سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة

العدد NW-T-1.3

التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة

IAEA
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة

هيكل سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة

بمقتضى أحكام الفقرة ألف-٣ 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:

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

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

(٣) 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.

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

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 على موقع الوكالة على الإنترنت:

www.iaea.org/ar/almanshurat

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.

التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة

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
جامايكا
الجبل الأسود
الجزائر
جزر البهاما
جزر القمر
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 لوسيا
سري لانكا
السلفادور
سلوفاكيا
سلوفينيا
سنغافورة
السنغال
السودان
السويد
سويسرا
سيراليون
سيشيل
شيلي
صربيا
الصين
طاجيكستان
العراق
عُمان
غابون
غانا
غرينادا
غواتيمالا
غيانا
فانواتو
فرنسا
الفلبين
فنزويلا (جمهورية - البوليفارية)
فنلندا
فيجي
فييت نام
قبرص
قطر
قيرغيزستان
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
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 ٢٣ تشرين الأول/أكتوبر ١٩٥٦، على النظام الأساسي للوكالة الذي بدأ نفاذه في ٢٩ تموز/يوليه ١٩٥٧. ويقع المقرُّ الرئيسي للوكالة في فيينا. ويتمثَّل هدف الوكالة الرئيسي في "تعجيل وتوسيع مساهمة الطاقة الذرية في السلام والصحة والازدهار في العالم أجمع".

العدد NW-T-1.3 من سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة

التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة

الوكالة الدولية للطاقة الذرية
فيينا، ٢٠٢١

ملاحظة بشأن حقوق النشر

جميع المنشورات العلمية والتقنية الصادرة عن الوكالة محمية بموجب الاتفاقية العالمية لحقوق التأليف والنشر بصيغتها المعتمدة في عام ١٩٥٢ (برن) والمنقحة في عام ١٩٧٢ (باريس). وقد عمدت المنظمة العالمية للملكية الفكرية (جنيف) لاحقاً إلى توسيع نطاق حقوق التأليف والنشر لتشمل الملكية الفكرية الإلكترونية والفرضية. ويجب الحصول على إذن باستخدام النصوص الواردة في منشورات الوكالة بشكلها المطبوع أو الإلكتروني، استخداماً كليًّا أو جزئيًّا؛ ويخضع هذا الإذن عادة لاتفاقات متعلقة برسوم الجعالة الأدبية. ويُرحَّب بأية اقتراحات تخصُّ 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 2600 29302
tel.: +43 1 2600 22417
email: sales.publications@iaea.org
www.iaea.org/books

حقوق النشر محفوظة للوكالة الدولية للطاقة الذرية، ٢٠٢١

طُبع من قِبَل الوكالة الدولية للطاقة الذرية في النمسا
تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٢١

STI/PUB/1657
ISBN 978-92-0-625120-1 (نسخة ورقية)
ISBN 978-92-0-625220-8 (نخسة PDF)
ISSN 2664-9365

تصدير

يتمثَّل أحد أهداف الوكالة الواردة في نظامها الأساسي في أن "تعمل الوكالة على تعجيل وتوسيع مساهمة الطاقة الذرية في السلام والصحة والازدهار في العالم أجمع". وإحدى الطرق التي تُحقق هذا الهدف هي نشر مجموعة من السلاسل التقنية. وثمة سلسلتان ضمن هذه المجموعة هما سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة وسلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة.

ووفقاً للفقرة ألف-٦ من المادة الثالثة من النظام الأساسي للوكالة، تحدِّد معايير الأمان "معايير سلامة بقصد حماية الصحة والتقليل من الخطر على الأرواح". وتشمل معايير الأمان أساسيات الأمان، ومتطلبات الأمان، وأدلة الأمان. وتصاغ هذه المعايير في المقام الأول بأسلوب رقابي، وهي ملزمة للوكالة فيما يتصل ببرامجها الخاصة. والمستخدمون الرئيسيون لها هم الهيئات الرقابية في الدول الأعضاء والسلطات الوطنية الأخرى.

وتتضمن سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة تقارير مصمَّمة لتشجيع ومساعدة البحث والتطوير في مجال الطاقة النووية وتطبيقها للأغراض السلمية. وهذا يشمل أمثلة عملية ليستخدمها مالكو المرافق ومشغلوها في الدول الأعضاء، والمنظمات المنفذة، والأوساط الأكاديمية، والمسؤولون الحكوميون وجهات أخرى. وترد هذه المعلومات ضمن أدلة وتقارير عن حالة التكنولوجيا وأوجه التقدم المحرز وأفضل الممارسات للاستخدامات السلمية للطاقة النووية بناءً على مدخلات من خبراء دوليين. وتُكمل سلسلةُ الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة سلسلةَ معايير الأمان الصادرة عن الوكالة.

واستُخدمت المصادر المشعَّة المختومة على نطاق واسع في الصناعة والطب والبحوث في الدول الأعضاء لعقود عديدة. وعلى الرغم من أن معظم الدول الأعضاء قد وضعت إطاراً رقابياً للتحكم في المصادر المختومة ولديها القدرات التقنية الكافية للتعامل معها بشكل صحيح، فإنه لا يزال هناك عدد من أوجه عدم التيقن المتعلقة بالتصرف في هذه المصادر خلال دورة حياتها. وقد تكون مخططات وممارسات التصرف المطبقة حالياً في الدول الأعضاء متضاربة إلى حد ما وتتسبب في مشاكل للخزن، لا سيما التخلص من المصادر المهمَلة. وعلى سبيل المثال، لا يوجد توافق في الآراء بشأن الطرق المناسبة لتكييف المصادر الموجودة في الخزن المؤقت المركزي. وفي معظم الحالات، تُحدد الطرق المستخدمة إلى حد كبير حسب المرافق المتاحة، والتي قد تكون قد شُيدت للتعامل بشكل أساسي مع أنواع نفايات أخرى. وكشفت تجربة الوكالة في العمل مع الدول الأعضاء أن البُنى الأساسية المتواضعة والميزانيات المحدودة في العديد من الدول الأعضاء تتطلب حلولاً بسيطة منخفضة التكلفة ومباشرة، دون المساس بالأمان أو الأمن.

وحيث إن الوكالة تدرك الحاجة إلى مساعدة الدول الأعضاء في التصرف المأمون والفعال في المصادر المهمَلة، وضعت خطة عمل بعنوان "خطة عمل بشأن أمان المصادر الإشعاعية وأمن المواد المشعَّة"، ركزت على وضع سلسلة من المنشورات التي تتناول التعامل مع هذه المصادر وتكييفها وخزنها والتخلص منها. ومنذ التسعينيات، تُنشر العناوين الصادرة ضمن هذه السلسلة، على سبيل المثال المنشور المعنون "الأدلة التقنية للتصرف في النفايات المنخفضة والمتوسطة الإشعاع المتولدة في مراكز البحوث النووية الصغيرة ومن قِبل مستخدمي النظائر المشعَّة في الطب والبحوث والصناعة"، بهدف معالجة احتياجات الدول الأعضاء النامية من خلال اقتراح الحلول التكنولوجية التي يمكن أن تفي بالمتطلبات وتنفذ الحلول وتفي بالمعايير المنصوص عليها في منشورات الوكالة، ويمكن أيضاً دمجها بسهولة في برنامج وطني شامل.

وعلى الرغم من أن الدول الأعضاء قد استفادت من هذه المنشورات الصادرة على مدى العقدين الماضيين، فإنه قد ساد شعور بالحاجة إلى تنقيحها وتحديثها للاستفادة من التطورات الجديدة وضمان الامتثال للمعايير الحديثة. ونظراً لأن التقارير المنشورة سابقاً تناولت مجالات محددة من التصرف في المصادر المختومة المهمَلة لفئات مختلفة من المصادر، يمكن أن يوفر هذا المنشور فرصة جيدة لدمج المحتويات في تقرير واحد.

وحتى وقت قريب، انصب التركيز في المقام الأول على أمان المصادر المشعَّة، مع اعتبار أمن المصادر كأحد جوانب الأمان. ومع ذلك، نظراً لإمكانية استخدام المصادر المشعَّة في أعمال شريرة، أصبح أمن المصادر أكثر إلحاحاً. ويمكن أن يوفر النهج الجديد المتمثل في التحكم في المصادر المشعَّة من المهد إلى اللحد الحماية من الاستخدامات الشريرة. وهذا يعني أن مراعاة الأمن خلال دورة الحياة الكاملة للمصادر المشعَّة، والتي تشمل جميع المراحل، بما في ذلك التصنيع والتوزيع والتركيب والإدخال في الخدمة والاستخدام والخزن والتخلص، أمر ذو أهمية قصوى.

ويلخص هذا التقرير المعلومات الواردة في المنشورات السابقة للوكالة ويقدم إرشادات محدَّثة بشأن التصرُّف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. وأُدرجت في هذا التقرير المشاكلُ التي جوبهت والدروس المستفادة للمساعدة في تجنب الأخطاء التي ارتكبت في الماضي في مجال التصرف في المصادر المهمَلة.

وموظفا الوكالة المسؤولان عن هذا المنشور هما السيد ج. بالا، والسيد خ. ك. بينيتيس-نافارو من شعبة دورة الوقود النووي وتكنولوجيا النفايات.

ملحوظة تحريرية

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

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

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

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

ولا تتحمَّل الوكالة أيَّ مسؤولية عن استمرارية أو دقَّة الوصلات الإلكترونية للمواقع الشبكية الخاصة بطرف خارجي أو طرف ثالث المشار إليها في هذا المنشور ولا تضمن أن يكون، أو أن يظلَّ، أيُّ محتوى يردُ في تلك المواقع الشبكية دقيقاً أو ملائماً.

المحتويات

١- مقدِّمة ١

١-١- الخلفية ١
١-٢- الهدف ٢
١-٣- النطاق ٢
١-٤- الهيكل ٣

٢- خصائص المصادر المشعَّة المختومة ٤

٢-١- الخصائص الإشعاعية والفيزيائية والكيميائية ٤
٢-١-١- الأشكال الفيزيائية ٤
٢-١-٢- نوع الإشعاع ٥
٢-١-٣- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للنويدات المشعَّة ٥
٢-٢- الهيكل والتصميم ١٠
٢-٢-١- مصادر غاما ١٠
٢-٢-٢- مصادر ألفا ١١
٢-٢-٣- مصادر بيتا ١٢
٢-٢-٤- المصادر النيوترونية ١٢
٢-٣- الأبعاد ١٢
٢-٤- الحالة المادية ١٤

٣- تحديد الفئات والتصنيف ١٥

٣-١- الأساس المنطقي لتحديد فئات المصادر المشعَّة ١٥
٣-٢- نظام تحديد فئات المصادر لدى الوكالة ١٥
٣-٣- تجميع الوكالة للمصادر حسب الأمن ١٧
٣-٤- تصنيف المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس للمصادر ١٨

٤- التطبيقات والأجهزة والمصادر المختومة المرتبطة ١٩

٤-١- الأجهزة ومصادر الفئة ١ ..... ١٩
٤-١-١- المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة ١٩
٤-١-٢- أجهزة التشعيع ٢٠
٤-١-٣- أجهزة المعالجة البُعادية ٢٥
٤-١-٤- أجهزة المعالجة البُعادية الثابتة المتعددة الحزم (مشرط أشعة غاما®) ٢٦
٤-٢- الأجهزة ومصادر الفئة ٢ ..... ٢٧
٤-٢-١- أجهزة التصوير الإشعاعي بأشعة غاما للأغراض الصناعية ٢٧
٤-٢-٢- أجهزة التشعيع الداخلي بجرعات عالية/متوسطة ٢٩
٤-٢-٣- نُظُم المعايرة ٣٠
٤-٣- الأجهزة ومصادر الفئة ٣ ..... ٣٢
٤-٣-١- مقاييس صناعية ثابتة ٣٢
٤-٣-٢- مقاييس تسجيل بيانات الآبار ٣٣
٤-٣-٣- أجهزة تنظيم ضربات القلب ٣٥
٤-٤- الأجهزة ومصادر الفئة ٤ ..... ٣٦
٤-٤-١- مصادر التشعيع الداخلي بمعدل جرعات منخفضة ٣٦
٤-٤-٢- مقاييس مستوى السماكة/الامتلاء ٣٦

٤-٤-٣- أجهزة قياس الرطوبة/الكثافة المحمولة ٣٨
٤-٤-٤- أجهزة قياس كثافة العظام ٣٩
٤-٤-٥- أجهزة إزالة الكهرباء الاستاتيكية ٣٩
٤-٥- الأجهزة ومصادر الفئة ٥ ..... ٤٠
٤-٦- حالات محددة ٤٢
٤-٦-١- قضبان الصواعق ٤٢
٤-٦-٢- الاستخدامات البحثية والأكاديمية ٤٢
٤-٦-٣- الاستخدامات العسكرية ٤٣
٤-٧- كتلة وأبعاد الأجهزة النموذجية ٤٣

٥- مبادئ ومتطلبات التصرف ٤٥

٥-١- التحكم الرقابي ٤٥
٥-٢- المسؤوليات ٤٦
٥-٢-١- جهة تصنيع المصدر ٤٧
٥-٢-٢- جهة تصنيع الأجهزة /المعدات ٤٨
٥-٢-٣- الموزع ٤٨
٥-٢-٤- المستخدم ٤٨
٥-٢-٥- المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة ٤٨
٥-٢-٦- مرفق التخلص ٤٩
٥-٣- سجل المصادر المشعَّة المختومة ٤٩
٥-٤- الإعلان عن أن المصادر أصبحت مهمَلة ٤٩
٥-٤-١- اضمحلال النشاط ٥٠
٥-٤-٢- التسرب أو التلف ٥٠
٥-٤-٣- المعدات القديمة ٥٠
٥-٤-٤- التكنولوجيا البديلة ٥٠
٥-٤-٥- التغييرات في الأولويات ٥١
٥-٤-٦- المصادر اليتيمة ٥١
٥-٥- التمويل ٥١
٥-٥-١- توزيع التكاليف ٥١
٥-٥-٢- عدم التيقّن من التكاليف ٥٢
٥-٥-٣- عدم توافر مسار لنقل الملكية ٥٢
٥-٦- القدرة التقنية ٥٢
٥-٦-١- موقع المستخدم ٥٢
٥-٦-٢- المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة ٥٣
٥-٦-٣- مرفق التخلص ٥٣
٥-٧- تدريب الموظفين ٥٣
٥-٨- النظام الإداري ٥٤
٥-٨-١- التحديات الماثلة أمام النظام الإداري ٥٤
٥-٨-٢- إجراءات النُّظُم الإدارية ٥٥
٥-٨-٣- النهج المتدرّج ٥٥
٥-٨-٤- إدارة السجلات ٥٦
٥-٨-٥- تطوير ومراقبة العمليات ٥٦
٥-٩- التأهب والتصدّي للطوارئ ٥٧
٥-١٠- أمن المصادر المشعَّة ٥٧
٥-١١- مراقبة الحرجية ٥٨
٥-١٢- الرصد الإشعاعي ٥٨

٥-١٣- المشاكل المعترَضة والدروس المستفادة ٥٨
٥-١٣-١- خصوصيات النظام الرقابي..... ٥٩
٥-١٣-٢- جودة سجل المصادر ٦٠
٥-١٣-٣- الإعفاء ٦١
٥-١٣-٤- التمويل..... ٦١
٥-١٣-٥- إدارة السجلات ٦١
٥-١٣-٦- تقييم نظام التصرف ٦١

٦- استراتيجية التصرف..... ٦٢

٦-١- المتطلبات الأساسية لإعداد الاستراتيجية ٦٢
٦-٢- الخيارات الاستراتيجية للتصرف..... ٦٢
٦-٢-١- النقل إلى مستخدم آخر مصرح له..... ٦٥
٦-٢-٢- الإعادة إلى المورِّد/جهة التصنيع..... ٦٥
٦-٢-٣- الخزن قبل التخلص ٦٦
٦-٢-٤- التخلص..... ٦٧
٦-٣- نوع المرفق..... ٦٧
٦-٣-١- المرافق المشتركة ٦٧
٦-٣-٢- المرافق المركزية ٦٧
٦-٣-٣- المرافق المتنقلة..... ٦٨
٦-٤- إعداد استراتيجية التصرف ٦٨
٦-٥- المشاكل المعترَضة والدروس المستفادة ٦٨
٦-٥-١- قضايا عامة..... ٦٨
٦-٥-٢- النقل إلى مستخدم آخر مصرح له..... ٦٩
٦-٥-٣- الإعادة إلى المورِّد/جهة التصنيع..... ٦٩
٦-٥-٤- الخزن قبل التخلص ٦٩
٦-٥-٥- التخلص..... ٧٠

٧- تحديد خصائص المصادر المهمَلة ٧١

٧-١- المعلومات المطلوبة..... ٧١
٧-٢- مجموعات تحديد خصائص المصادر المهمَلة..... ٧١
٧-٣- تحديد هوية المصدر ٧٢
٧-٤- تحديد خصائص المصادر غير الموثقة ٧٤
٧-٤-١- متطلبات نظام تحديد الخصائص ٧٤
٧-٤-٢- استرجاع البيانات التاريخية..... ٧٥
٧-٤-٣- تحديد الخصائص بطرق القياس غير المتلِف ٧٥
٧-٤-٤- تحديد الخصائص بالطرق المتلِفة..... ٧٦
٧-٥- تحديد خصائص المصادر المُسرّبة..... ٧٦
٧-٦- الدروس المستفادة ٧٦

٨- التعامل مع المصادر ٧٨

٨-١- التعامل مع متطلبات الأمان..... ٧٨
٨-٢- تخطيط العمل..... ٧٨
٨-٣- التعامل المعتاد مع المصادر ٧٨
٨-٣-١- الجمع ٧٩

٨-٣-٢- الفصل ٧٩
٨-٣-٣- إزالة المصادر من الأجهزة ٧٩
٨-٣-٤- تغيير المكان داخل الموقع ٨١
٨-٤- معدات وأدوات التعامل مع المصدر ٨٢
٨-٤-١- الملاقيط والدروع المؤقتة ٨٢
٨-٤-٢- خزانة الأبخرة ٨٤
٨-٤-٣- الخلايا الساخنة ٨٥
٨-٤-٤- الحاويات ٨٥
٨-٤-٥- معدات الرفع والنقل ٨٦
٨-٥- المشاكل المعترَضة عند التعامل مع مصادر الأنشطة العالية النشاط ٨٧

٩- الخزن ٨٩

٩-١- متطلبات التصميم لعبوات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ٨٩
٩-٢- متطلبات التصميم الخاصة بمرافق الخزن ٨٩
٩-٣- المتطلبات التشغيلية لمرافق الخزن ٩٢
٩-٣-١- الاستلام والوضع ٩٢
٩-٣-٢- التدريع الإضافي ٩٢
٩-٣-٣- مراقبة السلامة ٩٣
٩-٣-٤- الاسترجاع والإرسال ٩٣
٩-٣-٥- النظم الأمنية ٩٣
٩-٤- أمثلة على مرافق الخزن في الموقع ٩٤
٩-٤-١- الخزائن الأرضية ٩٤
٩-٤-٢- الغرف المقاومة للتدخل ٩٤
٩-٤-٣- مستودعات/أقبية خرسانية ٩٥
٩-٤-٤- مقارنة بين نظم الخزن في الموقع ٩٦
٩-٤-٥- المشاكل المعترَضة والدروس المستفادة ٩٦
٩-٥- أمثلة على مرافق الخزن المركزية ١٠١
٩-٥-١- الخزن الجوفي ١٠١
٩-٥-٢- الخزن السطحي ١٠٣
٩-٥-٣- المشاكل المعترَضة والدروس المستفادة ١٠٥

١٠- التكييف ١٠٨

١٠-١- تأثير متطلبات قبول العبوات ١٠٨
١٠-٢- مواصفات عبوات النفايات ١٠٨
١٠-٣- متطلبات التصميم الخاصة بمرافق التكييف ١٠٩
١٠-٤- المتطلبات التشغيلية الخاصة بمرافق التكييف ١١٠
١٠-٥- اختيار طريقة التكييف ١١٠
١٠-٥-١- معايير الاختيار ١١٠
١٠-٥-٢- اختيار مواد عبوات النفايات ١١١
١٠-٦- طرق التكييف ١١١
١٠-٦-١- المصادر المهمَلة ذات النويدات المشعَّة القصيرة العمر ١١٢
١٠-٦-٢- المصادر المهمَلة ذات النويدات المشعَّة الطويلة العمر ١١٣
١٠-٦-٣- المصادر النيوترونية ١١٦

١٠-٦-٤- المصادر العالية النشاط المهمَلة ١١٧
١٠-٧- مرفق الخلية الساخنة المتنقل التابع للوكالة ١١٩
١٠-٨- الدروس المستفادة ١٢١
١٠-٨-١- المصادر القصيرة العمر ١٢١
١٠-٨-٢- المصادر الطويلة العمر ١٢١
١٠-٨-٣- المصادر العالية النشاط ١٢١

١١- النقل ١٢٣

١١-١- لائحة النقل ١٢٣
١١-٢- خيارات النقل ١٢٤
١١-٢-١- المصدر متروك في الحامل الأصلي ١٢٥
١١-٢-٢- المصدر مزال من الحامل الأصلي ١٢٨
١١-٣- المشاكل المعترَضة والدروس المستفادة ١٣١
١١-٣-١- التمويل غير الكافي ١٣١
١١-٣-٢- صعوبات الترخيص ١٣١
١١-٣-٣- عدم وجود شهادات المصدر أو معلومات المصدر ١٣١
١١-٣-٤- عدم وجود شهادات المواد المشعَّة ذات الشكل الخاص ١٣٢
١١-٣-٥- عبوة النقل الأصلية غير مناسبة ١٣٢

١٢- التخلص ١٣٤

١٢-١- العوامل التي تؤثر على اختيار خيارات التخلص ١٣٤
١٢-١-١- نظام تصنيف النفايات لدى الوكالة ١٣٥
١٢-١-٢- مخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة وخصائص النويدات المشعَّة المقابِلة وفئات النفايات ١٣٥
١٢-١-٣- خيارات التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في سياق مخزون النفايات المشعَّة الوطنية ١٣٧
١٢-١-٤- تكييف المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة للتخلص منها – عبوة النفايات ١٣٩
١٢-١-٥- معايير قبول النفايات للتخلص ١٣٩
١٢-٢- خيارات التخلص ١٤٠
١٢-٢-١- التخلص من النفايات قرب سطح الأرض ١٤٠
١٢-٢-٢- التخلص الجيولوجي ١٤٢
١٢-٢-٣- التخلص في المهاوي وحفر السبر ١٤٢
١٢-٣- المشاكل المعترَضة والدروس المستفادة ١٤٥
١٢-٣-١- التخلص من النفايات قرب سطح الأرض ١٤٥
١٢-٣-٢- التخلص الجيولوجي ١٤٦
١٢-٣-٣- التخلص في حفر السبر ١٤٦

١٣- بيان حالة الأمان وتقييم الأمان ١٤٧

١٣-١- مبادئ تقييم الأمان ١٤٧
١٣-٢- عملية تقييم الأمان ١٤٨

١٤- الاستنتاجات ١٥١

المراجع..... ١٥٣
المرفق: المخاطر المرتبطة بالمصادر المهمَلة ١٥٩
المساهمون في الصياغة والاستعراض ١٦٥
هيكل سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة..... ١٦٧

١- مقدِّمة

١-١- الخلفية

تُستخدَم المصادر المشعَّة المختومة على نطاق واسع في الزراعة والصناعة والطب ومجالات البحث المختلفة في كل من الدول الأعضاء المتقدمة والنامية. وتستخدِم جميع البلدان تقريباً المصادر المشعَّة المختومة لغرض أو لآخر. ويقدر إجمالي مخزون المصادر المشعَّة المختومة في جميع أنحاء العالم بالملايين. وعلى الرغم من حجمها المادي الصغير في الغالب، فإن العديد من المصادر تحتوي على تركيزات عالية جداً من النويدات المشعَّة (عادةً ما تكون مصادر صناعية وطبية في نطاق غيغابكريل إلى بيتابكريل). والإشعاع المنبعث من هذه المصادر شديد للغاية، ويتطلب حاويات شديدة التدريع لاستخدامها ونقلها وخزنها بشكل مأمون.

ويُطلق على المصدر المشع أنه *مهمَل* عندما لا يعد قيد الاستخدام أو لا يعتزم استخدامه للممارسة التي مُنِح الترخيص من أجلها [١]. وإذا لم يعد المصدر مناسباً للغرض المتوخى نتيجة الاضمحلال الإشعاعي، فيُعتبر مصدراً *مستهلكاً*. ومن المهم التأكيد على أن المصدر الذي يعلن أحد المستخدمين أنه مهمَل قد يظل يستخدمه مستخدم أو مورد أو جهة تصنيع أخرى. وقد تظل المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة أو المستهلكة عالية الإشعاع ويحتمل أن تكون خطرة على صحة الإنسان والبيئة. ويُتطرق إلى طبيعة وحجم المشاكل المختلفة المرتبطة باستخدام المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في المرجع [٢].

وعلى الرغم من أن الغالبية العظمى من المصادر المشعَّة المستخدمة في جميع أنحاء العالم يُتصرف فيها على نحو مأمون وآمن، مما يعود بمنافع عديدة على البشرية، فإنه قد وقع عدد من الحوادث التي تنطوي على مصادر مشعَّة [٣-١٠]. وعندما تكون كمية المواد المشعَّة كبيرة، كما في حالة مصادر العلاج الإشعاعي أو مصادر التصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية، فإن الحوادث قد أدت إلى عواقب وخيمة بل ومميتة [٣، و٥]. وكانت غالبية الحوادث مرتبطة بمصادر مشعَّة مختومة قيد الاستخدام، والتي كانت لا تزال خاضعة للتحكم الرقابي، ولكن وقعت عدة حوادث انطوت على مصادر مهمَلة عندما كان التحكم الرقابي ضعيفاً أو منعدماً تماماً. وقد أدت بعض هذه الحوادث إلى تلوث مساحات كبيرة تطلبت عمليات تنظيف مكلفة للتخفيف من حدة العواقب المترتبة على هذه الحوادث [٣].

ومن أجل الحد من المخاطر المرتبطة بالمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، من المهم وجود استراتيجية وطنية جيدة الإعداد وإطار قانوني وبنية أساسية للتصرف فيها بشكل مأمون في موقع المستخدم وفي البلد بأكمله. ومن الضروري ألا تشكل المصادر التي تكون قيد الاستخدام أو التي أُعلِن أنها مهمَلة أي خطر محتمل على العمال أو عامة الجمهور أو البيئة. ومن الناحية المثالية، يجب تطبيق وتنفيذ جميع متطلبات التصرف المأمون في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، قبل الشروع في أي تطبيق معين من المصادر المشعَّة المختومة في دولة عضو.

وقد لا تدرك البلدان التي تفتقر إلى بنية أساسية شاملة للوقاية من الإشعاعات ونظم للتصرف في النفايات المخاطرَ المرتبطة بالمصادر المشعَّة المهمَلة. وحتى بعض البلدان المتقدمة التي تستخدم المصادر المشعَّة المختومة على نطاق واسع قد تقلل من تقدير المخاطر التي تنطوي عليها، وبالتالي، قد لا يكون لديها تحكم فعال بالكامل في مصادرها المشعَّة، على الرغم من أن لديها تشريعات كافية، ونظام قائم للوقاية من الإشعاعات والتصرف في النفايات [٩]. ولا تعطي بلدان أخرى أولوية عالية كافية لبرامج التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة لأن هناك قضايا أكثر إلحاحاً تتطلب مواردها المتاحة. وحتى إذا جرى التعرف على المخاطر المرتبطة باستخدام المصادر المشعَّة المختومة، فلا تزال هناك مخاطر محتملة كبيرة مرتبطة باستخدام المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

ولا يؤثر عدد المصادر المشعَّة المهمَلة في دولة عضو معينة على العواقب المترتبة على حادث فردي، ولكنه يزيد من احتمال وقوع حادث. وتؤثر درجة التحكم الرقابي وفعاليتها أيضاً على احتمال وقوع حادث. وتخضع العواقب المترتبة على هذه الحوادث لخصائص المصدر (تصميم المصدر، ونشاطه، وشكله الكيميائي، وما إلى ذلك)، وطبيعة الحادث، والأشخاص المنخرطين، والتدابير المضادة المتخذة، وما إلى ذلك.

وفي التسعينيات، كان هناك قلق دولي متزايد بشأن المصادر المشعَّة، التي لسبب أو لآخر، لم تكن خاضعة للتحكم الرقابي أو التي كانت تخضع لتحكم رقابي غير كافٍ. وتأسس برنامج الوكالة بشأن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في عام ١٩٩١ لغرض محدد هو مساعدة الدول الأعضاء في جهودها لتجنب المواقف التي قد تؤدي إلى التعرض دون ضرورة للإشعاعات أو الحوادث. ويشمل البرنامج تقديم المساعدة التقنية للدول الأعضاء في شكل تقارير تقنية تصدرها الوكالة، وتدريب الخبراء وتطوير أو تحسين البنية الأساسية المطلوبة من خلال توفير الأدوات والمعدات ونقل التكنولوجيا من خلال خدمة التقييم التي تقدمها الوكالة لتقييم الإطار الرقابي للأمان الإشعاعي.

وفي عام ٢٠١١، نشرت الوكالة منشور متطلبات الأمان العامة، العدد GSR Part 3 من سلسلة معايير أمان الوكالة المعنون "الوقاية من الإشعاعات وأمان المصادر الإشعاعية: معايير الأمان الأساسية الدولية"، الطبعة المؤقتة (يُشار إليها فيما بعد بمعايير الأمان الأساسية) [١١]. ويحل هذا المنشور محل المنشور المعنون "معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤينة ولأمان المصادر الإشعاعية" الصادر في عام ١٩٩٦ [١٢]. ووضِع صكٌّ قانوني دولي ملزم للتصرف في النفايات المشعَّة من خلال الاتفاقية المشتركة بشأن أمان التصرف في الوقود المستهلك وأمان التصرف في النفايات المشعَّة (يشار إليها فيما بعد بالاتفاقية المشتركة) [١٣]. وبموجب المادة ٢٨ من الاتفاقية المشتركة، يتعين على الأطراف المتعاقدة التأكد من أن حيازة المصادر المختومة المهمَلة أو إعادة تصنيعها أو التخلص منها تتم بطريقة مأمونة، وتسمح الأطراف المتعاقدة بإعادة دخول المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة إلى أراضيها (إذا قُبِل ذلك في إطار قانونها الوطني). كما نشرت الوكالة مدونة قواعد السلوك بشأن أمان المصادر الإشعاعية وأمنها (يشار إليها فيما بعد بمدونة قواعد السلوك) [١٤]. وتتمثل أهداف مدونة قواعد السلوك، من خلال إعداد ومواءمة وتنفيذ السياسات والقوانين واللوائح الوطنية، ومن خلال تعزيز التعاون الدولي، فيما يلي:

- تحقيق مستوى عال من أمان المصادر المشعَّة وأمنها والحفاظ على هذا المستوى؛
- الحيلولة دون الوصول إلى المصادر المشعَّة على نحو غير مصرَّح به، أو تلفها وفقدانها أو سرقتها، أو تحويل وجهتها على نحو غير مصرَّح به، وذلك للتقليل من احتمال التعرض الضار العارض لمثل هذه المصادر أو استخدامها في أعمال شريرة لإلحاق الضرر بالأفراد أو المجتمع أو البيئة؛
- تخفيف أو تدنية العواقب الإشعاعية لأي حادث أو عمل شرير ينطوي على مصدر مشع.

وتواصل الوكالة استكشاف سبل لتحسين برنامجها للتصرف في النفايات المشعَّة لدعم مختلف الدول الأعضاء. وتتعلق إحدى المبادرات الجديدة على وجه التحديد بالتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة عند انتهاء عمرها؛ بما في ذلك عندما يجري التصرف في المصادر المهمَلة كنفايات مشعَّة. وحتى وقت قريب، انصب التركيز في المقام الأول على أمان المصادر المشعَّة، مع اعتبار أمن المصادر كأحد جوانب الأمان. ومع ذلك، نظراً لإمكانية استخدام المصادر المشعَّة في أعمال شريرة، أصبح أمن المصادر أكثر إلحاحاً. ويمكن أن يوفر النهج الجديد المتمثل في التحكم في المصادر المشعَّة من المهد إلى اللحد الحماية من الاستخدامات الشريرة. ويتضمن هذا مراعاة الأمن خلال دورة الحياة الكاملة للمصادر المشعَّة، والتي تشمل جميع المراحل، بما في ذلك التصنيع والتوزيع والتركيب والإدخال في الخدمة والاستخدام والخزن والتخلص، وهو أمر ذو أهمية قصوى.

١-٢- الهدف

الهدف الرئيسي من هذا التقرير هو توفير المواد المرجعية والإرشادات التقنية بشأن التصرف المأمون في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، والتي تغطي جميع الجوانب، بما في ذلك التعامل والتكييف والنقل والخزن والتخلص. ومن المتوقع أن يكون هذا التقرير مفيداً وذا صلة مباشرة بأصحاب المصلحة المختلفين، بما في ذلك واضعي السياسات ومستخدمي المصادر المشعَّة المختومة ومُشغِّلي مرافق التصرف في النفايات والهيئات الرقابية، لا سيما في الدول الأعضاء التي تستكشف خيارات أو تضع استراتيجيات للتصرف المأمون في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. والغرض منه هو الاستجابة لاحتياجات مختلف الدول الأعضاء في مجال التصرف في المصادر المهمَلة، بدءاً من البلدان التي لديها بنية أساسية متطورة نسبياً للتصرف في المصادر المشعَّة وإطار رقابي إلى البلدان التي لا تزال في مرحلة مبكرة جداً من التخطيط المفاهيمي للتصرف في المصادر المشعَّة المهمَلة.

١-٣- النطاق

يقدم هذا التقرير معلومات بشأن التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، بناءً على المعلومات التي جمعت في سلسلة من المنشورات التقنية السابقة للوكالة الصادرة بين عامي ١٩٩٠ و٢٠٠٣ [٢، ١٥-١٩]. ومع ذلك، فقد استُعرضت المعلومات الواردة في تلك المنشورات وحُسِّنت بإدراج تقنيات التصرف الجديدة المكتسبة في السنوات الأخيرة.

ويشمل نطاق هذا التقرير جميع أنواع المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، باستثناء تلك المعفاة من التحكم الرقابي، مثل الساعات أو أقراص الأجهزة. ومع ذلك، فإن التقرير لا يشمل الكاشفات عن الدخان وغيرها من المصادر المنخفضة النشاط، والتي أعفيت من التحكم الرقابي كمصادر فردية ولكن بعد الجمع يمكن أن تمثل خطراً كبيراً وبالتالي تتطلب تصرفاً مأموناً. ويناقش التقرير، بشيء من التفصيل، مختلف النُّهُج والخيارات والإجراءات للتعامل مع المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة وتكييفها ونقلها وخزنها والتخلص منها، والمتطلبات المرتبطة بنظام التصرف. وأُدرجت بعض المشاكل التي وُوجِهَت والدروس المستفادة في كل خطوة من خطوات التصرف في النفايات.

