظائف عزل انبعاثات الكتلة والطاقة والتحكم فيها وإدارتها، والتحكم في الانبعاثات المشعة والحد منها، والتحكم في الغازات القابلة للاحتراق وإدارتها. ويمكن الاطلاع على تفاصيل هيكل ونظم ومكوِّنات الاحتواء في المرجع [1].

منطقة تطبيق خطة الطوارئ (المنطقة EPZ): التخطيط لمواجهة الطوارئ من أجل حماية العاملين في محطة القوى النووية وعاملي الطوارئ والجمهور خارج حدود الموقع هو عنصر ضروري لأمان محطات القوى النووية عموماً وهو يوفِّر مستوى إضافياً من الدفاع في العمق [8]. وتعتمد المنطقة اللازمة لتطبيق خطة الطوارئ على اللوائح المحلية؛ ولذلك، فقد يستلزم التصميم وجود منطقة صغيرة لتطبيق خطة الطوارئ أو عدم وجودها، ولكن ذلك قد لا يمكن تحقيقه في جميع التطبيقات. ووفقا للمرجع [4]، تتألف منطقة تطبيق خطة الطوارئ من جزأين: منطقة الإجراءات الاحترازية ومنطقة تخطيط الإجراءات الوقائية العاجلة:

"منطقة إجراءات احترازية (منطقة *PAZ*). منطقة محيطة بمرفق وُضعت بشأنها ترتيبات طوارئ لاتخاذ إجراءات وقائية عاجلة في حال وقوع طارئ نووي أو إشعاعي، بغية تفادي حدوث آثار قطعية عنيفة خارج الموقع أو تقليصها إلى الحد الأدنى. ويلزم اتخاذ الإجراءات الوقائية داخل هذه المنطقة قبل انبعاث مواد مشعة أو حدوث تعرُّض للإشعاعات أو بُعيد ذلك بوقت وجيز، على أساس الأوضاع السائدة في المرفق.

"منطقة تخطيط إجراءات وقائية عاجلة. (المنطقة *UPZ*) منطقة محيطة بمرفق وُضعت بشأنها ترتيبات لاتخاذ إجراءات وقائية عاجلة في حالة وقوع طارئ نووي أو إشعاعي تجنباً لانبعاث جرعات خارج الموقع وفقاً لمعايير الأمان الدولية. وينبغي أن تُتَّخذ الإجراءات الوقائية داخل هذه المنطقة استناداً إلى الرصد البيئي - أو، حسب الاقتضاء، بحسب الأوضاع السائدة في المرفق."

مفاعلات متناهية الصغر: مفاعلات صغيرة جدا ضمن فئة المفاعلات النمطية الصغيرة[1].

تشييد نمطي: طريقة تُصنَّع فيها نظم المفاعلات أو نظمها الفرعية مسبقاً لتجميعها في الموقع، بدرجات متفاوتة من الوحدات النمطية، وكلها تهدف إلى تسريع الجدول الزمني العام للتشييد.

تصميم نمطي: فيما يتعلق بالمفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو النمطية، هو محطة للقوى النووية تتكوَّن من واحدة أو أكثر من الوحدات (الوحدات النمطية) المتطابقة جوهرياً

[1] المفاعلات النمطية الصغيرة هي مجموعة فرعية من المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو النمطية.

وتكون مُصنَّعة مسبقاً كلياً أو جزئياً في المصنع بغرض تركيبها أو تجميعها في الموقع، أو فيما يتعلق بالمفاعلات الكبرى، هو وحدات مصنعة مسبقاً من المباني المحتوية على المكونات النووية (الجزيرة النووية) والإنشاءات غير النووية في المحطة.

محطة القوى النووية / محطة: مرفق يضم مفاعلاً واحداً أو أكثر لتحويل الطاقة النووية إلى قوى قابلة للاستخدام؛ وهي أيضا مرفق لتوليد الطاقة الكهربائية أو الحرارية يستخدم مفاعلاً نووياً كمصدر للحرارة.

مفاعل نووي / مفاعل: نظام هندسي، بخلاف السلاح النووي، مصمم أو مستخدم للحفاظ على الانشطار النووي في تفاعل متسلسل ذاتي الدعم [9]. ومع أن هناك عدة أنواع من المفاعلات النووية، إلا أنها تتضمَّن جميعا بعض السمات الأساسية بما في ذلك استخدام مادة انشطارية كوقود، واستخدام مادة وسيطة (مثل الماء) لزيادة احتمال الانشطار (ما لم يكن تشغيل المفاعل يعتمد على النيوترونات السريعة)، واستخدام مادة عاكسة للحفاظ على النيوترونات الفالتة، وترتيبات التبريد لإزالة الحرارة، وأدوات رصد ومراقبة تشغيل المفاعل، والأجهزة الوقائية (مثل قضبان التحكم والتدريع).

نظام نووي لتوليد البخار / جزيرة نووية / وحدة مفاعل نمطية: مزيج من قلب المفاعل ونظام تبريد المفاعل والنظم المساعدة ذات الصلة بما في ذلك نظام الطوارئ لتبريد قلب المفاعل ونظام إزالة حرارة الاضمحلال وحجم المواد الكيميائية ونظام التحكم [9]. وفي سياق بعض تصاميم المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو النمطية أو المفاعلات المتناهية الصغر، تكون وحدة المفاعل النمطية وحدة كاملة من المباني المحتوية على المكونات النووية وتُصنَّع في مصنع وتُنقل إلى الموقع لتركيبها.

مفاعل قوى: مفاعل مصمم لإنتاج الطاقة الكهربائية أو الحرارية.

وحدة مرجعية / مفاعل: أقرب وحدة قائمة (قيد التشغيل أو قيد التشييد) من نوع التصميم ذاته الذي يعتمد عليه التصميم المتقدم. وقد تكون لدى الهيئات الرقابية معانٍ محددة خاصة بها بالنسبة لهذا المصطلح.

الموقع /منطقة الموقع / بصمة الموقع: منطقة جغرافية تتضمن مرفقاً مأذوناً به أو نشاطاً مأذوناً به أو مصدراً، حيث يجوز بداخلها لإدارة المرفق المأذون به أو النشاط المأذون به أو طلائع المتصدِّين الشروع مباشرة في اتخاذ إجراءات التصدي للطوارئ" [4]. وهذه المنطقة هي عادة المنطقة الواقعة داخل السياج الأمني المحيط بالموقع أو داخل سور آخر يعيِّن حدود الملكية، مثل السياج الحدودي للموقع. وهي أيضا الأساس الذي يُعتَمد عليه في حساب رسوم محطة القوى النووية [9] ويعادل استخدام الأراضي لتوليد الطاقة.

مفاعلات متقدمة صغيرة: مفاعلات ضمن فئة المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم التي تنتج كهرباء تصل قدرتها عادة إلى نحو 300 ميغاواط كهربائي لكل وحدة أو وحدة نمطية [2].

وحدة (أحادية، مزدوجة، متعددة الوحدات): تمثل كل وحدة مفاعلاً منفصلاً (الجزيرة النووية والإنشاءات غير النووية في المحطة) قابلاً لتشغيله. وفي حالة المحطات المزدوجة أو المتعددة الوحدات، يمكن للوحدة أن تشتغل بصرف النظر عن حالة استكمال أو تشغيل أي وحدات أخرى توجد في الموقع ذاته ولكن في مبان احتواء/حصر مختلفة، حتى وإن كانت الوحدات تتقاسم بعض النظم أو تتشاركها.

3- فئات تصميم المفاعلات المتقدمة

تصاميم محطات القوى النووية التي يجري تطويرها هي تصاميم تشمل مجموعة واسعة من البدائل؛ بعضها يمثِّل تمديدات صغيرة جداً في التصاميم الحالية، ويتضمَّن البعض الآخر تعديلات أكثر أهمية، بينما يخرج بعضها الآخر بشكل جد ملحوظ عن التصاميم الحالية [2].

ويُبيِّن الشكل 2 العلاقة بين المصطلحات المتعلقة بفئة التصميم. وتُصنَّف بعض التصاميم المعمول بها والتصاميم المقترحة (وقت إعداد هذا المنشور) على أنها تصاميم محطات قوى نووية متقدِّمة (القسمان 3-1 و3-2) إذا كانت ذات فائدة و/أو كانت جديرة بالاهتمام. ويمكن تصنيفها أكثر، بحسب ضرورة القيام بتطوير إضافي (هندسي، بحث وتطوير، محطة قوى نووية إيضاحية). وتتزايد درجة الابتكار في التصاميم من الابتكار الصغير في فئة الهندسة فقط إلى الابتكار اللامحدود في التصاميم الابتكارية (القسم 3-3).