١-٤- الهيكل

يتألف هذا التقرير من ١٤ قسماً ومرفق واحد. وتتناول الأقسام من ٢ إلى ٦ المسائل العامة للتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، بينما تستعرض الأقسام من ٧ إلى ١٢ الخطوات الرئيسية للتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة بترتيب متتالي. ويشير الترتيب المتتالي إلى سيناريو مثالي للتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، عند توافر جميع المؤسسات والمرافق والموظفين. وبالطبع، هذا الوضع نادراً ما يكون قائماً في معظم الدول الأعضاء؛ ومع ذلك، يوفر هذا النهج فائدة عرض السيناريو المثالي للتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. وفي نهاية كل قسم يتعامل مع خطوة منفصلة للتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، تُقدَّم بعض الأمثلة مع الدروس المستفادة المناسبة.

ويوضح القسم ٢ الخصائص الإشعاعية والفيزيائية والكيميائية الرئيسية للمصادر المشعَّة المختومة، والتي تعتبر مهمة في تحديد الخيارات المناسبة للتصرف في المصادر.

ويقدم القسم ٣ معلومات عامة عن النُّهُج الدولية الحالية لتحديد فئات المصادر المشعَّة المختومة وتصنيفها.

ويصف القسم ٤ الأجهزة جنباً إلى جنب مع المصادر المرتبطة التي تُستخدَم في تطبيقات مختلفة، مع الأخذ في الاعتبار أن الفهم الجيد للتطبيق المحدد للمصدر والمعدات المستخدمة يُعَدُّ اعتباراً مهماً في إعداد استراتيجية للتصرف في المصادر المهمَلة.

ويعرض القسم ٥ العناصر الأساسية لنظام وطني للتصرف المأمون في المصادر المشعَّة المهمَلة، بما في ذلك الجوانب القانونية والرقابية والترخيصية والقدرات التقنية وآليات التمويل، ويصف عناصر نظام حديث للتصرف مطبق في جميع الأنشطة. ويصف هذا القسم أيضاً الأسباب الرئيسية والأساس المنطقي للإعلان أن المصدر المشعّ المختوم "مهمَل" أو "مستهلك".

ويناقش القسم ٦ نهجاً لاختيار استراتيجية للتصرف في المصادر المشعَّة المهمَلة ويصف خيارات التصرف الرئيسية المختلفة.

ويتناول القسم ٧ تحديد خصائص المصادر المشعَّة المختومة بطرق مختلفة غير متلِفة ومتلِفة ويؤكد على دور تحديد الخصائص في اختيار خيار تصرف مأمون وآمن.

ويتطرق القسم ٨ إلى إجراءات التعامل والمعدات والأدوات المستخدمة في مراحل مختلفة من التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

ويتناول القسم ٩ خزن المصادر المهمَلة غير المكيّفة في مبنى المستخدم وكذلك خزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المكيّفة في مخازن مركزية، مع التركيز بشكل خاص على سمات تصميم عبوة نفايات مقبولة للخزن ومتطلبات التصميم لمرفق الخزن، مع التأكيد على أهمية تقييم أمان هذه المرافق. كما يقدم ملخصاً للنُّهُج المستخدمة، بما في ذلك وصف عمليات محددة، لخزن المصادر العالية النشاط.

ويتناول القسم ١٠ تكييف أنواع مختلفة من المصادر المهمَلة. ويبدأ بمتطلبات التكييف، بما في ذلك التصميم والتشغيل وحفظ السجلات. ويناقش أيضاً التوصيات المتعلقة باختيار منهجية تكييف مناسبة، بما في ذلك وصف طرق التكييف المختلفة.

ويبحث القسم ١١ نقل المصادر المشعَّة المهمَلة، ويعرض لائحة النقل الصادرة عن الوكالة، ويتناول مشاكل النقل التي تنفرد بها المصادر المشعَّة العالية النشاط. كما يناقش بعض خيارات النقل.

ويتناول القسم ١٢ خيارات التخلص من المصادر المشعَّة المهمَلة، بما في ذلك مناقشة الخصائص المحددة للمصادر المشعَّة التي تمثل مشكلة عند التخلص منها. كما يقدم استعراضاً للمشاكل التي صودفت والدروس المستفادة، ويناقش مفهوم التخلُّص داخل حُفَر السبر كخيار واعد محتمل.

ويصف القسم ١٣ دور تقييمات الأمان طوال عمر المرفق أو النشاط كلما كان على المصممين أو المُشيّدين أو جهات التصنيع أو المنظمة المشغِّلة أو الهيئة الرقابية اتخاذ قرارات بشأن خيارات التصرف وقضايا الأمان ذات الصلة. كما يمثل بإيجاز عملية وضع تقييمات الأمان.

ويلخص القسم ١٤ الإنجازات المتحققة في مجال التصرف في المصادر المشعَّة المهمَلة، مع التركيز على بعض الأنشطة المهمة في معالجة القضايا الإشكالية.

ويتناول المرفق المخاطر الإشعاعية المرتبطة بالمصادر المهمَلة، لا سيما عندما يكون التحكم غير كاف أو منعدماً تماماً. ونوقشت بإيجاز بعض الحوادث التي انطوت على مصادر مهمَلة.

٢- خصائص المصادر المشعَّة المختومة

المصدر الإشعاعي هو أي مصدر قادر على ابتعاث إشعاع مؤيّن. والمصادر المتناولة في هذا المنشور هي المصادر المشعَّة المختومة، والتي تحتوي على مواد مشعَّة كمصدر أساسي للإشعاع المؤيّن (المصادر الأخرى قد تكون الأشعة السينية أو المفاعلات النووية أو معجّلات الجسيمات). ووفقاً لمسرد مصطلحات الأمان الصادر عن الوكالة [١]، فإن المصدر المختوم هو "مادة مشعة ختمت بصفة دائمة في كبسولة أو ربطت بإحكام وفي شكل صلب". والكبسولة أو مادة المصدر المختوم متينة وقوية بما يكفي لمنع التسرب في ظروف الاستخدام والبلى على النحو الذي صُمِّم المصدر من أجله، وكذلك أيضاً في حالة الحوادث المتوقعة [١٠]. وفي كثير من الحالات، يُستخدَم التغليف المزدوج.

وتُستخدم المصادر المشعَّة في مجموعة واسعة من الممارسات في الصناعة والطب والزراعة والبحوث والتعليم، وكذلك في التطبيقات العسكرية والدفاعية. وتحتوي المصادر، المستخدمة في هذه التطبيقات، على مجموعة متنوعة من النويدات المشعَّة وأشكال وكميات من المواد المشعَّة وتتسم بمجموعة واسعة من الخصائص الفيزيائية والكيميائية والإشعاعية.

وعندما يصبح المصدر المختوم مهملاً، يتعين تحديد خيار مناسب للتصرف فيه. ولتحديد خيار التصرف، من المهم الحصول على جميع المعلومات الضرورية بشأن بارامترات المصدر. وتصف الأقسام التالية بإيجاز بارامترات وسمات المصادر المختومة الأكثر أهمية لتحديد خيار التصرف المناسب وتنفيذه.

وأهم البارامترات هي كما يلي:

- الشكل الفيزيائي: صلب في الغالب؛ أو سائل أو غازي (في حالات قليلة جداً).
- الخصائص الإشعاعية: نويدات مشعَّة، ونوع الإشعاع (ألفا، وبيتا، وغاما، ونيوتروني)، وعوامل النشاط، والعمر النصفي والطاقة وتحويل الجرعة.
- انبعاث النيوترونات (للمصادر النيوترونية).
- الخصائص الكيميائية: المركبات أو السبائك المستخدمة، والذوبان، وما إلى ذلك.
- الهيكل والتصميم (بما في ذلك أبعاد الحشوة النشطة والكبسولة).
- الحالة المادية: سليم أو تالف أو مسرّب.
- مزيد من الخصائص المتعلقة بالطريقة الخاصة لتطبيق المصدر (مقاومة التآكل، والخصائص الحرارية، والاستقرار، وما إلى ذلك).

ويعتبر العمر النصفي للنويدات المشعَّة للمصدر، بالإضافة إلى نشاطها، مهمين بشكل خاص لتحديد خيار التخلص من المصادر المهمَلة.

٢-١- الخصائص الإشعاعية والفيزيائية والكيميائية

٢-١-١- الأشكال الفيزيائية

يمكن تصنيف المواد المشعَّة في المصادر المشعَّة المختومة على النحو التالي، بناءً على خصائصها الفيزيائية:

- *صلبة: معظمها من المعدن والخزف وأحياناً مسحوق مضغوط ونادراً ما تكون أملاحاً قابلة للذوبان.*
- *غازات: بالأساس الكربتون-٨٥ والتريتيوم.*
- *سائلة: ليس* شائعاً.

وقد يؤدي المسحوق أو المواد القابلة للذوبان إلى تلوث إشعاعي في حالة وجود تسرب بالتغليف.

٢-١-٢- نوع الإشعاع

بشكل عام، يمكن للنويدات المشعَّة أن تصدر أنواعاً مختلفة من الإشعاعات في وقت واحد. وعادة ما يكون انبعاث الجسيمات، مثل إشعاعي ألفا وغاما، مصحوبا بانبعاثات غاما. وحتى في حالة باعثات بيتا النقية، يجب أخذ إشعاع الصدم[١] في الاعتبار.

وبالنسبة للنويدات المشعَّة التي تكون نواتج اضمحلالها مشعَّة أيضاً، يجب على المرء أيضاً مراعاة نفس خصائص ناتج الاضمحلال. وبالنسبة لهذا التقرير، فإن الشكل والبنية الكيميائية للمواد السائبة التي تشتمل على النويدات المشعَّة (مثل كلوريد السيزيوم في شكل ملح حبيبي) مهمان أيضاً.

٢-١-٣- الخصائص الفيزيائية والكيميائية للنويدات المشعَّة

ترد أدناه الخصائص الرئيسية لبعض النويدات المشعَّة المختارة في المصادر المختومة.

الراديوم

الراديوم-٢٢٦ جزء من سلسلة الاضمحلال الإشعاعي لليورانيوم-٢٣٨؛ ويتسم بعمر نصفي طويل للغاية (١ ٦٠٠ سنة) وهو باعث قوي لألفا مع مستوى منخفض من طاقة غاما. ويضمحل الراديوم-٢٢٦ عن طريق انبعاث ألفا إلى الرادون-٢٢٢، وهو غاز خامل يبلغ عمره النصفي ٣,٦ أيام. وقبل أن تنتهي سلسلة الاضمحلال الإشعاعي في النظير المستقر الرصاص-٢٠٦، تتولد ثمانية نواتج اضمحلال، أربعة منها بواعث ألفا. وينتج عن اضمحلال كل ذرة راديوم-٢٢٦ خمسة جسيمات ألفا. وأثناء الاضمحلال، تنبعث أيضاً العديد من فوتونات غاما وجزيئات بيتا العالية والمنخفضة الطاقة. وفي مصدر الراديوم، تكون النواتج الوليدة موجودة دائماً، إلى جانب مادة الراديوم-٢٢٦ الأصلية. ولذلك، يحتوي على ثابت غاما مرتفع نوعاً ما [١١].

وتمثل المصادر الطبية القديمة للراديوم مشكلة في التصرف فيها لأنها غالباً ما تتسرب بسبب الضغط الزائد الداخلي الناتج عن اضمحلال الراديوم-٢٢٦ الذي يشكل الرادون وغاز الهليوم. وتحول الأحجام الصغيرة للمصادر دون وضع العلامات عليها وهذا يعطي المصادر المشعَّة المختومة مظهراً خادعاً غير ضار لقطعة معدنية صغيرة ناعمة. وتزيد القيمة الظاهرية العالية لهذه المصادر الصغيرة، غالباً في كبسولة بلاتينية، من خطر السرقة.

والراديوم معدن قلوي أرضي. وهو شديد التفاعل ويتفاعل مع النتروجين. وفي المصادر المشعَّة، يستخدم الراديوم دائماً في شكل أملاح، والتي قد تكون بروميدات أو كلوريدات أو كبريتات أو كربونات. وجميعها قابلة للذوبان في الماء بكميات يمكن أن تؤدي إلى مشاكل إشعاعية. ويتصرف الراديوم في الجسم مثل الكالسيوم، مما يعني أنه يتركز في العظام. ولجميع هذه الأسباب، لم يعد يُنظر إلى الراديوم على أنه النويدات المشعَّة المثالية للاستخدام في المصادر المختومة.

الكوبالت

الكوبالت عنصر فلزي له نظير ثابت واحد فقط: الكوبالت-٥٩. وعندما توضع قريصة وقود الكوبالت الطبيعية في مفاعل نووي، تمتص النوى النيوترونات الحرارية لتكوين الكوبالت-٦٠، وهي نويدات مشعَّة يبلغ عمرها النصفي ٥,٢٧ سنة. ويخضع الكوبالت-٦٠ لاضمحلال بيتا (ينبعث منه إلكترون ونيوترينو) وينبعث منه شعاعان من أشعة غاما في كل اضمحلال: مرة عند ١,١٧٣ مليون إلكترون فولط والأخرى عند ١,٣٣٣ مليون إلكترون فولط، ويضمحل أخيراً إلى النظير المستقر النيكل-٦٠. وتَنتُج مصادر الكوبالت-٦٠ كمصادر نشاط نوعي عال للمعالجة البُعادية والتصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية وكمصادر صناعية لأجهزة التشعيع والتطبيقات الأخرى. ومصادر النشاط النوعي العالي عبارة عن أقراص صغيرة (أسطوانات بقُطر وارتفاع ١ مم) تُنتَج في مفاعلات نووية متخصصة عالية الفيض.

وفي المصادر المشعَّة المختومة، يستخدم الكوبالت المعدني بشكل شائع لأنه ينتج عنه أعلى نشاط نوعي للمصدر. وعادة، يكون الكوبالت-٦٠ على شكل أقراص رقيقة أو أقراص أسطوانية صغيرة أو قريصة وقود ملحومة في كبسولات الفولاذ غير القابل للصدأ.

---

[١] **إشعاع الصدم:** الإشعاع المنبعث من تباطؤ الجسيمات المشحونة بالضوء، مثل الأشعة السينية التي تنتج عندما تتوقف إلكترونات من معجِّل في هدف معدني.

والكوبالت المعدني غير قابل للذوبان في الماء ومستقر في الهواء، ولكن تتشكل طبقة رقيقة من الأكسيد على سطحه وهذا يمكن أن يسبب التلوث، إذا جرى التعامل مع الكوبالت غير المحمي. ولهذا السبب، فإن الكوبالت المستخدم في المصادر المشعَّة مطلي بالنيكل قبل التنشيط [٢٠].

السيزيوم

يَنتُج السيزيوم-١٣٧ عن طريق انشطار نوى اليورانيوم ثم فصل السيزيوم كيميائياً عن الوقود أو الهدف النووي المشعع. ومعظم المرافق التي تعالج (تعيد معالجة) الوقود النووي المستهلك كيميائياً لاستعادة اليورانيوم والبلوتونيوم تترك السيزيوم في مجرى النفايات. ويتكون السيزيوم في الواقع من أربعة نظائر: السيزيوم-١٣٣ (مستقر)، السيزيوم-١٣٤ (العمر النصفي: سنتان)، السيزيوم-١٣٥ (العمر النصفي: ٢,٣ مليون سنة)، والسيزيوم-١٣٧ (العمر النصفي: ٣٠ سنة). ويُنظر إلى السيزيوم-١٣٧ عموماً على أنه باعث لجسيمات غاما ذات الطاقة المتوسطة، على الرغم من أن فوتونات غاما للطاقة البالغة ٦٦٢ كيلو إلكترون فولط ينتجها الباريوم-١٣٥م تتكون من السيزيوم-١٣٧ عن طريق اضمحلال بيتا.

والسيزيوم عنصر فلز قلوي شديد التفاعل مثل البوتاسيوم والصوديوم. ونظراً لفعاليته العالية، لا يمكن استخدامه إلا كمركب كيميائي في المصادر المشعَّة المختومة. وعادة، يجري توفير السيزيوم-١٣٧ على شكل كلوريد السيزيوم، وهو ملح بلوري (مرتبط كيميائياً وتركيبياً بملح المائدة، كلوريد الصوديوم) الذي يمكن تصنيعه في مجموعة من أحجام الجسيمات، من كتل بمقياس السنتيمتر إلى مسحوق، كما هو مستخدم في تصنيع مصادر كلوريد السيزيوم المشعَّة. وبعد ضغطه على البارد لتشكيل قرص وقود داخل وعاء من الفولاذ غير القابل للصدأ على شكل كشتبان، يُحمَّل الوعاء في كبسولة واقية من الفولاذ غير القابل للصدأ ملحومة لتشكيل الاحتواء الداخلي، ويُلحم الغلاف الثاني من الفولاذ غير القابل للصدأ فوق الغلاف الأول لتشكيل مصدر كلوريد السيزيوم المشع المختوم الفعلي. وتُنتَج مصادر كلوريد السيزيوم المشعَّة عند حوالي ٢٠٠ درجة مئوية لأن كلوريد السيزيوم مادة استرطابية.

وكلوريد السيزيوم قابل للذوبان في الماء في درجة حرارة الغرفة، وبالتالي، إذا أزيل عن قصد أو عرضاً من حاويته، فيمكن أن يتشتت بسهولة. وإذا حدث تسرب في حاوية الفولاذ غير القابل للصدأ، فقد يذوب في الماء ويلوث البيئة المجاورة. وهو شديد التفاعل في البيئة؛ يرتبط بالأسطح بل وينتقل إلى الخرسانة. وإذا دخل إلى الجسم، فإنه يتشتت أينما يذهب الماء ويعطي جرعة للجسم بأكمله.

وتتمثل إحدى طرق تقليل المشاكل التي تطرحها القابلية العالية لذوبان كلوريد السيزيوم في الماء في استخدام مركب آخر يحتوي على السيزيوم-١٣٧ كبديل مباشر لمسحوق كلوريد السيزيوم. وتتضمن العملية المناسبة التبخير ووضع طبقة من المينا في أكواب ألومينا ملبدة، أو في أقرص وقود "بوليوسيت" ملبدة (السيزيوم سيليكا-ألومينات: أكسيد السيزيوم، وأكسيد الألومنيوم، و٤ ثنائي أكسيد السليكون ($Cs_20\ Al_20_3\ 4SiO_2$) أو في أقراص وقضبان خزفية. وتجعل هذه الأشكال النويدة المشعَّة غير قابلة للذوبان في الماء تقريباً، ولكن في هذه الحالة ينتج عن انخفاض كبير في النشاط النوعي.

والنهج البديل لتقليل القابلية للذوبان والتشتت هو جعل الأسمنت يدمج السيزيوم-١٣٧ عن طريق إضافة معجون الأسمنت والمواد المالئة. ويتميز هذا النهج بمعالجة درجات الحرارة المنخفضة وبانخفاض، عند التوفيق في اختيار مرحلة الأسمنت، الذوبان في الماء. ومع ذلك، فإن التخفيف المرتبط بصنع الأسمنت يحد من النشاط النوعي الذي يمكن تحقيقه. كما يظل هذا الناتج صلباً هشاً يمكن أن يتحلل بسبب تأثيرات الإشعاعات، لذلك لا يقلل من تشتت السيزيوم المحتمل في الانفجار. ويتميز النهج الأسمنتي بمزايا تجميد النفايات المحتوية على السيزيوم-١٣٧ على نطاق واسع.

السترونشيوم

السترونشيوم هو معدن تفاعلي يوجد عادة في شكل كلوريد أو نترات أو أكسيد أو تيتانات في المصادر. ويحتوي على أربعة نظائر مستقرة، السترونشيوم-٨٤، والسترونشيوم-٨٦، والسترونشيوم-٨٧، والسترونشيوم-٨٨، والنظير الأخير هو الأكثر وفرة بشكل طبيعي (٨٢,٦٪). والنويدات المشعَّة للسترونشيوم-٩٠ عبارة عن ناتج انشطاري ينتج في ٥,٨٪ من الانشطارات الحرارية في اليورانيوم-٢٣٥ و٢٪ من الانشطارات الحرارية في البلوتونيوم-٢٣٩. ويضمحل السترونشيوم-٩٠ من خلال اضمحلال بيتا (٠,٥٤٦ مليون إلكترون فولط) ويبلغ عمره النصفي ٢٨,٧٨ عاماً إلى ٩٠ عاماً، ويضمحل بحد ذاته بسبب اضمحلال بيتا العالي الطاقة نسبياً (٢,٢٨ مليون إلكترون فولط) ويبلغ عمره النصفي ٢,٦٧ يوماً.

وعادةً ما يُستخَدم السترونشيوم-٩٠ كمادة تيتانات في شكل خزفي. وبالنسبة لبعض التطبيقات الطبية، يوضع مركب السترونشيوم في لوح فضي ويُفحص بفضة مغلفة بالبلاديوم ٠,١ مم. وبالنسبة للتطبيقات الأخرى، يمكن دمج مركب السترونشيوم في قطعة خزف أو حبة زجاج أو رقائق الفضة المدرفلة.

ويتولد السترونشيوم-٩٠ في مفاعلات إنتاج القوى النووية أو النظائر. ولا تنبعث من السترونشيوم-٩٠ أشعة غاما المخترِقة، لذلك عندما يكون مادة ملوثة، فإن الأمر يتعلق فقط بالتعرض الخارجي إذا ترسب على الجلد. وتتمثل المخاوف الرئيسية في التعرض الداخلي بسبب انبعاثات بيتا العالية الطاقة ولأن السترونشيوم موجود في نفس المجموعة الكيميائية مثل الكالسيوم، لذلك يركز جسم الإنسان السترونشيوم المبتلع في العظام حيث يستقر بشكل دائم بدلاً من التخلص منه من خلال الوظائف الجسدية العامة. ومع ذلك، فإن مصادر السترونشيوم-٩٠ العالية النشاط تنتج إشعاعاً هاماً من إشعاع الصدم من خلال توقف الإلكترونات العالية الطاقة المنبعثة من الاضمحلال النووي. ويمكن أن يتسبب إشعاع الصدم هذا في آثار صحية حتمية في حالة وجود مصدر نشاط عالي جداً (وقع مثل هذا الحادث في المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة في جورجيا في عام ٢٠٠٢).

الإيريديوم

الإيريديوم، أحد أكثر معدنين كثافة (٢٢,٤٢ غم/سم^{٣}، مثل الأزميوم)، صلب جداً وهش، ويصعب تصنيعه آلياً. كما أنه مقاوم جداً للتفاعل الكيميائي وله درجة انصهار عالية (أكثر من ٤٠٠ ٢ درجة مئوية) [٢٠]. والإيريديوم الطبيعي، الذي يوجد مخلوطاً مع البلاتين وخامات النيكل، ٣٧٪ منه الإيريديوم-١٩١ و٦٣٪ منه الإيريديوم-١٩٣. وتُستخدم المصادر الإشعاعية للإيريديوم-١٩٢ في التصوير الإشعاعي بأشعة غاما (على سبيل المثال الفحص غير المتلِف للأنابيب) وفي التشعيع الداخلي.

وتُصنَّع المصادر الإشعاعية للإيريديوم-١٩٢ عن طريق تشعيع الإيريديوم الطبيعي في مفاعل نووي. ويمكن للإيريديوم-١٩١ أسر نيوترون لتكوين الإيريديوم-١٩٢ الذي يبلغ عمره النصفي ٧٣,٨٣ يوماً ويبلغ احتمال اضمحلاله ٩٥٪ عن طريق اضمحلال بيتا إلى البلاتين-١٩٢ وانبعاث أشعة غاما ويبلغ احتمال اضمحلاله ٥٪ عن طريق أسر الإلكترون لتشكيل الأزميوم-١٩٢. وفي أثناء الاضمحلال إلى البلاتين-١٩٢، تنبعث، في المتوسط، أشعة غاما ٢,٣٣ بطاقات تتراوح من ١٣٥ كيلو إلكترون فولط إلى ١,٣٧٨ مليون إلكترون فولط، بمتوسط طاقة ٣٨٠ كيلو إلكترون فولط.

وعادة ما تكون مصادر الإيريديوم في شكل أسلاك أو أكوام من أقراص معدنية رقيقة بدلاً من أقراص وقود المواد السائبة أو قريصة وقود أو مساحيق. وعادةً ما يمكن إعادة شحن مصادر الإيريديوم-١٩٢ المستخدمة إلى جهة التصنيع والموزع أو خزنها للاضمحلال بسبب قصَر عمرها النصفي نسبياً. ولذلك، على الرغم من أن التخلص من الإيريديوم-١٩٢ لا يمثل مشكلة، إلا أن عمره النصفي القصير يجبر المستخدمين على استبدال المصادر بشكل متكرر، مما يعني أن العديد من المصادر قيد النقل والخزن في أي وقت.

الأميريشيوم

الأميريشيوم هو عنصر أكتيني أو عنصر من عناصر ما وراء اليورانيوم دون نظائر مستقرة. ومثل الأكتينيات الأخرى، يتأكسد الأميريشيوم بسهولة إلى حد ما. وينتج الأميريشيوم عن طريق عمليات أسر متتالية للنيوترونات في اليورانيوم-٢٣٨، ونواتج تنشيطه ونواتج اضمحلاله، لإنتاج البلوتونيوم-٢٤١، والذي يضمحل إلى الأميريشيوم-٢٤١ الذي يبلغ عمره النصفي ١٤,٤ عاماً. ويُستَرد الأميريشيوم من مخزونات البلوتونيوم المتقادم الذي يتراكم فيها من خلال الاضمحلال الإشعاعي. ويضمحل الأميريشيوم-٢٤١ بعمر نصفي يبلغ ٤٣٢,٧ عام عن طريق ابتعاث جسيم ألفا. ويبلغ متوسط طاقة جسيم ألفا ٥,٤٦٥ مليون إلكترون فولط ويصاحبه ١٣,٩ كيلو إلكترون فولط من الأشعة السينية في ٤٣٪ من عمليات الاضمحلال و٥٩,٥ كيلو إلكترون فولط من الأشعة السينية في ٣٦٪ من عمليات الاضمحلال، ولا توجد أشعة سينية في عمليات الاضمحلال الأخرى. وناتج الاضمحلال، النبتونيوم-٢٣٧، مشع أيضاً، ويبلغ عمره النصفي مليوني عام. ويستخدم الأميريشيوم-٢٤١ كمصدر ألفا ومع البريليوم كمصدر نيوتروني (يُسمى مصدر الأميريشيوم-البريليوم). وفي مصدر الأميريشيوم-البريليوم، تُمتص بعض جسيمات ألفا الناتجة عن اضمحلال الأميريشيوم في البريليوم، والذي يصدر بعد ذلك نيوتروناً بطاقة تتراوح من ٠ إلى حوالي ١١ مليون إلكترون فولط، بمتوسط طاقة يبلغ حوالي ٦ مليون إلكترون فولط. وينتِج الأميريشيوم-البريليوم حوالي ١ نيوترون لكل ٢٠ ٠٠٠ عملية من عمليات اضمحلال ألفا.

ويبلغ "العمر التشغيلي الموصى به" لمصدر الأميريشيوم-البريليوم ١٥ عاماً، وبعد ذلك توصي جهات تصنيع المصدر بإعادة اعتماد المصادر (إذا كانت في حالة جيدة)، وإعادة تغليفها (في حالة تلف الكبسولة قليلاً، ولكن التصميم لا يزال قيد الاستخدام)، أو إعادة

تدويرها (إذا لم يعد التصميم قيد الاستخدام أو كان الضرر الذي لحق بالكبسولة شديداً، فيمكن إزالة الأميريشيوم-البريليوم الخام وتصنيعه في مصدر جديد).

وللأميريشيوم خصائص كيميائية مشابهة لعناصر الأتربة النادرة. وعادة، يستخدم الأميريشيوم-٢٤١ في شكل أكسيد في مصادر مختومة. وبالنسبة للمصادر النيوترونية، يُخلَط مسحوق الأكسيد الناعم بمسحوق البريليوم ويجري تلبيده إلى ناتج شبيه بالخزف، وهو مستقر في الهواء ولا يذوب فيه الأميريشيوم بسهولة في الماء. وعند استخدامه كمصدر غامي منخفض الطاقة، تحتوي الكبسولة المصنوعة من الفولاذ غير القابل للصدأ على نافذة رفيعة للسماح بانبعاث فوتونات غاما دون توهين لا داعي له [٢٠].

وبالنسبة لكاشفات الدخان والحماية من الصواعق، يمكن تقديمه مختوماً في غلاف واحد (رقائق معدنية) أو ترسيبه على دعامة خزفية ومزجَّجة.

الكاليفورنيوم

الكاليفورنيوم هو عنصر أكتيني دون نظائر مستقرة. ويُنتَج عن طريق عمليات أسر نيوترونية متتالية في أهداف أكتينية. ويبلغ العمر النصفي للكاليفورنيوم-٢٥٢ ٢,٦٤٥ عاماً ويضمحل عن طريق الانشطار التلقائي في ٣,١٪ من الوقت وعن طريق اضمحلال ألفا في النسبة المتبقية التي تبلغ ٩٦,٩٪. وتصدِر عمليات الانشطار نيوترونات، وبالتالي فإن الكاليفورنيوم-٢٥٢ مصدر نيوتروني شديد الكثافة (٢,٣ × ١٠^{١٢} نيوترون في الثانية لكل غرام). ونظراً لأن نواة اليورانيوم-٢٣٨ يجب أن تمتص ١٤ نيوتروناً دون الخضوع لتفاعلات أخرى مما يقلل من عدد النكلونات لإنتاج نواة الكاليفورنيوم-٢٥٢، يُنتَج الكاليفورنيوم بكميات صغيرة جداً.

السلنيوم

السلنيوم هو عنصر متطاير ومتفاعل ومسبب للتآكل يشبه الكبريت كيميائياً ويشكل مركبات شديدة السمية. وله كثافة معتدلة (٤,٣ غم/سم^{٣} إلى ٤,٨ غم/سم^{٣}) ويذوب عند ٢١٧ درجة مئوية. ويحتوي السلنيوم على العديد من النظائر الطبيعية: السلنيوم-٧٤ (٠,٨٩٪)، والسلنيوم-٧٦ (٩,٣٦٪)، والسلنيوم-٧٧ (٧,٦٣٪)، والسلنيوم-٧٨ (٢٣,٧٨٪)، والسلنيوم-٨٠ (٤٩,٦١٪)، والسلنيوم-٨٢ (٨,٧٣٪). ويضمحل السلنيوم-٧٥، عن طريق أسر الإلكترونات ويبلغ عمره النصفي ١١٩,٨ يوماً، إلى الزرنيخ-٧٥ المستقر، وينبعث منه في المتوسط ١,٧٥ شعاع من أشعة غاما بمتوسط طاقة قدره ٢١٥ كيلو إلكترون فولط لكل منهما، وطاقة ذروية قدرها ٨٠٠ كيلو إلكترون فولط. ويُستخدَم في كاميرات التصوير الإشعاعي للهياكل الرقيقة الجدران. ويتحصل على السلنيوم-٧٥ بتشعيع النظير الطبيعي السلنيوم-٧٤ في مفاعل نووي. ويتأكسد ثاني أكسيد السلنيوم بسهولة لذا هو قابل للذوبان في الماء بدرجة عالية. والسمية الكيميائية للسلنيوم عالية للغاية. ومستوى سميته الإشعاعية متوسطة.

ويضغط مسحوق السلنيوم-٧٥ المشع في شكل أقراص وقود ويوضع في كبسولة داخلية ملحومة من التيتانيوم (أو سبائك التيتانيوم). وتوضع كبسولة التيتانيوم في كبسولة خارجية ملحومة من الفولاذ غير القابل للصدأ.

اليود

ينتج اليود-١٢٥ عادة نتيجة تشعيع ألفا للأنتيمون وفقاً للتفاعل: الكِبريت-١٢٣ (ألفا، ٢ نيوترون) اليود-١٢٥. وله عمر نصفي قصير يبلغ ٦٠ يوماً. ويضمحل عن طريق أسر الإلكترونات مما يؤدي إلى انبعاث أشعة سينية منخفضة الطاقة تبلغ ٢٧ و٣٥ كيلو إلكترون فولط.

وعادةً ما تتكون مصادر اليود المستخدمة في التشعيع الداخلي من اليود-١٢٥ ممتصاً على قضيب فضي أو حبة راتينج التبادل الأيوني، ملحومة في كبسولة رقيقة من التيتانيوم. وعند استخدامها للأغراض الصناعية، عادة ما تتخذ المصادر شكل حبة راتينج نشطة محاطة بكبسولة من الفولاذ غير القابل للصدأ مع نافذة رقيقة من التيتانيوم.

ونظراً لأن المصدر يتكون من مادة نشطة ممتصة على ركيزة، فقد يتطاير بعض اليود المشع في حالة تلف الكبسولة.

البلوتونيوم

البلوتونيوم هو عنصر أكتيني أو عنصر من عناصر ما وراء اليورانيوم دون نظائر مستقرة. وهو معدن أبيض فضي تفاعلي يتحول إلى لون باهت وأغمق عندما يتأكسد، وهو ما يفعله بسهولة. ولديه قابلية منخفضة للذوبان في الماء النقي، إلا أن الماء المالح وأحماض الهاليد تهاجمه بقوة. وينتج البلوتونيوم-٢٣٨ عن طريق امتصاص النيوترونات الموجودة في النبتونيوم-٢٣٧، والذي ينتج عن طريق تشعيع اليورانيوم في مفاعل متبوعاً بفصل كيميائي. ويبلغ العمر النصفي للبلوتونيوم-٢٣٨ ٨٧,٧ عاماً، ويضمحل بفعل اضمحلال ألفا بمتوسط طاقة يبلغ ٥,٤٨٦ مليون إلكترون فولط. وناتج الاضمحلال، اليورانيوم-٢٣٤، هو نويدة مشعَّة موجودة في البيئة الطبيعية. والحرارة الناتجة عن الاضمحلال في البلوتونيوم-٢٣٨ النقي نسبياً تشبه توهج كرة صلبة من المادة بحجم كرة الغولف باللون الأحمر من الإشعاع الحراري إذا لم تُبرَّد بشكل فعال.

ويلخص الجدول ١ [١٩] الخصائص الإشعاعية الرئيسية للنويدات المشعَّة المحددة التي تصدر شعاع ألفا/بيتا/غاما.