تغطي المجموعة الكاملة من تصاميم أو مفاهيم محطات القوى النووية المتقدمة التي يمكن حالياً تحديد فائدتها أو ما إذا كانت جديرة بالاهتمام التصاميم الحالية والتصاميم التطورية وكذلك التصاميم التي تتطلب جهوداً كبيرة في تطويرها، مثل التصاميم الابتكارية. ويقدِّم الشكل 3 رسماً لجهد التطوير ولتكلفة التصاميم المتقدِّمة مقابل الخروج عن التصاميم الحالية. وتحتاج التصاميم في الفئتين التطورية والابتكارية إلى الهندسة وقد تحتاج أيضا إلى أنشطة بحث وتطوير وإلى اختبار تأكيدي قبل وضع الصيغة النهائية لتصميم المفاعل التطوري الأول أو النموذج الأولي و/أو المفاعل الإيضاحي فيما يتعلق بالتصاميم الابتكارية. ويتوقَّف مقدار هذا البحث والتطوير والاختبار التأكيدي على درجة كل من الابتكار الذي يتعين إدراجه والعمل ذي الصلة المنجز بالفعل، أو الخبرة التي يمكن الاعتماد عليها.

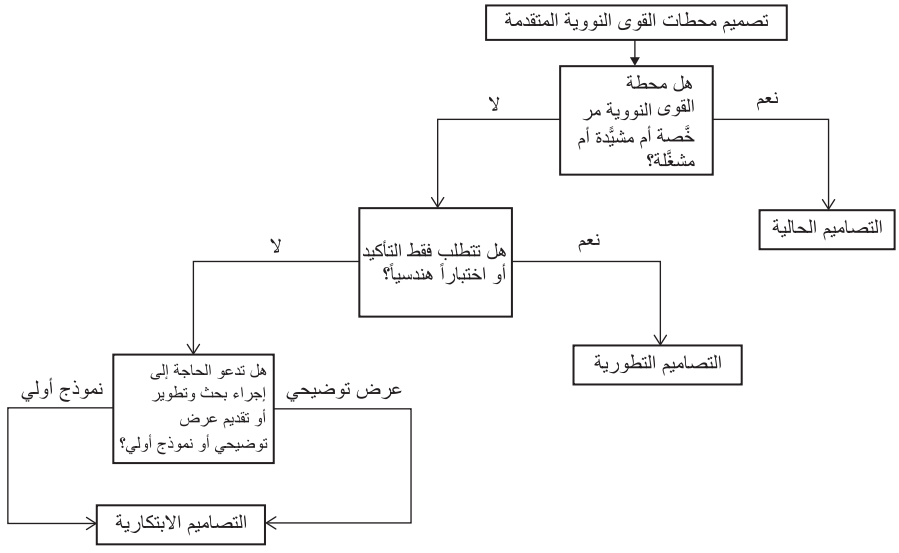
وتنطوي التصاميم التطورية على إدخال تعديلات أو تحسينات خفيفة فقط على التصاميم الحالية مع التركيز بشدة على الحفاظ على التصاميم المُثبَتة. وبهذه الطريقة، تُقلَّل المخاطر التجارية

إلى حدها الأدنى. وإذا كانت التعديلات والتغييرات في التصميم أكبر، مع خروجٍ أكثر عن التصاميم الحالية، ومع إدخال سمات غير مُثبَتة، فإن المخاطر تزداد بصورة مماثلة نظرا لوجود أو عدم وجود الخبرة التشغيلية. ويهدف العديد من تصاميم المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم إلى الحد قدر الإمكان من هذا الخطر، نظرا لما ينطوي عليه ذلك من تطورات أو ابتكارات في التصميم.

وتُعرَّف جميع محطات القوى النووية قيد التشغيل والتي لا تنتمي إلى الفئة الرئيسية لتصاميم محطات القوى النووية المتقدمة على أنها مفاعلات قوى تجارية، أي المفاعلات التي نُشرت على أنها الأحدث من نوعها حتى ثمانينات القرن العشرين.

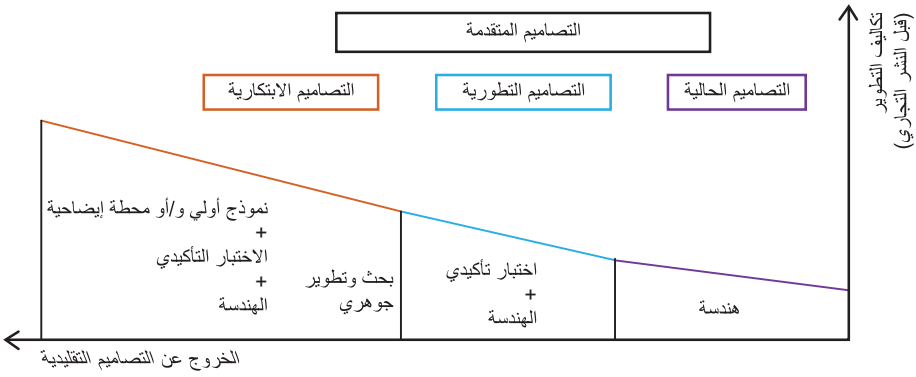
3-1- التصميم المتطور أو قيد التشغيل حالياً أو قيد التشييد أو المرخص به

تصميم متقدِّم: تصميم مفيد في الوقت الحالي وأُدخِل عليه تحسنٌ جوهريٌ مقارنة بالتصاميم السابقة و/أو مقارنة بتصاميم مفاعلات القوى التجارية. وتشمل التصاميم المتقدِّمة، قيد التشغيل حالياً أو قيد التشييد أو المرخص بها [10] المفاعلات المبرَّدة بالماء التي يجري تحسينها عما هي عليه مفاعلات القوى التجارية المبرَّدة بالماء. وهي تختلف عن التصاميم التطورية من حيث أنَّ تصميمها المفصَّل يكون مكتملاً (الشكلان 2 و3).



الشكل 2- العلاقة بين المصطلحات المتصلة بفئات تصاميم محطات القوى النووية (يرد في القسم 3 وصف لجميع المصطلحات المستخدمة في هذا الشكل).

وتنتمي التصاميم المتقدِّمة التي جرى بناؤها وتشغيلها بالفعل أو التي هي قيد التشييد [10]، إلى فئة تصاميم محطات القوى النووية المتقدِّمة ويشار إليها في هذا المنشور بالتصاميم الحالية. وهذه التصاميم هي أساساً تصاميم محسنة لمفاعلات القوى النووية التجارية المبرَّدة بالماء، التي لا تزال تشكل غالبية محطات القوى النووية العاملة. وقد طُوِّرت في إطار برامج تطوير تصاميم المفاعلات المتقدمة في بلدان متنوعة طيلة ثمانينات وتسعينات القرن العشرين، بما يجسِّد سمات الأمان المتقدمة استناداً إلى الدروس المستفادة من حادثتي جزيرة ثري مايل وتشورنوبل، ومتطلبات المستعملين الجديدة المستمدة خلال العقود العديدة الماضية من الخبرة التشغيلية، وفي بعض الحالات، متطلبات الترخيص الناشئة حديثاً. ومن بين تلك التصاميم، مفاعل الماء المغلي المتقدِّم (المفاعل BWR)، وهو عبارة عن ارتقاء بمفاعل الماء المغلي التقليدي، وقد طورته الولايات المتحدة الأمريكية واليابان، وتم بناؤه وتشغيله في اليابان. ولقد طُوِّر المفاعل AP-1000، وهو مفاعل ماء مضغوط تقليدي متقدِّم، في الولايات المتحدة الأمريكية، وتم بناؤه وتشغيله في الصين ويتم بناؤه في الولايات المتحدة الأمريكية. وكمثال آخر هناك المفاعل الأوروبي العامل بالماء المضغوط (المفاعل EPR)، وهو عبارة عن ارتقاء بمفاعل الماء المضغوط التقليدي، الذي طُوِّر في أوروبا وتم بناؤه وتشغيله في الصين وهو قيد التشييد في فرنسا وفنلندا والمملكة المتحدة. ويجري في الإمارات العربية المتحدة وجمهورية كوريا بناء وتشغيل المفاعل APR-1400، وهو عبارة عن ارتقاء بمفاعل الماء المضغوط التقليدي الذي طُوِّر في جمهورية كوريا. ويجري في الاتحاد الروسي وبنغلاديش وتركيا تشييد المفاعل VVER[2]-1200، وهو عبارة عن تصميم متقدِّم للمفاعل المبرَّد والمهدَّأ بالماء VVER-1000. ويعتبر المفاعل BN800، وهو تصميم تطوُّري للمفاعل BN600، مثالاً على تصميم مفاعل سريع متقدم غير مبرَّد بالماء في الاتحاد الروسي. والتصاميم التي حُدِّدت



الشكل 3- الجهد التطويري وتكلفة التصاميم المتقدِّمة مقابل الخروج عن التصاميم الحالية.