الجدول ١- خصائص مركبات ألفا/بيتا/غاما المختارة التي تصدر نويدات مشعَّة غالباً ما تستخدم في المصادر المشعَّة المختومة [١٩]

الخصائص	الكوبالت-٦٠	السيزيوم-١٣٧	الإيريديوم-١٩٢	الراديوم-٢٢٦	الأميريشيوم-٢٤١	السترونشيوم-٩٠ (اليتريوم-٩٠)	السلنيوم-٧٥	اليود-١٢٥
العمر النصفي	٥,٢٧ أعوام	٣٠ عاماً	٧٤ يوماً	١ ٦٠٠ عام	٤٣٣ عاماً	٢٩ عاماً	١٢٠ يوماً	٦٠ يوماً
طاقة ألفا (مليون إلكترون فولط)	—	—	—	٧,٧	٥,٨٦	—	—	—
طاقة بيتا القصوى (مليون إلكترون فولط)	٠,٣١	١,٢	٠,٦٧	٢,٨	—	٠,٥٥ (٢,٣)	—	—
طاقة غاما (مليون إلكترون فولط)	١,١٧ ١,٣٣	٠,٦٦	٠,٣٢ ٠,٤٧	ما يصل إلى ٢,٤	٠,٠٦	—	مستوى متوسط	٠,٠٣
ثابت غاما (ميكروسيفرت/ساعة × غيغابكريل عند ١ م)	٣٦٠	٨٦	١٤٠	٢٢٠	٤	٣,٥ (إشعاع الصدم)	٣٩	٣٩

المصادر النيوترونية

تحتوي المصادر النيوترونية في الغالب على النويدات المشعَّة الباعثة لألفا (الأميريشيوم-٢٤١، والبلوتونيوم-٢٣٨، والبلوتونيوم-٢٣٩ والراديوم-٢٢٦) للحث على تفاعلات (ألفا، نيوترون) مع العناصر الخفيفة، مثل البريليوم أو البورون أو الليثيوم أو الفلور. وسوف تمتص نواة البريليوم أو البورون جسيم ألفا وتصدر نيوتروناً بطاقة تتراوح من صفر إلى حوالي ١١ مليون إلكترون فولط، بمتوسط طاقة يبلغ حوالي ٤ ملايين إلكترون فولط. والمصادر النيوترونية المشعَّة الأكثر شيوعاً هي مصادر الأميريشيوم-البريليوم، على الرغم من استخدام بعض مصادر البلوتونيوم والبريليوم في الماضي. وتتشكل مصادر الأميريشيوم-البريليوم، مثل تلك المستخدمة في تسجيل بيانات آبار النفط، عادةً عن طريق الضغط البارد لخليط من أكسيد الأميريشيوم ومساحيق البريليوم لتشكيل قرص وقود يتم بعد ذلك إما ربطه من خلال الانتشار إلى شريط معدني (للمصادر الصغيرة) أو ختمه في حاوية ملحومة من الفولاذ غير القابل للصدأ.

وثبت أن مصدر الانشطار التلقائي باستخدام الكاليفورنيوم-٢٥٢ يعتبر بديلاً لمصادر الأميريشيوم-البريليوم. ويستخدم البلوتونيوم-٢٣٨ للحث على انبعاث النيوترونات السريعة، بينما يستخدم الأميريشيوم-٢٤١ على نطاق واسع في تطبيقات أخرى. ويستخدم الراديوم-٢٢٦ أيضاً في المصادر النيوترونية؛ ومع ذلك، فإنه يمثل مشاكل بسبب شعاع غاما المصاحب.

وتُعرَض الخصائص الإشعاعية لأهم المصادر النيوترونية في الجدول ٢ [١٧].

الجدول ٢ - أهم المصادر النيوترونية [١٧]

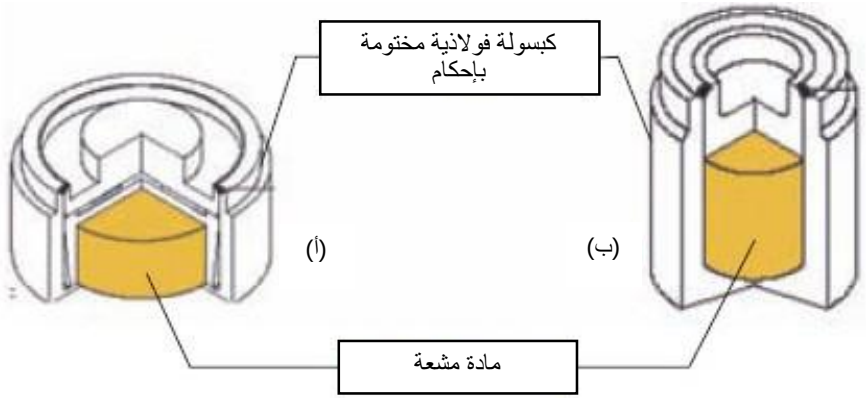
المصدر	التفاعل النووي	العمر النصفي	حصيلة النيوترونات /١(تيرابكريل.ثانية)	متوسط الطاقة (مليون إلكترون فولط)
الراديوم-٢٢٦ – البريليوم	البريليوم-٩ (ألفا، نيوترون) الكربون-١٢	١ ٦٠٢ يوم	$٤,٦ \times ١٠^{٨}$	٥
البلوتونيوم-٢٣٩ – البريليوم	البريليوم-٩ (ألفا، نيوترون) الكربون-١٢	$٢,٤٤ \times ١٠^{٤}$ أيام	$٤,٨ \times ١٠^{٧}$	٤
الأميريشيوم-٢٤١ – البريليوم	البريليوم-٩ (ألفا، نيوترون) الكربون-١٢	٤٥٨ يوماً	$٥,٧ \times ١٠^{٧}$	٤
الكاليفورنيوم-٢٥٢	الانشطار التلقائي	٢,٦٤ يوم	$١,٢ \times ١٠^{١١}$	١

٢-٢- الهيكل والتصميم

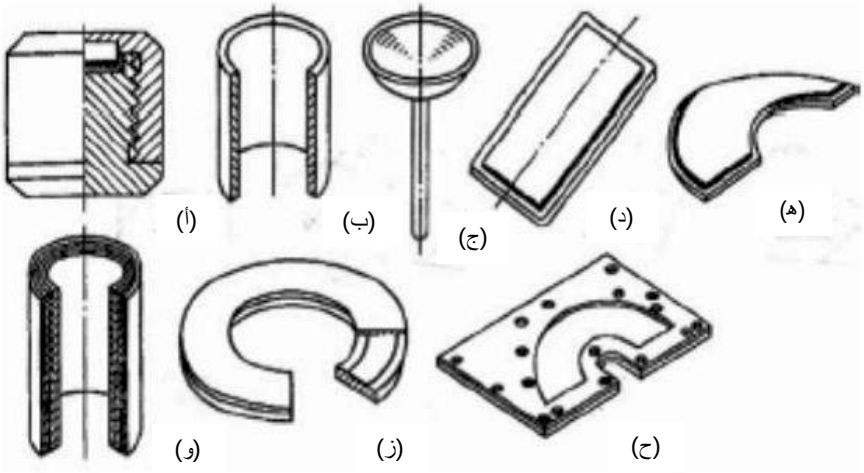
اعتماداً على التطبيقات ومحتوى النشاط، يمكن العثور على المصادر المشعَّة المختومة في مجموعة متنوعة من الأشكال والأنماط والأبعاد. والبارامترات الهندسية مهمة في اختيار الطرق المناسبة لتكييف المصادر المهمَلة ونقلها وخزنها والتخلص منها.

٢-٢-١- مصادر غاما

قد يكون للجزء النشط من المصدر المشع أشكال مختلفة. وبالنسبة لشعاع بيتا-غاما، قد تكون الأجزاء النشطة في شكل أسطوانات وأقراص وحبيبات وألواح وأسلاك. وعادة ما تكون المادة المشعَّة في مصادر غاما في صورة صلبة منخفضة الذوبان. والاستثناء الوحيد هو كلوريد السيزيوم-١٣٧ في المصادر العالية النشاط، وهو قابل للذوبان بسهولة. وبشكل عام، يُستخدم الفولاذ غير القابل للصدأ، أو بدرجة أقل، الألومنيوم والتيتانيوم، لتغليف مصادر غاما. ويمكن أن يتكون الغلاف الواقي للمصدر المشع المختوم من كبسولة واحدة أو عدة كبسولات (انظر الشكل ١). وتُغلَّف معظم مصادر الطاقة العالية بشكل مضاعف؛ وتُغلَّف مصادر الطاقة المنخفضة في كبسولة معدنية قوية مع نافذة رقيقة. وفي مصادر غاما المنخفضة الطاقة، تُثبَّت المادة المشعَّة كطبقة رقيقة على سطح اللوح (انظر الشكل ٢).



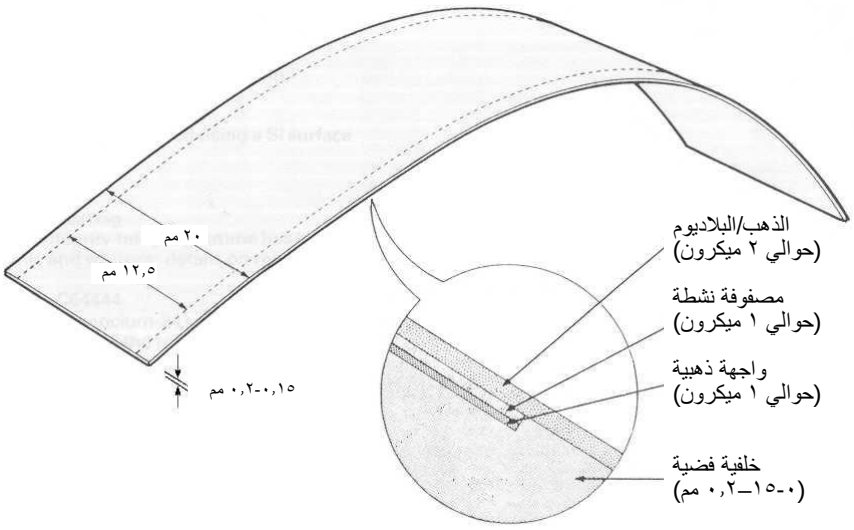
الشكل ١- أمثلة على المصادر المغلفة بصورة مضاعفة والمغلفة بغلاف واحد: (أ) مصدر نموذجي لقرص الأميريشيوم-٢٤١، و(ب) مصدر أسطواني نموذجي للسيزيوم-١٣٧.



الشكل ٢- المصادر المشعَّة السطحية: (أ) مصادر بيتا مع السترونشيوم-٩٠ + اليتريوم-٩٠، والسيريوم-١٤٤ + البراسوديميوم-١٤٤، والروثِنيوم-١٠٦ + الروديوم-١٠٦؛ (ب) مصدر ألفا مع البلوتونيوم؛ (ج) مصدر بيتا مع السترونشيوم-٩٠ + اليتريوم-٩٠؛ (د) مصدر ألفا مع البلوتونيوم؛ (هـ) مصدر بيتا مع البروميثيوم-١٤٧؛ (و) مصدر بيتا مع السترونشيوم-٩٠ + اليتريوم-٩٠؛ (ز) مصدر أشعة سينية مع الحديد-٥٥؛ (ح) مصادر بيتا مع السترونشيوم-٩٠ + اليتريوم-٩٠، والسيريوم-١٤٤ + البراسوديميوم-١٤٤.

٢-٢-٢- مصادر ألفا

كقاعدة، تشتمل مصادر ألفا على دعامة خزفية أو معدنية تحتوي على النويدات المشعَّة، مثل البلوتونيوم-٢٣٨، أو البلوتونيوم-٢٣٩، أو الأميريشيوم-٢٤١، أو البولونيوم-٢١٠، أو النبتونيوم-٢٣٧، أو الراديوم-٢٢٦. ويمكن أن تختلف أبعاد هذه المصادر بشكل كبير. ويرد في الشكل ٣ مصدر نموذجي من نوع رقائق الأميريشيوم-٢٤١ المشع.



الشكل ٣- مصدر مشع نموذجي ينبعث منه ألفا مع الأميريشيوم-٢٤١ في شريط.

وتحتوي بعض مصادر ألفا المختومة على مادة مشعَّة في شكل مسحوق أو سائل داخل قوارير زجاجية أو بلاستيكية وأمبولات. وتتطلب هذه المصادر احتياطات خاصة في أثناء التعامل والنقل والتكييف والخزن. وخُتِمت مصادر سائل الراديوم المبكرة في قوارير زجاجية (الشكل ٤)، ولكن تم التخلي عن هذه الممارسة منذ سنوات عديدة. ومع ذلك، لا تزال هذه المصادر موجودة.

الشكل ٤- مصادر سوائل الراديوم-٢٢٦ في قوارير زجاجية.

٢-٢-٣- مصادر بيتا

يشتمل تصميم مصادر بيتا على كبسولة معدنية قوية ذات نافذة رفيعة أو سطح من ركيزة غير نشطة حيث تترسب عليها المادة النشطة، وغالباً ما تكون مغطاة بطبقة رقيقة جداً وغير نشطة.

وتُحضَّر مصادر النيكل-٦٣ على ركيزة من الأنابيب المعدنية أو الأسلاك، مع طبقة مترسبة كهروكيميائياً من المواد المشعَّة. ولا يتجاوز طول هذه المصادر عادة ٤٠ مم.

وتتكون مصادر الكربون-١٤ من أفلام بوليمرية (البولي ميثيل ميثاكريلات) ملتصقة بفيلم من الألومنيوم. وعادة لا يتجاوز طول هذه الأفلام ٧٠ مم وسمكها ١ مم.

وعادة ما تكون مصادر السترونشيوم-٩٠ مصنوعة من مصفوفة خزفية مغلفة بالفولاذ. ولكن مطابيق عين السترونشيوم-٩٠ تعتمد على تكنولوجيا رقائق الفضة.

وبالنسبة لمصادر غاز الكربتون-٨٥، فالمحتوى المشع هو غاز خامل نادر.

٢-٢-٤- المصادر النيوترونية

تحتوي جميع المصادر النيوترونية تقريباً على النويدات المشعَّة الباعثة لألفا الممزوجة بالبريليوم أو أي مسحوق معدني خفيف آخر يُضغط ويغلَّف بشكل مضاعف بالفولاذ غير القابل للصدأ. ويمكن أن يختلف طول المصادر من ٣ إلى ٤٠ مم.

٢-٣- الأبعاد

ترد في الجدول ٣ [٢١] بعض الأمثلة على أبعاد المصادر المشعَّة المختومة.

الجدول ٣- الأبعاد النموذجية لبعض المصادر المختومة [٢١]

المصادر المختومة	الفئة	الأبعاد
مصدر معالجة بُعادية يعمل بالكوبالت-٦٠	١	أسطوانة قُطرها ٢٠ مم × طول ٣٠ مم
مصدر تعقيم بأشعة غاما من الكوبالت-٦٠	١	١١ مم قُطر × طول ٤٥٠ مم
مصدر مولد كهربائي حراري يعمل بالنظائر المشعَّة للسترُنشيوم-٩٠	١	يصل قُطره إلى ١٠٠ مم × طول ٢٠٠ مم
مصادر التصوير الإشعاعي بأشعة غاما للأغراض الصناعية	٢	يصل قُطرها إلى ٧ مم × طول ١٥ مم؛ وطرف كابل مرن يصل طوله إلى ٢٠٠ مم
مصادر التشعيع الداخلي بالتحميل التالي عن بُعد بمعدل جرعات عالية	٢	*المصادر الحديثة*: يصل قُطرها إلى ٣ مم × طول ١٥ مم؛ وطرف كابل مرن يصل طوله إلى ٣٠٠ مم *المصادر القديمة*: كروية: يصل قُطرها تقريباً ٣ مم؛ النشاط: السيزيوم-١٣٧
مصادر القياس الصناعي لأشعة غاما العالية الطاقة	٣ أو ٤	كبسولات أسطوانية نموذجية: ٣-١٢ مم قُطر × ٥-١٥ مم طول
مصادر القياس الصناعي النيوترونية	٣ أو ٤	٣ أو ٤-٦ مم قُطر × ١٢ مم طول أو ٨-٢٠ مم × ١٢-٣٠ مم طول
مصادر غاما والمصادر النيوترونية المستخدمة في تسجيل بيانات آبار النفط	٢ أو ٣	*مصادر غاما*: ٨-٢٠ مم قُطر × ١٥-٤٠ مم طول *المصادر النيوترونية:* ١٥-٢٥ مم قُطر × ٢٥-٦٠ مم طول
مصادر القياس الصناعي الثابتة المنخفضة الطاقة	٤	١٠-٥٠ مم قُطر × ٧-١٥ مم ارتفاع
مصادر البذور المشعَّة للتشعيع الداخلي بمعدل جرعات منخفضة والزراعة الدائمة	٥	قُطر أقل من ١ مم × طول أقل من ٥ مم
لويحات تشعيع العين	٥	قطر أقل من ١ مم × طول أقل من ٥ مم
مصادر تحليل غاما المنخفضة الطاقة	٥	٣-١٥ مم قُطر × ٧-١٠ مم ارتفاع
المعايرة والمصادر المرجعية	٥	أحجام وأشكال مختلفة

هناك تطبيقات محددة حيث تكون المصادر كبيرة الحجم، على سبيل المثال، أجهزة إزالة الكهرباء الاستاتيكية التي يزيد طولها عن متر واحد. والتكوين الهندسي لبعض هذه الأجهزة معقد إلى حد ما بمعنى أن مادة المصدر المشعَّة موزعة على سطح الهيكل.

٢-٤- الحالة المادية

قد تُسرّب بعض أجهزة المصادر المشعَّة المختومة وتحتاج إلى اختبارها على فترات منتظمة توصي بها جهة التصنيع و/أو على النحو الذي تطلبه الهيئة الرقابية الوطنية. ويجب أن يجري هذا الاختبار موظفون مدربون تدريباً كافياً. وتوجد إرشادات بشأن طرق اختبار التسرب في المرجع الخاص بالمعيار الدولي للمنظمة الدولية لتوحيد المقاييس [٢٢].

وتعتبر المصادر المسرّبة مهمَلة، ويجري إخراجها من الخدمة على الفور للتصرف المأمون فيها. وعلى سبيل المثال، قد تُسرّب مصادر الراديوم القديمة، المغلفة في أمبولات بلاتينية أو زجاجية. والزيادة في الضغط الداخلي، الناتجة عن تراكم نواتج اضمحلال الراديوم-٢٢٦، هي مصدر قلق شائع فيما يخص الأمان. وتتطلب المصادر المُسرَّبة أو التالفة اهتماماً خاصاً في أثناء التكييف والخزن.

٣- تحديد الفئات والتصنيف

تحديد الفئات، أو التصنيف، هو نهج يستخدم، بشكل أساسي عندما تكون كمية العناصر محل النظر (الأشياء أو الأفكار) كبيرة، لتسهيل التصرف في العناصر عن طريق تقليل عددها. ويتحقق التصنيف عن طريق اختيار السمات الرئيسية (المعايير) ومن خلال هيكلة هذه المعايير. وتُستخدم المصادر المشعَّة المختومة لطائفة متنوعة من الأغراض وهي تتضمن مجموعة واسعة من النويدات المشعَّة وكميات من المواد المشعَّة. وفي هذه الحالة بالذات، يعتمد تحديد الفئات بشكل أساسي على سمات الإشعاع والمخاطر التي يمثلها المصدر على البشر والبيئة. وبعض المخاطر المرتبطة بالمصادر المشعَّة موصوفة بإيجاز في المرفق.

٣-١- الأساس المنطقي لتحديد فئات المصادر المشعَّة

قد يكون تحديد فئات أو تصنيف المصادر المشعَّة مفيداً في أي مرحلة من مراحل دورة حياة المصدر المشع، بدءاً من مرحلة الإنتاج والاستخدام الأولية حتى التخلص النهائي. وهناك حاجة أيضاً إلى نظام لتحديد فئات المصادر لتوفير تصنيف واعٍ بالمخاطر وتجميع المصادر وتطبيقاتها، وهو بدوره ذو صلة مباشرة بالمسائل التالية:

- *التدابير الرقابية*. لتوفير أساس منطقي وشفاف لنظام واعٍ بالمخاطر من أجل الإبلاغ والتسجيل والترخيص وعمليات التفتيش. ويوفر تحديد الفئات أيضاً أساساً لضمان تخصيص الموارد البشرية والمالية بما يتناسب مع المخاطر المرتبطة باستخدام المصدر.
- *تدابير الأمان*. لتوفير أساس واعٍ بالمخاطر لتحديد تدابير الأمان التي ستطبق خلال دورة حياة المصدر المختوم (من حالة قيد الاستخدام حتى التخلص منه كمصدر مهمَل). ولتقييم المخاطر المحتملة المرتبطة بمختلف أنواع المصادر.
- *خيارات التصرف*. للمساعدة في تخطيط وتصميم مرافق التكييف والخزن واتخاذ قرار بشأن مسار التخلص المحتمل من المصدر.
- *التدابير الأمنية*. لتوفير أساس واعٍ بالمخاطر للمساعدة في تحديد التدابير الأمنية، مع الاعتراف بأن العوامل الأخرى مهمة (مثل التهديدات ضد مرافق/مصادر محددة).
- *السجل الوطني للمصادر*. لتحسين القرارات بشأن فئات المصادر ومستوى التفاصيل التي ستدرج في التقارير الوطنية.
- *ضوابط الاستيراد/التصدير*. لتحسين القرارات المتعلقة بالمصادر التي قد تخضع لضوابط الاستيراد والتصدير.
- *وسم المصادر*. لتحسين القرارات المتعلقة بالمصادر التي يمكن تمييزها بوسم مناسب (بالإضافة إلى الوريقات الثلاث) لتحذير الأشخاص من خطر الإشعاعات.
- *التأهب والتصدي للطوارئ*. للتأكد من أن خطط التأهب للطوارئ والتصدي للحوادث تتناسب مع فئة المصدر.
- *تحديد الأولويات لاستعادة التحكم في المصادر اليتيمة*. لتحسين القرارات المتعلقة بالمواطن التي يتعين تركيز الجهود فيها لاستعادة التحكم في المصادر اليتيمة.
- *التواصل مع الجمهور*. لتوفير أساس لشرح المخاطر النسبية للأحداث التي تنطوي على مصادر مشعَّة.

والغرض من تحديد فئات المصادر المشعَّة هو توفير أساس جوهري ومنسق دولياً لاتخاذ قرارات مستنيرة بشأن المخاطر. وطوَّرت منظمات دولية نُظُماً مختلفة لتحديد فئات المصادر، إلا أن هذه النُّظُم طُورت لأغراض مختلفة تتعلق باتخاذ القرارات. ويرد أدناه وصف للنُّظَم الدولية الرئيسية الثلاثة لتحديد الفئات التي طُوّرت لوضع استراتيجيات مستنيرة للتصرف في المصادر المشعَّة المهمَلة. وبالإضافة إلى ذلك، بالنسبة للدول الأعضاء التي تنظر في خيارات التخلص، يرد في القسم ١٢ وصف لنظام الوكالة لتصنيف النفايات.

ويمكن للدول الأعضاء التي ليس لديها نظام تصنيف (تحديد فئات) للمصادر أن تطور نظمها الخاصة بناءً على الإرشادات الدولية ذات الصلة أو يمكنها اعتماد النُّظُم الدولية الحالية لتحديد فئات المصادر لتلبية المتطلبات الوطنية المحددة.

٣-٢- نظام تحديد فئات المصادر لدى الوكالة

إدراكاً للحاجة إلى نهج قائم على المخاطر للتحكم الرقابي في المصادر المشعَّة، تقدم الوكالة مخططاً لتحديد فئات المصادر المشعَّة والممارسات المنطوية عليها في معايير الأمان الأساسية [١١] وفي دليل الأمان RS-G.1.9 [٢٣]، بناءً على الوثيقة التقنية IAEA-TECDOC-1516 [٢٤].

ويعرض الجدول ٢ في التذييل الأول من المرجع [٢٣] أمثلة على مجموعة واسعة من النويدات المشعَّة والأنشطة في المصادر المشعَّة المستخدمة لأغراض مفيدة في جميع أنحاء العالم. وتسليماً بالأهمية القصوى التي تعطى للصحة البشرية، يستند نظام تحديد الفئات بشكل رئيسي إلى احتمال أن تُخلّف المصادر المشعَّة تأثيرات صحية حتمية، مع مراعاة كل من الخصائص الفيزيائية والتطبيق المحدد للمصدر. وبالتالي، فإن نظام تحديد الفئات يستند إلى مفهوم 'المصادر الخطرة' – المحددة مقاديره على أساس 'القيم الخطرة D'.[٢] وتمثل القيمة الخطرة D النشاط النوعي للنويدات المشعَّة في مصدر قادر، في حال عدم التحكم به، على إحداث آثار حتمية خطيرة في مجموعة من السيناريوهات تتضمن التعرض الخارجي من مصدر غير مدرّع والتعرض الداخلي نتيجة تشتت المادة المصدرية (انظر المرفق الثاني من المرجع [٢٤]). ولكل ممارسة ونويدات مشعَّة مستخدمة في الممارسة، يُقسَّم نشاط المصدر بالتيرابكريل على القيمة الخطرة D النوعية المقابِلة للنويدات المشعَّة بالتيرابكريل، مما يؤدي إلى نسبة طبيعية بلا أبعاد للنشاط مقابل القيمة الخطرة D.

ويرد التحديد النهائي للفئات لتطبيقات مصادر محددة في الجدول ٤ (الجدول ١ في المرجع [٢٣]، وترد مقارنة بين الفئات، استناداً إلى نسبة النشاط/القيمة الخطرة D فقط، مع تلك الفئات المخصصة للممارسات في التذييل الأول في المرجع [٢٣]. وتظهر مصادر الفئة ١ أعلى مخاطر عند التصرف في المصادر المختومة، بينما تشير الفئة ٥ إلى أقل المخاطر.

الجدول ٤- الفئات الموصى بها للمصادر المستخدمة في الممارسات الشائعة [٢٣]

الفئة	تحديد فئات الممارسات الشائعة[أ]	نسبة النشاط[ب] (النشاط/القيمة الخطرة D)
١	المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة أجهزة التشعيع مصادر المعالجة البُعادية مصادر المعالجة البُعادية الثابتة والمتعدِّدة الحزم (مشرط أشعة غاما)	النشاط/القيمة الخطرة D ≥ ١ ٠٠٠
٢	مصادر التصوير الإشعاعي بأشعة غاما للأغراض الصناعية مصادر التشعيع الداخلي بمعدلات جرعات عالية/متوسطة	١ ٠٠٠ > النشاط/ القيمة الخطرة D ≥ ١٠
٣	المقاييس الصناعية الثابتة التي تنطوي على مصادر عالية النشاط مقاييس تسجيل بيانات الآبار	١٠ > النشاط/القيمة الخطرة D ≥ ١
٤	مصادر التشعيع الداخلي بجرعات منخفضة (باستثناء لويحات تشعيع العين والزراعة الدائمة في العين) المقاييس الصناعية التي لا تنطوي على مصادر عالية النشاط أجهزة قياس كثافة العظام الأجهزة المزيلة للكهرباء الاستاتيكية	١ > النشاط/القيمة الخطرة D ≥ ٠,٠١
٥	مصادر لويحات تشعيع العين والزراعة الدائمة في العين باستخدام التشعيع الداخلي بمعدلات جرعات منخفضة أجهزة تألق الأشعة السينية أجهزة أسر الإلكترونات تقنية قياس الطيف باستخدام تأثير موسباور مصادر الفحوصات باستخدام التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني	٠,٠١ > النشاط/ القيمة الخطرة D ≥ الكمية المعفاة[ج]/القيمة الخطرة D

(أ) مع الاعتراف بأن عوامل أخرى غير النشاط/القيمة الخطرة D قد أخذت في الاعتبار.
(ب) يمكن استخدام هذا العمود لتحديد فئة المصدر، بناءً على النشاط/القيمة الخطرة D تماماً. وقد يكون ذلك ملائماً على سبيل المثال: إذا كانت الممارسة غير معروفة أو غير واردة في القائمة؛ أو إذا كانت المصادر ذات عمر نصفي قصير و/أو غير مختومة؛ أو إذا كانت المصادر مُجمَّعة.
(ج) ترد الكميات المعفاة في الجدول الأول من المعايير الأمان الأساسية [١١].

[٢] اشتقت في الأساس قيم المصادر الخطرة في سياق التأهب للطوارئ [٣٨] من أجل استحداث نقطة مرجعية تعادل 'مصدراً خطراً' [٣٧] على مقياس المخاطر التي قد تنشأ عن مصادر غير خاضعة للتحكم.

وإذا كانت إحدى الممارسات تنطوي على تجميع المصادر في مخزن واحد أو موقع استخدام حيث تكون المصادر على مقربة من بعضها، كما هو الحال في مرافق الخزن أو عمليات الصنع أو وسائل النقل، فيمكن دمج النشاط الكلي ومعاملته كمصدر واحد لأغراض تصنيف المصادر ضمن فئة ما. ولذلك، يمكن تقسيم النشاط الكلي، المدمج، للنويدات المشعَّة على القيمة الخطرة D المناسبة، ونسبة النشاط/القيمة الخطرة D المحسوبة مقارنة بنسب النشاط/القيمة الخطرة D الواردة في العمود الأيمن من الجدول ٤، مما يسمح بتخصيص إحدى الفئات، بناءً على النشاط، للممارسة. وفي حال تجميع المصادر التي تحتوي على العديد من النويدات المشعَّة، فيمكن استخدام مجموع نسب النشاط/القيمة الخطرة D لتحديد الفئة وفقاً للصيغة الحسابية التالية:

$$\text{مجموع النشاط/القيمة الخطرة D} = \sum_n = \sum_i A_{i,n}/D_n$$

حيث

$A_{i,n}$ هو نشاط كل مصدر فردي i للنويدات المشعَّة n؛

وD_n هي القيمة الخطرة D للنويدة المشعَّة n.

وفي كل حالة من الحالات، ينبغي الإقرار باحتمال الاضطرار إلى مراعاة عوامل أخرى عند تصنيف مصدر ضمن فئة ما. وعلاوة على ذلك، عند التفكير في تراكم المصادر، من المهم إدراك أن الممارسة قد تتغير، على سبيل المثال "صنع" جهاز قياس للمستويات هو ممارسة مختلفة عن "استخدام" هذا الجهاز.

٣-٣- تجميع الوكالة للمصادر حسب الأمن

أسفرت المصادر غير المؤمَّنة عن وفيات وإصابات خطيرة في أجزاء كثيرة من العالم. ونشرت الوكالة عدداً من التقارير التي تصف العواقب على الصحة البشرية، فضلاً عن الخسائر الاقتصادية من الحادثات والحوادث، بسبب مصادر غير خاضعة للتحكم.

وقبل ١١ أيلول/سبتمبر ٢٠٠١، تم التعامل مع أمن المصادر المشعَّة إلى حد كبير من خلال تدابير حماية المصادر من وصول الأفراد غير المدربين تدريباً كافياً أو من محاولات السرقة لتحقيق مكاسب مالية. وعُدِّل الآن هذا الافتراض ليشمل أيضاً الحاجة إلى منع وصول الأفراد الذين يسعون عن عمد وبسوء نية إلى مصادر معينة للتسبب في التعرض إلى الإشعاعات أو تشتت المواد المشعَّة.

ويتطلب ضمان أمن المصادر تطبيق تدابير لمنع الوصول غير المأذون به إلى المصادر المشعَّة في جميع مراحل دورة حياتها، وكذلك الفقد والسرقة والنقل غير المأذون به للمصادر. ولضمان أمان المصادر المشعَّة، يلزم التحكم في التعرض للإشعاعات من المصادر، سواء بشكل مباشر أو كنتيجة للحوادث، بحيث يكون احتمال الضرر الناتج عن هذا التعرض منخفضاً للغاية. وترتبط جوانب الأمان والأمن الخاصة بالمصادر ارتباطاً وثيقاً، والعديد من التدابير الخاصة بمعالجة إحدى القضايا تعالج قضايا أخرى أيضاً.

ونشرت الوكالة في عام ٢٠٠٩ منشوراً بعنوان الدليل التنفيذي بشأن أمن المصادر المشعَّة [٢٥]، والذي يأخذ في الاعتبار النهج الأمني الشامل المحدد في هذا المنشور والذي ربما استخدمته بعض الدول كمرجع في وضع نظمها الأمنية الحالية. ويقترح هذا الدليل نهجاً متدرجاً للأمن باستخدام مجموعة من مستويات الأمن، ووظائف الأمان مثل الردع والكشف والعرقلة والتصدي وإدارة الأمن. وتمت مواءمة المنشور مع فئات الوكالة للمصادر المشعَّة [٢٣]، ومتطلبات الأمان الأساسية [١١] ومتطلبات مدونة قواعد السلوك [١٤]. وأرسيت ثلاثة مستويات أمان ("أ" و"ب" و"ج") للسماح بتحديد أداء نظام الأمن بطريقة متدرجة. ويتطلب مستوى الأمان "أ" أعلى درجة من الأمن بينما ينخفض ذلك بشكل تدريجي بالنسبة للمستويين الآخرين.

وهناك هدف يقابل كل مستوى أمن. ويحدد الهدف النتيجة الإجمالية التي يجب أن يكون نظام الأمن قادراً على توفيرها لمستوى أمن معين. ووضعت الأهداف التالية:

- مستوى الأمن "أ": *منع* السحب دون إذن للمصدر.
- مستوى الأمن "ب": *تقليل احتمالية* السحب دون إذن للمصدر.
- مستوى الأمن "ج": *تقليل احتمالية* السحب دون إذن للمصدر.

ويمكن أن تتضمن الأعمال الشريرة سحب دون إذن للمصدر أو التخريب. وفي حين أن الأهداف الأمنية لا تتناول سوى السحب دون إذن، فإن تحقيق الأهداف سيقلل من احتمالية حدوث عمل تخريبي ناجح. وستوفر نُظُم الأمن التي تحقق الأهداف المذكورة أعلاه بعض القدرة (على الرغم من محدوديتها) لاكتشاف الأعمال التخريبية والتصدي لها.

ويجب تعيين مستوى أمن مناسب لكل فئة من فئات المصادر المشعَّة المحددة في القسم ٣-٢.[٣] ويجب أن يكون لمصادر الفئة ١ تدابير أمنية تلبي الأهداف الأمنية لمستوى الأمن "أ". ويجب أن يكون لمصادر الفئة ٢ تدابير أمنية تلبي الأهداف الأمنية لمستوى الأمن "ب". ويجب أن يكون لمصادر الفئة ٣ تدابير أمنية تلبي الأهداف الأمنية لمستوى الأمن "ج".

وتتضمن معايير الأمان الأساسية [١١] المتطلبات العامة لأمن المصادر المشعَّة. ويرى هذا الدليل أنه بينما توفر تدابير التحكم هذه مستوى كافياً من الأمن للمصادر المشعَّة في الفئتين ٤ و٥، يجب تطبيق التدابير المعززة المحددة في هذا الدليل على المصادر المشعَّة في الفئات ١ و٢ و٣ من أجل تقليل احتمالية حدوث أعمال شريرة تنطوي على تلك المصادر. وعلاوة على ذلك، قد ترغب الهيئة الرقابية، مع مراعاة التهديد الذي تمثله المصادر على الصعيد الوطني، في تعزيز أمن المصادر في الفئتين ٤ و٥ في الظروف المناسبة. وقد لا ينطوي الاستخدام الشرير للمصادر المشعَّة بالضرورة على المصادر التي تحتل المرتبة الأولى في مخطط تحديد فئات المصادر هذا. وسيتم الاحتفاظ بمعظم مصادر الفئة ١، على سبيل المثال، داخل هياكل تدريع وداخل أجهزة أو مرافق ثابتة. وقد تستغرق جهود إزالة المصدر وقتاً وقد تعرض الأطراف المعادية إلى مستوى ضار جداً من الإشعاع. ولذلك، من الممكن أن تركز الأطراف المعادية على مصادر من فئة أدنى، يسهل الوصول إليها، وأقل خطورة في التعامل معها، ويمكن حملها، وإخفاؤها بسهولة أكبر. ويتحقق تصنيف المصادر المشعَّة ضمن مجموعة أمنية معينة بشكل أكثر فعالية باستخدام نواتج تقييم التهديدات. ويتيح ذلك قدراً أكبر من المرونة والخصوصية لمراعاة التباين في مستويات التهديدات والبيئات الأمنية داخل الدول الأعضاء. كما يسمح باختيارات مختلفة لمجموعات الأمن للمصادر في المراحل المختلفة من دورة حياتها. وبدلاً من ذلك، قد تجري بعض الدول الأعضاء تقييمات للتهديدات ومواطن الضعف في جميع أنحاء البلاد، وبالتالي تصنِّف المصادر ضمن مجموعات أمنية معينة، بناءً على هذه التقييمات.