[2] المفاعل VVER: المفاعل المبرَّد والمهدَّأ بالماء

على أنها تصاميم حالية في إطار الفئة الرئيسية لتصاميم محطات القوى النووية المتقدمة هي جميع المفاعلات الموصوفة في كتيب الوكالة الأخير عن المفاعلات المتقدمة الضخمة المبرَّدة بالماء: الجزء التكميلي للإصدار: طبعة 2020 من نظام المعلومات الخاصة بالمفاعلات المتقدِّمة (نظام ARIS) [11].

3-2- التصميم التطوري

تصميم تطوري: هو تصميم متقدِّم يتوصل إلى إدخال تحسينات على التصاميم الحالية من خلال إدخال تعديلات ضئيلة إلى متوسطة، مع التركيز بشدة على الحفاظ على عناصر التصميم التي أثبتت جدواها لتقليص المخاطر التكنولوجية إلى حدها الأدنى. ويشير ذلك إلى مفاعلات قابلة للنشر على المدى القريب تستخدم تكنولوجيا المفاعلات المبرَّدة بالماء أو المبرَّدة بالغاز أو المبرَّدة بالمعادن السائلة، وعادة ما تكون قيد التصديق عليها أو الترخيص لها ولا يوجد بشأنها خبرة وقد تحتاج، نتيجة لذلك، إلى تنقيح أو تطوير للوائح الأمان، وبالتالي قد تكون هناك ضرورة إلى التوصل إلى توافق في الآراء بشأن هذه الاحتياجات على الصعيد الدولي (أي معايير الأمان الصادرة عن الوكالة). ويتطلب تطوير تصميم تطوري، على أكثر تقدير، اختبارات هندسية وتأكيدية قبل النشر (الشكلان 2 و3).

وعند النظر في التصاميم المستقبلية، من الضروري أيضا التساؤل عما إذا كان أي تصميم مرشح هو تصميم مُفيد أو جدير بالاهتمام في الوقت الحالي. ومن بين العديد من التصاميم الممكنة، هناك بعض التصاميم التي طُوِّرت مسبقا (إما كليا أو جزئيا) ثم جرى التخلي عنها. وقد وُضع تصوُّر للعديد منها وخضعت للدراسة ولكن لم يتبين أنها ذات فائدة كافية للمضي في تطويرها، ويفترض أن بعضها لا يزال بحاجة إلى وضع تصور لها وتقييمها. وفي النهج المتبع في هذا المنشور، لا يمكن حاليا اعتبار أي من هذه التصاميم على أنها تصاميم متقدمة لمحطات القوى النووية؛ ولا تنطبق تلك التسمية إلا على التصاميم المُفيدة أو الجديرة بالاهتمام في الوقت الحالي التي يتوقع منها، عند الانتهاء من تطويرها، أن تتضمن تحسينات بدرجات وأنواع متفاوتة مقارنة بمحطات القوى النووية الحالية.

وتهدف جهود التصميم المبذولة في التصاميم التطورية إلى تحقيق تحسينات مقارنة بالتصاميم الحالية من خلال إدخال تعديلات ضئيلة إلى متوسطة، وغالبا ما تسترشد بوثيقة متطلبات المرفق العام بهدف تحسين الأمان وخفض التكاليف وعدم اليقين في الترخيص. وتحقق بعض التصاميم ذلك من خلال تبسيط العمليات، ووضع هوامش أمان أكبر، وتحسين الوقاية من الحوادث العنيفة والتخفيف من حدتها، وفترات سماح أطول [4] في حالات الطوارئ، وتحسين نظم الترابط بين الإنسان والآلة، وجعل وقت التشييد أقصر وتحسين قابلية الاستدامة.

3-3- التصميم الابتكاري

تصميم ابتكاري: تصميم متقدِّم يتضمَّن تغييرات مفاهيمية في نُهُج التصاميم أو في أنساق النظم بالمقارنة مع الممارسات القائمة [2]. ويلزم قبل النشر إجراء قدر كبير من البحث والتطوير، واختبارات الجدوى، وربما وضع نموذج أولي أو مفاعل إيضاحي (الشكلان 2 و3).

ويكون نطاق مجموعة التصاميم التي لا تزال هناك حاجة إلى بذل قدر كبير من جهود التطوير بالنسبة لها أوسع بكثير بالنسبة لفئة التصاميم التطورية. وبالنسبة لبعض المفاهيم، فقد استُكمل تقريباً تطويرها، بينما لا يزال هناك الكثير من العمل يتعين القيام به بالنسبة لمفاهيم أخرى.

والسمة الرئيسية لأي تصميم ابتكاري هي أنه يستند إلى تغييرات مفاهيمية في نُهُج التصميم أو في تكوين النظام مقارنة بالممارسة المعمول بها.

3-4- التصميم السلبي

يظل منشور الوكالة [3] TECDOC-626 المرجع الأكثر شيوعاً عند تصنيف المكونات أو النظم السلبية؛ وهو يقترح أربع فئات. وتُقدَّم التعاريف التالية استناداً إلى المرجعين [1] و[4]:

مكون سلبي: "مكوِّن لا يتوقف أداؤه لوظيفته على مُدخل خارجي مثل التفعيل أو الحركة الميكانيكية أو الإمداد بالقوى الكهربائية" [4].

نظام سلبي:، نظام أمان يبدأ تشغيله بطريقة أوتوماتيكية أو يدوية ويوفَّر من أجل ضمان تحقيق وظائف الأمان اللازمة. وهو إما نظام يتكون كلياً من مكونات وهياكل سلبية، أو نظام يستخدم مكونات نشطة بطريقة محدودة للغاية لبدء التشغيل السلبي اللاحق [1].

تصميم سلبي: مفاعل يعتمد كلياً على النظم السلبية للوقاية من الحوادث والتخفيف من حدتها.

سمة (سمات) أمان سلبي: يجب استخدام هذا المصطلح فقط بالاقتران مع أمثلة محددة للنظم أو المكونات السلبية. وبشكل عام، تُعرَّف سمة الأمان (فيما يتعلق بظروف تمديد التصميم) على أنها "مفردة مصمَّمة لأداء وظيفة أمان أو لها وظيفة أمان فيما يتعلق بظروف تمديد التصميم" [4]. ويجب استخدام هذا المصطلح فقط بالاقتران مع أمثلة محددة للنظم أو المكوِّنات السلبية.

3-5- المصطلحات ذات الصلة بالانتشار

تصميم مقاوم للانتشار: مع أنه ليس مصطلحاً رسمياً خاصاً بضمانات الوكالة، إلا أنه يشير في الاستخدام الشائع إلى نشر نظم الطاقة النووية بطريقة تقلِّل من خطر انتشار الأسلحة النووية. ويتطلَّب المبدأ الأساسي لمقاومة الانتشار أن تُنفَّذ العوامل الداخلية (الناتجة عن التصميم التقني) والتدابير الخارجية (تعهدات الدول والتزاماتها وسياساتها) لمقاومة الانتشار طوال دورة الحياة الكاملة للنظام لضمان أن يكون النظام وسيلة غير جذابة للحصول على المواد أو التكنولوجيا الانشطارية لبرنامج أسلحة نووية [12].

إدراج الضمانات في التصميم: عملية إدراج اعتبارات الضمانات الدولية في جميع مراحل دورة حياة محطة القوى النووية، من التصميم المفاهيمي الأولي إلى التشييد وإلى عمليات التشغيل بما في ذلك تعديلات التصميم والإخراج من الخدمة [13].

3-6- مصطلحات ذات صلة بالوقت

مع أنَّ مصطلحي التصميم المستقبلي وتصميم الجيل المقبل واضحان ولا يخضعان عادة لسوء استخدام أو سوء فهم، إلا أنهما مصطلحان نوعيان ويجب استخدامهما فقط مع إشارة مناسبة فيما يتعلق بالإطار الزمني، إذا لم يكن مشتقا من السياق.

تصميم مستقبلي: يمكن أن يشير إلى مفاهيم جديدة أو إلى مفاهيم تمثل أوجه تقدُّم تكنولوجية كبيرة لتحسين الأمان والاقتصاديات واستخدام الموارد. وبما أن هذا المصطلح يمكن أن يغطي طيفاً واسع النطاق، يُقتَرح استخدامه بعناية كبيرة وفقط مع تعريف خاص بالسياق.

تصميم الجيل المقبل: يشير هذا المصطلح إلى الوقت أو إلى خصائص محددة، أو إلى كليهما. وبتطبيق هذا النوع على تصاميم محطات القوى النووية، يمكن أن يغطي ذلك طيفاً واسع النطاق يتراوح بين إدخال تعديلات طفيفة على التصاميم السابقة، إلى وضع مفاهيم مع إدخال تغييرات جذرية وأساسية تكون أكثر طموحاً بكثير من تلك المتعلقة بالتصاميم التطورية. ومن ناحية أخرى، كثيراً ما تستخدم الصناعة هذا المصطلح للإشارة إلى سلسلة جديدة من محطات القوى النووية التي قد لا يفصل بينها سوى عقد من الزمن مقارنة بالوقت الأطول بكثير اللازم عادة لوضع مفاهيم جديدة تماماً. وبالمثل، قد يشير أي برنامج وطني للقوى النووية إلى نشر تصميم من الجيل المقبل كجزء من برنامجه المقبل. ويمكن استخدام هذا المصطلح لتعزيز مسألة أنَّه يجري اعتماد أحدث التكنولوجيا، علماً بأن هذه التكنولوجيا تختلف عن التكنولوجيا المستخدمة حالياً داخل البرنامج أو في أي مكان آخر. واستخدام مصطلح "تصميم الجيل المقبل" لوصف كلا النقيضين مقبول طالما أن معناهما واضح من السياق.

نشر على المدى القريب: لا يكون لهذا المصطلح المستخدم في كثير من الأحيان معنى إلا إذا استُخدم فيما يتعلق بخطط برامج القوى النووية الخاصة بالدول الأعضاء. ويقدِّم المنشور الصادر عن الوكالة بعنوان "Nuclear Reactor Technology Assessment for Near Term Deployment" (تقييم تكنولوجيات المفاعلات النووية لأغراض النشر على المدى القريب) [14] وصفاً لعملية النشر على المدى القريب في إطار المنشور الصادر عن الوكالة بعنوان "المعالم المرحلية البارزة لإنشاء بنية أساسية وطنية للقوى النووية" [7]، أي التصاميم المتقدمة التي يُتوقَّع أن تكون قابلة للنشر في الوقت المناسب للشروع في عملية التشييد وفقاً للجدول الزمني للدولة العضو.

3-7- المصطلحات التقنية

تصميم مُثبَت: تصميم أثبت جدواه في تطبيقات مماثلة أو هو تصميم يستند إلى حد كبير إلى محطة قوى نووية عاملة.

تصميم كامل ومتكامل: يشير في المقام الأول إلى تصميم مفاعل الماء المضغوط الذي توضع فيه جميع المكونات الرئيسية للدائرة الأولية للمفاعل - بما في ذلك آلية الضغط، ومولدات البخار/مبادلات الحرارة، وفي بعض الحالات مضخات المبرِّد وآلية تشغيل قضبان التحكم - في وعاء مفاعل منفرد. وفيما يتعلق بمفاعلات الملح المصهور أو المفاعلات السريعة، يكون المعنى متشابهاً ولكنه يشمل مكونات مختلفة.

تصميم شبه كامل: يُسمى أيضاً تصميم حلقي مدمج، ويشير إلى تصميم نظام المفاعل حيث تكون المكونات الرئيسية في الدائرة الأولية مثل آليات الضغط ومضخات التبريد ومولدات البخار/مبادلات الحرارة مثبَّتة مباشرة داخل وعاء ضغط المفاعل بدون أنابيب. ورغم أنَّ بعض هذه المكونات يمكن وضعها داخل وعاء المفاعل في أي تصميم شبه متكامل، إذا وُضعت جميع المكونات الرئيسية داخل وعاء المفاعل، فإنه يسمى التصميم المتكامل.

تصميم دورة مباشرة: تصميم لمحطة قوى نووية حيث يُنقل المبرِّد الأولي (البخار أو الغاز) الذي جرى تسخينه في المفاعل مباشرة إلى التوربين. ومولِّدات البخار أو مبادلات الحرارة غير مطلوبة في هذه التصاميم.

تصميم من النوع الحلقي: تصميم لمحطة قوى نووية يحتوي على مكوِّنات نظام أولي (أي مولد بخار ومضخة مبرَّد أولية وآلية ضغط) يتصل بعضها ببعض وبوعاء ضغط المفاعل عبر أنابيب كبيرة. وقد يتكون هذا التصميم من أعداد مختلفة من الحلقات - عادة اثنتين أو ثلاثة أو أربعة.

تصميم من النوع الحوضي: التصميم الذي يجري فيه غمر قلب المفاعل في بركة من المادة المبرِّدة (الماء أو المعدن السائل).

تصميم تحت الأرض: تصميم نووي مبتكر تقع فيه الجزيرة النووية بأكملها تحت الأرض لأسباب تتعلق بالأمان و/أو الأمن و/أو لأسباب اقتصادية.

تصميم عائم: تصميم محطة للقوى النووية يقع على منصة عائمة في البحر. وهناك إلى حد كبير نوعان من محطات القوى النووية العائمة: إحداهما قائمة على منصة ثابتة، لا تزال عائمة ولكنها متصلة بقاع البحر مثل منصات النفط البحرية ويُتوقع أن تبقى في مكان واحد لفترة طويلة من الزمن؛ والأخرى قائمة على منصة متنقلة مثل البارجة أو السفينة، ويمكن أن تتحرك من تلقاء نفسها أو عن طريق سحبها ويُتوقع أن تغيِّر موقعها حسب الحاجة وفقا لتطبيقها (مثل الكهرباء والحرارة).

3-8- المصطلحات غير التقنية الشائعة الاستخدام

استُخدمت بعض المصطلحات غير التقنية لوصف المفاهيم التي يُقال بالنسبة لها بأن جميع تسلسلات الحوادث التي يمكن أن تؤدي إلى عواقب غير مقبولة قد أزيلت عمليا عن قصد. ويمكن أن يُعتبر استخدام هذه المصطلحات بالنسبة لتصميم معين بمثابة تأكيد على أن التصاميم الأخرى غير كافية في هذا الصدد.

ولقد استُخدمت المصطلحات التالية (بالترتيب الأبجدي) ولكن لا يُنصح باستخدامها في الوثائق التقنية دون توفير إثباتات داعمة لها، إذ ليس لها معنى عام أو تقني مقبول:

تصميم خال من الكوارث / تصميم آمن بطريقة حتمية: مصطلح يُستخدم أحياناً للدلالة على المفاهيم التي يتم فيها التخلص عملياً عن طريق تدابير التصميم من جميع تسلسلات الحوادث، حتى الحوادث التي يكون احتمال وقوعها ضئيلاً للغاية والتي تؤدي إلى عواقب غير مقبولة. ولا يُنصح باستخدام هذا الواصف في وصف محطة للقوى النووية بأكملها أو مفاعلها لأن ذلك ينطوي على وجود أمان مطلق، وهو أمر غير واقعي. كما أنه قد يؤدي إلى حدوث التباس لأن استخدام الأساليب الحتمية يشكل عنصراً هاماً في الممارسة المعمول بها لمنح الترخيص. وفي الواقع، يمكن القول إن جميع محطات القوى النووية العاملة آمنة بشكل حتمي في حدود أساس الترخيص الخاص بها. وأخيرا، يمكن اعتبار استخدام هذا المصطلح لتصميم معيَّن مؤشراً على أن التصاميم الأخرى بعيدة كل البعد عن أن تكون خالية من الكوارث. ومن ثم، لا ينبغي استخدام هذا الواصف.

تصميم متسامح/ تصميم متساهل مع الأخطاء: يُستخدم أحيانا بدلا من التصميم السلبي، الموضح في القسم 3-4. وينبغي تجنُّب استخدام كلمة "متسامح" كواصف لمحطة القوى النووية. وعادة ما يكون التساهل مع الأخطاء مرتبطاً بنظم الأجهزة والتحكم فقط [4] ويجب أيضا تجنبه لوصف التصميم بالكامل.

تصميم آمن بطبيعته: وفقا للمرجع [3]، ينبغي تجنب الاستخدام غير المشروط لهذا المصطلح لوصف محطة قوى نووية بأكملها أو مفاعلها.

تصميم ثوري: يُستخدم أحيانا لوصف تصميم متقدم يختلف اختلافاً جوهرياً عن التصميم التطوري. وله في الأساس نفس سمات التصميم الابتكاري، ولكن نظرا لأن كلمة "ثوري" قد تكون لها دلالة سلبية، فيجب تجنب استخدام هذا المصطلح.

تصميم آمن مغادر: محطات القوى النووية التي تعتمد كلياً على نظم سلبية لفترة زمنية غير محددة للوقاية من الحوادث والتخفيف من حدتها، ولا تتطلب أي نوع من الإجراءات من جانب المشغِّل. وقد يعني الاستخدام المحتمل لهذا المصطلح أنَّ المشغِّلين سيغادرون في حالة وقوع حادث. ومن ثم لا ينبغي استخدام الواصف 'المغادر'.

4- أنواع المفاعلات

كما هو موضَّح في الشكل 4، هناك العديد من تراكيب الوقود والمواد الوسيطة والمبرِّدة التي تستند إليها أسماء أنواع المفاعلات الشائعة الاستخدام. وتوجد تصاميم متقدمة وابتكارية للمفاعلات في كل نوع من هذه الأنواع العامة تقريباً من المفاعلات.