وتمشياً مع مدونة قواعد السلوك [١٤]، تشمل كل فئة الموادَ المشعَّة المنبعثة إذا كان أي من المصادر في المجموعة مسرّباً أو مكسوراً. وتسمح منهجية تحديد فئات المصادر أيضاً بتجميع المصادر في مكان واحد. وقد يكون أحد أسباب وضع المصدر ضمن مجموعة أمن أعلى هو أن تقييم التهديد المحدد قد يكشف أن بعض المرافق التي بها مصادر أو بعض المصادر المتنقلة أكثر عرضة للاستيلاء عليها، على الرغم من أنها قد لا تكون المصادر ذات النشاط الأعلى.

٣-٤- تصنيف المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس للمصادر

يرسي المعيار ISO 2919 الصادر عن المنظمة الدولية للتوحيد القياسي [٢٦] نظاماً لتصنيف المصادر المختومة بناءً على أداء الاختبار. ويحدد المعيار المتطلبات العامة واختبارات الأداء واختبارات الإنتاج والعلامات والشهادات. ويجري اختبار النماذج الأولية للمصادر لمعرفة درجة الحرارة والضغط الخارجي والصدمات والاهتزاز والثقب في فئات متصاعدة الشدة [٢٢]. ويتطلب أن تفي المصادر المخصصة لتطبيق ما بالحد الأدنى من المعايير الموضحة في المعيار.

وتصنيف المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس للمصادر، بناءً على نوع الإشعاعات والتطبيق، هو كما يلي:

- مصادر غاما؛
- مصادر بيتا؛
- مصادر ألفا؛
- المصادر النيوترونية؛
- مصادر أخرى للاستخدام الخاص (مثل مصادر غاما والمصادر النيوترونية لتسجيل تقدم حفر الآبار).

وتجدر الإشارة إلى أن المصادر تنبعث منها عموماً إشعاعات مختلطة: يصاحب الاضمحلال الإشعاعي إشعاع، وغالباً ما تكون النواتج الوليدة للاضمحلال الإشعاعي هي باعثات بيتا. وبالإضافة إلى ذلك، ينتج إشعاع الصدم عن تحويل طاقة الجسيم (الإلكترون) في أثناء الامتصاص.

[٣] الإرشادات المقدمة هنا بصيغة "يجب"، أو ببساطة في صيغة المضارع الدلالي، التي تصف الممارسات الجيدة، تمثل رأي الخبراء ولكنها لا تشكل توصيات متوافق عليها دولياً بشأن كيفية تلبية المتطلبات ذات الصلة.

٤- التطبيقات والأجهزة والمصادر المختومة المرتبطة

في جميع التطبيقات تقريباً، تكون المصادر المشعَّة، محتواة داخل حامل مدرَّع يحتوي أيضاً أو يرتبط بأجهزة أخرى أو أجهزة ميكانيكية. ويُعرَف هذا عموماً باسم "الجهاز". وتعتمد طبيعة هذا الجهاز على التطبيق. وفي كثير من الحالات، يُستخدم الجهاز أيضاً لنقل المصدر المختوم إلى الموقع المخصص لاستخدامه. ويشتمل الجهاز عموماً على تدريع كافٍ لامتصاص الإشعاع إلى مستوى يكون فيه غير ضار للجمهور، و"مصراع" يسمح بتوجيه حزمة من الإشعاع من المصدر نحو الهدف عند فتح المصراع.

ويوضح القسم التالي بعض الأجهزة النموذجية والمصادر المرتبطة المستخدمة في تطبيقات مختلفة. ويرتبط وصف الأجهزة المختلفة بنظام الوكالة لتحديد فئات المصادر المشعَّة [٢٣]. ونظراً لاستخدام المصادر المشعَّة بشكل مكثف لأغراض مختلفة في الماضي، فمن المهم مراعاة التطبيقات التاريخية للمصادر جنباً إلى جنب مع الأجهزة المستخدمة في ذلك الوقت.

٤-١- الأجهزة ومصادر الفئة ١

٤-١-١- المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة

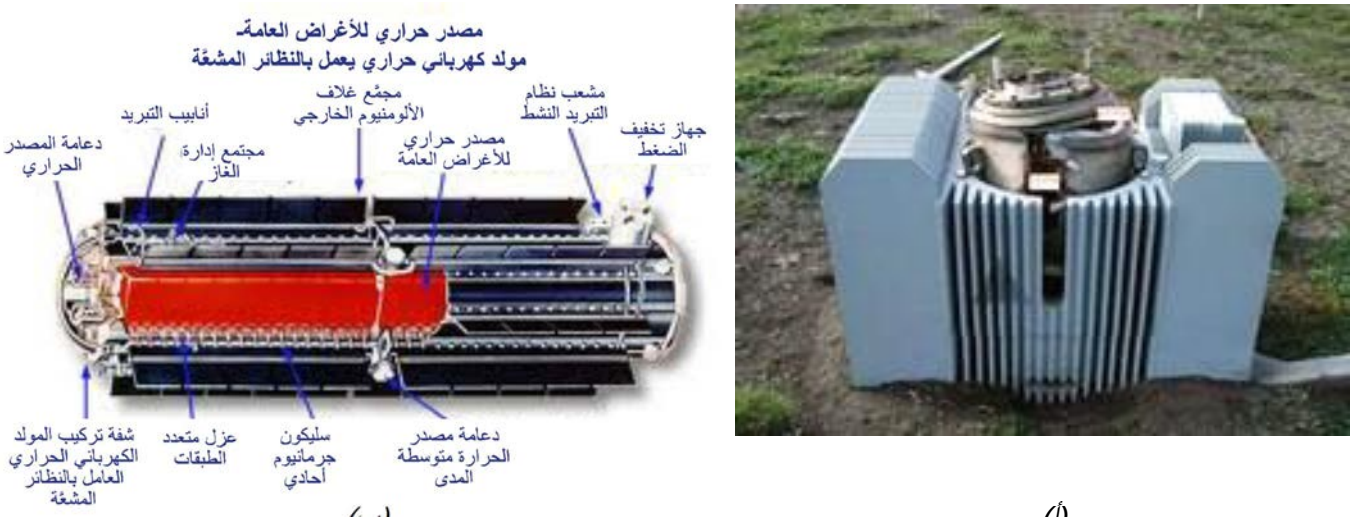
المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة هي الأجهزة التي تستخدم حرارة الاضمحلال للنظائر المشعَّة عن طريق امتصاص الإشعاع من المصدر المشع لتوليد الكهرباء باستخدام جهاز مزدوج حراري. والنويدتان المشعّتان اللتان كانتا الأكثر استخداماً هما السترونشيوم-٩٠ (٣٣٠ تيرابكريل- ٢,٥ × ١٠٤ تيرابكريل) البلوتونيوم-٢٣٨ (١–١٠ تيرابكريل). ويصل قُطر كل من المصدرين إلى ١٠٠ مم وطول كل منهما ٢٠٠ مم. ويستخدم السترونشيوم في شكل تيتانات خزفية ($SrTiO_3$) ويُختَم مرتين بإحكام في كبسولة باستخدام لحام الأرجون. وتستخدم العديد من المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة السترونشيوم-٩٠ في شكل زجاج بوروسليكات السترونشيوم. والكبسولة محمية من الصدمات الخارجية بواسطة الغلاف السميك للمولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة الذي يتكون من الفولاذ غير القابل للصدأ والألومنيوم والرصاص.

والإشعاع الرئيسي هو إشعاع بيتا، وهو قصير المدى نسبياً، ولكن يُنتج المصدر كذلك مستوى خطيراً ولا يستهان به من إشعاع الصدم الثانوي من إشعاع غاما. ويمكن أن تختلف الطاقة المتولدة عادةً من بضع وحدات من الواط إلى عشرات الكيلوواط، اعتماداً على مستوى النشاط ونوع النظائر المشعَّة المستخدمة. ولا توجد أجزاء متحركة في هذه الأجهزة وهي مصممة للعمل آلياً لعشرات السنين.

وهناك نوعان من التطبيقات الرئيسية: السفر إلى الفضاء وتوليد القوى في موقع ناءٍ. ونشرت الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفياتي السابق مولدات كهربائية حرارية عاملة بالنظائر المشعَّة على نطاق واسع إلى حد ما في منطقة القطب الشمالي لتشغيل المنارات البحرية ومنارات الملاحة.

ويرد في الشكل ٥ (أ) نوع المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة المنتجة في الاتحاد السوفياتي السابق. وفي المجمل، أنتِج أكثر من ١٠٠٠ مولد كهربائي حراري يعمل بالنظائر المشعَّة وما زال حوالي ٧٠٠ منها قيد الاستخدام. ويرد في الشكل ٥ (ب) مولد كهربائي حراري يعمل بالنظائر المشعَّة منتج في الولايات المتحدة.

واستُخدِمت المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة الصغيرة جداً البلوتونيوم-٢٣٨ حتى السبعينيات في أجهزة تنظيم ضربات القلب لتوفير قوى مدى الحياة (الشكل ٦). ولقد أصبحت هذه الأجهزة قديمة من خلال تكنولوجيا البطاريات المحسنة، وبسبب مخاوف تتعلق بالأمان والرقابة. والمصادر ذات نشاط منخفض، مما يعني أن هذه الأجهزة ليست ذات أهمية كبيرة.



الشكل ٥- مولدان كهربائيان حراريان عاملان بالنظائر المشعَّة.

الشكل ٦- جهاز تنظيم ضربات القلب يعمل بالقوى المتولدة من مولد كهربائي حراري يعمل بالنظائر المشعَّة.

ونشر هذه الأجهزة في مناطق نائية يعني أنها عرضة لأن ينقلها الناس، أو يستولون عليها لأغراض شريرة أو يفككونها للقيمة المتحققة من بيع مواد التدريع الموجودة في هذه الأجهزة كخردة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن التغييرات في الحكومة و/أو فقدان السجلات تعني أنه يمكن التخلي عن المصادر ونسيانها حتى يعاد اكتشافها في وقت لاحق. كما عادت السواتل الفضائية التي تحتوي على مولدات كهربائية حرارية تعمل بالنظائر المشعَّة إلى الغلاف الجوي للأرض مما تسبب في قلق بشأن انتشار المواد المشعَّة.

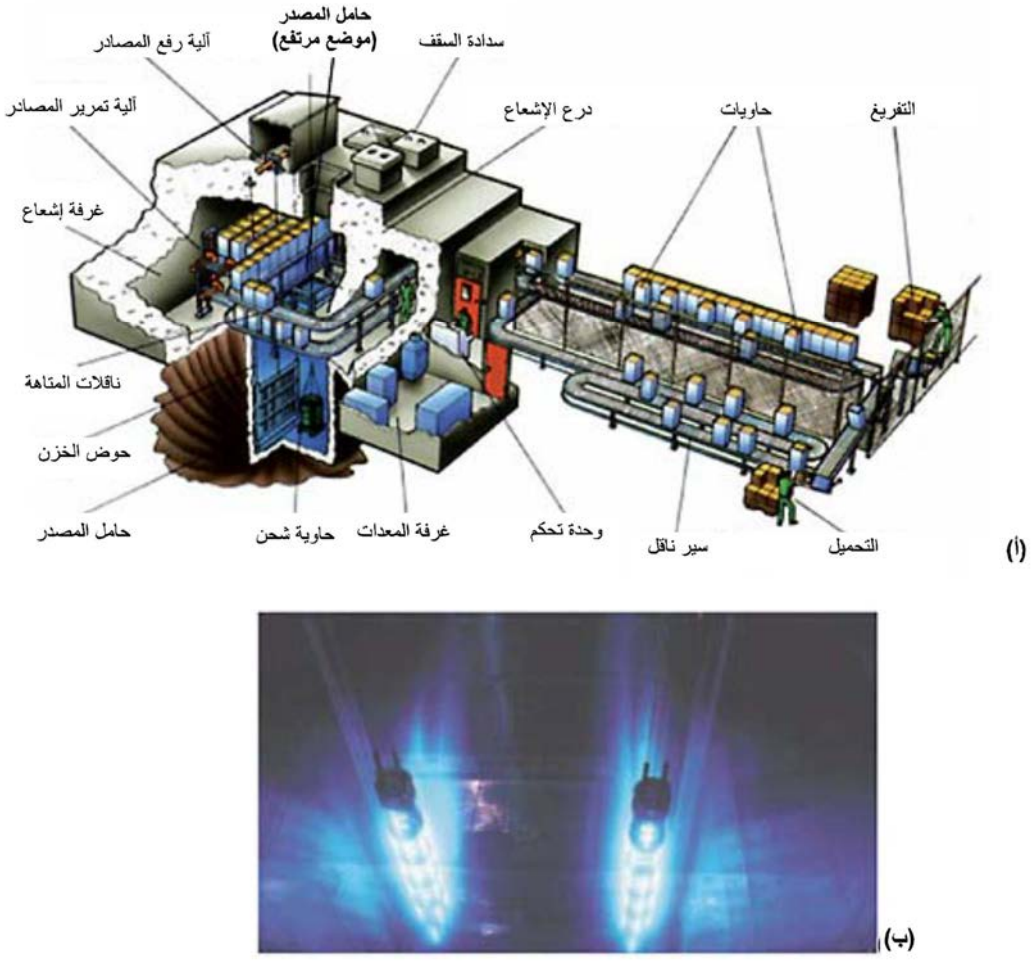
٤-١-٢- أجهزة التشعيع

التعقيم أو أجهزة التشعيع البانورامية

إن محطة التعقيم بأشعة غاما، أو "جهاز التشعيع البانورامي" ليست مجرد جهاز. فهي مبنى مدرَّع يوجد فيه عدد كبير من مصادر الكوبالت-٦٠ أو السيزيوم-١٣٧ (في النطاق من ٠,٢ إلى ٦٠٠ بيتابكريل) في صفيف. ويوضع الناتج الذي يتطلب التعقيم بأشعة غاما في المنطقة المدرعة ويُعرَّض للمصادر للفترة المطلوبة لتوصيل جرعة أشعة غاما المطلوبة لقتل البكتيريا. وتشمل التطبيقات تعقيم المواد الطبية (مثل الإبر والمحاقن والقفازات)، والحفاظ على المواد الغذائية والربط التصالبي للبوليمرات لتحسين خصائصها. ويوجد حالياً أكثر من ١٦٠ جهازاً تشعيعياً بانورامياً قيد التشغيل حول العالم.

وتختلف المصادر المستخدمة في أجهزة التشعيع من حيث الحجم، وتتراوح من حجم كبير إلى حجم قلم رصاص. وتُثبَّت هذه المصادر في حاويات مخصصة وكبيرة ومدرَّعة تستخدم إما حوضاً عميقاً من الماء (الشكل ٧)، أو كمية كبيرة من الرصاص أو الخرسانة لتدريع المصدر عندما لا يكون قيد الاستخدام (الشكل ٨). وعند كشف المصدر، يكون معدل الجرعة داخل حاوية التشعيع مرتفعاً للغاية ويمكن تلقي جرعة قاتلة في غضون دقيقة أو نحو ذلك. ولذلك، تتمتع هذه المرافق بالعديد من سمات الأمان، بناءً على مبادئ الاستحاطة والتنوع والترابط في نُظُم الأمان.

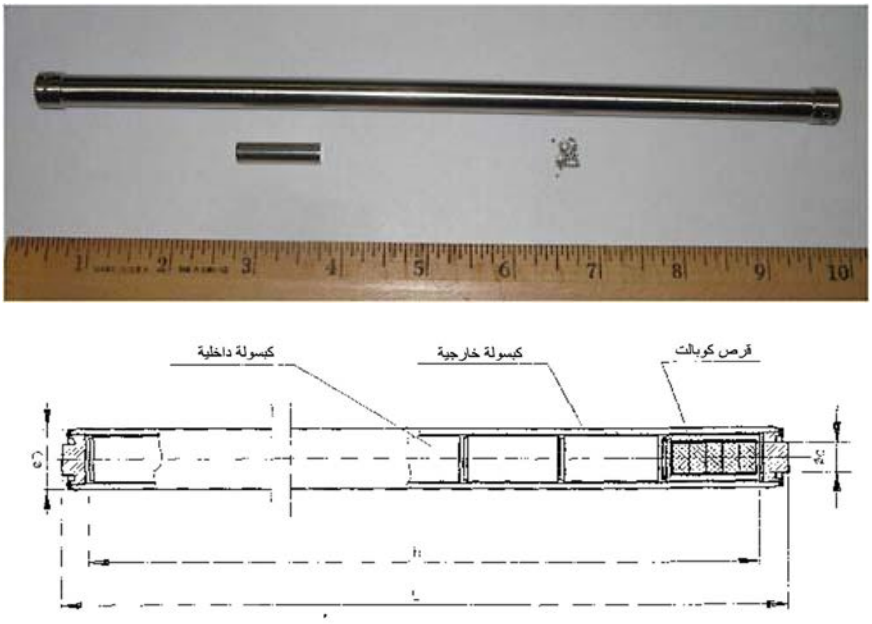
الشكل ٧- الخزن الرطب لمصادر الفئة ١ في حوض المياه.



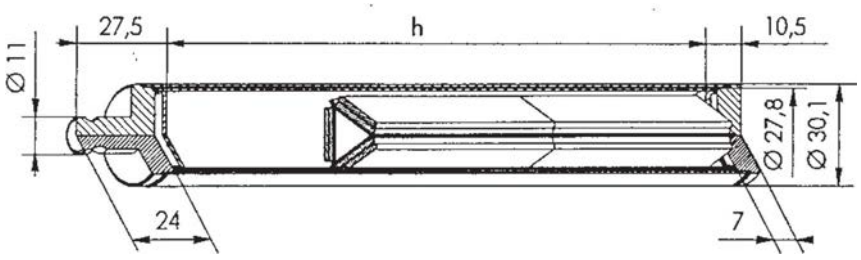
الشكل ٨- (أ) تصوير فني لجهاز تشعيع بانورامي من طراز JS-10000 من شركة MDS Nordion، يستخدم حامل مصادر من النوع اللوحي (ليس بالضرورة للقياس)؛ و(ب) حاملات مصادر مختلفة لجهاز تشعيع على منصة من شركة MDS Nordion.

وعادة ما تُغلَّف المصادر المستخدمة في أجهزة التشعيع للتعقيم بشكل مضاعف في كبسولة خارجية من الفولاذ غير القابل للصدأ، تحتوي على حبيبات الكوبالت-٦٠. والنطاق النموذجي لأبعاد الكبسولة هو في الغالب قُطر ١١ مم × طول ٤٥٠ مم. والتصميمان الأكثر شيوعاً لمصدر تعقيم أشعة غاما بالكوبالت-٦٠ هما التصميم من نوع Nordion C188 (كندا) والنوع REVISS RSL2089 (الاتحاد الدولي)، المستخدمان في محطات التعقيم بأشعة غاما للأغراض الصناعية في جميع أنحاء العالم. ويصنع عدد من جهات التصنيع الأخرى مصادر ذات أبعاد مماثلة، وهناك أيضاً مجموعة متنوعة من أنواع التصميمات الأخرى، المستخدمة في كل من أجهزة التشعيع للأغراض الصناعية وأجهزة التشعيع الصغيرة الحجم.

المصادر المغلفة في أنابيب الفولاذ غير القابل للصدأ تسمى مصادر "القلم الرصاص" أو "القضيب". ويرد في الشكل ٩ صورة تخطيطية لمصدر أشعة غاما بالكوبالت-٦٠ من نوع القلم الرصاص. ويرد في الشكل ١٠ المصدر العالي النشاط من نوع القضيب للأغراض الصناعية.



الشكل ٩- مصدر من نوع القلم الرصاص من الكوبالت-٦٠.



الشكل ١٠- مصدر عالي النشاط من نوع القضيب للأغراض الصناعية.

وتصنع هذه المصادر وفقاً لمعايير المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس ومعايير أخرى [٢١، ٢٧] وتوضع عليها بطاقات على السطح برمز محفور للتعريف. كما يُذكر الكود في شهادة المصدر.

وإذا أُنتِجت المصادر من نوع القلم الرصاص عن طريق إعادة التدوير، فقد يختلف شكلها وأبعادها عن المصادر الأصلية. ويتراوح النشاط الاسمي الأولي للمصادر من نوع القلم الرصاص من ١٨,٥ تيرابكريل (٥٠٠ كوري) إلى ٤٥٠ تيرابكريل (١٢ ٠٠٠ كوري). والعمر التشغيلي النموذجي الموصى به (العمر التشغيلي الموصى به) يتراوح من ١٥ إلى ٢٠ عاماً.

وإذا لم تتم صيانة مرافق التشعيع بشكل صحيح، فهناك احتمال أن تتداخل الكائنات مع حركة مصفوفة المصادر وتشويه إطارات الوحدات وبالتالي السماح بسقوط المصادر من نوع القلم الرصاص. ولقد حدث هذا في عدد من المناسبات. وهذا يوفر إمكانية أن تقع المصادر من نوع القلم الرصاص في أحد "الحاويات" التي تنقل الناتج الذي يتم تشعيعه إلى خارج المرفق. ووضعت في أجهزة التشعيع الحديثة نُظُم مراقبة عند نقاط خروج الناتج لاكتشاف حدوث شيء كهذا.

وهناك اعتبار آخر وهو أنه من وقت لآخر، يجب استبدال نسبة مئوية من المصادر من نوع القلم الرصاص بسبب الاضمحلال الإشعاعي. وعادة، يقوم موردو المصادر بهذا العمل، وتوضع المصادر القديمة في حاويات نقل مصممة خصيصاً لإعادتها. وفي هذه المرحلة، هناك احتمال أن تتسبب مشاكل النقل في حدوث تأخيرات، مما يؤدي إلى خزن هذه الحاويات وربما نسيانها.

٤-١-٢-١- أجهزة التشعيع الذاتية التدريع

يوجد عدد من أجهزة التشعيع الأصغر التي طالما وصفت دائماً بأنها أجهزة تشعيع مدرَّعة (أو قائمة بذاتها)، أو أجهزة تشعيع الدم/الأنسجة. وعلى الرغم من أنها أصغر حجماً، إلا أنها لا تزال تحتوي على مصادر عالية النشاط. ويرد في الشكل ١١ مثال على جهاز تشعيع كهذا. ويرد في الشكل ١٢ جهاز تشعيع الدم ذو النمط الأقدم. وتستخدم هذه الأجهزة لعلاج الدم وتتكون من غرفة مدرَّعة مع تجويف يُحمَّل فيه عينة من الدم في كيس بسعة ٢ لتر. وتشعع المستشفيات وبنوك الدم نواتج الدم للوقاية من داء الطعمِ حيال الثَّوي المرتبط بنقل الدم. وداء الطعمِ حيال الثَّوي المرتبط بنقل الدم هو أحد مضاعفات نقل الدم المميتة التي تنتج عندما تهاجم بعض خلايا الدم البيضاء المُتبرَّع بها أنسجةَ المتلقي.

وبالإضافة إلى تعقيم الدم والأنسجة والبذور، تُستخدم أجهزة التشعيع لتلوين الأحجار الكريمة، وتعقيم المعدات الطبية، وتشعيع الحشرات، والبحث في تأثيرات الطفرات على المنتجات الزراعية. وعادة، يشتمل التصميم على غرفة عينة بأبواب متشابكة وتُحرَّك المصادر حول الغرفة أو توضع الغرفة بجوار المصادر. ولا توجد طريقة بسيطة للوصول إلى المصادر، ومع ذلك، يمكن أن يعمل جهاز التشعيع، مع بعض التعديلات، كحاوية لنقل المصادر.

وتتطلب بعض الأجهزة، بما في ذلك بعض أنواع كاشفات الإشعاعات ومقاييس الجرعات، ومعايرة التشعيع بشكل دقيق وصحيح في نطاق الجرعات العالية. وتعتبر بعض مصادر المعايرة المستخدمة لهذه الأغراض أيضاً أجهزة تشعيع مدرَّعة ذاتياً. وتستخدم مصادر النويدات المشعَّة عادة لهذا الغرض لأن طاقة الاضمحلال (ومعدل الاضمحلال) معروفة أو يمكن حسابها بسهولة. وأجهزة تشعيع المعايرة هذه، في المتوسط، هي مصادر نشاط أصغر من أجهزة التشعيع الأخرى المدرَّعة ذاتياً، لكن بعضها يحتوي على حوالي ٨٠ تيرابكريل (٢٠٠ ٢ كوري) من السيزيوم-١٣٧.

وهناك بعض جهات تصنيع أجهزة التشعيع المدرَّعة ذاتياً تعمل في الوقت الراهن، مثل: شركة MDS Nordion الكندية؛ وشركة CIS-US، وهي شركة فرنسية لم تعد تصنِّع أجهزة جديدة ولكنها لا تزال توفر الصيانة للأجهزة الموجودة، وشركة J.L. Shepherd and Associates الأمريكية. وهناك ١ ٣٤١ جهاز تشعيع ذو تدريع ذاتي يستخدم مصادر مشعَّة في الولايات المتحدة الأمريكية وحدها، تستخدم تقريباً ٨٥٪ منها السيزيوم-١٣٧، بينما تستخدم جميع الأجهزة المتبقية تقريباً الكوبالت-٦٠. وتشمل هذه الأجهزة أجهزةَ تشعيع الدم وأجهزة التشعيع البحثية وأجهزةَ تشعيع المعايرة.

والقليل من الأجهزة الثابتة انطوت على حوادث بسبب طبيعتها القوية وتصميمها.

الشكل ١١- جهاز تشعيع ذاتي التدريع نموذجي.

الشكل ١٢- جهاز تشعيع الدم من الطراز القديم.

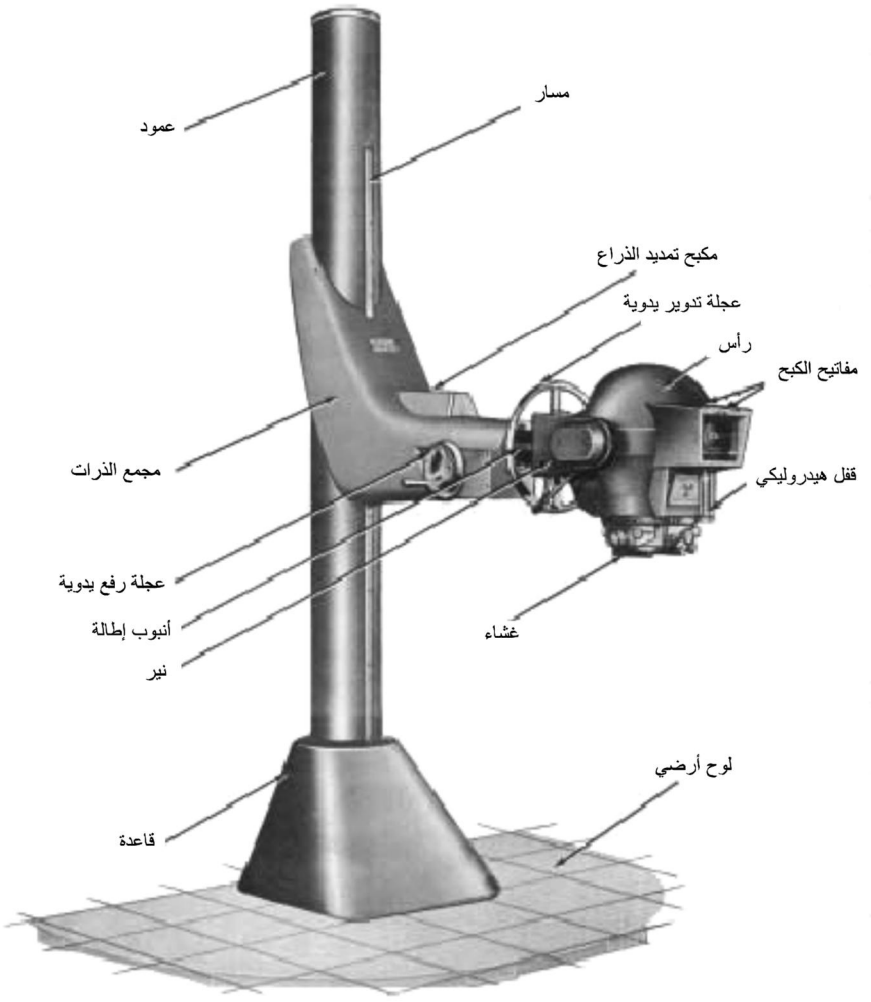
وفي حين أن معظم أجهزة التشعيع هذه ثابتة، إلا أن هناك بعض الأجهزة، مثل أجهزة التشعيع المستخدمة في مشروع "غاما كولوس"، والتي رُكِّبت على شاحنات ثقيلة أو على مقطورات ونُقِلت في جميع أنحاء الاتحاد السوفياتي السابق لتشعيع البذور في أثناء زراعتها. وأُزيلت معظم هذه الأجهزة الآن من المَرْكبات التي رُكِّبت عليها، وهي الآن في الخزن (الشكل ١٣).

الشكل ١٣- أجهزة التشعيع المتنقلة العاملة بالسيزيوم المستخدمة في الاتحاد السوفياتي السابق.

٤-١-٣- أجهزة المعالجة البُعادية

تستخدم أجهزة المعالجة البُعادية بشكل شائع في المؤسسات الطبية، مثل المستشفيات أو العيادات. ويستخدم العلاج الإشعاعي الإشعاع المؤيّن الموجه إلى جسم الإنسان أو الحيوان لعلاج العديد من الأمراض الخطيرة، وأبرزها السرطان. ويمكن استخدام مصادر النويدات المشعَّة العالية النشاط لإنشاء حزم إشعاعية مؤيّنة إكلينيكية على شكل أشعة غاما العالية الطاقة في أجهزة المعالجة البُعادية المستخدمة في العلاج الإشعاعي بالأشعة الخارجية. وتتسم أربع نويدات مشعَّة معروفة فقط بخصائص تجعلها مرشحة للاستخدام في العلاج الإشعاعي بالأشعة الخارجية: السيزيوم-١٣٧، والكوبالت-٦٠، واليُروبيوم-١٥٢، والراديوم-٢٢٦. ولم يُطوَّر اليُروبيوم-١٥٢ حتى الآن للاستخدام الإكلينيكي، وتوقف استخدام السيزيوم-١٣٧ والراديوم-٢٢٦ لأسباب عملية وبسبب مخاوف تتعلق بالأمان. ويُستَخدم الكوبالت-٦٠ حالياً في أجهزة العلاج الإشعاعي بالأشعة الخارجية الموجودة في الغالب في البلدان النامية.

ويوضع المصدر المشع، وهو صغير الحجم نسبياً، في مكان آمن في المبيت الشديد التدريع الموجود في نهاية الذراع الدوار (الشكل ١٤). وتخرج الحزم الإشعاعية من المصدر عند فتح المصراع في أثناء الاستخدام. وحيث إن السيزيوم-١٣٧ استُبدِل بالكوبالت-٦٠، أصبح من الضروري تجديد المصادر على فترات منتظمة، عادة كل خمس إلى سبع سنوات، بسبب العمر النصفي القصير نسبياً للكوبالت-٦٠. ولذلك صُمِّمت معدات المعالجة البُعادية بحيث تسمح بإزالة المصدر من الرأس ونقله إلى حاويات نقل مدرَّعة في الموقع.



الشكل ١٤- وحدة معالجة بُعادية قديمة تعمل بالسيزيوم (عام ١٩٦٠ تقريباً).

ولتسهيل تبادل المصادر من جهاز معالجة بُعادية إلى آخر ومن مرفق لإنتاج النويدات المشعَّة إلى آخر، طُوِّرت كبسولات قياسية للمصادر للاستخدام في جميع أنحاء العالم. وعادة ما تُستبدَل مصادر المعالجة البُعادية خلال فترة العمر النصفي من التركيب؛ ومع ذلك، قد تؤدي الاعتبارات المالية إلى استخدام المصادر لفترة أطول. وصُمِّمت أجهزة المعالجة البُعادية لتمكين استبدال المصادر في الموقع على يد تقنيين مدربين (لا تعاد الأجهزة إلى جهة التصنيع لتوفير المصادر).

ويعرض الشكل ١٥ صوراً للرؤوس القديمة والتالفة التي أُزيلت من وحدات للمعالجة البُعادية.

الشكل ١٥- رؤوس قديمة وتالفة من أجهزة المعالجة البُعادية.

وعادة ما تكون مصادر الكوبالت-٦٠ في صورة صلبة معدنية، وتتكون من عدد من الحبيبات أو الأقراص. وتغلَّف المصادر بشكل مزدوج في الفولاذ غير القابل للصدأ. وتُصنَّع بحجمين أو ثلاثة أحجام قياسية، ويمكن تركيبها في فواصل من التنجستن داخل رأس جهاز المعالجة البُعادية. ويوضح الشكل ١٦ مصادر الكوبالت-٦٠ المستخدمة في مختلف أجهزة المعالجة البُعادية.

الشكل ١٦- مصادر مختلفة للكوبالت-٦٠ تستخدم في المعالجة البُعادية مع التركيبات المرتبطة للتحميل في رؤوس أجهزة المعالجة البُعادية.

وعادة ما تكون مصادر المعالجة البُعادية من السيزيوم-١٣٧ في شكل كلوريد السيزيوم من أجل تحقيق النشاط النوعي العالي اللازم بحيث يمكن تصميم المصادر الصغيرة لأغراض المعالجة. وبمجرد اختراق حاوية مصدر كلوريد السيزيوم، تؤدي الحركة العالية للمادة إلى انتشار سريع للتلوث. وبالتالي فإن المشكلة أكبر من المصادر ذات الأشكال الكيميائية التي يمكن أن تتشتت بسهولة.

٤-١-٤- أجهزة المعالجة البُعادية الثابتة المتعددة الحزم (مشرط أشعة غاما®)

جهاز المعالجة البُعادية المتعدد الحزم جهاز مشابهاً، ولكنه يستخدم عدداً كبيراً من المصادر في المصفوفة للتركيز على مناطق معالجة محددة جيداً. ويستخدم هذا الجهاز في الإجراءات الطبية (الجراحة الإشعاعية) في حالات سرطان الدماغ وأمراض الدماغ الأخرى.

ومشرط أشعة غاما (شركة Elekta، بستوكهولم في السويد) عبارة عن جهاز للجراحة الإشعاعية ارتبط بالجراحة الإشعاعية على مدار الأربعين عاماً الماضية. وعلى الرغم من التقدم التكنولوجي الكبير خلال هذا الوقت، لم يتغير التصميم الأساسي والمبادئ الأساسية لمشرط أشعة غاما كثيراً منذ أن استحدث جراح الأعصاب السويدي لارس ليكسل وحدة النموذج الأولي في عام ١٩٦٨. وتضم الوحدة ٢٠١ مصدر من مصادر الكوبالت-٦٠ الموجودة في الجسم المركزي للوحدة. وتنتج هذه المصادر ٢٠١ حزمة موازية موجهة إلى نقطة بؤرية واحدة (مركز تساوي الجهاز) على مسافة بين المصدر والبؤرة تبلغ حوالي ٤٠ سم. وتوفر واحدة من أربع خوذات التعريف النهائي لحجم مجال الحزمة الدائرية التي تصدر مجالات دائرية بأقطار اسمية تتراوح بين ٤ و١٨ مم في النقطة البؤرية للجهاز (مَرْكَزُ التَّساوِي).