تغطي محطات القوى النووية وبرامج تطويرها تكنولوجيا مفاعلات الماء الخفيف، ومفاعلات الماء الثقيل، والمفاعلات المرتفعة الحرارة المبرَّدة بالغاز، والمفاعلات المبرَّدة بمعدن سائل؛ وبالإضافة إلى ذلك، فقد طُوِّرت تصاميم لمفاعلات الأملاح المصهورة وهناك بعض منها في مراحل تطوُّر متقدمة. وطُوِّرت بعض هذه التكنولوجيات أكثر على نطاقات أصغر ويُطلق عليها مجتمعة المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو النمطية. وترد أدناه تعاريف موجزة لأنواع المفاعلات النووية.

4-1- المفاعلات المبرَّدة بالماء

كانت المفاعلات المبرَّدة بالماء حجر الزاوية في الصناعة النووية في القرن العشرين، ولا تزال المفاعلات المتقدمة المبرَّدة بالماء تؤدي دورا محوريا في القرن الحادي والعشرين.

4-1-1- مفاعلات ماء مضغوط/مفاعلات نشطة مبرَّدة ومهدَّأة بالماء

تُنتِج المفاعلات النشطة المبرَّدة والمهدَّأة بالماء أو بالإنكليزية VVER البخار لاستخدامه في التوربين الموجود في مولدات البخار المتصلة بوعاء ضغط المفاعل بواسطة أنابيب كبيرة، تسمى الدعامات الساخنة والدعامات الباردة.

4-1-2- مفاعلات ماء مغلي

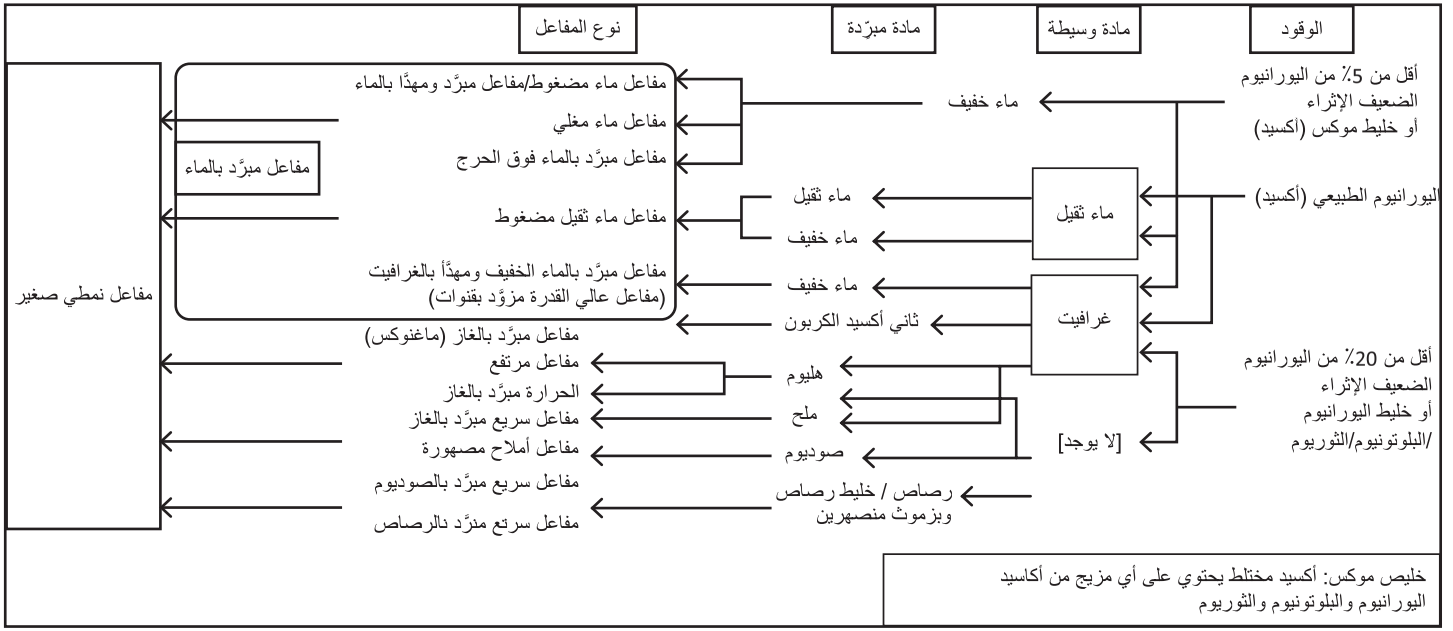
تَستخدم مفاعلات الماء المغلي البخار الذي يُنتج داخل قلب المفاعل مباشرة في التوربينات البخارية.

4-1-3- مفاعلات ماء ثقيل مضغوط/مفاعلات ماء ثقيل

تُستخدم مفاعلات الماء الثقيل المضغوط أو مفاعلات الماء الثقيل مياه مُثراة تشتمل جزيئاتها على ذرات هيدروجين مكونة بنسبة أعلى من 99% من الديوتيريوم، وهو نظير من نظائر الهيدروجين أثقلُ وزناً. وهذا الماء الثقيل، الذي يُستخدم كمادة مهدئة، يُحسِّن اقتصاد النيوترونات الكلي، مما يمكّن من استخدام وقود لا يتطلب الإثراء. غير أنَّ بعض تصاميم مفاعلات الماء الثقيل تستخدم وقود اليورانيوم المثرى قليلا لتحسين الاقتصاديات أو تحسين استخدام الموارد.

4-1-4- مفاعلات مبرّدة بالماء فوق الحرج

بغية تحسين مستويات الكفاءة الحرارية لمحطات القوى النووية واقتصادياتها، يجري تنفيذ أعمال بحث وتطوير فيما يتعلّق بالمفاعلات المبرّدة بالماء فوق الحرِج. ويصبح الماء فوق حرج عند درجات حرارة ومستويات ضغط أعلى من النقطة الحرجة للمياه، حيث يتعذَّر التمييز بين الحالة السائلة والحالة البخارية. وعادة ما يُستخدم هذا النوع من الماء في تشغيل محطات القوى المتقدِّمة التي تعمل بالفحم والنفط والغاز. ومن المتوقع أن تكون الكفاءات التي تحققها المحطات من المفاعلات المبرّدة بالماء فوق الحرِج أعلى بنحو 1,3 ضعفاً مقارنة بالمفاعلات المبرَّدة بالماء.



الشكل 4- نوع المفاعل النووي حسب الوقود والمادة المهدئة والمبرِّدة.

4-2- المفاعلات المبرَّدة بالغاز

تمثل المفاعلات المبرَّدة بالغاز حالياً نحو 3% من إجمالي عدد المفاعلات المشغَّلة تجارياً في جميع أنحاء العالم، ومعظمها هي مفاعلات متقدمة مبرَّدة بغاز ثاني أكسيد الكربون وتوجد في المملكة المتحدة وسيتم التخلص منها تدريجيا في العقود القادمة.

4-2-1- مفاعل مرتفع الحرارة مبرَّد بالغاز

تَستخدم المفاعلات المرتفعة الحرارة المبرَّدة بالغاز مفاعلات الطيف الحراري والغرافيت كمادة وسيطة وعاكسة، وتُبرَّد بالهيليوم، وتستفيد من وقود الجسيمات المكسوة. والمفهوم الأساسي ليس جديداً وقد حصل نموذج المفاعل المرتفع الحرارة المبرَّد بالغاز على الترخيص وتم تشييده وتشغيله؛ وأُغلق في ثمانينات القرن العشرين آخر نموذجين لمحطات القوى النووية، وهما فورت سانت فرين (الولايات المتحدة الأمريكية) ومحطة THTR-300 (ألمانيا).

4-2-2- مفاعل نمطي مرتفع الحرارة مبرَّد بالغاز

تتبع المفاعلات النمطية المرتفعة الحرارة المبرَّدة بالغاز الفلسفة المتبعة في ثمانينات القرن العشرين في ألمانيا (تطوير وحدة نمطية لمفاعل مرتفع الحرارة) وفي الولايات المتحدة الأمريكية لتطوير مفاعل مرتفع الحرارة مبرَّد بالغاز وآمن أماناً سلبياً. ولتحقيق أهداف الأمان، يعتمد التصميم على خصائص درجات الحرارة العالية الكامنة في جزيئات الوقود المكسوة المتساوية الخواص الثلاثية الهيكل إلى جانب القدرة على إزالة الحرارة السلبية من النسبة الكبيرة للارتفاع إلى القطر، وقلب المفاعل المنخفض الكثافة في وعاء مفاعل فولاذي غير معزول. ولا يُحسب أي دوران نشط أو حتى الحاجة إلى مادة التبريد في حالة الأمان. وتكون بالوعة تصريف الحرارة النهائية عبر نظام تبريد تجويف قلب المفاعل (مُبرِّد خارجي، حول وعاء مفاعل مزوَّد بميزات سلبية) أو في معظم الحالات عبر هيكل المبنى (الخرسانة) والأرض المحيطة. والمفاعلات النمطية المرتفعة الحرارة الحصوية القاع المبرَّدة بالغاز المستكملة في الصين هي أول مثال للمفاعل النمطي المرتفع الحرارة المبرَّد بالغاز.

4-3- مفاعلات ملح مصهور

تحتوي مفاعلات الملح المصهور على ملح مصهور (أملاح مصهورة) إما كمادة مبرَّدة للمفاعل أو كوقود ومادة مبرِّدة على حد سواء. وتحتوي معظم مفاعلات الملح المصهور على طيف نيوتروني حراري، في حين أن المفاعلات السريعة المبرَّدة بالأملاح المصهورة تكون قائمة على طيف سريع.

4-4- مفاعلات سريعة

المفاعل السريع هو مفاعل يُستخدم فيه القليل من المادة الوسيطة النيوترونية أو لا تُستخدم فيه أي مادة وسيطة، وتتم إدامة التفاعل الانشطاري المتسلسل في المقام الأول بواسطة النيوترونات السريعة. ويمكن لطيف النيوترونات السريعة في المفاعل السريع أن يزيد من إنتاج الطاقة المستمدة من اليورانيوم الطبيعي إلى حد كبير مقارنة بالمفاعلات الحرارية.

4-4-1- مفاعل سريع مبرَّد بفلز سائل

المفاعل السريع المبرَّد بفلز سائل هو مفاعل سريع يستخدم الفلز السائل كمادة مبرَّدة. ومن الأمثلة على الفلز السائل المستخدم في هذه التصاميم كمادة مبرَّدة أولية هناك الصوديوم (في مفاعل الصوديوم السريع، أو المختصر SFR باللغة الإنكليزية) والرصاص-البزموت السهل الانصهار (في أي مفاعل سريع مبرَّد بالرصاص). وتكنولوجيا التبريد بالصوديوم هي تكنولوجيا مكتملة النضج وقد استُخدمت طيلة أكثر من 50 عاماً، بينما تُقترح المبرّدات المصنوعة من الرصاص ومن سبائك الرصاص والبزموث لاستخدامها في بعض التصاميم الابتكارية.

4-4-2- مفاعل سريع مبرَّد بالأملاح المصهورة

المفاعل السريع المبرَّد بالأملاح المصهورة هو مفاعل سريع تكون فيه المادة المبرَّدة للمفاعل أو كل من الوقود والمادة المبرَّدة للمفاعل عبارة عن ملح مصهور (أملاح مصهورة).

4-4-3- مفاعل سريع مبرّد بالغاز

المفاعل المبرَّد بالغاز هو مفاعل سريع يستخدم الهيليوم كمادة مبرِّدة للمفاعل بهدف زيادة استخدام الوقود إلى أقصى حد من خلال تحقيق كفاءة حرارية عالية.

4-5- مفاعلات صغيرة ومتوسطة الحجم أو نمطية

تُعتبر المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم أو النمطية خياراً لتلبية الحاجة إلى توليد القوى على نحو مرن لفائدة طائفة أوسع من المستخدمين وأحجام الشبكات والتطبيقات. وبالنسبة للمفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم، القصد من الحجم الصغير هو ما يصل إلى 300 ميغاواط، في حين أن القصد من الحجم المتوسط هو مفاعلات الجيل الأحدث التي تتراوح قدرتها بين 300 ميغاواط و700 ميغاواط. ويُعرَّف المفاعل النمطي الصغير بأنه مفاعل متقدم ينتج كهرباء تصل إلى 300 ميغاواط كهربائي لكل وحدة نمطية، وهو مصمم إما كمحطة قوى نووية منفردة أو متعددة الوحدات (القسم 2-3)، حيث يمكن تصنيع النظم والمكونات كوحدات نمطية في محيط المصنع ثم نقلها إلى الموقع لتقصير مدة التشييد. وتعرِّف الهيئة الرقابية النووية في الولايات المتحدة المفاعلات الصغيرة والمتوسطة الحجم لأغراض حساب الرسوم بأنها فئة مفاعلات الماء الخفيف التي يكون معدل قوتها الحرارية المرخص بها أقل من أو يساوي 1000 ميغاواط حراري لكل وحدة نمطية. ويعتمد هذا المعدل على مكافئ القوة الحرارية لمفاعل صغير ومتوسط الحجم يعمل بالماء الخفيف بسعة توليد طاقة كهربائية تبلغ 300 ميغاواط كهربائي أو أقل لكل وحدة نمطية [15].

4-6- مفاعل متناهي الصغر

المفاعل المتناهي الصغر هو مصطلح جديد نسبيا للمفاعل القادر على إنتاج ما بين 1 و30 ميغاواط من الطاقة الحرارية المستخدمة مباشرة كحرارة أو التي تُحوَّل إلى قوى كهربائية. وتُصنَّع المكونات في المصنع وتُجمَّع ثم تُنقل إلى مكان نشرها. والمفاعلات المتناهية الصغر هي مفاعلات تتكيَّف ذاتياً مع جميع ظروف التشغيل وتستخدم نظم الأمان السلبي لمنع ارتفاع درجة الحرارة أو انصهار قلب المفاعل. ويُتوقَّع منها أن تعمل لسنوات دون إعادة التزوُّد بالوقود، لكن العديد من التصاميم تتطلب تزويدها بوقود تفوق درجة إثرائه 5%.

4-7- نظم تعمل بواسطة المُعجِّلات

النظام العامل بواسطة المُعجِّلات هو مفهوم ابتكاري لنظام هجين يُستخدم لتحويل النظائر المشعة الطويلة العمر. ويتكون النظام العامل بواسطة المُعجِّلات من معجل بروتوني عالي القدرة، وهدف تشظي المعادن الثقيلة الذي ينتج نيوترونات عند قصفها بواسطة حزمة قوى عالية، وقلب مفاعل دون حرج يقترن نيوترونيا بهدف التشظي.

5- الغرض من تصميم المفاعل

5-1- غرض تجاري

المفاعلات التجارية هي مفاعلات في محطات توليد الطاقة بُنيت على نطاق كامل وهي مخصصة فقط للاستخدام التجاري في توليد الكهرباء و/أو معالجة الحرارة لأغراض التطبيقات الصناعية أو غيرها من المنتجات غير الكهربائية [2].

5-2- الأول من نوعه والأحدث من نوعه

يُستخدم المختصر الإنكليزي 'FOAK' للدلالة على "الأول من نوعه"، بمعنى الأول من بين العديد من الأنواع، وليس بمعنى نموذج أولي وعرض توضيحي يُستخدم لمرة واحدة فقط. ويُستخدم للدلالة على المفاعل الأول الذي يبدأ تشغيله باستخدام تكنولوجيا جديدة أو تصميم جديد. ويمكن أن يكلِّف أكثر بكثير من الوحدات اللاحقة المسماة الوحدات الأحدث من نوعها أو المختصر الإنكليزي 'FOAK' أو '*n*th of a kind'، والتي أدرجت الدروس المستفادة من الوحدات السابقة.

5-3- نموذج أولي

المفاعل النموذجي الأولي هو المفاعل المادي الذي تُطوَّر انطلاقاً منه المفاعلات التجارية المستقبلية. وقد يكون ذلك على نطاق محدود أو يفتقر إلى بعض النظم (مثل مولدات التوربينات) والغرض منه هو إثبات الأداء العام للمفاعل وإثبات موثوقيته وأمانه واقتصادياته.

5-4- عرض توضيحي

المفاعل التوضيحي هو العرض العملي لكيفية أداء التصميم المتقدم. وقد يكون هذا التصميم جزئيا أو كاملا للمفاعل إما على نطاق محدود أو كامل، ولكن الغرض منه هو توضيح التشغيل الفعال والآمن للسمات التطورية أو الابتكارية للتصميم.

5-5- عرض تجريبي

هو عادة التصميم الأول لتكنولوجيا المفاعلات الابتكارية الجديدة المبنية لغرض التحقق من أداء مواد وأنواع وقود قلب المفاعل، واستكشاف حدود الأمان وأوجه عدم اليقين، واكتساب دروس حاسمة لكي يتسنى ترخيص التكنولوجيا وتسويقها في وقت ما في المستقبل.