ويوجد ما يقرب من ٢٠٠ جهاز مشرط أشعة غاما في جميع أنحاء العالم، منها ما لا يقل عن ١٠٤ أجهزة في الولايات المتحدة الأمريكية. وشركة Elekta، شركة سويسرية/سويدية، هي جهة التصنيع الوحيدة لمشرط أشعة غاما، بينما تعد شركة MDS Nordion المصدر الرئيسي للمصادر الصغيرة المختومة من الكوبالت-٦٠. وبدأت شركة GammaStar الصينية في تسويق جهاز منافس وتبيع Elekta الآن إصداراً جديداً من جهاز مشرط أشعة غاما مع ١٩٢ مصدراً، بدلاً من ٢٠١ مصدر المستخدمة في النماذج السابقة.

وتُصمَّم المرافق التي يوضع داخلها جهاز علاج بشكل خاص لتشمل جدراناً سميكة ومدرَّعة، بالإضافة إلى معدات الوقاية الأخرى. ويرد في الشكل ١٧ جهاز معالجة بُعادية نموذجي متعدد الحزم.

وكل مصدر من مصادر مشرط أشعة غاما من الكوبالت-٦٠ يكون على شكل كبسولة فولاذية بقُطر ١ مم وارتفاع ٢٠ مم، وتحتوي على ٢٠ قرص وقود من الكوبالت-٦٠. وتوضع الكبسولة في كبسولة فولاذية أخرى، تكون محاطة ببطانة معدنية وتُحمَّل في الجسم المركزي للجهاز. وتُحاذى كل مجمعة بطانة معدنية للمصدر مع أداة التسديد الأولية (٦,٥ سم من سبيكة التنجستن)، والتسديد الثابتة (٩,٢٥ سم من الرصاص)، والتسديد النهائية (٦ سم من سبيكة التنجستن) على إحدى الخوذات الأربع.

الشكل ١٧- جهاز مشرط أشعة غاما يُظهر الجسم الرئيسي للوحدة التي تحتوي على ٢٠١ مصدر من الكوبالت (عند ٣٠ كوري = ١,١١ تيرابكريل لكل مصدر)، وأريكة العلاج، وخوذة تسديد متصلة بأريكة العلاج. ويُظهر الجزء الداخلي من الشكل صورة مقربة لنظام التحديد التلقائي للمواضع المستعمل في توجيه وضع المريض من أجل تلقي العلاج.

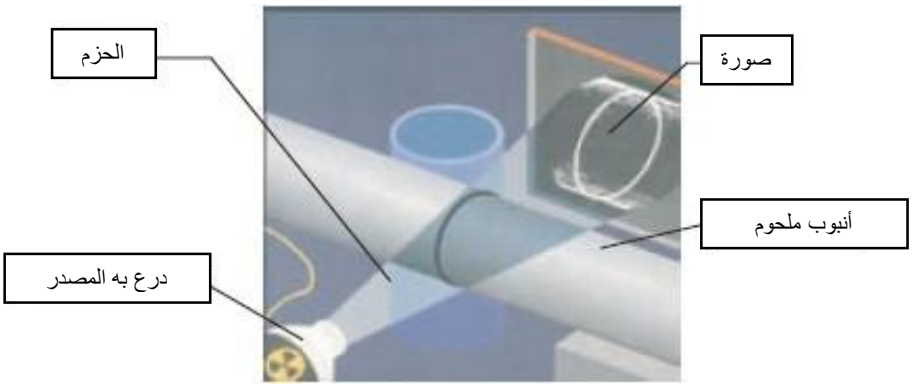
٤-٢- الأجهزة ومصادر الفئة ٢

٤-٢-١ أجهزة التصوير الإشعاعي بأشعة غاما للأغراض الصناعية

التصوير الإشعاعي بأشعة غاما هو واحد من عدد من التقنيات المستخدمة في الصناعة لأغراض تقييم الأمان ومراقبة الجودة. وبشكل خاص، يُستخدم على نطاق واسع في الصناعات الكيميائية والبتروكيميائية والبناء للفحص الإشعاعي للأنابيب والمراجل والهياكل حيث يمكن أن يؤدي الخلل فيها إلى عواقب وخيمة اقتصادياً وفيما يتعلق بالأمان.

وتُستخدم أجهزة التصوير الإشعاعي بأشعة غاما للأغراض الصناعية في التصوير الإشعاعي للهياكل الهندسية. وتحتوي هذه الأجهزة على مصدر واحد متصل بكابل مرن يمكن كشفه بالقرب من الجسم قيد الفحص. ويُلصَق فيلم إشعاعي خلف الجسم، وتمر أشعة

غاما المخترِقة من هذا الفيلم. وتظهر الاختلافات في كثافة العنصر الذي يُصوَّر إشعاعياً في صورة الفيلم. وغالباً ما يشار إلى الأجهزة أيضاً باسم كاميرات التصوير الإشعاعي (الشكل ١٨).



الشكل ١٨- نظام نموذجي لأشعة غاما.

وتتكون معظم معدات التصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية من وحدة تصوير إشعاعي، والتي قد تحتوي على اليورانيوم المستنفد كمادة تدريع، ومصدر أو أكثر من المصادر المختومة (الشكل ١٩). وفي الوقت الراهن، تُستخدم المصادر التي تحتوي على الإيريديوم-١٩٢ أو الكوبالت-٦٠ أو اليتربيوم-١٦٩ أو الثوليوم-١٧٠ أو السلنيوم-٧٥ في التصوير الإشعاعي بأشعة غاما. وعادة ما تُغلَّف المصادر بشكل مزدوج في الفولاذ غير القابل للصدأ، وتحتوي على واحد أو أكثر من حبيبات المواد الفعالة في شكل معدني. ويُحتفظ بالمصدر في مجمعة مرنة، تسمى أحياناً حامل المصدر أو القلم الرصاص أو المكوك أو الطرف (انظر الأشكال ٢٠-٢٢). وأجهزة التصوير الإشعاعي المحمولة للأغراض الصناعية صغيرة الحجم بشكل عام، على الرغم من أنها ثقيلة نسبياً بسبب التدريع.

الشكل ١٩- أجهزة تصوير إشعاعي نموذجية للأغراض الصناعية.

وفي حالة عدم استخدام المصدر، يوضع في وسط حاوية المصدر. وفي أثناء استخدام المصدر، يُدفَع إلى الموضع المطلوب عن طريق جهاز تحكم عن بُعد. وفي الصناعات الثقيلة، مثل مسابك الصلب أو محطات التصنيع، يمكن تركيب المعدات المحمولة أو المتنقلة (على عجلات) أو معدات التصوير الإشعاعي الثابتة، التي تحتوي على الإيريديوم-١٩٢ أو الكوبالت-٦٠ أو السيزيوم-١٣٧، في حاويات مبنية لهذا الغرض. ونظراً لأن الأجهزة المتنقلة أو الثابتة تتضمن تدريعاً أثقل من أماكن مبيت المصادر المحمولة، فهي أقل عرضة للسرقة وأكثر صعوبة في التفكيك.

الشكل ٢٠- مصدر/مجمعات طرفية نموذجية قديمة تستعمل في التصوير بأشعة غاما.

الشكل ٢١- مصدر/مجمع طرفي نموذجي يستعمل في التصوير بأشعة غاما.

الشكل ٢٢- كبسولة مصدر داخلي نموذجية للتصوير بأشعة غاما قبل تغليفها في الطرف.

وتحتوي أماكن مبيت المصادر المحمولة على عدة عشرات من الكيلوغرامات من مواد التدريع، مثل اليورانيوم المستنفد أو الرصاص أو التنجستن، والتي قد يُنظر إليها على أنها ذات قيمة محتملة. ومن الأمور ذات الصلة أيضاً أن الطبيعة المحمولة لمعظم المعدات تسمح باستخدامها في أي مكان تقريباً. وغالباً ما يكون هذا في مواقع بعيدة أو في ظل ظروف عمل قاسية. ويتيح هذا الوضع، إلى جانب الإشراف المحدود أو المنعدم، إمكانية فقد أو سرقة الحاويات بأكملها مع مصادرها. ويمكن أن ينتهي بها الأمر في صناعة إعادة تدوير المعادن أو البقاء في المجال العام. وهذه مشاكل مماثلة لتلك الخاصة بمصادر المهملة للمعالجة البُعادية، وعلى الرغم من أن مستويات النشاط للتصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية تكون أقل، فإنها لا تزال كافية لإنتاج تأثيرات قاتلة. وربما يأتي التهديد الأكثر أهمية من فقدان المصدر غير المدرَّع. وإن الأعداد الكبيرة لمعظم مصادر التصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية وبيئة العمل الموجودة بها ومستوى نشاطها وإمكانية نقلها/تنقلها تجعلها أهدافاً رئيسية للاستيلاء المتعمد لأغراض شريرة.

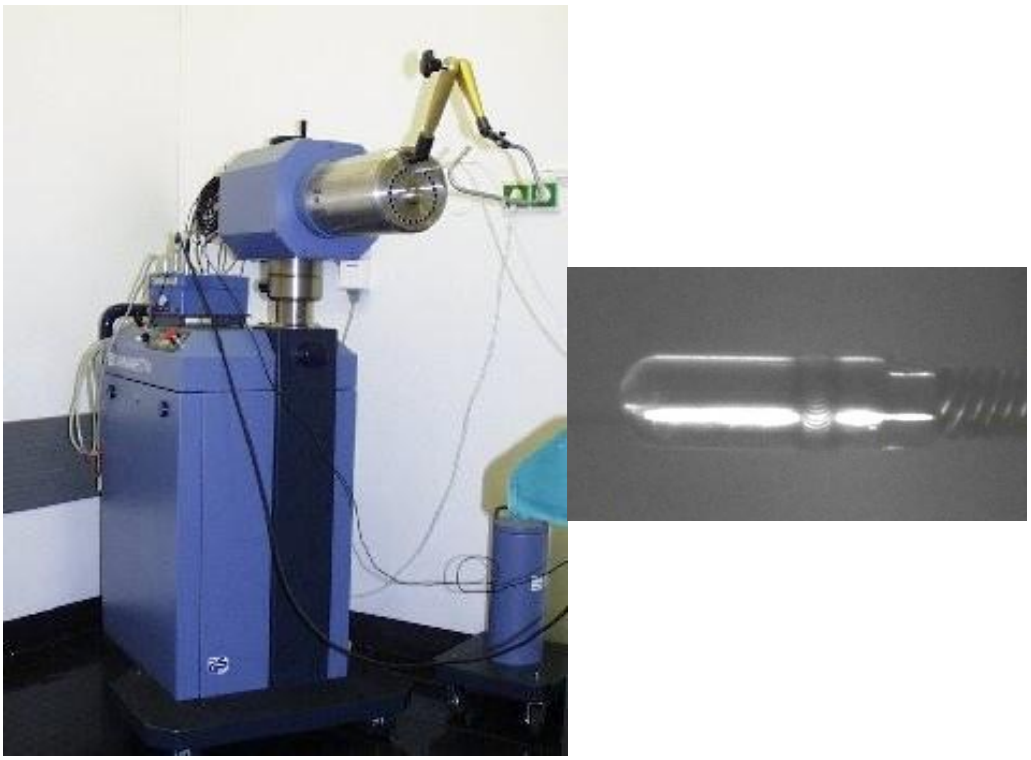
٤-٢-٢- أجهزة التشعيع الداخلي بجرعات عالية/متوسطة

التشعيع الداخلي (العلاج على مسافة قصيرة) هو مصطلح يستخدم لوصف تطبيق المصادر المشعَّة الخلالية أو داخل التجويف عن طريق وضعها مباشرة في الورم (الثدي، والبروستاتا)، أو في قوالب (الجلد، والمستقيم)، أو في مطابيق خاصة (المهبل وعنق

الرحم). وتطبيقات التشعيع الداخلي من نوعين مختلفين قليلاً. ويشار إليهما عموماً باسم التشعيع الداخلي بمعدل الجرعات العالية (الفئة ٢) والتشعيع الداخلي بمعدل الجرعات المنخفضة (الفئة ٤ أو ٥). وقد تكون مصادر معدل الجرعات العالية، وبعض مصادر معدل الجرعات المنخفضة، على شكل سلك طويل متصل بجهاز (جهاز تحميل لاحق عن بُعد).

وقد تكون أجهزة التحميل اللاحق ثقيلة بسبب تدريع المصادر عندما لا تكون قيد الاستخدام. وقد يكون الجهاز على عجلات لنقله داخل المرفق. وقد يحتوي جهاز التحميل اللاحق عن بُعد أيضاً على مكونات كهربائية وإلكترونية لتشغيله (الشكل ٢٣). وعند استخدام هذه الأجهزة، تُدخل القسطرة أولاً في الجسم ثم تُحمَّل المصادر، المتصلة بالكابلات، عن طريق جهاز التحكم عن بُعد.

وتاريخياً، استُخدم الراديوم-٢٢٦ في التشعيع الداخلي. وكانت المصادر تُغلَّف بالبلاتين إما في إبر أو أنابيب بعرض بضعة مليمترات وبطول يصل إلى ٥ سم. وفي الوقت الحالي، تُجرى معظم عمليات التشعيع الداخلي بمعدل الجرعات العالية والمتوسطة باستخدام الإيريديوم-١٩٢، ولكن يُستخدم أيضاً الكوبالت-٦٠ والسيزيوم-١٣٧. وتُصنَّع المصادر بأحجام وأشكال مختلفة، بما في ذلك الأسلاك أو الشرائط.

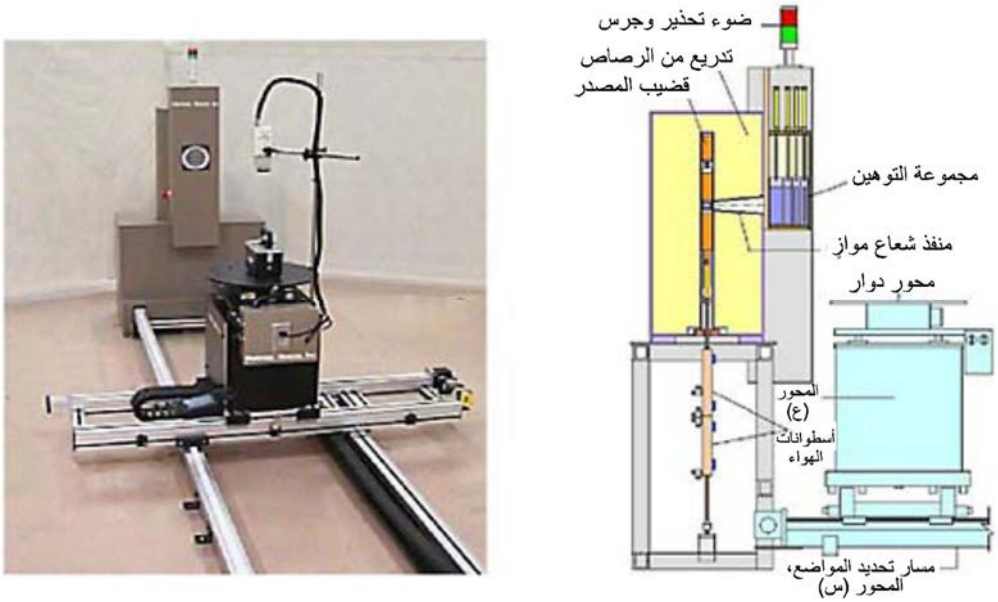


الشكل ٢٣- جهاز تشعيع داخلي بمعدل جرعات منخفضة بمصادر الإيريديوم-١٩٢، ومصدر الإيريديوم-١٩٢.

وعندما لا تكون مصادر التشعيع الداخلي قيد الاستخدام، تُخزَّن عادةً في خزائن أو حاويات مدرَّعة من الرصاص، ولكن كانت هناك حالات ظلت فيها المصادر مُحمَّلة بشكل غير صحيح في المطابيق في عربات النقل. وبالمثل، تُركت المصادر التي تجاوزت عمرها الإنتاجي في الخزائن أو حاويات النقل. وإذا انكسر كابل جهاز التحميل اللاحق عن بُعد، فقد تنفصل المصادر. وقد يؤدي عدم التعرف على هذه المشاكل إلى مخاطر كبيرة.

٤-٢-٣- نُظُم المعايرة

تستخدم نُظُم المعايرة مصادر مشعَّة عالية النشاط (حوالي ١٥ إلى ٨٢ تيرابكريل (٤٠٠ إلى ٢٢٠٠ كوري)) لإنتاج مجالات إشعاع ذات كثافة معروفة لمعايرة معدات رصد الإشعاعات ومقاييس الجرعات، حيث يمكن تقييم المعدات ومقاييس الجرعات من أجل التشغيل الدقيق. ويتطلب من المصدر المُقاس نشاطه معايرة الأدوات ومقاييس الجرعات وفقاً للمعايير المقبولة. ويوضح الشكل ٢٤ مخططاً وصورة لمصدر نموذجي المعايرة باستخدام حُزم غاما.



الشكل ٢٤- التكوين النموذجي لجهاز معايرة باستخدام أشعة غاما لمعايرة أداة المسح.

ويتكون النظام عادة من مصادر مشعَّة، وتدريع إشعاعي، وآلية لتحديد موقع المصدر، ومسار أو حجرة داخلية لتحديد موضع العناصر المراد معايرتها. وقد تحتوي نُظُم المعايرة الحديثة على جهاز تحكم بالحاسوب ونُظُم أمان، مثل الرصد الفيديوي، وأجهزة رصد الإشعاعات، وأضواء ومؤشرات تحذيرية، ونظام قفل الأمان.

وهناك عدد كبير من المصادر المشعَّة التي تستخدم للأجهزة وأغراض المعايرة الأخرى. ونظراً لاستخدام مجموعة واسعة من النويدات المشعَّة والأنشطة، لا يمكن تصنيف هذه المصادر ضمن فئة معينة؛ ومع ذلك، فمصدرا المعايرة الأوسع نطاقاً، الكوبالت-٦٠ والسيزيوم-١٣٧، يقعان عموماً ضمن الفئة ٢. ويمكن أن تنتمي بعض المصادر إلى الفئتين ٣ و٤، لكن معظمها يقع ضمن الفئة ٥.

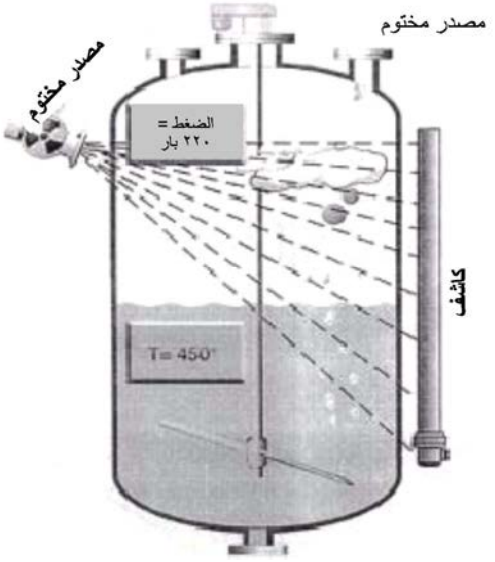
وبعض مصادر المعايرة، لا سيما تلك ذات النشاط العالي، موجودة في أجهزة مصممة خصيصاً، ومدرَّعة، ومسددة داخل مرافق مدرَّعة كبيرة. والبعض الآخر منها مجرد مصادر فردية يمكن استخدامها لأغراض متنوعة، مثل الصناعة النووية وحماية البيئة والمؤسسات البحثية والتعليمية. وتُستخدم مجموعة واسعة من النويدات المشعَّة، أو مزيج من النويدات المشعَّة، في مصادر المعايرة، وتتوافر مجموعة متنوعة من تصميمات وأشكال المصادر (الشكل ٢٥).

الشكل ٢٥- أمثلة على مصادر المعايرة ذات النشاط المنخفض: الكوبالت-٦٠، والسيزيوم-١٣٧، والسترونشيوم-٩٠، والراديوم-٢٢٦.

٤-٣- الأجهزة ومصادر الفئة ٣

٤-٣-١- مقاييس صناعية ثابتة

تُستخدم المقاييس المشعَّة الثابتة لقياس المستوى أو السماكة أو الكثافة أو محتوى الرطوبة أو وجود مادة معينة في أثناء تعدينها أو تصنيعها أو معالجتها دون ملامسة المادة نفسها (الشكل ٢٦). وحسب التطبيق المحدد، قد تحتوي المقاييس الصناعية على كميات صغيرة نسبياً من المواد المشعَّة، أو قد تحتوي على مصادر ذات أنشطة تقترب من ١ تيرابكريل. والمصادر ذات الأنشطة الأكبر (حوالي ١٠٠ غيغابكريل) من السيزيوم-١٣٧ والكوبالت-٦٠ والكاليفورنيوم-٢٥٢، التي تُستخدم كمقاييس للمستوى أو في الناقلات أو رافعات الأوحال أو أفران الصهر أو الأنابيب الدوارة، هي مصادر تقع ضمن الفئة ٣، بينما تقع معظم مقاييس مستوى السماكة والرطوبة/الكثافة والامتلاء الأخرى ضمن الفئة ٤.



الوظائف

- قياس المستوى؛
- كشف طبقة الواجهة؛
- قياس المستويات الدنيا والقصوى؛
- قياسات الكثافة؛
- التحكم في العملية (تدفق المواد/ الإمداد).

في ظروف المعالجة العادية والقاسية، على سبيل المثال:

- ضغوط عالية؛
- درجات حرارة عالية
- تسمم؛
- تآكل؛
- لزوجة.

الشكل ٢٦- وظائف مختلفة للمصادر المختومة في التحكم في العمليات.

وغالباً ما تستخدِم أفران الصهر المستخدمة في صناعة الفولاذ مصادرَ الكوبالت-٦٠ لقياس تآكل البطانة المقاومة للصهر في الموقد السفلي. وتستخدم أجهزة قياس الأنابيب الدوارة مصادرَ السيزيوم-١٣٧ لقياس سماكة جدار الأنابيب في أثناء تمريرها عبر مراكز أجهزة القياس. وبينما تُدرَج مقاييس الأنابيب ضمن فئة المقاييس الثابتة، يمكن أيضاً تركيبها على الشاحنات. ومع ذلك، يمكن أن تكون ثقيلة جداً (حوالي ١٠٠ كغ) بسبب تدريع الرصاص أو التنجستن (الشكل ٢٧).

الشكل ٢٧- أمثلة لأنواع مختلفة من أجهزة القياس.

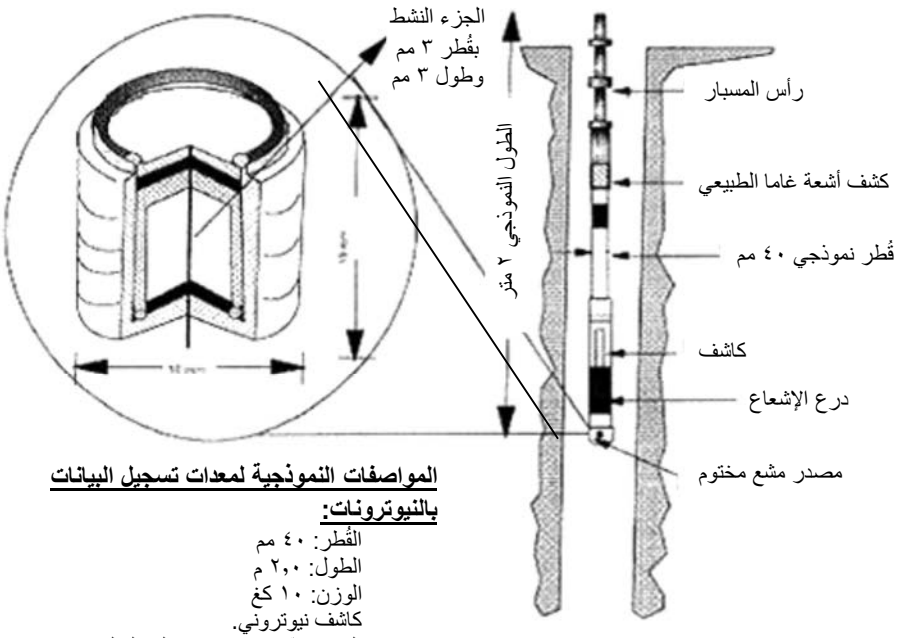
الأجهزة بشكل عام ليست كبيرة، ولكنها قد تكون موجودة على مسافة ما من كاشف الإشعاع، والذي قد يكون مرتبطاً بمكونات كهربائية أو إلكترونية موجودة داخل المبيت الخاص به. وقد لا يجري التعرف على مواقع هذه الأجهزة أو المصادر داخل المرفق، نظراً لأن الأجهزة غالباً ما تكون متصلة بمعدات التحكم في العمليات. وقد يؤدي عدم الاعتراف هذا إلى فقدان التحكم إذا قرر المرفق تجديد بعض المحطات أو إنهاء عمليات.

وقد ينتهي الأمر بالمصدر المهمَل في صناعة إعادة تدوير المعادن. وإذا لم يكن هناك أداة رصد مثبتة في مسار إعادة تدوير المعادن، أو إذا كان النظام لا يعمل، فقد يُصهَر المصدر، مما يؤدي إلى تلوث المسبك ودمج المواد المشعَّة في المواد المصنعة.

٤-٢-٣- مقاييس تسجيل بيانات الآبار

تسجيل بيانات الآبار هو ممارسة لقياس خصائص الطبقات الجيولوجية التي حفر خلالها البئر أو يجري حفره. وسجل البئر هو تتبع أو تسجيل البيانات من أداة استشعار جوفية مقابل عمق البئر. والتطبيق الأكثر شيوعاً لها من جانب صناعات النفط والغاز التي تبحث عن مناطق هيدروكربونية قابلة للاسترداد. وبالنسبة لإنتاج النفط والغاز، ترغب الشركات في الحصول على عدة أنواع من المعلومات بشأن الطبقة الجيولوجية، مثل محتوى الهيدروكربون. ولقياس هذه الخصائص، يمكن إنزال المصادر وأجهزة الاستشعار التي حُمِّلت في أماكن مبيت تسمى مسابير في حفرة السبر الموجودة (تقنية تسمى التسجيل البئري السلكي) أو يمكن تثبيتها في طوق خلف رأس الحفر لأخذ القياسات في أثناء حفر البئر.

ويُستخدم مزيج من المصادر النيوترونية وأشعة غاما لتحديد كثافة الهياكل الجيولوجية ومساميتها ورطوبتها، أو محتوى الهيدروكربون فيها. والمصادر النيوترونية الأكثر شيوعاً المستخدمة هي الأميريشيوم-٢٤١-البريليوم حتى ٨٠٠ غيغابكريل، ولكن استخدم كذلك البلوتونيوم-٢٣٩-البريليوم والراديوم-٢٢٦-البريليوم. ومصادر غاما الأكثر استخداماً هي مصادر السيزيوم-١٣٧ بمقدار ٥٠-١٠٠ غيغابكريل. ولا تزال المصادر الأصغر، التي تحتوي غالباً على الراديوم، قيد الاستخدام لأغراض مرجعية. وعادة ما يتم احتواء المصادر في أجهزة طويلة (عادة، من ١ إلى ٢ متر) ولكنها رفيعة (قُطرها أقل من ١٠ سم)، وتحتوي أيضاً على كاشفات إلى جانب مكونات إلكترونية مختلفة. والأجهزة ثقيلة بسبب الصلابة اللازمة للبيئات التي تستخدم فيها. ويوضح الشكل ٢٨ رسماً توضيحياً تخطيطياً لمصدر نيوتروني ومعدات تسجيل بيانات حفر السبر. ويوضح الشكلان ٢٩ و٣٠ مثالاً على معدات تسجيل بيانات حفر السبر وبعض المصادر النموذجية لتسجيل بيانات آبار النفط باستخدام نيوترونات الأميريشيوم-٢٤١-البريليوم.



المواصفات النموذجية لمعدات تسجيل البيانات بالنيوترونات:

القُطر: ٤٠ مم
الطول: ٢,٠ م
الوزن: ١٠ كغ
كاشف نيوتروني.
النوع: عدّاد تناسبي قائم على الهيليوم-٣
المصدر: الأميريشيوم-٢٤١-البريليوم
التباعد بين المصدر والكاشف: ٤٥ سم
كاشف أشعة غاما الطبيعي.

الشكل ٢٨- رسم توضيحي تخطيطي لمصدر نيوتروني ومعدات تسجيل بيانات حفر السبر.

الشكل ٢٩- رأس مصدر لجهاز بحث زحاف لخطوط الأنابيب في حاوية شحن.

الشكل ٣٠- مصادر نيوترونية نموذجية للأميريشيوم-٢٤١-البريليوم لتسجيل بيانات آبار النفط.

والشكل ٣١ هو صورة لأداة كثافة غاما-غاما، تُظهر جهاز التعامل مع المصدر المستخدم لإدخال مصدر السيزيوم-١٣٧ وإزالته.

الشكل ٣١- جهاز Atlas Densilog يستخدم مصدراً مزججاً للسيزيوم-١٣٧ لقياسات كثافة الأسلاك. والقضيب الممتد للأسفل هو جهاز للتعامل مع المصدر. والدوائر ذات الألوان الفاتحة عبارة عن نوافذ للمصدر وكاشفات.

وأماكن المبيت التي تُخزَّن فيها المصادر النيوترونية لتسجيل بيانات الآبار وتُنقل إليها كبيرة وقد تبدو جذابة للصوص. وعادةً ما يكون الجزء الأكبر من التدريع من البلاستيك أو شمع البارافين وقد يتخلص منه اللص على أنه عديم الفائدة، مما يؤدي إلى وضع خطير محتمل. وعادة ما تكون أماكن خزن مصادر غاما مدرَّعة باليورانيوم المستنفد أو الرصاص، مما قد يجعل قيمتها كخردة جذابة. وتتطلب طبيعة العمل باستخدام هذه المصادر إزالتها بسهولة من أماكن المبيت لإدخالها في حفرة السبر. وإذا لم تكن خاضعة للتحكم الكافي، فسيكون من السهل نسبياً إزالة المصدر وتركه في حالة خطرة.

٤-٣-٣- أجهزة تنظيم ضربات القلب

خلال السبعينيات والثمانينيات، زُرعت أجهزة تنظيم ضربات القلب (الشكل ٦) باستخدام مادة مشعَّة كمصدر للطاقة (مثل المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة صغيرة جداً) في عدد من المرضى. وكانت النويدات المشعَّة الأكثر شيوعاً

هي البلوتونيوم-٢٣٨ (مع كمية صغيرة من الأميريشيوم-٢٤١ كمصدر ملوِّث). وتتمثل إحدى ميزات استخدام البلوتونيوم-٢٣٨ في أنه كان من السهل نسبياً تدريعه، مما يؤدي إلى الوصول إلى الحد الأدنى من معدل الجرعة الخارجية.

ومن الممكن أن يتم التخلص من المصادر بعد التشريح وينتهي بها الأمر في المعادن المعاد تدويرها. وحقيقة أن مصادر البلوتونيوم-٢٣٨ يمكن تدريعها بسهولة تعني أيضاً أنه لا يمكن العثور عليها بسهولة.

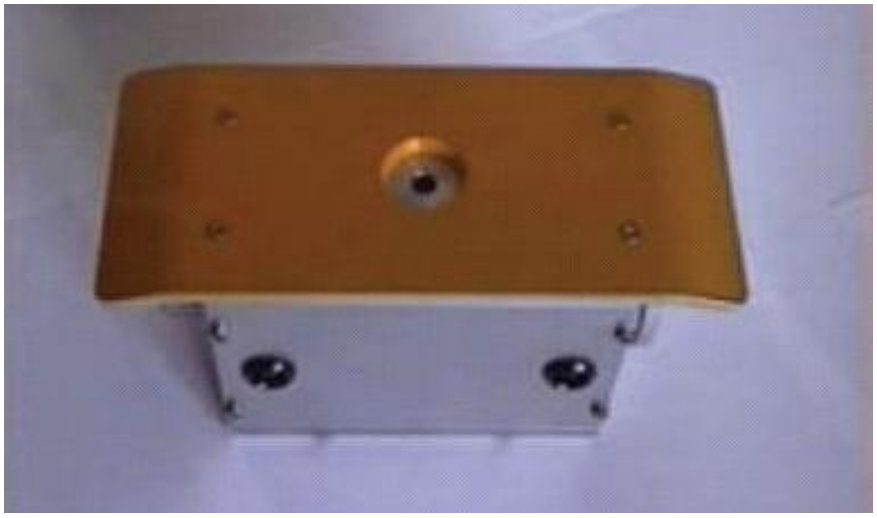
٤-٤- الأجهزة ومصادر الفئة ٤

٤-٤-١- مصادر التشعيع الداخلي بمعدل جرعات منخفضة

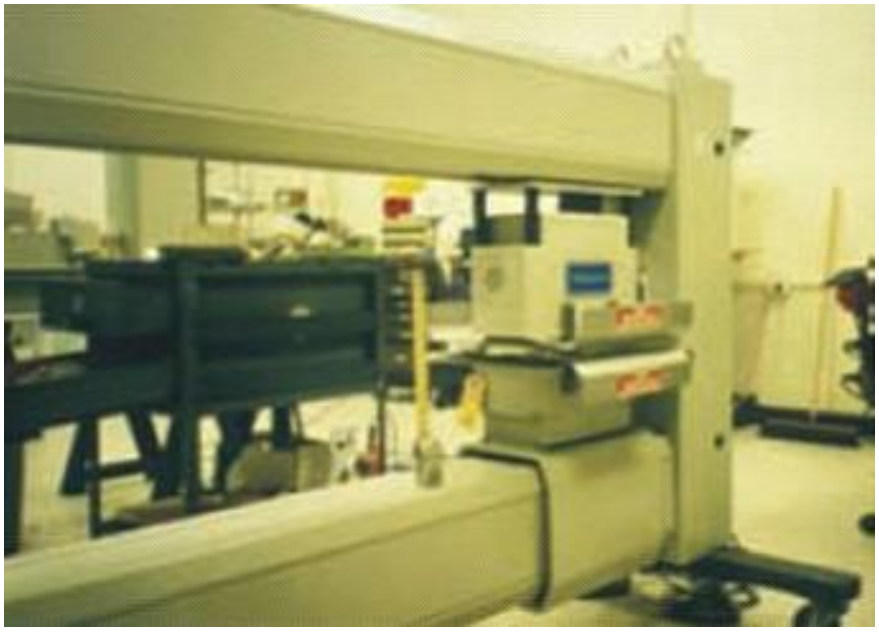
ينطبق جزء كبير من المناقشة العامة بشأن التشعيع الداخلي ضمن مصادر الفئة ٢ أيضاً هنا، باستثناء أن الأنشطة أقل وتستخدم أيضاً بعض النويدات المشعَّة الأخرى، مثل اليود-١٢٥ والذهب-١٩٨.