6- بارامترات الأداء

6-1- الأداء التقني

نسبة التوليد: نسبة المادة الانشطارية النهائية المنتجة في مفاعل سريع أو حراري إلى المحتوى الانشطاري الأولي المحمَّل. ومكسب التوليد هو الوقود الفائض المنتج. فإذا كانت نسبة التوليد أقل من 1، يكون المفاعل حرَّاقاً، أي أنه يستهلك مواد انشطارية أكثر من تلك التي ينتجها؛

وإذا كانت نسبة التوليد أعلى من 1، يكون المفاعل مولِّداً؛ وإذا كانت نسبة التوليد تساوي 1 أو كان مكسب التوليد يساوي صفرا، يُطلق على هذا المفاعل مولِّد إسوي، أي أنه ينتج نفس الكمية من الوقود التي يستهلكها أثناء التشغيل.

معدل حرق: الطاقة المتكاملة الناتجة عن استنفاد المواد الانشطارية، بما يشمل المواد الانشطارية التي تُنتَج حينما يكون الوقود كامناً في قلب المفاعل، مقسومة على إجمالي كتلة الوقود الطازج من اليورانيوم (ميغاواط-يوم/كغ من اليورانيوم أو غيغاواط-يوم/طن من اليورانيوم).

قدرة: كمية الطاقة الكهربائية (ميغاواط كهربائي) أو غيرها من المنتجات غير الكهربائية التي يمكن أن تنتجها محطة للقوى النووية أو وحدة ما.

عامل قدرة: القدرة المثالية لإمداد محطة القوى النووية بالطاقة مقسومة على خرج الطاقة الذي كانت المحطة ستُنتجه لو شُغِّلت عند خرج القوى المقدَّر لمدة عام نموذجي، أو على مدار عمر التشغيل بالكامل. وبصورة عامة، يُعبَّر عن ذلك كنسبة مئوية. ويستخدم في قاعدة بيانات نظام المعلومات عن مفاعلات القوى التابع للوكالة [10] المصطلح 'عامل التحميل' الذي يشمل خسائر الإنتاج الناجمة عن التغيرات في الطلب.

عمر تصميمي: "الوقت الذي يُتوقع أن يؤدي فيه مرفق أو مكون ما عمله حسب المواصفات التقنية التي أنتج وفقا لها" [4]. وبالنسبة لأي محطة قوى نووية، فهو الوقت الحقيقي في سنوات تشغيل محطة القوى النووية بينما تظل جميع الهياكل والنظم والمكونات مؤهلة لأداء وظائفها. وقد يشمل ذلك عمليات تجديد أو استبدال كبيرة للنظم أو المكونات أثناء عمليات الإغلاق، بحسب الفلسفة المتبعة في تصميم محطة القوى النووية. وهناك مصطلح آخر يُستخدم أحيانا وهو 'سنوات التشغيل الفعالة بكامل القدرة' لوصف عمر المكونات الأساسية التي تتدهور بسبب التشعيع.

كفاءة: نسبة خرج المنتج على القوة الحرارية للمفاعل. بالنسبة للكهرباء، يُعبَّر عن ذلك بالمصطلح ميغاواط كهرائي (صافي) / ميغاواط حراري (أساسي).

إثراء: النسبة المئوية٪ من وزن اليورانيوم235- في الوقود. ويحتوي اليورانيوم المثرى على نسبة مئوية كتلية من اليورانيوم235- أكبر من اليورانيوم الموجود في الطبيعة وهي 0,72 % [6].

فترة سماح "الوقت الذي يتم خلاله كفالة وظيفة أمان عند وقوع حدث دون أن تكون هناك ضرورة لأن يتخذ العاملون أي إجراء" [4].

تتبع الحِمل/ تدوير الحِمل: تشغيل محطة قوى نووية خلال الفترة التي يُكيَّف فيها الخرج الكهربائي على مدار اليوم ليتناسب مع الطلب و/أو للتحكم في ترددات الشبكة. وهذه القوة على المناورة في الطاقة، والتي يعبر عنها عادة بنطاق القوة ومعدل تغير القوة، هي مفيدة في شبكة بها جزء كبير من المولدات المتقطعة.

2-6- أداء اقتصادي

تبدأ النفقات على مشاريع محطات القوى النووية قبل وقت طويل من بدء التشييد وتشمل التكاليف المتعلقة بالهندسة والبحث والتطوير والاختبار وإيضاح مفهوم الأمان والترخيص.

وتُعرَّف المصطلحات التي كثيرا ما تُستخدم لوصف اقتصاديات مشروع محطة للقوى النووية على النحو التالي، حسب صلتها بالتكلفة الإجمالية طوال العمر التشغيلي:

تكلفة معيارية لتوليد الكهرباء: التكلفة الإجمالية لبناء وتشغيل وإخراج محطة للقوى النووية من الخدمة على مدى عمرها التشغيلي مقسومة على إجمالي خرج الكهرباء المرسلة من محطة القوى النووية (مثلا الدولار الأمريكي / كيلوواط ساعة). وتعتمد هذه القيمة على العوامل التالية، وذلك تقريباً بالترتيب المدرج أدناه:

تكلفة رأسمالية، تكاليف التشييد الإجمالية: تشمل تكلفة إعداد الموقع، والتشييد، والتصنيع، والإدخال في الخدمة، والتمويل (الفائدة أثناء التشييد)، وارتفاع التكاليف والتكاليف الطارئة لمحطة القوى النووية.

تكاليف التشييد الليلية: تكلفة التشييد الأساسية بالإضافة إلى تكاليف المالكين المطبقة والتكاليف الطارئة والتكاليف الأساسية الأولى. يشار إليها باسم التكلفة "الليلية" بمعنى أن تكاليف القيمة الزمنية غير مُدرجة. والتكاليف المدرجة هي تلك التي تسبق استحقاق الإيرادات ولا تشمل رسوم التمويل المستحقة خلال فترة التشييد.

وقت التشييد: في معظم الأحيان يكون هذا هو الوقت الممتد من بداية التشييد (أي صب أول خرسانة للمباني المحتوية على المكونات النووية (الجزيرة النووية)) حتى دخول محطة القوى النووية في العمليات التجارية، ولكن يتم أيضا استخدام أحداث أخرى (أي حتى الوصول إلى مرحلة الحرجية الأولى، والربط بالشبكة الأولى، وما إلى ذلك).

تكلفة رأس المال: رسوم التمويل لرأس المال المستثمر، معبرا عنها كنسبة مئوية.

فائدة أثناء التشييد: رسوم التمويل المستحقة خلال فترة التشييد.

معدل الخصم: معدل الفائدة المُستخدم لحساب القيمة الحالية للمبلغ المالي المتوقَّع استلامه أو دفعه في المستقبل. وينبغي أن يعبِّر عن المخاطر المحيطة بالمشروع الذي يُطبَّق عليه ذلك المعدل.

تشييد المصنع: صنع معدات محددة أو وحدات نمطية كاملة لنظام الطاقة النووية في مرفق مجهز بأدوات مناسبة. وهو يوفر مستوى أعلى من الكفاءة والتكرار والتحكم في العمليات وضمان الجودة ومستوى بيئة عمل أعلى مقارنة بالتشييد في الموقع.

تكلفة التشغيل والصيانة: تكلفة تشغيل محطة للقوى النووية، بما في ذلك صيانتها (وفي بعض الحالات تكلفة الوقود ورسوم الإخراج من الخدمة والتصرف في النفايات).

تكلفة الوقود: التكلفة المستمرة للوقود أثناء سير العمليات، وغالباً ما يعبر عنها كنسبة مئوية من تكلفة العمليات (وفي بعض الحالات تشمل رسوم الوقود المستهلك).

تكاليف دورة الوقود: التكاليف بالإضافة إلى تكاليف الوقود المتعلقة بأي إعادة معالجة أو أنواع وقود متقدمة. ومع أن هذه التكاليف ليست كبيرة بالنسبة لمفاعلات الماء الخفيف القائمة، إلا أنها قد تكون كبيرة بالنسبة للتصاميم الابتكارية، مثل مفاعل الملح المصهور أو المفاعل السريع.

التكاليف الأولى لقلب المفاعل: تكلفة أول حمولة وقود كاملة لكي يتسنى بدء تشغيل المفاعل.

المراجع

[1] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Terms for Describing New, Advanced Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-936, IAEA, Vienna (1997).

[2] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، قاعدة بيانات نظام المعلومات الخاصة بالمفاعلات المتقدمة (نظام ARIS)، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا، https://aris.iaea.org

[3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Related Terms for Advanced Nuclear Plants, IAEA TECDOC 626, IAEA, Vienna (1991).

[4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Nuclear Safety and Security Glossary: Terminology Used in Nuclear Safety, Nuclear Security, Radiation Protection and Emergency Preparedness and Response, 2022 (Interim) Edition, IAEA, Vienna (2022).

[5] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، أمان محطات القوى النووية: التصميم، العدد SSR-2/1 (الصيغة المنقحة Rev.1) من سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا، النمسا (2016)

[6] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radioactive Waste Management Glossary, 2003 Edition, IAEA, Vienna (2003).