٤-٤-٢- مقاييس مستوى السماكة/الامتلاء

تُستخدم مصادر بيتا (الشكل ٣٢) أو مصادر غاما المنخفضة الطاقة لقياس سمك الورق والبلاستيك والمعادن الرقيقة والخفيفة، بينما تُستخدم مصادر غاما العالية الطاقة في تصنيع الألواح الفولاذية (يوجد مثال في الشكل ٣٣). وتستخدم بعض الصناعات، مثل مصانع الجعة أو مصانع تعبئة المشروبات الغازية، مصادر نشاط منخفضة في مراقبة الجودة لضمان ملء الزجاجات أو العلب بشكل صحيح. ويستخدم مصنعو السجائر أيضاً المصادر لضمان الحفاظ على كثافة التعبئة المناسبة.



الشكل ٣٢- جزء من حامل جهاز قياس باستخدام مصدر بيتا.



الشكل ٣٣- جهاز قياس قائم باستخدام مصدر بيتا في ماكينة معالجة ويب.

وتشتمل النويدات المشعَّة المستخدمة عادةً في هذه الصناعات على غاز الكربتون-٨٥ والسترونشيوم-٩٠ والأميريشيوم-٢٤١ والبروميثيوم-١٤٧ والكوريوم-٢٤٤ والسيزيوم-١٣٧. وتتراوح الأنشطة من ٠,٤ غيغابكريل إلى حوالي ٢٠ غيغابكريل. ويُختار المصدر المشع اعتماداً على سمك المادة المراد قياسها، من أجل تحسين خصائص التوهين الإشعاعي. ويُستخدم السترونشيوم-٩٠ للتطبيقات الأكثر سمكاً والأكثر كثافة، وصولاً إلى البروميثيوم-١٤٧ للمواد الأقل سمكاً والأقل كثافة. وترد في الشكل ٣٤ أمثلة على مصادر السيزيوم التي أُزيلت من أجهزة القياس.

الشكل ٣٤- أمثلة على مصادر السيزيوم التي أُزيلت من أجهزة القياس.

٤-٤-٣- أجهزة قياس الرطوبة/الكثافة المحمولة

تستخدم هذه الأجهزة نوعين من المصادر الإشعاعية معاً: مصدر غاما العالي الطاقة من السيزيوم-١٣٧ قدره ٤٠ ميغابكريل تقريباً (١ ملي كوري) ومصدر نيوتروني من الأميريشيوم-٢٤١/البريليوم قدره ٢ غيغابكريل تقريباً (٥٥ ملي كوري). وهذه الأجهزة محمولة وتستخدم عادة لقياس كثافة ومحتوى رطوبة التربة ومواد البناء. وتُحدَّد الكثافة عن طريق قياس كمية الإشعاع المتناثر خلفياً لمصدر غاما، ويستخلص محتوى الرطوبة من قياس غاما وقياس كمية الإشعاعات النيوترونية المتناثرة خلفياً.

والمصادر صغيرة الحجم، يبلغ طولها عادةً بضعة مليمترات وقُطرها بضعة سنتيمترات، وتقع إما بالكامل داخل الجهاز أو في نهاية مجمع القضيب/المقبض. وتتكون أجهزة حامل المصدر عادةً من علبة فولاذية ثقيلة، ويكون المصدر محملاً في المركز، ودرع نيوتروني، والذي قد يكون من البوليثيلين أو نوع آخر من المواد ذات المحتوى العالي من الهيدروجين. والجهاز من نوع يحتوي على مصراع بسيط، يُفتح للكشف عن فتحة تنتقل من خلالها حزمة من الإشعاع. وفي معظم الحالات، يتم احتواء كاشف النيوترونات داخل نفس الجهاز مثل المصدر.

وتُستخدم أجهزة قياس الرطوبة في الزراعة لضمان الري الأمثل (الشكل ٣٥)، في حين تُستخدم أجهزة قياس الدمج أو الكثافة غالباً في بناء الطرق لضمان تحقيق الضغط المناسب لمواد الأساس (الشكل ٣٦).

الشكل ٣٥- جهاز قياس رطوبة المواد السائبة.

الشكل ٣٦- جهاز قياس محمول باستخدام الأميريشيوم-٢٤١/البريليومالسيزيوم-١٣٧ .

وتستخدم أجهزة القياس المحمولة في مواقع بناء الطرق النائية. وهذا يجعلها، إضافة إلى صغر حجمها، عرضة لفقدان التحكم أو السرقة. وفي بعض الأحيان تتلف بسبب معدات بناء الطرق الأخرى ويمكن تجاهلها.

٤-٤-٤- أجهزة قياس كثافة العظام

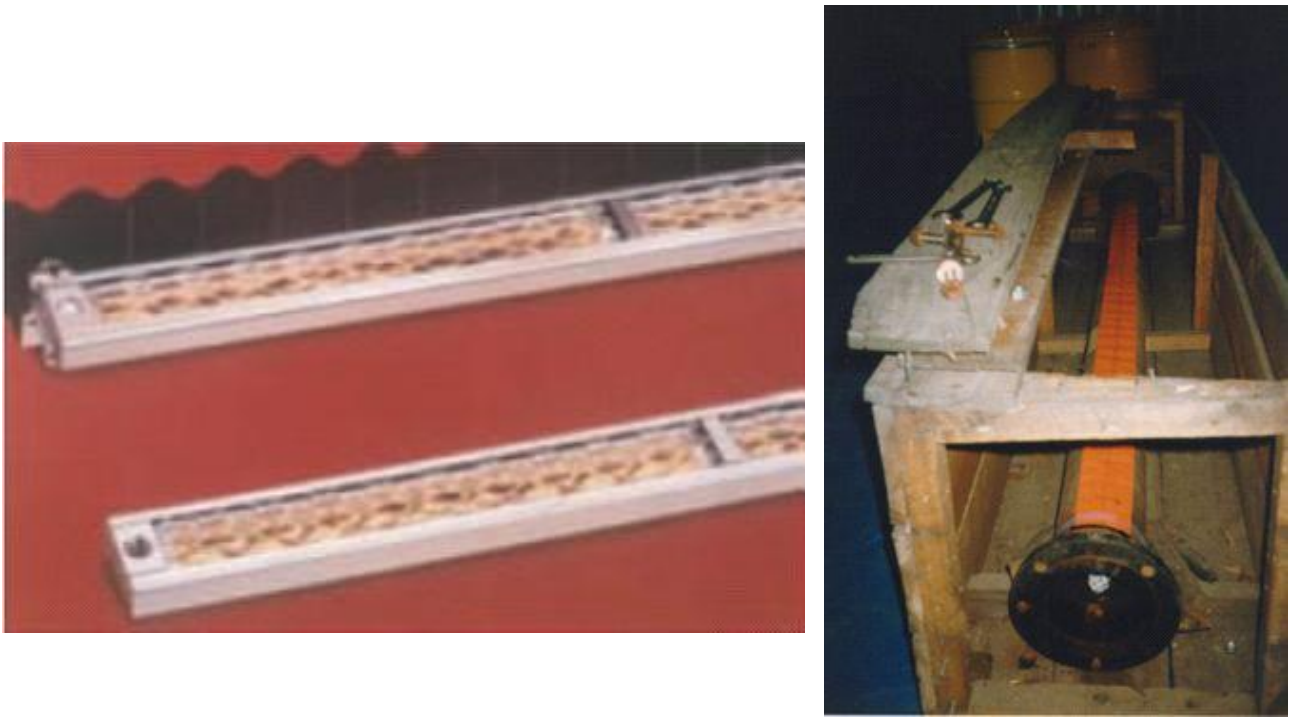
كما يوحي اسمها، استُخدمت مصادر أجهزة قياس كثافة العظام في الأجهزة المصممة لقياس كثافة العظام كجزء من تقييم هشاشة العظام. والنويدات المشعَّة المستخدمة في هذه المصادر هي في الأساس الكادميوم-١٠٩ والجادولينيوم-١٥٣ واليود-١٢٥ والأميريشيوم-٢٤١، وتتراوح قدرتها من حوالي ١ إلى ٥٠ غيغابكريل.

٤-٤-٥- أجهزة إزالة الكهرباء الاستاتيكية

في العديد من الصناعات، يؤدي توليد الكهرباء الاستاتيكية في أثناء التصنيع إلى حدوث مشاكل، مما يؤدي إلى ترسب جزيئات الغبار على المكونات، مما قد يمثل خطراً محتملاً للحرائق. ومن أجل تقليل هذه المشاكل، تستخدم أجهزة لإزالة الكهرباء الاستاتيكية، تتضمن مصادر الأميريشيوم-٢٤١ والبولونيوم-٢١٠ والسترونشيوم-٩٠.

وهناك نوعان رئيسيان من الأجهزة: القضبان (الشكل ٣٧) والقاذفات (الشكل ٣٨). وتُصدِر أجهزة القضبان "سحابة" من جسيمات ألفا إلى مسافة حوالي ٨ سم من السطح مما يؤين الغاز المحيط (الهواء) ويسمح بتوصيل أي شحنات استاتيكية على المواد المحيطة بأمان إلى الأرض عن طريق التفريغ البطيء. وتُستخدم أجهزة القاذفات في خطوط الهواء المضغوط، ويتأين الهواء الذي يمر عبرها. ويمكن استخدام تيار الهواء الناتج لنفخ الغبار من الأشياء والقضاء على الشحنات الاستاتيكية الموجودة عليها والتي تجذب الغبار. وبالنسبة للقضبان، تُوضَع الرقاقة في غلاف معدني مزود بشبكية للسماح بحرية الحركة للهواء المتأين، مع حماية الرقاقة؛ وبالنسبة للقاذفات، يتم احتواء الرقاقة داخل علبة معدنية أنبوبية تشكل جزءاً من خط الهواء وقبضة القاذف.

وتختلف الأجهزة في الحجم من الأجهزة المحمولة باليد، التي يبلغ طولها بضعة سنتيمترات، إلى الأجهزة الثابتة التي يصل طولها إلى عدة أمتار وعرضها بضعة سنتيمترات (الشكل ٣٧). والتكوين الهندسي لبعض هذه الأجهزة معقد إلى حد ما بمعنى أن مادة المصدر المشعَّة موزعة على سطح الهيكل. ونظراً لأن أجهزة إزالة الكهرباء الاستاتيكية تستخدم جسيمات ألفا المنبعثة، فإن مجمعة المصدر هشة ولا يمكنها تحمل الإتلاف المادي أو الحريق، ويمكن أن يؤدي أي منهما إلى انتشار التلوث.



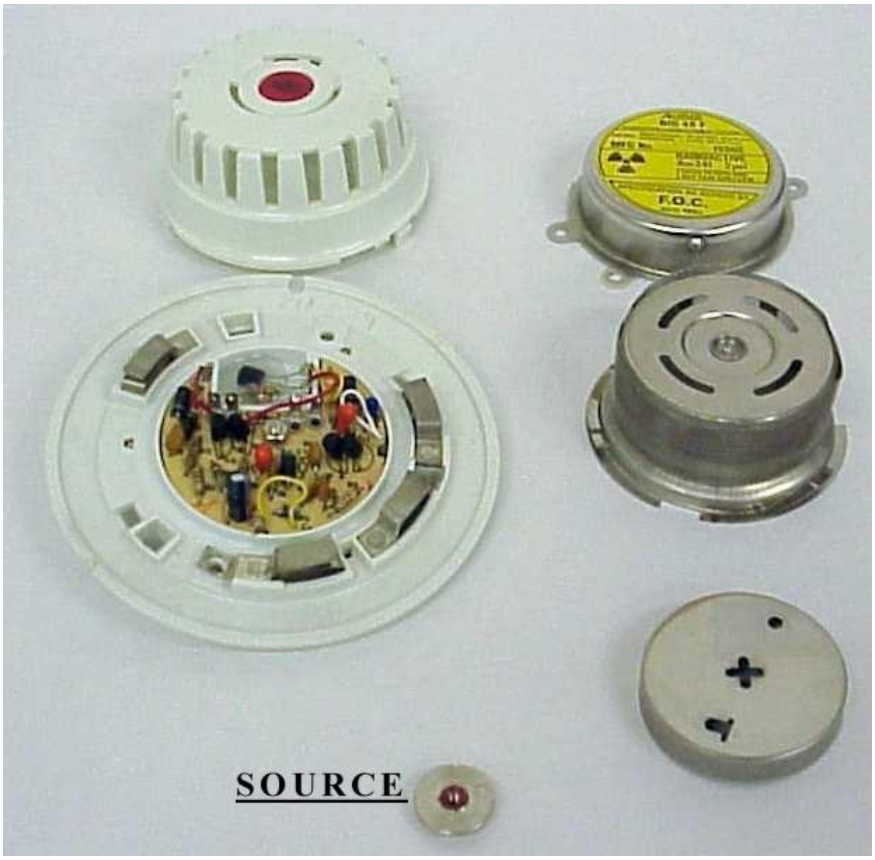
الشكل ٣٧- قضبان جهاز إزالة الكهرباء الاستاتيكية.

الشكل ٣٨- قاذف هواء نموذجي في جهاز إزالة الكهرباء الاستاتيكية.

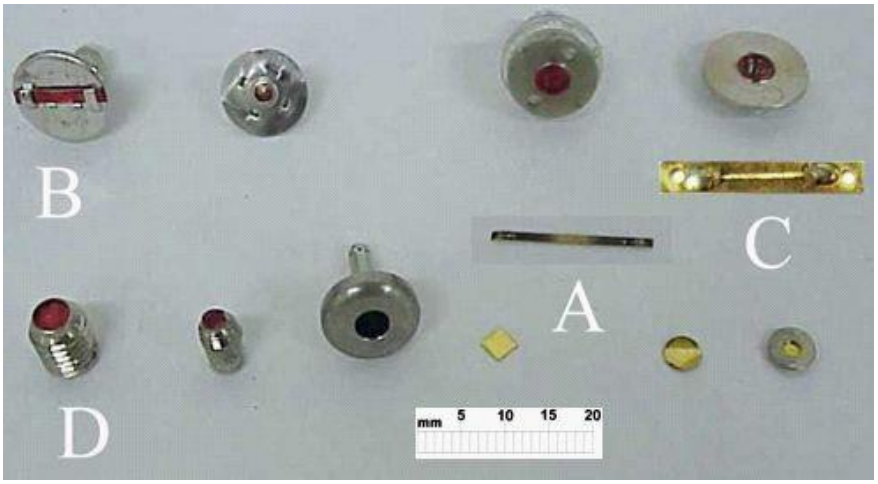
٤-٥- الأجهزة ومصادر الفئة ٥

يوجد عدد كبير ومتنوع من مصادر الفئة ٥ المستخدمة في: أجهزة تألق الأشعة السينية، وأجهزة أسر الإلكترونات، وتقنية قياس الطيف باستخدام تأثير موسباور، والتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني باستخدام كبسولات التريتيوم المستهدفة، وكاشفات الدخان (الشكلان ٣٩ و٤٠). وبالإضافة إلى ذلك، يجرى العلاج السطحي للآفات الجلدية والبصرية باستخدام مصادر السترونشيوم-٩٠/اليتريوم-٩٠.

وحلت مطابيق البلعوم الأنفي (السترونشيوم-٩٠) محل مسبار الراديوم "كرو" المستخدم في السبعينيات. وطُوِّرت عمليات الذراعة الدائمة في العين أيضاً في ذلك الوقت، باستخدام بذور الذهب-١٩٨ المشع. وفي الوقت الحالي، تستخدِم عمليات الزراعة الدائمة في العين اليود-١٢٥ والروثِنيوم-١٠٦/الروديوم والبَلاديُوم-١٠٣.



الشكل ٣٩- كاشف دخان مفكك.



الشكل ٤٠- المصادر المشعَّة النموذجية من الأميريشيوم-٢٤١ المستخدمة في الكاشفات عن الدخان.

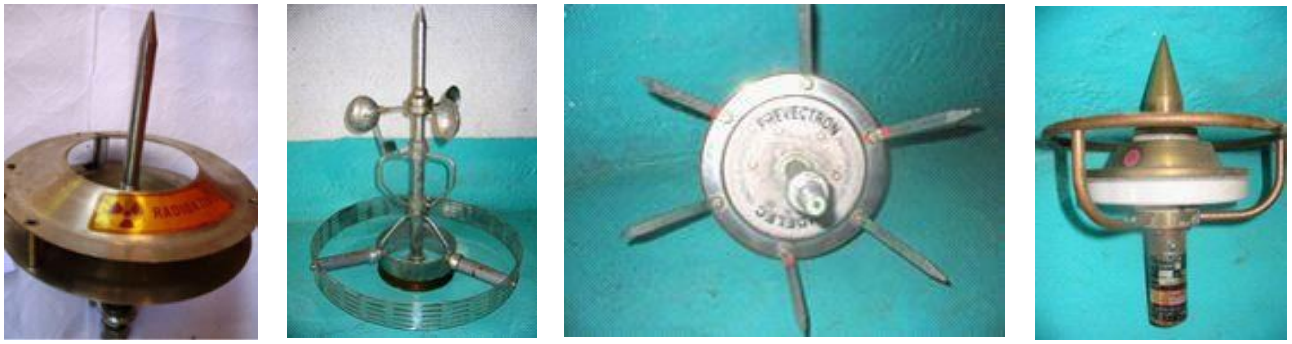
وتعتبر مصادر الفئة ٥ ذات مخاطر منخفضة بحيث لا تحتاج عموماً إلى أخذها في الاعتبار في الاستراتيجية الوطنية. وفقدان التحكم في هذه المصادر مسألة رقابية وإدارية أكثر من كونها مشكلة تتعلق بالأمان الإشعاعي أو مشكلة تتعلق بأمن المصدر المشع.

٤-٦- حالات محددة

من وجهة نظر الإدارة، هناك مشكلة محددة في المصادر القديمة التي استخدِمت قبل إرساء المتطلبات الرقابية المناسبة ولا تزال قيد الخزن. ويعتمد نوع المصادر القديمة على وقت دخول الضوابط الرقابية حيز التنفيذ في دولة عضو. ومن المحتمل أن تكون غالبية المصادر القديمة من الراديوم، ولكن ليس على سبيل الحصر.

٤-٦-١- قضبان الصواعق

رُكِّبت قضبان الصواعق المشعَّة (الشكل ٤١) في العديد من البلدان. وتزيد النويدات المشعَّة المصدر، مثل الكوبالت-٦٠ أو الكربتون-٨٥ أو اليُروبيوم-١٥٢ أو الراديوم-٢٢٦ أو الأميريشيوم-٢٤١، من فعالية الجهاز عن طريق تأين الهواء المحيط. ويُغلَّف المحتوى المشع في المكان الذي يستخدم فيه الكوبالت-٦٠ أو الكربتون-٨٥ أو اليُروبيوم-١٥٢، ويُدرَّع لتوجيه حزمة إشعاعية إلى الأعلى. ولا توجد مخاطر تلوث، ولكن معدل الجرعة في الجزء العلوي من القضيب قد يصل إلى عدة آلاف ملي سيفرت/ساعة. ولا يُغلَّف الراديوم-٢٢٦ أو الأميريشيوم-٢٤١، ولكنهما يُرسَّبان على رقائق أو يمزجان مع الخزف. ومعدل الجرعة أقل من ١ ملي سيفرت/ساعة، ولكن التلوث موجود باستمرار. ولهذه الأسباب، ونظراً لعد كفاية فعالية الجهاز، توقف استخدام قضبان الصواعق المشعَّة (الموصلات). ومع ذلك، فإن تصنيع وبيع قضبان الصواعق المشعَّة محظور منذ عام ١٩٨٦ في جميع بلدان الاتحاد الأوروبي.



الشكل ٤١- قضبان الصواعق باستخدام الأميريشيوم-٢٤١.

٤-٦-٢- الاستخدامات البحثية والأكاديمية

بسبب وجود مجموعة واسعة من تطبيقات المصادر المشعَّة في التدريس والبحث، تُناقش هنا المصادر المستخدمة بإيجاز. وعملياً، يمكن لأي نويدات مشعَّة لأي نشاط أن تجد بعض التطبيقات في العمل البحثي، وبالتالي يمكن أن تندرج هذه المصادر ضمن أي فئة.

وتُستخدم أجهزة التشعيع البحثية في تعريض المواد البيولوجية وغير البيولوجية للإشعاع بمختلف أنواعه من أجل تقييم استجابة المواد المستهدفة للجرعات المختلفة ومعدلات الجرعات وطاقات مصدر الإشعاع المطبق. وتُستخدم هذه الوحدات بطريقة محدودة في البحوث المتعلقة بالمواد وعلى نطاق واسع في البحوث الإشعاعية البيولوجية. وتُستخدم لتقييم مكونات الإلكترونيات ومكونات السواتل الفضائية أيضاً.

وتتضمن البحوث الإشعاعية البيولوجية إما تعرض خلايا البكتيريا أو الخميرة أو الثدييات لجرعات متدرجة من الإشعاع من أجل تقييم الاستجابة أو تعرض حيوانات كاملة أو أجزاء من الحيوانات الحية من أجل تقييم الاستجابة مقابل الجرعة. وقد يكون التعرض البيولوجي أيضاً أداة لتمكين إجراء دراسات أخرى، مثل التسبب في تثبيط المناعة بحيث يمكن تقييم الزرع. وأُجري التشعيع البحثي باستخدام نوعين أساسيين من أجهزة التشعيع: وحدات الحزم الموجودة في غرفة مدرَّعة ومُشععات قائمة بذاتها مزودة بدرع مدمج. وتشبه وحدات الحزم وحدات العلاج الإشعاعي بالسيزيوم أو الكوبالت، ولكنها توجد في غرفة مدرَّعة في مختبر بحثي. وتعطي معدلات جرعات من ١ إلى ٣ غراي/دقيقة على مسافة ٥٠-٨٠ سم. وتوجد الوحدات القائمة بذاتها في غرفة مخصصة في مختبر (انظر الشكل ٤٢).

الشكل ٤٢- أجهزة التشعيع البحثية من جهات تصنيع مختلفة.

ومع ذلك، فإن المصادر الأكثر استخداماً في البحث هي مصادر النشاط المنخفض و/أو المصادر ذات العمر النصفي القصير. وتُستخدم مصادر التريتيوم (^{3}H) والكربون-١٤ بشكل متكرر ولكنها تحتوي على انبعاثات بيتا ضعيفة، مما يتسبب في مخاطر إشعاعية أقل خطورة، خاصة عندما تصبح مهمَلة. وتُستخدم العديد من هذه المصادر في أجهزة أسر الإلكترونات وأجهزة الفصل اللوني الغازي وأجهزة تقنية قياس الطيف باستخدام تأثير موسباور. والاستثناءات الملحوظة هي استخدام مصادر كبيرة (تصل إلى ١ بيتابكريل) من الكوبالت-٦٠ والسيزيوم-١٣٧ في التشعيع أو التعقيم. وعلى الرغم من أن بعض مرافق التشعيع قد تكون على نطاق مشابه للمرافق الصناعية، فإن معظمها من النوع الثابت المدرَّع ذاتياً المصمم لقبول العينات في غرفة التشعيع.

وغالباً ما يُنفَّذ العمل البحثي كجزء من أطروحة الطالب أو بموجب عقد ممول بشكل خاص. وربما يكون قد تم الحصول على المعدات، بما في ذلك المصادر المشعَّة، خصيصاً لمشروع معين. وعند اكتمال العمل أو نفاد التمويل، قد لا يكون هناك استخدام فوري أو إضافي للمصادر، وقد يغادر الشخص المسؤول. وفي كثير من الحالات، تُخزن المصادر، ولكن قد لا يكون هناك أي "مالك" واضح لها داخل المؤسسة لتحمل المسؤولية. ولذا تنشأ المشكلة الرئيسية بخصوص المصادر المستخدمة في البحوث أو التدريس عندما تصبح المعدات غير مستخدمة ويغادر الموظفون ذوو الدراية.

٤-٦-٣- الاستخدامات العسكرية

في معظم البلدان، تكون الاستخدامات العسكرية للمصادر المشعَّة خارج نطاق التحكم الرقابي المدني التقليدي. ولهذا السبب ولأسباب أخرى، تتطلب الاستخدامات العسكرية للمصادر المشعَّة دراسة منفصلة. ويمكن أن تشمل المصادر المستخدمة في التطبيقات العسكرية مجموعة واسعة من الفئات. وفي حين أن العديد من الاستخدامات مماثلة لتلك الموجودة في الطب والصناعة والأوساط الأكاديمية، إلا أن هناك بعض التطبيقات الفريدة للجيش، أو تستخدِم أنشطة أكبر بكثير من تلك الموجودة في الأجهزة المدنية غير العسكرية المماثلة. وتتضمن أمثلة التطبيقات العسكرية ما يلي:

- المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة؛
- مصادر لتدريبات محاكاة الهجوم بالأسلحة النووية؛
- المواد التقنية (سبائك الثوريوم) ومصابيح الغاز؛
- كاشفات الغاز؛
- التريتيوم والراديوم-٢٢٦ في الأجهزة المضيئة (أنشطة أكبر بكثير من الاستخدامات المدنية).

ومن المحتمل أن يكون للجيش، لأسباب أمنية، مخزوناً منفصلاً عن المخزون الوطني العادي. ولذلك سيكون من الضروري استشارة السلطات العسكرية مباشرة لتقييم الوضع.

٤-٧- كتلة وأبعاد الأجهزة النموذجية

يرد في الجدول ٥ تلخيص لكتلة وحجم الأجهزة النموذجية التي تحتوي على مصادر مشعَّة مختومة.

الجدول ٥- كتلة وأبعاد بعض الأجهزة النموذجية

الجهاز	الفئة	الكتلة النموذجية	الأبعاد نموذجية	ملاحظات
محطة تعقيم للأغراض الصناعية	١	غ.م.	مَبنى ١٠٠ م × ٢٠٠ م × ٥٠ م	
جهاز المعالجة البُعادية	١	٥٠٠-١ ٠٠٠ كغ	٤ م طول × ٢ م عرض × ٣ م ارتفاع	
جهاز تشعيع الدم	١	١٥٠٠-٥٠٠ ٣ كغ	١ م طول × ١ م عرض × ١,٥ م ارتفاع	
جهاز المعالجة البُعادية المتعدد الحزم (مشرط أشعة غاما)	١	٢٠ ٠٠٠ كغ	٤-٥ م طول × ٢ م عرض × ٢,٥ م ارتفاع	جهاز مدرَّع
جهاز تشعيع عينة صغيرة	١	١٠٠٠-٦ ٠٠٠ كغ	١,٥ م طول × ١,٥ م عرض × ٢ م ارتفاع	
جهاز تشعيع البذور	١	غرفة (مفككة) ٣ ٠٠٠-٦ ٠٠٠ كغ	١,٥ م طول × ١,٥ م عرض × ٢ م ارتفاع	يمكن تجميعه على المركبات
المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة	١	٥٠٠-١ ٠٠٠ كغ	١,٥ م طول × ١,٥ م عرض × ١,٥ م ارتفاع	باستثناء أجهزة تنظيم ضربات القلب
السدادة الرئيسية لجهاز تسجيل بيانات آبار النفط باستخدام أشعة غاما	٢	٥٠٠-١ ٠٠٠ غرام	٢٠-٦٠ مم قُطر × ١٠٠-١٥٠ مم طول	
السدادة الرئيسية لجهاز تسجيل بيانات آبار النفط باستخدام النيوترونات	٢	٤٠٠-١ ٠٠٠ غرام	٢٠-٦٠ مم قُطر × ١٠٠-٢٠٠ مم طول	
جهاز التصوير الإشعاعي بأشعة غاما	٢	٨-٣٥ كغ	٣٥٠ مم طول × ٢٠٠ مم عرض × ٢٤٠ مم ارتفاع	يستخدم لمصادر الإيريديوم-١٩٢ والسلنيوم-٧٥
جهاز تغيير مصادر غاما المستخدمة في التصوير الإشعاعي	٢	٤٠ كغ	٢٥٠ مم طول × ٢١٠ مم عرض × ٣٤٠ مم ارتفاع	جهاز تغيير المصادر
جهاز التصوير الإشعاعي بأشعة غاما (الكوبالت-٦٠)	٢	١٠٠-٢٠٠ كغ	٩٠٠ مم طول × ٩٠٠ مم عرض × ٩٠٠ مم ارتفاع	جهاز شبه محمول يعمل بالكوبالت-٦٠
جهاز بحث زحاف لتصوير خطوط الأنابيب بأشعة غاما	٢	٥٠- ١٠٠ كغ	٨٠٠-١٥٠٠ مم طول × ٤٠٠ مم عرض × ٤٠٠ مم ارتفاع	
جهاز قياس الكثافة والسمك والمستويات باستخدام أشعة غاما العالية الطاقة	٣	٢٠-٤٠٠ كغ	٢٠٠-٤٠٠ مم قُطر، و٣٠٠-٧٠٠ مم طول	
جهاز قياس الكثافة والسمك والمستويات باستخدام أشعة غاما المنخفضة الطاقة	٣	٢٠-٥٠ كغ	٢٠٠-٤٠٠ مم قطر، و٣٠٠-٧٠٠ مم طول	
جهاز قياس الكثافة والسمك باستخدام أشعة بيتا	٤	١٠-٢٠ كغ	١٠٠–٣٠٠ مم طول × ١٠٠–٣٠٠ مم عرض × ١٠٠–٣٠٠ مم ارتفاع	
جهاز قياس رطوبة المواد السائبة	٣	١٠-١٠٠٠ كغ	٣٠٠-١٠٠٠ مم طول × ٣٠٠–٥٠٠ مم عرض × ٣٠٠–٥٠٠ مم ارتفاع	
جهاز قياس رطوبة/كثافة التربة	٤	٣٠ كغ	٢٠٠ مم طول × ٣٠٠ مم عرض × ١ ٠٠٠ مم	
جهاز تحليل تألق الأشعة السينية	٥	محمول باليد: ٢ كغ المختبر والتحكم في العمليات: ٢٠-١٠٠ كغ	محمول باليد: ٢٠٠ مم طول × ١٠٠ مم عرض × ١٠٠ مم ارتفاع المختبر والتحكم في العمليات: ٥٠٠ مم طول × ٥٠٠ مم عرض × ١ ٥٠٠ مم ارتفاع	
جهاز التشعيع الداخلي	٢	٥٠- ٢٥٠ كغ	٣٠٠–٦٠٠ مم طول × ٣٠٠–٦٠٠ مم عرض × ٨٠٠–١٥٠٠ مم ارتفاع	
جهاز إزالة الكهرباء الاستاتيكية	٤	القضبان: حتى ٢ كغ القاذفات: حتى ٥٠٠ غرام	القضبان: يصل طولها إلى ٢٠٠٠ مم × ٣٠ مم عرض × ١٠ مم عمق القاذفات: ٣٠ مم قُطر، و٨٠ مم طول	
قضيب موصل الصواعق المشع	٥	٢-١٠ كغ	١٠٠-٣٠٠ مم قُطر، و٥٠٠-١ ٠٠٠ مم طول	
لافتة مضيئة ذاتياً	٥	١-١٠ كغ	يصل طولها إلى ٦٠٠ مم × عرض يصل إلى ٢٠٠ مم × عمق يصل إلى ١٠٠ مم	
كاشف الدخان	٥	١٠٠- ٣٠٠ غرام	١٠٠-١٥٠ مم قُطر، ١٥-٣٠ مم ارتفاع	

٥- مبادئ ومتطلبات التصرف

الخيار المفضل للتصرف في المصادر المختومة المهمَلة هو إعادة تدويرها لاستخدامها مرة أخرى. وإذا لم يكن ذلك ممكناً، فإن خيار التصرف المفضل دائماً في المصادر المختومة المهمَلة والمصادر المستهلكة هو إعادة المصدر إلى مورده. وإذا لم يُتوخى أي استخدام آخر ولا يمكن إزالة المصدر بطريقة أخرى من التحكم الرقابي، فإن الخيار الوحيد المستدام الطويل الأجل هو التخلص منه. وعلى هذا النحو، يجب الإعلان عن المصادر المهمَلة، التي لا تتوافر بشأنها خيارات إعادة التدوير أو الإعادة إلى بلد المنشأ، كنفايات مشعَّة ويجب التصرف فيها على هذا النحو، بما يتوافق مع الصكوك القانونية الدولية ذات الصلة ومعايير الأمان والممارسات الجيدة.

وأصدرت الوكالة عدداً من المنشورات المتعلقة بمسؤوليات الأمان ضمن البنية الأساسية القانونية والحكومية لضمان أمان المصادر في الدول الأعضاء:

- ويحدد منشور أساسيات الأمان المعنون مبادئ الأمان الأساسية [٢٨] أهداف ومفاهيم ومبادئ الوقاية والأمان ويوفر الأساس لمتطلبات الوكالة بشأن الأمان، بما في ذلك مسؤولية الحكومة عن وضع إطار قانوني لأغراض الأمان من أجل توفير تحكم رقابي في الأنشطة التي تنطوي على مصادر إشعاعية.
- ويفرض العدد GSR Part 3، معايير الأمان الأساسية [١١]، شروطاً على الأطراف المسؤولة، وخاصة المسجِّلين والمرخَّص لهم وأصحاب العمل، بوضع نظام للتحكم في المصادر الإشعاعية لضمان أمانها.
- ويحدد العدد GSR Part 1، الإطار الحكومي والقانوني والرقابي للأمان [٢٩]، الجوانب الأساسية للإطار الحكومي والقانوني لإنشاء هيئة رقابية ولاتخاذ الإجراءات الأخرى الضرورية لضمان التحكم الرقابي الفعال.
- وتوفر مدونة قواعد السلوك [١٤] مبادئ توجيهية للدول الأعضاء لتحقيق مستوى عال من أمان المصادر المشعَّة وأمنها والحفاظ على هذا المستوى. ومن العناصر المهمة في مدونة قواعد السلوك هذه أن تضمن الدول الأعضاء اتخاذ الترتيبات للتصرف المأمون في المصادر المشعَّة بمجرد أن تصبح مهملة وحمايتها بصورة آمنة.
- ويوفر دليل الأمان بشأن أمان مولدات الإشعاعات والمصادر المشعَّة المختومة [٣٠] إرشادات بشأن المسؤوليات عن الأمان ضمن البنية الأساسية القانونية والحكومية، وبشأن منهجيات إجراء تقييمات الأمان وبشأن التصميم المحدد والتدابير التشغيلية التي ينبغي اتخاذها لضمان الأمان طوال الفترة العمرية للمصدر الإشعاعي.
- ويقدم دليل الأمان بشأن التحكم الرقابي في المصادر المشعَّة [٣١] إرشادات لتنفيذ البنية الأساسية الرقابية الوطنية اللازمة لتحقيق مستوى مناسب من الوقاية والأمان للمصادر الإشعاعية في مجالات الطب والصناعة والزراعة والبحوث والتعليم.

وكما يتضح من معايير وأدلة الأمان المذكورة أعلاه، يجب أن تكون العناصر التالية في النظام الوطني موجودة لضمان التصرف المأمون المصادر المشعَّة المهمَلة:

- مجموعة عقلانية من أهداف الأمان والوقاية من الإشعاعات ووقاية البيئة يمكن من خلالها استخلاص المقاييس والمعايير داخل نظام التحكم الرقابي؛
- تحديد جميع الأطراف المشاركة في مختلف خطوات التصرف في المصادر المهمَلة وتحديد مسؤولياتها؛
- تحديد المصادر المهمَلة الحالية والمتوقعة (السجل الوطني)؛
- الموارد (التمويل، القدرة التقنية، التوظيف، تأهيل الأفراد وتدريبهم)؛
- النظام الإداري؛
- المعلومات العامة.