[7] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، "المعالم المرحلية البارزة لإنشاء بنية أساسية وطنية للقوى النووية، العدد NG-G-3.1 (الصيغة المنقحة Rev. 1) من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (2015).

[8] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Managing Siting Activities for Nuclear Power Plants, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.7 Rev.1, IAEA, Vienna (2022).

[9] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of the Reactor Containment and Associated Systems for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. SSG-53, IAEA, Vienna (2019).

[10] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، قاعدة بيانات نظام المعلومات عن مفاعلات القوى (نظام PRIS)، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا. https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx

[11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Advanced Large Water Cooled Reactors: A Supplement to: IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS) 2020 Edition, IAEA, Vienna (2020), https://aris.iaea.org/Publications/20-02619E_ALWCR_ARIS_Booklet_WEB.pdf

[12] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Options to Enhance Proliferation Resistance of Innovative Small and Medium Sized Reactors, IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-1.11, IAEA, Vienna (2014).

[13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, International Safeguards in the Design of Nuclear Reactors, IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-2.9, IAEA, Vienna (2014).

[14] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nuclear Reactor Technology Assessment for Near Term Deployment, IAEA Nuclear Energy Series No. NR-T-1.10 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2022).

[15] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, NRC 10 CFR § 170.3 Definitions, US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/cfr/part170/part170-0003.html

قائمة المختصرات

نظام ARIS	نظام المعلومات الخاصة بالمفاعلات المتقدمة
FOAK	الأول من نوعه
NOK	الأحدث من نوعه
المفاعل VVER	مفاعل مبرَّد ومهدَّأ بالماء

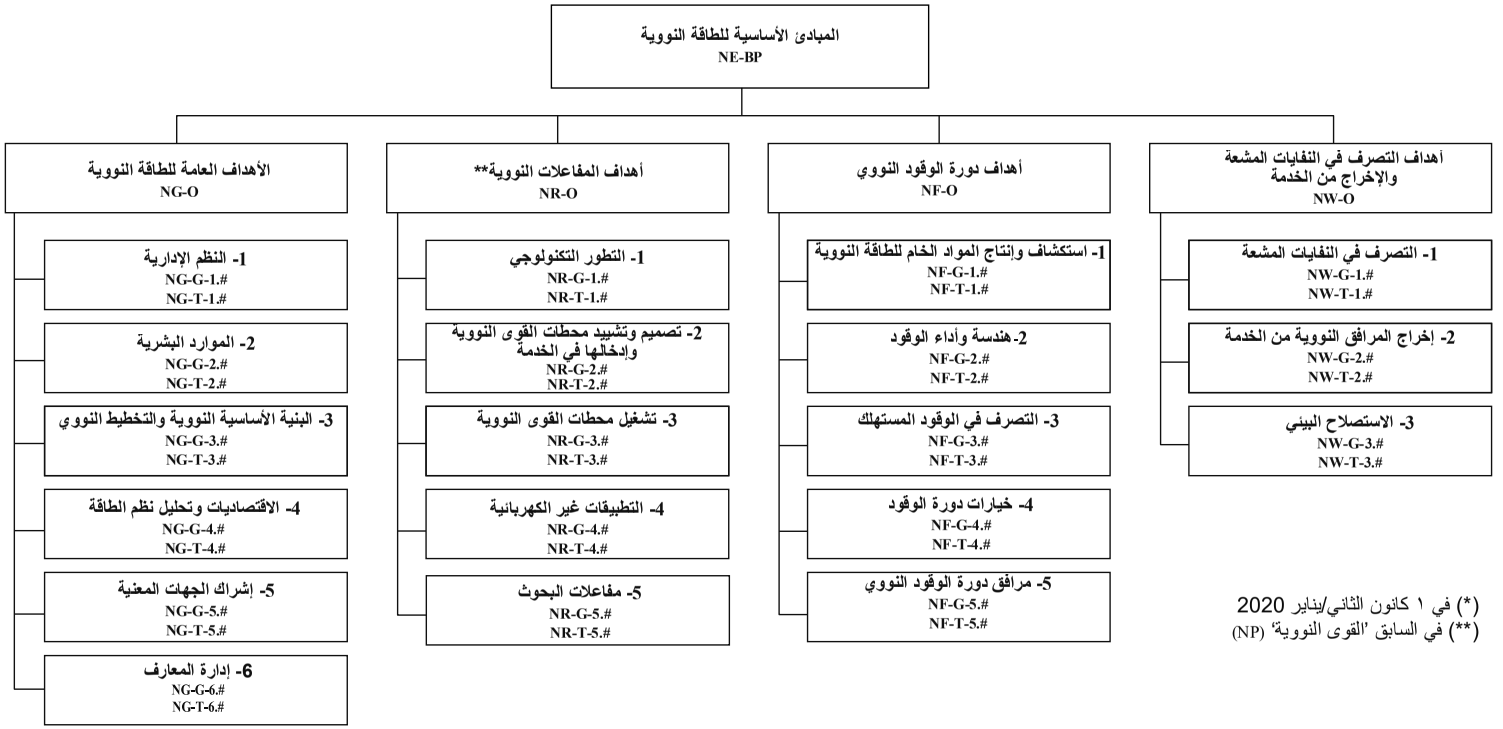
المساهمون في الصياغة والاستعراض

Banoori, S.	Pakistan Atomic Energy Commission, Pakistan
Bilic Zabric, T.	International Atomic Energy Agency
Delmastro, D.	National Atomic Energy Commission, Argentina
Ganda, F.	International Atomic Energy Agency
Jevremovic, T.	International Atomic Energy Agency
Karseka-Yanev, T.	International Atomic Energy Agency
Krause, M.	International Atomic Energy Agency
Kriventsev, V.	International Atomic Energy Agency
Mathers, D.	Nuclear Innovation Research Office, United Kingdom
Memmott, M.	Brigham Young University, United States of America
Moriwaki, M.	Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd., Japan
Reitsma, F.	International Atomic Energy Agency
Subki, M.H.	International Atomic Energy Agency
Whitlock, J.	International Atomic Energy Agency

اجتماع الخبراء الاستشاريين

فيينا، النمسا: 29-30 تموز/يوليه 2020

هيكل سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة*



(*) في ١ كانون الثاني/يناير 2020
(**) في السابق 'القوى النووية' (NP)

دليل		*أمثلة*	
BP:	المبادئ الأساسية	**NG-G-3.1:**	المنشورات العامة النووية **(NG)**، الأدلة والمنهجيات **(G)**، البنية الأساسية النووية والتخطيط النووي (الموضوع **3**)، **#1**
O:	الأهداف		
G:	الأدلة والمنهجيات	**NR-T-5.4:**	المفاعلات النووية **(NR)**، التقارير التقنية **(T)**، مفاعلات البحوث (الموضوع **5**)، **#4**
T:	التقارير التقنية	**NF-T-3.6:**	الوقود النووي **(NF)**، التقرير التقني **(T)**، التصرف في الوقود المستهلك (الموضوع **3**)، **#6**
الأرقام 1 إلى 6:	التسميات المواضيعية	**NW-G-1.1:**	التصرف في النفايات المشعة والإخراج من الخدمة **(NW)**، الأدلة والمنهجيات **(G)**، التصرُّف في النفايات المشعة (الموضوع **1**) **#1**
#:	رقم الدليل أو التقرير		

طلب شراء المنشورات محليّاً

يمكن شراء المنشورات المسعَّرة الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية من الموزِّع الرئيسي الخاص بنا أو من المكتبات المحلية الكبرى. أمّا المنشورات غير المسَّعرة فينبغي توجيه طلبات شرائها إلى الوكالة مباشرة.

طلبات شراء المنشورات المسعَّرة

يرجى الاتصال بالمورِّد المحلي المفضَّل لديكم، أو بالموزِّع الرئيسي الخاص بنا:

Eurospan
1 Bedford Row
London WC1R 4BU
United Kingdom

الطلبات التجارية والاستفسارات:
رقم الهاتف: 465576 1235 (0) 44+
البريد الإلكتروني: trade.orders@marston.co.uk

الطلبات الفردية:
رقم الهاتف: 4655777 1235 (0) 44+
البريد الإلكتروني: direct.orders@marston.co.uk
www.eurospanbookstore.com/iaea

للحصول على مزيد من المعلومات:
رقم الهاتف: 0856 240 207 (0) 44+
البريد الإلكتروني: info@eurospan.co.uk
www.eurospan.co.uk

ويمكن توجيه طلبات شراء المنشورات، سواء المسعَّرة أو غير المسعَّرة، مباشرة إلى العنوان التالي:

قسم النشر
الوكالة الدولية للطاقة الذرية
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Vienna, Austria
رقم الهاتف: 22529 2600 1 43+ أو 22530
البريد الإلكتروني: sales.publications@iaea.org
www.iaea.org/publications

الوكالة الدولية للطاقة الذرية
فيينا