٥-١- التحكم الرقابي

بغض النظر عن نوع العملية المعنية، يجب تنفيذ التصرف في المصادر المهمَلة وفقاً للإطار الوطني للرقابة والترخيص وبما يتوافق مع التوصيات الدولية. ومن المهم أن تضع الدول الأعضاء تدابير رقابية مناسبة لممارسات المعاملة والتكييف والنقل والخزن والتخلص على المستوى الوطني. وتتطلب كل هذه الممارسات عادةً تراخيص تشغيل تحدد نطاق العمليات وحدود حيازة المواد المشعَّة وأي شروط محددة يجب مراعاتها [٣٢]. ويجب تحديد المتطلبات القانونية لحفظ السجلات، كجزء من نظام الإدارة، والذي قد يكون في حد ذاته جزءاً من متطلبات الترخيص.

ولدى معظم البلدان بعض التشريعات واللوائح القائمة، والتي تنظم الوقاية من الإشعاعات وأمان المصادر المشعَّة. ولا يوجد تشريع محدد يتعامل مع التصرف في المصادر المهمَلة؛ ومع ذلك، يُدرَج بشكل عام في التشريع الخاص بالوقاية من الإشعاعات أو التصرف في النفايات. وإذا تقرر أن هناك حاجة إلى تشريع جديد أو إضافي، فيجب توخي الحذر لتقليل تداخل أو تضارب متطلبات الوقاية من الإشعاعات والأمان الإشعاعي.

وقد لا تكون جميع المتطلبات العامة ضرورية أو مناسبة في ظل ظروف محددة. ويتعين على الدولة العضو أن تقرر إلى أي مدى تنطبق المتطلبات في حالة معينة. وعلاوة على ذلك، قد توجد المنظمات المعنية تحت هيكل مختلف أو قد يكون لها اسم مختلف. ومن أجل ضمان الامتثال، من المهم التمييز بين الطبيعة الرقابية للعمل والجوانب التشغيلية.

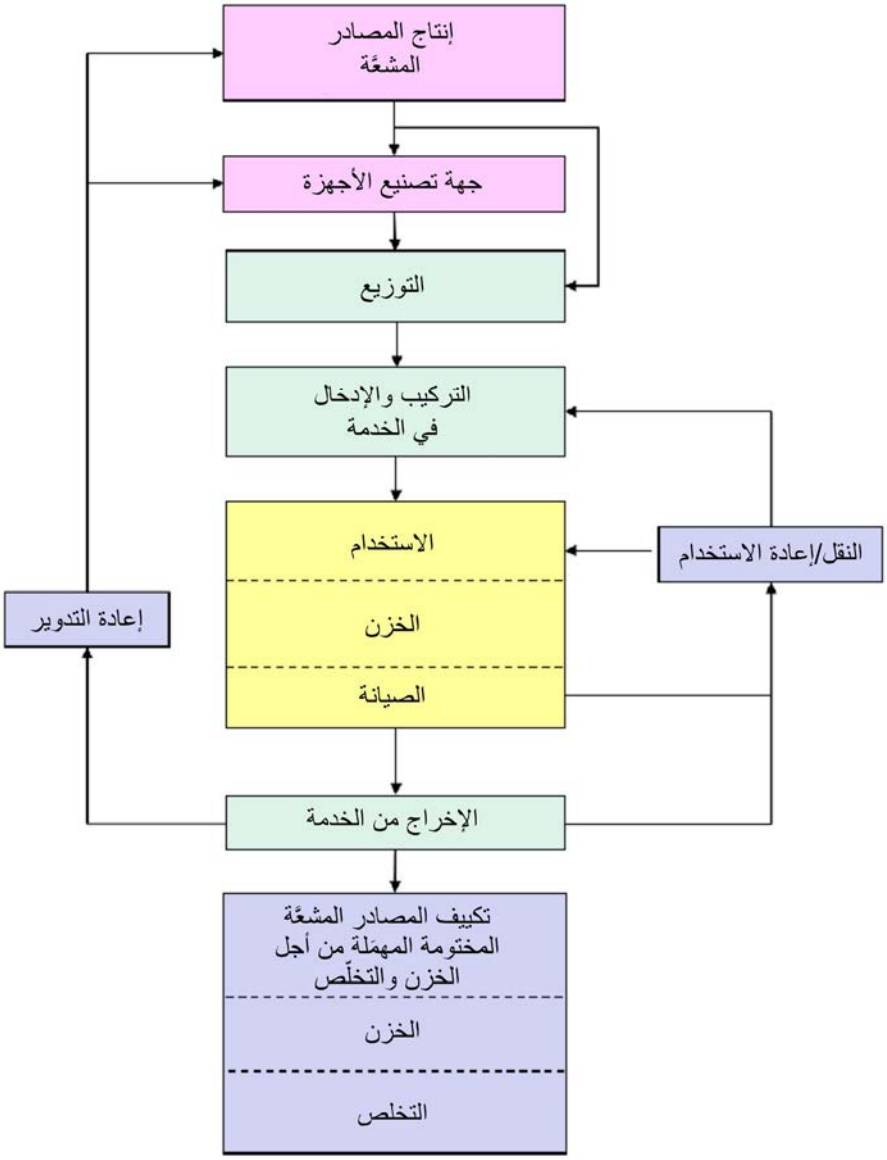
وسيضمن التحكم الرقابي في المصادر طوال دورة حياتها استمرار التحكم فيها عندما يتوقف استخدام المصادر وتصبح أكثر عرضة للفقدان. وقد تكون المعلومات التي جُمِعت كجزء من المخطط الرقابي مفيدة أيضاً في التنبؤ بأعداد وأنواع المصادر التي لم تعد قيد الاستخدام، وبالتالي تحديد المتطلبات المستقبلية لمخطط إدارة التخلص.

٥-٢- المسؤوليات

أحد المفاهيم الأساسية في التشريع هو أن المسؤولية الرئيسية عن الأمان الإشعاعي تقع على عاتق أولئك المخولين بحيازة المصادر الإشعاعية واستخدامها أو تصنيعها أو توريدها أو تركيبها. "تسند المسؤولية الرئيسية عن الأمان إلى الهيئة المشغِّلة" (المرجع [٣١]، الفقرة ٢-٣).

وبخلاف الممارسات التي ينطبق عليها الإعفاء، تُلزِم الهيئة الرقابية الحصول على إذن عن طريق الترخيص بخصوص جميع الممارسات التي لم يُحدَّد أن ما يناسبها هو الإخطار فقط أو التسجيل [١١]. وفي جميع الحالات، يتعين على المُشغِّلين الذين يستخدمون مصدراً مختوماً، كحد أدنى، تقديم المعلومات الموصوفة في الفقرتين الفرعيتين ٣٢ و٣٣ من المتطلب رقم ٣ في العدد GS-R-1 [٢٩] لدعم الإخطار ولطلب الترخيص. ولدى معظم الدول الأعضاء نُظُم سارية تعود إلى وقت سابق لشراء المصادر المستخدمة حالياً. وهذا يعني أنه من المرجح أن تكون جميع المصادر قيد الاستخدام الحالي مشمولة بترخيص.

وللمصادر المختومة دورة حياة تبدأ بالتصنيع وتنتهي بالتخلص منها. وتشتمل كل دورة حياة مصدر على عدد من الخطوات المتتالية الموضحة في الشكل ٤٣. ويمكن أن تشمل دورة حياة المصدر سلسلة من الأفراد في مؤسسات مختلفة، مثل الهيئة الرقابية، وجهة تصنيع المصادر، وجهة تصنيع الأجهزة، والموزع، والمستخدم (المستخدمون) (مستخدم واحد أو مستخدمون لاحقون)، ومؤسسة معالجة النفايات، ومشغِّل مستودع الخزن و/أو مرفق التخلص. وإن المشاركة المحتملة لعدد كبير من المؤسسات وتفاعلاتها تعني أن دورات حياة المصادر معقدة بالفعل وغالباً ما يصعب تحديدها.



الشكل ٤٣- دورة حياة المصدر المشع.

وتتمثل القضية الرئيسية خلال دورة حياة المصادر المشعَّة المختومة بأكملها في حماية الأفراد أو المجموعات من التعرض غير المقصود للإشعاعات وتقليل مخاطر الاستخدام الشرير للمصادر.

٥-٢-١- جهة تصنيع المصدر

عادة ما تقبل جهة *تصنيع المصدر* ملكية المواد المشعَّة في وقت التسليم من مرفق إنتاج النظائر المشعَّة. وبعد ذلك، تكون جهة تصنيع المصدر مسؤولة قانوناً عن التعامل المأمون مع المواد المشعَّة التي بحوزتها وعن النقل اللاحق للملكية.

ويُطلب من جهة تصنيع المصدر تزويد المستخدم والهيئة الرقابية بشهادة مصدر تحتوي على معلومات شاملة عن المصدر، مثل النموذج والرقم المسلسل والنويدات المشعَّة والنشاط وتاريخ المعايرة ونوع الكبسولة ورقم شهادة الشكل الخاص ومعلومات جهة التصنيع. وهذه المعلومات مهمة في إظهار المعلومات الخاصة بالمصدر للامتثال لمتطلبات التصرف في المصادر عندما تصبح مهمَلة.

٥-٢-٢- جهة تصنيع الأجهزة /المعدات

توفر *جهة تصنيع الأجهزة/المعدات* المعدات التي يُحمَّل المصدر فيها، إما قبل الشحن إلى موقع المستخدم أو بعد التركيب.

ويتعين على جهة تصنيع الأجهزة تلبية المعايير الوطنية والدولية لأمان المعدات، بما في ذلك موافقة الهيئة الرقابية ذات الصلة على التصميم. وبالإضافة إلى ذلك، يتعين على جهة تصنيع المعدات بموجب اللوائح تزويد المستخدم بجميع المعلومات اللازمة لتشغيل المعدات وصيانتها بشكل مأمون وسليم. وهذا يشمل جميع المعلومات ذات الصلة بشأن المصدر وإجراءات نقل المصدر، بما في ذلك وسائل تأمين المصدر في حالة مأمونة، والأقفال المتشابكة، والتأهب للطوارئ.

وبالنسبة للمصادر المشعَّة العالية النشاط، مثل أجهزة المعالجة البُعادية، يتعين على جهة تصنيع المعدات تقديم الخدمات التقنية المتعلقة بإعادة التحميل الدوري للمصادر المشعَّة.

٥-٢-٣- الموزع

الموزع المعتمد من الهيئة الرقابية مسؤول عن تنفيذ بعض عمليات النقل والتوريد وفقاً للقوانين الدولية المتعلقة بنقل المواد المشعَّة. ويمكن أن تشمل هذه المسؤوليات التحقق من أن المرسل إليه هو شخص أو كيان مأذون له بامتلاك مادة مشعَّة وفقاً للوائح الوطنية ومتطلبات الإبلاغ المعمول بها.

وتتشارك جهة تصنيع المصادر/جهة تصنيع المعدات (التي قد تستمر، بناءً على شروط التسليم، في ملكية المصدر في أثناء النقل) والموزع في المسؤوليات في أثناء عمليات النقل والتوريد.

٥-٢-٤- المستخدم

يقبل *المستخدم* عادة ملكية المادة المصدرية في الوقت الذي يتسلمها فيه من الموزع. والمستخدمون (المسجلون والمرخص لهم) مسؤولون عن إعداد وتنفيذ الإجراءات التقنية والتنظيمية اللازمة لضمان أمن وأمان المصادر. والمستخدم مسؤول قانوناً عن التعامل المأمون مع المواد المشعَّة بموجب جميع القوانين والتراخيص المعمول بها، وعن نقل الملكية اللاحق لها. وتتطلب شروط الترخيص عادةً أن يحتفظ المستخدم بشكل آمن بنسخة من معلومات شهادة المصدر المقدمة من جهة تصنيع المصدر. وعلى الرغم من أن الترخيص لا يشترط عادة فيما يخص المعدات التي توفرها جهة تصنيع الأجهزة، فإنه يتعين على المستخدم الاحتفاظ بجميع المعلومات التقنية الخاصة بها.

وعندما يصبح المصدر مهمَلاً، بعد خزن قصير في الموقع، يُنقل المصدر إلى مكان آخر حيث يمكن ضمان خزنه أو التخلص منه على المدى الطويل. وتُنقل الملكية إلى طرف آخر، مثل جهة تصنيع المصادر أو المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة. وفي حالة تخزين المستخدم للمصدر قبل النقل الرسمي للملكية (الخزن المؤقت)، تقع على عاتقه المسؤولية عن مشاكل الأمان والأمن في أثناء الخزن المؤقت للمصدر.

٥-٢-٥- المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة

توفر المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة التعامل مع المصادر المهمَلة وتكييفها وخزنها من التطبيقات المختلفة في البلد. وهي مسؤولة قانوناً عن التكييف والخزن المأمون والآمن للمصادر الواقعة تحت ملكيتها، وتعمل عادةً بموجب شروط الترخيص التي تحددها الهيئة الرقابية. وتنتهي هذه المسؤولية عندما يضمحل المصدر بدرجة كافية ليتم التخلص منه كمادة غير خطرة، أو حتى يُنقل المصدر بشكل قانوني إلى مؤسسة أخرى، مثل مرفق التخلص. وكشرط لترخيص المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة، تحتفظ المؤسسة بجرد محدَّث لجميع المصادر التي في حوزتها، بما في ذلك جميع التفاصيل المحددة المقدمة من جهة تصنيع المصدر.

وفي حالة عدم قدرة المرخص له على التصرف في المصادر المهمَلة، أو إلغاء الترخيص، أو أن المرخص له لم يعد موجوداً، فقد تصبح المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة مسؤولة عن التصرف الشامل في المصادر المهمَلة، إذا طلبت ذلك الهيئة الرقابية.

وفي البلدان الكبيرة، قد يكون هناك، بدلاً من مؤسسة مركزية واحدة للتصرف في النفايات المشعَّة، عدة مؤسسات مشغِّلة إقليمية لها نفس الوظائف.

٥-٢-٦- مرفق التخلص

مرفق التخلص من النفايات مسؤول قانوناً عن جميع النفايات المشعَّة بما في ذلك المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المقبولة للتخلص منها. وفي معظم البلدان، يعد هذا المرفق مرفقاً مركزياً يقدم خدمات التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المستلمة من جميع المستخدمين في البلد. وقد يضطلع مرفق التخلص ببعض عمليات التكييف والعمليات المرتبطة بالموقع، وفي هذه الحالة يجب أن تغطي رخصة تشغيله أيضاً هذه الأنشطة والمرافق إن وجدت.

٥-٣- سجل المصادر المشعَّة المختومة

يتمثل أحد الاهتمامات المحددة في التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في ضمان التحكم في المصادر المختومة بشكل صحيح بعد أن تصبح غير مستخدمة. وهذا يتطلب تتبع المصدر خلال دورة حياته بالكامل، وأن يُتعَهد قبل استيراده بالتزامات تتعلق بالتخلص منه، وبوضع خطة وتنفيذها للتصرف المأمون فيه بعد الإعلان بأنه أصبح مهملاً.

وتدعو مدونة قواعد السلوك [١٣] الهيئات الرقابية الوطنية إلى إنشاء وتعهد *سجل وطني* لبعض المصادر المشعَّة المختومة. ويجب أن يشتمل هذا السجل، كما هو مذكور في الفقرة ١١ من مدونة قواعد السلوك، كحد أدنى، على المصادر المشعَّة من الفئتين ١ و٢. ولغرض تسهيل تبادل المعلومات بشأن المصادر المشعَّة بين الدول الأعضاء، من المهم أن تسعى الدول الأعضاء إلى تنسيق أشكال سجلاتها.

ويجب أن ينشئ المرخص له *نظام تسجيل لتتبع جميع المصادر التي في حوزة المستخدمين* على يكون هذا النظام متسقاً مع نظام التسجيل الوطني. ويجب أن يكون النظام مصمماً بحيث يمكن الوصول إلى البيانات واسترجاعها بسهولة، فضلاً عن تأمينها. ويمكن أن يتراوح نظام التسجيل المقبول من نظام يدوي (مثل ملفات البطاقات) إلى قاعدة بيانات محوسبة. ويجب على المرخص له إخطار الهيئة الرقابية بأي تغييرات مهمة في المعلومات في نظام حفظ السجلات. ويجب على المرخص له التأكد من وجود إجراء لإبلاغ الهيئة الرقابية بشكل روتيني بتفاصيل حالة المصدر والمعلومات المطلوب إرسالها.

ويلزم أن يحتوي نظام تسجيل المصادر، كحد أدنى، على المعلومات التالية [٣٠]:

(أ) الرقم المسلسل أو الرمز التعريفي الفريد؛
(ب) رقم نوع جهة التصنيع والإشارة إلى المكان الذي يمكن العثور فيه على تفاصيل التشييد؛
(ج) النويدات المشعَّة (الرمز العنصري والرقم النظيري)؛
(د) النشاط في تاريخ محدد؛
(هـ) الشكل الفيزيائي؛
(و) الخصائص الفيزيائية والكيميائية، بما في ذلك الانبعاثات الرئيسية (ألفا، أو بيتا، أو غاما، نيوترونات)؛
(ز) موقع المصدر؛
(ح) ما لم يتضح خلاف ذلك من السجلات السابقة، تفاصيل الجهاز أو المعدات التي يستخدم معها المصدر، إذا كانت ضرورية للأمان؛
(ط) عند الاقتضاء، تاريخ استخدام المصدر (مثل سجل عمليات التعامل مع المصدر)؛
(ي) تفاصيل الاستلام أو النقل أو التخلص من المصدر.

٥-٤- الإعلان عن أن المصادر أصبحت مهمَلة

هناك العديد من العوامل التي قد تؤدي إلى أن تصبح المصادر المشعَّة مهمَلة. وتُناقش بمزيد من التفصيل أدناه بعض الأسباب الرئيسية لاعتبار المصدر مهمَلاً أو مستهلكاً.

٥-٤-١- اضمحلال النشاط

بالنسبة لجميع المصادر المشعَّة المختومة، يوجد حد أدنى من النشاط إذا انخفضت المصادر عنه تصبح غير مفيدة للغرض المحدد المرجو منها، وبالتالي تعتبر مستهلكة (مهمَلة). وفي معظم التطبيقات، يجب استبدال المصدر عندما ينخفض النشاط الأولي بسبب أحد العوامل حسب كل تطبيق بعينه. وتعتبر مصادر التصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية التي تحتوي على الإيريديوم-١٩٢، التي يبلغ عمرها النصفي ٧٤ يوماً فقط، مستهلكة في غضون شهرين إلى ثلاثة أشهر بعد الشراء بسبب الاضمحلال الإشعاعي، في حين يجب استبدال مصادر الكوبالت-٦٠ المستخدمة في التصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية أو المعالجة البُعادية كل ٥ إلى ١٠ سنوات. ويمكن أن يتراوح العمر التشغيلي لمصادر الكوبالت-٦٠ المنتجة للاستخدام في أجهزة التشعيع الصناعية من ١٥ إلى ٢٠ عاماً. وعادة ما تظل هذه المصادر قيد الاستخدام حتى ينخفض نشاطها إلى ١٠-١٥٪ أو القيمة الأصلية. وعلى الرغم من أن المصادر المستهلكة قد لا تكون مفيدة للغرض الأصلي، فإنها لا تزال مشعَّة للغاية، مما يشكل خطراً إشعاعياً محتملاً على الناس والبيئة، حتى بعد انقضاء عدة فترات من عمرها النصفي.

٥-٤-٢- التسرب أو التلف

تعتبر المصادر المُسَرّبة أو التالفة مادياً (على سبيل المثال، المنحنية أو المتآكلة أو المتشققة أو المخدوشة بشدة) مهمَلة، وتُخرج على الفور من الخدمة، ومن ثم يُتصرَّف فيها كنفايات مشعَّة.

٥-٤-٣- المعدات القديمة

تصل جميع المعدات (الأجهزة) في النهاية إلى نهاية عمرها الإنتاجي. وفي حين أن المصدر قد لا يزال يتمتع بقوة كافية، فقد لا يكون الجهاز صالحاً للخدمة (على سبيل المثال، جهاز قياس الرطوبة/الكثافة الذي يحتوي على إلكترونيات متقادمة). ويعتبر المصدر المرتبط بمعدات متقادمة مصدراً مشعاً مهمَلاً.

٥-٤-٤- التكنولوجيا البديلة

عادة ما تُصنع المصادر المشعَّة المختومة لوظيفة معينة. وقد تكون الوظيفة هي علاج ورم، أو تقييم جودة اللحام، أو التحكم في العمليات الصناعية، أو تعقيم المستهلَكات الطبية. ويوفر المصدر الإشعاعَ المؤيّن الذي تتطلبه العملية. وحتى إذا كان المصدر لا يزال يوفر المخرجات الإشعاعية المطلوبة، فقد يتوقف استخدام هذه العملية بسبب تطوير إجراءات بديلة لتحقيق النتائج المرجوة. وحيثما أمكن، يتجه كل من المستخدمين والمصنعين صوب التكنولوجيات التي لا تتطلب مصادر مشعَّة، على سبيل المثال:

- استبدال الأميريشيوم-٢٤١ في كاشفات الدخان المتأين بأجهزة بصرية؛
- الانتقال إلى الكاشفات العاملة بالأشعة السينية في تطبيقات التحكم في العمليات، خاصة تلك التي تتطلب الأميريشيوم-٢٤١ والكوريوم-٢٤٤؛
- طرق قياس الكثافة والمستوى بالموجات فوق الصوتية بدلاً من السيزيوم-١٣٧؛
- المعجِّلات الخطية بدلاً من المعالجة البُعادية باستخدام الكوبالت-٦٠.

وقد يستخدم الإجراء البديل نوعاً مختلفاً من المصادر التي يسهل التعامل معها أو التصرف فيها كنفايات في نهاية دورة حياتها[٤]. وقد تستخدم التقنية البديلة أيضاً مركباً كيميائياً أكثر استقراراً[٥]، أو مستوى أقل من الإشعاع أو مولدات أو معجِّلات الجسيمات (جهاز الأشعة السينية أو المعجِّل الخطي) بدلاً من المواد المشعَّة، أو قد تتضمن تقنية لا تستخدم الإشعاع المؤيّن على الإطلاق.

[٤] على سبيل المثال، السيزيوم-١٣٧ بدلاً من الراديوم-٢٢٦ في العلاج الإشعاعي والإيريديوم-١٩٢ بدلاً من السيزيوم-١٣٧ في التصوير الإشعاعي الصناعي.

[٥] على سبيل المثال، شكل زجاجي أو خزفي مكون من السيزيوم-١٣٧ بدلاً من كلوريد السيزيوم.

٥-٤-٥- التغييرات في الأولويات

يعتبر المصدر المختوم مهمَلاً في حال اكتمال أو إنهاء التجربة أو البرنامج الذي يستخدم فيه مصدر معين. وقد تغيّر بعض الشركات أو المؤسسات مجال عملها أو تنهي برامجها البحثية، مما يؤدي إلى وجود مصادر لم تعد مطلوبة. وتعتبر هذه المصادر مصادر مهمَلة، مع نقل ملكيتها لاحقاً إلى مؤسسة مرخصة لإعادة استخدامها أو تكييفها أو خزنها أو التخلص منها.

٥-٤-٦- المصادر اليتيمة

المصدر اليتيم هو مصدر مشع لا يخضع للتحكم الرقابي، إما لأنه لم يكن خاضعاً للتحكم الرقابي مطلقاً أو لأنه تُرِك أو فُقِد أو وُضِع في غير موضعه أو سُرِق أو نُقِل بطريقة أخرى دون إذن مناسب [١، و١٤]. ويمكن أن تؤدي المصادر اليتيمة إلى عواقب وخيمة على الصحة العامة والبيئة. ويتطلب اتخاذ إجراء فوري (مثل الإبلاغ، أو البحث). وعندما يعثر على أحد المصادر، يجب فحصه واختبار تسربه قبل مواصلة التصرف فيه. وبالإضافة إلى ذلك، تعتبر المصادر التي يستردها طرف ثالث والتي تَحدَّد أنها مشعَّة ولكن لا يمكن تتبعها إلى صاحب الترخيص مصادرَ مهمَلة.

٥-٥- التمويل

يجب على الأطراف الرئيسية[٦] ضمان ما يلي: "وُضِعت أحكام مالية وفقاً للمتطلبات الرقابية للتصرف المأمون في المصادر المهمَلة" [٣٢]. ويجب على الدولة العضو التأكد من أن ممارسة أو مرفق التصرف في النفايات ممول بشكل مناسب، وإنشاء آلية تمويل.

ونظراً لأنه من المحتمل أن يُتخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة لعدة عقود (أو أكثر) في المستقبل (ربما بعد توقف مولدات المصادر المهمَلة عن العمل)، فمن الحكمة جمع الموارد المالية التي ستكون مطلوبة للعمليات المستقبلية بينما لا يزال المستخدمون مستمرون في العمل. وتستخدم الدول الأعضاء نُظُماً مالية مختلفة لضمان توافر الموارد المالية على المدى الطويل للإخراج من الخدمة والتخلص. والصناديق والاحتياطيات هما أكثر آليتين للتمويل شيوعاً. وعادة ما تحتفظ بالموارد المالية مؤسسات مستقلة عن مولدي النفايات. وفي بعض البلدان، يُموَّل التصرف في النفايات المشعَّة من الميزانية الوطنية.

٥-٥-١- توزيع التكاليف

عادة ما تنقل جميع الأطراف التي تمتلك مواد مشعَّة ملكية هذه المواد إلى طرف آخر في أثناء عملية تصنيع المصادر ونقلها وتطبيقها وتكييفها وخزنها. وسيتحمل المستخدمون النهائيون للمصادر عادةً تكاليف التصرف في المصادر المهمَلة، والتي قد تكون كبيرة جداً، خاصة في حالة المصادر العالية النشاط (الفئتان ١ و٢) والمصادر التي تحتوي على نويدات مشعَّة طويلة العمر. وتُنقل أيضاً تكلفة حاويات النقل وتكاليف النقل نفسها إلى المستخدم كتكاليف للمصادر واستبدال المصادر. وتصبح هذه النفقات، الضرورية لتلبية المتطلبات القانونية ومتطلبات الأمان، تكاليف إضافية على المستخدم. ومع ذلك، يتعين على الدولة العضو توفير الأموال العامة، في حالة المصادر اليتيمة، حيث تكون معلومات الملكية مفقودة، أو عندما تكون اعتبارات الأمان العامة ذات أهمية قصوى. وفي حالة إفلاس مالك المرفق، أو إغلاق المرفق بسبب التخلي عنه أو الحرب أو الكوارث الطبيعية وما إلى ذلك، فقد لا تكون الطريقة المفترضة لتمويل نقل ملكية المصدر ممكنة. وقد تكون أموال التأمين أو الطوارئ من الوكالات العامة متاحة للمساعدة في هذه الظروف؛ وإلا، فإن تكاليف نقل الملكية يجب أن تتحملها مؤسسات أخرى ربما لم تشارك في الفوائد التي اشتُري المصدر من أجلها. وفي النهاية، ستبقى المواد مع المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة، حيث إما أن تضمحل إلى مستوى مأمون أو يُحتفظ بها حتى نقلها إلى مرفق التخلص.

وتنعكس تكاليف ملكية المواد المشعَّة ونقلها في أثناء تصنيع مصدر مختوم واستبداله في سعر شراء المصادر الأصلية والبديلة، حيث تكون هذه عادةً الوسيلة التي تسترد بها جهة التصنيع تكاليفها.

وعندما يُستبدل المصدر، عادة ما تستعيد جهة تصنيع المصدر المستهلك كجزء من المعاملة. ومع ذلك، عندما يجري إخراج المرفق من الخدمة في نهاية المطاف، يجب التعامل مع ملكية ونقل المصدر النهائي في المعدات كجزء من التكلفة التي يتحملها المستخدم المرتبطة بإعادة المرفق إلى الاستخدام العام. وإجمالي تكاليف الملكية والنقل، في جوهرها، جزء من التكلفة الإجمالية للمستخدم لتوفير

[٦] تنص معايير الأمان الأساسية [١١] على ما يلي: "الأطراف الرئيسية التي تتحمل المسؤوليات الرئيسية لتطبيق المعايير يجب أن تكون: (أ) المسجلون أو المرخص لهم؛ و(ب) أرباب العمل".

الخدمة التي اشْتُرِيَ المصدر من أجلها. وبالنسبة للمصادر العالية النشاط، تشمل هذه الخدمات التصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية، وتشعيع المواد، والتعقيم وعلاج السرطان.

٥-٥-٢- عدم التيقّن من التكاليف

يتحمل كل من المستخدم وجهة تصنيع المصدر تكاليف الترخيص وتكاليف التشغيل كجزء من المتطلبات الرقابية. وتصدر الهيئات الرقابية تراخيص للمرافق التي تضطلع بتصريف المواد المشعَّة وبعمليات التفتيش، وتُحوَّل بعض تكاليف هذه الأنشطة على الأقل إلى المرخص له كرسوم ترخيص. وعادةً ما يتم تضمين تكاليف الترخيص الرقابي لمرفق التشعيع ولجهة تصنيع المصدر في سعر المصدر (المصادر) عند تسليمه إلى المستخدم، وتصبح تكاليف المستخدم نفقات تشغيل يتم تحملها في أثناء وقت استخدام المصدر. وتُنقل أيضاً تكلفة ترخيص طرود النقل وتكاليف النقل إلى المستخدم في تكاليف المصادر وعمليات استبدال المصادر. وتصبح هذه النفقات، الضرورية لتلبية المتطلبات القانونية ومتطلبات الأمان، تكاليف إضافية على المستخدم.

وعادة ما تُحدِّد المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة تكاليفَ التعامل والتكييف والخزن على مستوى واقعي لتجنب المساس بإجراءات الأمان. وقد تؤدي التكاليف الباهظة إلى قيام المُشغِّلين بالتصرف بشكل غير لائق بالتخلي عن المصادر أو التخلص منها بشكل غير قانوني. ولا يمكن تحديد التكاليف الدقيقة لتكييف وخزن المصادر المشعَّة المختومة بدقة، ولكن يمكن تقديرها. والأموال الكافية لبناء وتشغيل مرافق التكييف والخزن هي شرط أساسي للتصرف المأمون في المصادر المهمَلة. ويجب النظر أيضاً في التكاليف الإضافية لأي إعادة تكييف للمصادر. وتكلفة الخزن الطويل الأجل، ريثما يتم التخلص، وتكلفة التخلص مكونان أساسيان لأي دراسة للتكلفة.

٥-٥-٣- عدم توافر مسار لنقل الملكية

في وقت إخراج المعدات من الخدمة، قد لا تكون جهة تصنيع أو موزع المصدر الأصلي مستمرون في العمل، أو قد يكونوا غير قادرين على استرجاع المصدر بسبب عمر المعدات أو حالتها أو حدوث تغييرات في اللوائح المعمول بها. وإذا لم يكن النقل إلى المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة ممكناً، فسيحتاج المستخدم إلى خزن المصدر بشكل مأمون وآمن حتى يتوفر خيار مناسب. وعلى الرغم من أنه من غير المحتمل أن تكون هذه تكلفة عالية على أساس سنوي، فإن تمديد الخزن سيشمل تكاليف العمالة والصيانة. ويمكن أن يتجاوز وقت الخزن قدرة المرفق على ضمان الخزن المأمون والآمن بشكل موثوق، ويمكن أن يتجاوز في الواقع العمر التشغيلي للمرفق. ويجب أن يُطلب من الهيئة الرقابية إذن (ترخيص) جديد (مختلف) لخزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة وأن توافق عليه. وفي هذه الحالات، تُؤجَّل تكلفة ملكية المصدر ونقله عن طريق الخزن المؤقت، ولكنها لا تُحل.

٥-٦- القدرة التقنية

يجب تطوير القدرة التقنية المناسبة والحفاظ عليها في كل موقع حيث تُشغَّل المصادر أو يُتصرف فيها كمصادر مهمَلة. وتشمل هذه القدرة المرفق نفسه، والمعدات المناسبة، والكفاءة التقنية للموظفين. ويجب أن يتناسب اقتناء وتشغيل المرافق والمعدات مع القدرة التقنية المتاحة لتسهيل التشغيل الفعال والمأمون. والتصرف في المصادر المهمَلة مطلوب في كل من موقع المستخدم ومؤسسة التصرف في النفايات المركزية حيث تُعالَج المصادر المختومة وتُخزن، في انتظار التخلص النهائي منها.

٥-٦-١- موقع المستخدم

يحتاج كل مستخدم إلى القدرة التقنية على جمع المصادر التي بحوزته والتعامل معها وتحديد خصائصها وفصلها وخزنها بأمان خلال الأجل القصير. وقد لا يحتاج المستخدم إلى أن يكون على دراية بتفاصيل كيفية التصرف في المصدر المهمَل لاحقاً، إذا تركت مهمة التكييف والخزن لمُشغِّلي مرافق التكييف والخزن المركزية. ومع ذلك، يجب إبلاغ المستخدم بالخطوات اللاحقة للتصرف في المصدر من أجل تقدير الحاجة إلى فصل أو تصنيف المصادر بشكل مناسب في أثناء الجمع. وهذا مهم أيضاً للتخلص من إمكانية قيام المستخدم بمعالجة المصدر بأي طريقة تجعل إجراءات التصرف في النفايات المستقبلية أكثر تعقيداً أو أكثر تكلفة أو تؤدي إلى مخاطر إضافية غير ضرورية.

٥-٦-٢- المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة

نظراً لأن العمليات التقنية الأكثر تقدماً (التكييف والخزن) تُنفذ في المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة، فيجب تزويدها بجميع المعدات والأدوات والوسائل اللازمة حسب المهام الموكلة إلى المؤسسة المذكورة وخصائص المصادر المهمَلة المقبولة للمعالجة. ويتم توفير متطلبات المعدات التقنية وبعض الأمثلة المستخدمة في المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة في الأقسام التالية من ٧ إلى ١٠.

٥-٦-٣- مرفق التخلص

يقبل مرفقُ التخلص المصادرَ المشعَّة المختومة المهمَلة للتخلص منها، ومن أجل تنفيذ هذه الوظيفة يجب أن يكون مجهزاً بمعدات رفع ومناولة مناسبة. وقد يتضمن تصميم مرفق التخلص حواجز هندسية مختلفة. ويجب اتخاذ تدابير معينة لدعم خصائص الحواجز المصممة وفقاً للقصد من التصميم. وفي حالة الرقابة المؤسسية يجب ضمان استدامتها. ويرد في القسم ١٢ توضيح لمتطلبات التصميم لمرفق التخلص.

٥-٧- تدريب الموظفين

تتطلب عمليات المعاملة والتكييف موظفين مهرة يتمتعون بالمعارف التقنية والخبرة العملية المناسبة، والانضباط الذاتي، والمسؤولية عن تنفيذ أعمال عالية الجودة. وفهم تصميم المصدر وبنائه وتركيبه في الجهاز وتصميم الجهاز نفسه ووظيفته من الاعتبارات المهمة أيضاً. وينطبق ذلك على وجه الخصوص عند محاولة إزالة مصدر من الجهاز. ونظراً لأن هذا العمل غالباً ما ينطوي على مستوى عالٍ من النشاط اليدوي، فمن المهم أن يكون الأفراد المعنيون لائقين بدنياً.

وليس من الممكن تحديد عدد ونوع مهارة الأشخاص اللازمين في عمليات التصرف المختلفة التي تنطوي على مصادر مشعَّة مختومة مهمَلة. ويرد في الجدول ٦ التوصيات العامة للوكالة بشأن المؤهلات الموصى بها للموظفين المضطلعين بعمل في المجال الإشعاعي مثل مهام التكييف [١٥].

الجدول ٦- مؤهلات الموظفين وخبراتهم [١٥]

الموظفون	المؤهلات/الخبرة[أ]
مدير العمليات	شخص لديه تعليم تقني مناسب، من ذوي الخبرة في التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة
مسؤول/مشرف الوقاية من الإشعاعات	لديه خبرة في إجراءات ونُظُم الوقاية من الإشعاعات[ب]
مدير المهام	لديه خبرة في أساليب التكييف المختارة وتكييف العمليات ومراقبة الجودة[ج]
المشغِّل الماهر	لديه خبرة عملية في التعامل مع المواد المشعَّة[ج]

(أ) ينبغي توفير برامج التدريب على النحو المطلوب.

(ب) ينبغي أن يكون لدى العاملين في مجال الوقاية من الإشعاعات خبرة في العمل مع المصادر المشعَّة المختومة من الأنواع والأنشطة التي يجب تكييفها. وإذا كان ذلك ممكناً، فمن المرغوب فيه التحلي بخبرة محددة في الأجهزة التي ستزال المصادر منها، ويُتطلب أن تكون هذه الخبرة على الأقل في مصادر وأجهزة مماثلة.

(ج) يجب أن يكون لدى المُشغِّلين الذين سيقومون بإزالة المصادر من المعدات تدريباً وخبرة في جميع الأدوات والمعدات التي ستزال، وعند الإمكان، خبرة عملية بشأن الأجهزة المحددة التي ستزال المصادر منها. وهذا مهم بشكل خاص عند التخطيط لتكييف مصادر النشاط العالي، أو إزالة المصادر المثبتة في أجهزة القياس أو الأدوات أو الأجهزة الأخرى. وفي حالة عدم توافر المُشغِّلين ذوي الخبرة أو التعليمات الخاصة بإزالة المصادر أو أي خبرة تقنية محددة أخرى، يجب حجب المؤهلات الفردية لأداء العمل.

وعلى عكس أنشطة الوقاية من الإشعاعات العامة، فإن التعامل مع المصدر ينطوي على أنشطة أعلى للمواد المشعَّة وتركيزات هذه المادة في التكوينات التي توفر إمكانية التعرض العالي والتشتت الخطير للمواد المشعَّة في حالة حدوث عمل غير مناسب أو غير مخطط له. ويجب تقييم هذه المخاوف عند تحديد أن العمال مؤهلون لأداء هذه الأنشطة.

ويجب أن يكون تدريب المشغِّلين وموظفي الوقاية من الإشعاعات على التعامل مع المصادر وتكييفها خاصاً بالأنواع الفردية من الأجهزة التي سيتم التعامل معها والمصادر التي سيتم تكييفها، وعند الإمكان، يجب دعم العمل بالوثيقة التي تحدد خطوات وتقنيات إزالة المصدر، إذا لزم الأمر. ويفضل أن تأتي هذه الوثيقة من جهة تصنيع الأجهزة؛ ومع ذلك، فإن استخدام الوثائق التي وضعها موظفون ذوو خبرة في أداء هذا العمل هو بديل معقول. ويجب أن يكون التدريب والخبرة كافيين بحيث يتعرف الأفراد الذين يؤدون العمل على أنواع ودرجات المخاطر الإشعاعية الناشئة في كل خطوة أداء؛ والاختلافات بين الأجهزة التي تنتجها جهات تصنيع مختلفة لنفس الغرض، والإجراءات التي يجب اتخاذها في حالة حدوث مشكلة أو خلل في أداء العمل. وإذا كانت هناك حاجة إلى أفراد أمن (على سبيل المثال في أثناء الخزن)، فيجب إعطاؤهم تدريباً أساسياً على الوقاية من الإشعاعات والتعرف على إجراءات الطوارئ على أساس منتظم.

ولا تتحمل الهيئة الرقابية عادة مسؤولية أداء دور مُشغِّل مرفق التصرف في النفايات؛ ومع ذلك، يتعين على الرقابيين التمتع بالمعرفة والخبرة اللازمتين لتطبيق القوانين واللوائح وتقديم إرشادات وتوجيهات واضحة لمُشغِّلي مرافق التصرف في النفايات.

٥-٨- النظام الإداري

يتطلب المبدأ ٣ في مبادئ الأمان الأساسية [٢٨] أنه "يجب إرساء وتعزيز مهارات القيادة والإدارة الفعالة لأغراض الأمان في المنظمات المعنية بالمخاطر الإشعاعية وفي المرافق والأنشطة المسبِّبة لها. كما يجب تحقيق الأمان والحفاظ عليه بواسطة نظام إداري فعال[٧]. والنظام الإداري هو مجموعة من العناصر ذات العلاقات المتبادلة أو التي يتفاعل بعضها مع البعض الآخر، وهو يقرر السياسات والأهداف ويتسنى به بلوغ تلك الأهداف بطريقة تتسم بالأمان والكفاءة والفعالية. ويتعين أن يضم هذا النظام كل عناصر الإدارة بما يكفل تحديد متطلبات الأمان وتطبيقها بشكل مترابط مع سائر المتطلبات، بما فيها تلك المتعلقة بالأداء البشري والجودة والأمن والمتطلبات الاقتصادية، وبحيث لا يتم الإخلال بالأمان بفعل متطلبات أو حاجات أخرى. وعلى النظام الإداري أيضاً أن يكفل تعزيز ثقافة للأمان، مع ضمان التقويم المنتظم لأداء الأمان وتطبيق الدروس المستفادة من الخبرة المكتسبة. وتتم مواءمته مع أهداف الأمان في المؤسسة.

وتم تحديد المتطلبات العامة للنظام الإداري في المنشور المعنون متطلبات الأمان الخاصة بنظام إدارة المرافق والأنشطة [٣٢] والتوصيات الواردة في دليل الأمان المصاحب بشأن تطبيق نظام إدارة المرافق والأنشطة [٣٣]، والذي يحل محل المنشور السابق المعنون مدونة قواعد توكيد الجودة [٣٤]. ويقدم المرجع إرشادات بشأن تطبيق النظام الإداري لمعالجة النفايات المشعَّة والتعامل معها وخزنها [٣٥]. وبشكل منفصل، يوفر المرجع إرشادات بشأن تطبيق النظام الإداري للتخلص من النفايات المشعَّة. [٣٦]. وتم تحديد المتطلبات الأساسية للوقاية من الإشعاعات في المرجع [١١] ومتطلبات التأهب والتصدي للطوارئ في المرجع [٣٧].

٥-٨-١- التحديات الماثلة أمام النظام الإداري

تتضمن إدارة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة مجموعة متنوعة من الأنشطة التقنية والإدارية وقد تمتد لفترة طويلة جداً من الوقت. وتمثل هذه الخصائص سلسلة من التحديات لتطوير وتنفيذ نُظُم إدارية فعالة. والجوانب التالية تتطلب اهتماماً خاصاً عند وضع نظام إداري للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة:

(أ) قد لا يلقى توفير الأموال والترتيبات التنظيمية للتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الاهتمامَ الكافي إذا نُظِر إليها بمعزل عن الفوائد المتحققة من النشاط الذي تتولد عنه هذه المصادر. وقد يكون تنظيم وتمويل أنشطة التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الضرورية أكثر صعوبة في وقت لاحق.

(ب) يمكن التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة بأمان على أساس مؤقت، في كثير من الحالات لفترات طويلة. ونتيجة لذلك، قد يتم تأجيل اختيار الحلول النهائية وتنفيذها من خلال سلسلة من التأجيلات القصيرة الأجل لإجراء تقييم إضافي للخيارات.

[٧] في الوقت الحاضر، يُستخدم مصطلح 'النظام الإداري' بدلاً من 'توكيد الجودة'. ويجسّد مصطلح 'النظام الإداري' ويتضمن التطور في النهج من المفهوم الأولي لمصطلح 'مراقبة الجودة' (مراقبة جودة المنتجات) من خلال توكيد الجودة (النظام الرامي إلى ضمان جودة المنتجات) و'إدارة الجودة' (النظام الرامي إلى إدارة الجودة).

(ج) إذا لم يتم تحديد التخلص النهائي من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، فقد يكون من الصعب تحديد الشكل المفضل لحاويات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة التي سيتم إنتاجها والاحتفاظ بها في أثناء الخزن، والشكل المقبول لحاويات التخلص النهائي. وفي هذه الحالة، يجب أن يوازن اختيار طرق التكييف بين اعتبارين. أولاً، يجب تجنب تعويق خيارات التخلص المستقبلية (على سبيل المثال عن طريق اختيار إنتاج عبوة مؤقتة غير مناسبة للتخلص ويصعب تحويلها إلى عبوة نهائية مناسبة للتخلص). وثانياً، لا ينبغي استخدام عدم التيقن بشأن نقطة النهاية كأساس منطقي لعدم اتخاذ خطوات لضمان التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة بطريقة مأمونة ومقبولة بيئياً ريثما يُتخلص منها.

ويجب أن تشجع نُظُم إدارة أنشطة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة على تبني نُهُج وحلول موحدة وأفضل الممارسات الدولية بسبب الحاجة إلى ضمان الاستمرارية بين الأجيال البشرية المتعاقبة، وعدم التيقن على المدى الطويل للهياكل التنظيمية والوطنية والدولية.

٥-٨-٢- إجراءات النُّظُم الإدارية

يجب أن يغطي النظام الإداري جميع الأنشطة التي يتعين القيام بها لأغراض التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، بغض النظر عما إذا كانت أنشطة فردية أو مُجَمَّعة [٣٣]. ويجب أن يوفر النظام الإداري ضماناً بأن النشاط (مثل التكييف) أو الناتج (مثل عبوة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة) سوف يمتثل لجميع المتطلبات المعمول بها، مع احترام مبادئ الأمان. ويجب أن يتضمن النظام الإداري التدابير الواجب اتخاذها في حالة إنتاج حاويات غير مطابقة للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

وتشمل إجراءات النظام الإداري التي يجب وضعها وتطبيقها ما يلي:

(أ) التدرج؛
(ب) التوثيق وحفظ السجلات؛
(ج) تطوير ومراقبة العمليات؛
(د) الفحص والاختبار؛
(هـ) الشراء؛
(و) إجراءات عدم المطابقة والإجراءات التصحيحية؛
(ز) استعراض النظام الإداري.

٥-٨-٣- النهج المتدرِّج

يجب على المنظمات المشاركة في التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة تحديد الأهمية النسبية للأنشطة المختلفة والمرافق والمعدات وحاويات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في تلبية متطلبات الأمان والصحة والبيئة والأمن والجودة والمتطلبات الاقتصادية الشاملة، مع إيلاء أهمية قصوى للأمان وحماية البيئة. ويجب أن يتم تطبيق متطلبات النظام الإداري بشكل متدرج لتخصيص الموارد على المستويات الملائمة، بناءً على ما يلي:

— مدى أهمية وتعقّد كل منتَج أو نشاط؛
— المخاطر والتأثير (المخاطر) المحتمل المرتبط بكل ناتج ونشاط على عناصر الأمان والصحة والبيئة والأمن والجودة والعناصر الاقتصادية؛
— العواقب المترتبة على فشل الناتج أو إذا نُفِّذ أحد الأنشطة تنفيذاً غير سليم.

ويهدف النهج المتدرج إلى توجيه درجة التحكم المطبقة على أحد العناصر فيما يتعلق بأهمية وظيفته المطلوبة. ولا ينبغي استخدامه كمبرر لعدم تطبيق جميع عناصر النظام الإداري الضرورية أو ضوابط الجودة المطلوبة. والتدرج يعني جعل درجة شدة الضوابط التي يتم من خلالها تقييم مدى كفاية هذه الأنشطة متناسبة مع أهمية الأنشطة.

٥-٨-٤- إدارة السجلات

تختلف أنشطة التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة من حيث الحجم والتعقيد، وقد تشمل عدداً من المنظمات، وقد تستمر لفترات طويلة (مثل الخزن حتى يتم التخلص). ويجب إيلاء اهتمام خاص لضمان أن تظل الوثائق المستخدمة للتحكم في عمليات العمل ملائمة وحديثة ومفهومة ومتاحة للمنظمات المتنوعة وفي المواقف التي تُستخدم وسوف تُستخدم فيها.

والسجلات الكاملة لجميع مراحل التصرف في المصادر ضرورية للرجوع إليها في المستقبل. وتتضمن هذه السجلات معلومات عن أصل المصدر وخصائصه، والإجراءات التقنية المطبقة، وتصميم الكبسولات، والتدريع، والحاويات، والتعبئة والتغليف، وبيانات عن مكان الخزن وظروف الخزن، بما في ذلك التقييم والتفتيش والتحقق فيما يتعلق بجميع الأنشطة. وستكون جميع هذه البيانات مطلوبة لاحقاً لدعم القرارات اللاحقة سواء للتخلص مباشرة من المصادر المكيفة أو لإعادة تكييفها من أجل الامتثال للمعايير السائدة لدى مرفق التخلص لقبول النفايات.

ويطلب من السلطات المسؤولة ومستخدمي المصدر ومُشغِّلي مرافق التصرف في النفايات إنشاء الوثائق والسجلات والحفاظ عليها بما يتفق مع المتطلبات القانونية والإدارية واحتياجاتهم الخاصة. ويجب الاحتفاظ بهذه السجلات في حالة تمكن من استرجاعها لاحقاً من جانب أفراد مختلفين عن الموظفين المشاركين في البداية في العمليات، وربما دون الرجوع إلى أولئك الذين أنشأوا هذه السجلات. وتتضمن متطلبات الاحتفاظ بالسجلات، على سبيل المثال لا الحصر، ما يلي:

- تعيين السجلات على أنها دائمة أو مؤقتة؛
- خزن السجلات المؤقتة لفترة زمنية محددة؛
- خزن السجلات الدائمة إلى الأبد؛
- تحديد طريقة خزن السجلات؛
- إمكانية استرجاع السجلات؛
- نُظُم وعمليات أمن كافية لمنع الإزالة غير المأذون بها للسجلات أو تعديلها.

والنسخ الورقية المحفوظة جيداً والبطاقات المجهرية (الميكروفيش) والوسائط البصرية و/أو المغنطيسية خيارات ممكنة للحفاظ على البيانات ذات الصلة. ومن الضروري وجود ما لا يقل عن نوعين من الوسائط وموقعين لحفظ السجلات من أجل التنوع والموثوقية. ويجب تحديث السجلات ونقلها مع تطور تقنية التسجيل.

ويجب تضمين سجلات المصادر مع تفاصيل عملية التكييف لكل عبوة. ويجب أن تتضمن البيانات المسجلة وصفاً لإجراءات التكييف المستخدمة وأسماء أعضاء الفريق الذين أجروا العملية. ويجب إضافة أي سجلات قديمة يُعثر عليها بعد التكييف إلى المعلومات الموجودة في كل عبوة نفايات. وقد تكون السجلات الفوتوغرافية ذات قيمة عند استعراض الوثائق لتخطيط التخلص.

٥-٨-٥- تطوير ومراقبة العمليات

يجب إضفاء الطابع الرسمي على النظام الإداري للتأكد من أن مرافق التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة قد تم تصميمها وإنشاؤها وتشغيلها بأمان وفقاً للمتطلبات المحددة؛ وأنه يتم إنتاج حاويات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المستلمة بنفس الطريقة المتسقة؛ وأن متطلبات قبول النفايات للنقل والخزن والتخلص مستوفاة؛ وأن يتم استيفاء جميع لوائح وشروط الترخيص.

ويجب أن تقر الإدارة بأن جميع الأنشطة هي عمليات يمكن تخطيطها وتنفيذها وتقييمها وتحسينها، مع الاعتراف بأن كل فرد يؤدي هذه الأنشطة هو المسؤول عن الجودة.

ويشمل التحكم في أداء مرافق التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة عناصر مثل التحكم في التصميم والتحقق منه، واستعراض النظراء، وجمع البيانات والتحكم في البرمجيات، ومواصفات حاويات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، والتحكم في السلع والخدمات المشتراة. وتُقيّم الجوانب الإدارية الخاصة بالأداء أيضاً ما يلي:

- أداء وتأهيل الموظفين، وقبول المفردات والخدمات؛
- التحكم في عمليات العمل، بما في ذلك أوجه الترابط بين توليد المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة واستعادتها ومعالجتها وخزنها والتخلص منها؛
- عمليات الخزن والتعامل والشحن لمنع الحوادث وتدهور الحاويات وضمان صلاحية العمليات التحليلية؛

— التحكم في حاويات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة وحالة التشغيل، بما في ذلك الحاويات غير المطابقة ومعدات التشغيل دون المستوى المطلوب؛
— تحديد ومراقبة العناصر المهمة للأمان، بما في ذلك فحص القبول والاختبار؛
— نقاط التفتيش والمراقبة ورصد العمليات؛
— تحديد المجالات الحرجة للتفتيش؛
— التحكم في أجهزة القياس والاختبار.

٥-٩- التأهب والتصدّي للطوارئ

إذا كانت هناك احتمالية لوقوع حوادث قد تسبب تعرضاً غير مخطط له لأي شخص (قد تسقط المصادر التي يتم التعامل معها بعيداً عن دروعها أو تبدأ في تسريب مادة مشعَّة في أثناء العمليات)، يجب على المُشغِّل التأكد من إعداد خطة الطوارئ مناسبة لمخزون المصدر وما يرتبط به وأن هذه الخطة عاملة وتُحدَّث باستمرار. وخطة الطوارئ مطلوبة لتحديد المسؤوليات في الموقع ومراعاة المسؤوليات خارج الموقع للمنظمات الأخرى ذات الصلة المشاركة في تنفيذ خطة الطوارئ.

وتحتاج الدول الأعضاء أيضاً إلى توفير التخطيط والتأهب للطوارئ واتخاذ الأحكام التي قد تكون ضرورية للتصدي للحوادث [٣٧-٣٩]. وفي بعض الحالات، تكون قدرات التصدي القائمة في البلد مناسبة تماماً للتصدي على المستوى المناسب (مثل الاتصالات والحماية من الحرائق والتحكم في حركة المرور وسيارات الإسعاف والخدمات الطبية). وتقع على عاتق المُشغِّلين والهيئة الرقابية مسؤولية إبلاغ السلطات المحلية وموظفي التصدي للطوارئ بأي نشاط جديد في منطقتهم. ومن ثمّ يصبحون على دراية بالتركيب الجديد ويمكنهم تقييم المعدات والخدمات المقدمة. وقد تنظر الدولة العضو في تقديم تمويل إضافي لمنظمات التصدي للطوارئ المحلية من أجل تلبية أي احتياجات إضافية قد تنشأ. واستعراض خطط الطوارئ جزء مهم من التخطيط للعمل مع المصادر المختومة التي تتضمن التعامل مع المصادر.

٥-١٠- أمن المصادر المشعَّة

يشير أمن المصدر إلى التدابير التي تهدف إلى منع الوصول غير المصرح به إلى المصادر المشعَّة أو إتلافها وفقدانها أو سرقتها أو تحويل وجهتها على نحو غير مصرح به [١٤]. وأمن المصادر ضروري وعنصر مهم لضمان أمان المصادر. ومع ذلك، يمكن تأمين المصدر المشع، أي الاحتفاظ به تحت السيطرة والحماية المادية، ولكن هذا لا يعني بالضرورة أن المصدر آمن أيضاً ولن يؤذي الناس.

ولقد حددت توصيات سلسلة الأمن النووي الصادرة عن الوكالة رقم ١٤ بشأن المواد المشعَّة والمرافق المرتبطة بها [٤٠]، ودليلها التنفيذي رقم ١١ بشأن أمن المصادر المشعَّة [٢٥]، ومعايير الأمان الأساسية [١١]، متطلبات أمن المصادر المشعَّة التي تستكمل متطلبات الأمان من الإشعاعات الواسعة المطبقة على أي مصدر. وتتطلب معايير الأمان الأساسية، من بين أمور أخرى، الحفاظ على المصادر المشعَّة آمنة لمنع السرقة أو التلف من خلال ضمان عدم فقدان التحكم في المصدر، وأنه لن يُنقل المصدر ما لم يكن لدى المستقبِل ترخيصاً صالحاً وجرداً دورياً للمصادر المتنقلة يُجرى على فترات مناسبة للتأكد من أنها في مواقعها المأذون بها وأنها آمنة.

واستجابة للتهديد العالمي، جددت الوكالة استراتيجيتها مؤخراً ووسعت أنشطتها المتعلقة بأمن المصادر المشعَّة. وتدعو هذه الاستراتيجية الجديدة إلى إنشاء وتعزيز البنى الأساسية الرقابية الوطنية من أجل ضمان تحديد موقع المصادر المشعَّة الهامة وتسجيلها وتأمينها والتحكم فيها خلال دورة حياة المصدر بأكملها.

وفيما يتعلق بأمن المصادر المشعَّة، من المسلم به أنه يلزم وجود توازن بين التصرف في المصادر بأمان وأمن، وكذلك المساهمة في استخدامها المفيد. وبالتالي، يجب أن يكون مستوى الأمن متناسباً مع مستوى التهديد والمخاطر المرتبطة بالحيازة غير المصرح بها للمصدر.

ويحتاج البرنامج الكامل الذي يهدف إلى معالجة الاستخدام الشرير للمصادر المشعَّة إلى النظر في مجموعة واسعة من القضايا، بما في ذلك: التصميم المناسب وتصنيع المصادر؛ والوسائل المختلفة لحيازة المصادر؛ ومنع الاستخدام الشرير لأي مصادر تم الحصول عليها، والتخفيف من حدة الآثار، إذا أُستخدمت المصادر بشكل شرير.

وسرية المعلومات هي أيضاً ذات أهمية كبيرة. ويتعين على كل دولة عضو أن تتخذ التدابير المناسبة بما يتفق مع قانونها الوطني لحماية سرية أي معلومات تتلقاها بشكل سري بموجب مدونة قواعد السلوك [١٤] من دولة عضو أخرى أو من خلال المشاركة في نشاط أُجري لتنفيذ المدونة المذكورة. وإذا قدمت أي دولة عضو معلومات إلى المنظمات الدولية بشكل سري، فيجب اتخاذ خطوات لضمان حماية سرية هذه المعلومات. ويجب على الدولة العضو التي تلقت معلومات بشكل سري من دولة عضو أخرى أن تقدم هذه المعلومات لأطراف ثالثة فقط بموافقة تلك الدولة العضو الأخرى. ولا يُتوقع من الدولة العضو تقديم أي معلومات لا يُسمح لها بنقلها وفقاً لقانونها الوطني، أو من شأنها أن تعرض أمن تلك الدولة العضو للخطر.

ويقدم العدد ١١ من سلسلة الأمن النووي الصادرة عن الوكالة بشأن أمن المصادر المشعَّة [٢٥] إرشادات بشأن تنفيذ التدابير الأمنية على المصادر المشعَّة. كما يقدم المشورة بشأن تنفيذ الأحكام المتعلقة بالأمن الواردة في مدونة قواعد السلوك [١٤]. وتتضمن هذه الوثيقة إرشادات وتدابير موصى بها للحيلولة دون الأعمال الشريرة التي تنطوي على مصادر مشعَّة والكشف عنها والتصدي لها. كما أنها ستساعد في منع فقدان التحكم في هذه المصادر.

٥-١١- مراقبة الحرجية

عندما يتم جمع العديد من المصادر المختومة التي تحتوي على نويدات انشطارية وتعبئتها وخزنها، يجب على المستخدمين تقييم الكميات المناسبة من المواد الموضوعة في عبوات مفردة للخزن أو التخلص. وترِد حدود الكمية والتعبئة عادةً في معايير القبول لدى كل من مرافق الخزن المركزية ومرافق التخلص. ويمكن للمستخدمين الذين يخزنون المصادر التي تحتوي على مواد انشطارية في موقع المستخدم الحصول على مساعدة من الوكالة في تحديد الحدود المأمونة للمصادر الموجودة.

٥-١٢- الرصد الإشعاعي

يجب التحكم في مناطق المعالجة والخزن كمناطق إشعاعية لتقليل تعرض العمال للإشعاع المؤيّن والحد من انتشار التلوث الإشعاعي، إن وجد. ويجب إجراء استقصاءات منتظمة للتلوث والإشعاع في منطقة العمل من أجل إثبات تلبية المتطلبات الإشعاعية [٤١، و٤٢]. وبالإضافة إلى ذلك، إذا تم خزن مصادر مختومة تحتوي على نويدات طويلة العمر أو متطايرة أو سامة للإشعاع (مثل الراديوم)، فيجب إجراء رصد لمستويات النشاط العالقة في الهواء. والكشف عن التلوث العالق في الهواء أو السطحي مؤشر على وجود مصادر مسرّبة. ويجب التحقيق في أي خلل واتخاذ الإجراءات المناسبة. واعتماداً على متطلبات الموقع المحلي، سيتم إبلاغ الهيئة الرقابية بذلك.

يجب أن يأخذ المُشغِّلون في الاعتبار المزيج المناسب من أجهزة رصد المنطقة، والشاشات المحمولة باليد أو المثبتة الخاصة بمنطقة العمل، وقياس الجرعات لدى الموظفين، بما في ذلك قياس الجرعات الإلكتروني عند توفره. وتشمل المتطلبات الخاصة للوقاية من الإشعاعات على سبيل المثال لا الحصر ما يلي:

— يجب تركيب وصيانة معدات رصد الإشعاعات المناسبة في منطقة العمل المباشرة.
- إذا كانت متوفرة، يجب استخدام أدوات الإنذار، لا سيما إذا كانت المهام التي يتعين القيام بها يمكن أن تؤدي إلى تغييرات سريعة في الظروف الإشعاعية؛
- يجب ارتداء أجهزة قياس الجرعات الشخصية حسب التوجيهات.

— يجب تقييم مستويات التلوث في كل نقطة في العملية يتم فيها إزالة أو فتح حاجز يتسبب في انتشار التلوث.
- يجب تحديد مستويات التلوث المسموح بها وأن تكون واضحة لكل خطوة في العمل المخطط؛
- يجب إتمام التصدي لمستويات التلوث التي تتجاوز المستويات المسموح بها على الفور وإيقاف العمل مؤقتاً أو إيقافه على النحو المحدد في ضوابط العمل.

٥-١٣- المشاكل المعترَضة والدروس المستفادة

هناك بعض المشاكل التي قد تؤدي إلى مشاكل محتملة في التصرف المأمون في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

٥-١٣-١- خصوصيات النظام الرقابي

يمثل نظام التحكم الرقابي أساساً لأمان وأمن المصادر المشعَّة. ويجب أن يبدأ أي تقييم لأمان المصادر المشعَّة وأمنها في بلد ما باستعراض الدرجة الحالية والسابقة للتحكم الرقابي في هذه المواد. واستخدمت العديد من البلدان المصادر المشعَّة قبل إرساء بنيتها الأساسية الرقابية الحالية. وبالإضافة إلى ذلك، يتم تغيير البنى الأساسية من حين لآخر، حيث يتم استعراضها ومواءمتها مع الأوضاع الجديدة تكنولوجياً وقانونياً وسياسياً. وبالتالي، تتطور البني الأساسية الرقابية باستمرار لجميع البلدان، ولا يعتمد احتمال فقدان التحكم في المصادر على استخدامها التاريخي للمصادر فحسب، بل يعتمد أيضاً على حالة بنيتها الأساسية الرقابية كدالة زمنية.

وعند تحديد البنية الأساسية الرقابية وتحليلها، يكون من المفيد جداً أن ينصب التركيز على تلك العناصر التي لها تأثير مباشر على احتمال فقدان التحكم في المصادر وخاصة تلك المصادر الواقعة ضمن فئات المخاطر الأعلى [٤٣]. وستشمل هذه العناصر مواضيع مثل: الترخيص والاستيراد والحيازة والاستخدام والتخلص من المصادر المشعَّة. وسيكون الكثير من المعلومات موجودة في اللوائح، لدى الهيئات الرقابية أو المنظمات الأخرى التي لديها إشراف محدد على الإشعاع أو المواد المشعَّة. ومع ذلك، قد يكون من الضروري النظر في تشريعات أخرى وغير ذلك من الهيئات الرقابية أو الاستخباراتية بالنسبة للمعلومات الأخرى ذات الصلة، مثل التحقق من كفاءة وشرعية الراغبين في الاحتفاظ بالمصادر واستخدامها.

وكمثال على أهمية درجة التحكم الرقابي، ضع في اعتبارك مشكلة نموذجية حيث يتم نقل جهاز قياس صناعي عن غير قصد إلى محطة إعادة تدوير الخردة المعدنية [٤٣]. وهذه مشكلة متنامية، وقد تسببت في الماضي في وفيات وإصابات خطيرة، كما استلزمت إزالة التلوث بتكلفة باهظة. وهناك العديد من الأسباب لوجود هذه المشكلة، لكنها في الأساس تنطوي على عيبين رقابيين أساسيين:

(١) عدم وجود تحكم رقابي فعال من خلال الإبلاغ أو التصريح والتفتيش؛
(٢) عدم وجود متطلبات رقابية أو إنفاذ لأمن المصادر والمساءلة بشأنها.

وتبدو هذه المشكلة بالذات أكثر حدة في البلدان التي تكون فيها البنية الأساسية الرقابية ضعيفة أو غير موجودة بشكل أساسي. وحددت الوكالة المشاكل النموذجية المتعلقة بالمصادر [٤٣] وهي مدرجة أدناه دون ترتيب معين:

- عدم وجود قوانين ولوائح مناسبة تنظم التحكم في المصادر المشعَّة؛
- عدم استقلالية الهيئة الرقابية؛
- عدم وجود أو عدم كفاية عملية التصريح الخاصة بالمصادر المشعَّة أو ترخيصها أو تسجيلها؛
- عدم وجود تصريح أو ترخيص محدد للمصادر المشعَّة المملوكة للحكومة؛
- نقص أو عدم كفاية التفتيش والتنفيذ والمتابعة؛
- وجود هيكل رسوم للترخيص يشجع السلوكيات غير المرغوب فيها من جانب المستخدمين؛
- عدم تحديد أولويات الجهود الرقابية، مع إعطاء جميع المصادر نفس القدر من العمل بغض النظر عن المخاطر المحتملة؛
- تحديد أولويات الجهود على أساس المناطق الجغرافية أو المناطق السياسية أو الاستخدامات بدلاً من تصنيف المصادر المشعَّة.

وهناك اختلافات كبيرة في البنى الأساسية الرقابية في مختلف الدول الأعضاء. وفي عدد قليل من البلدان، تقع مسؤولية جميع أو معظم الأنشطة التي تتضمن مصادر مختومة على جهة رقابية واحدة. ومع ذلك، في العديد من البلدان، هناك جهتان رقابيتان أو أكثر تتقاسمان المسؤوليات عن الأنشطة أو المراحل المختلفة في دورة حياة المصادر.

والتعقد الناجم عن وجود جهات رقابية متعددة يجعل التحكم العام في المصادر المختومة أمراً صعباً، كما يلزم وجود درجة عالية من الاتصال لتنفيذ سياسة التصرف في المصادر بشكل فعال. وعلى سبيل المثال، عندما يتم الحصول على موافقة محددة على عمليات نقل المصادر والواردات والنقل وما إلى ذلك من جهة رقابية تختلف عن الجهة المسؤولة عن إصدار الترخيص؛ فمن غير المحتمل مقارنة نقل المصدر المقترح بترخيص المرسل إليه. ويمكن أن توجد نفس المشكلة أيضاً في منظمة رقابية كبيرة حيث تكون هناك إدارات منفصلة مسؤولة عن أنشطة مختلفة. ونظام الترخيص المحدَّد الفترة الذي أُدخِل في بعض الدول الأعضاء يتميز بأنه يعمل على حث المستخدمين على إعادة تقييم مخزوناتهم من المصادر، وحالتها، ونظام التصرف فيها، وما إلى ذلك، ويضمن أن يكون لدى الجهة الرقابية سجلات محدَّثة للمستخدمين. ومع ذلك، يجب ألا تكون عملية تجديد التراخيص طويلة دون داع.

٥-١٣-٢- جودة سجل المصادر

سيكون وجود وجودة السجل الوطني للمصادر المشعَّة مؤشراً رئيسياً لمدى احتمالية حدوث مشاكل في التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة داخل البلد. ويمكن استخدام المعلومات التالية، من حيث المبدأ، لإنشاء قائمة بالمصادر [٤٣]:

- قوائم جرد المصادر التي يحتفظ بها المستخدمون (في بعض الأطر الرقابية)؛
- سجلات جهات تصنيع المصادر؛
- سجلات موزعي المصادر؛
- سجلات الشركات التي تقوم بصيانة الأجهزة التي تشمل المصادر؛
- سجلات شركات النقل أو الشحن بما في ذلك الإقرارات الجمركية؛
- المعلومات الواردة في تقارير الأحداث والإخطارات؛
- المعلومات الواردة في سجلات ترخيص المستخدم.

ومن المحتمل أن تكون معلومات المصدر المشع التي جُمِعَت بهذه الطريقة غير كاملة. وعلى سبيل المثال، قد تحدد السجلات فقط وجود جهاز ولكن ليس المصادر الفردية أو المصادر داخل الجهاز. ويمكن استخدام مصادر منفصلة متعددة في جهاز واحد خلال عمر الجهاز. وهناك مشكلة أخرى تتعلق بالمعلومات وهي أنها لن تشير بالضرورة إلى احتمال أن مصادر محددة قد أصبحت مهمَلة. وفي بعض الحالات، تُمنح التراخيص لامتلاك ما يصل إلى نشاط معين من نويدة مشعَّة معينة ويمكن أن يؤدي هذا الترتيب إلى بعض مشاكل المخزون. وقد لا يكون لدى المرخص له أي مصدر منفصل أو أكثر وصولاً إلى تلك الكمية. ولكل هذه الأسباب، قد يلزم وجود درجة من المتابعة.

وحتى في حالة وجود سجل وطني، فمن المحتمل جداً أن يكون غير مكتمل. وإذا كان غير مكتمل، فإن المعنى الضمني هو أنه لم يتم تحديد جميع المصادر المهمَلة وأنها أصبحت مصادر يتيمة. ولذلك، يحتاج المخزون الحالي إلى فحص دقيق للتحقق من جودته ومعقوليته واتساقه الداخلي ومدى احتمال اكتماله.

وترد أدناه المشاكل النموذجية التي تم تحديدها في هذا المجال كما يلي:

- لدى بعض المرخص لهم فقط مخزونهم الخاص؛
- الجرد المحلي أو الإقليمي فقط؛
- تضمين فقط المصادر التي تخضع لوزارة أو إدارة حكومية واحدة (مثل إدارة الصحة)؛
- تضمين فقط المصادر من نوع معين، أو التي تستخدمها صناعة معينة؛
- تضمين المصادر التي تم الحصول عليها أو إضافتها بعد تاريخ معين فقط؛
- عدم تضمين أي مصادر عسكرية؛
- فقدان بيانات مهمة؛
- بيانات غير صحيحة بشكل واضح؛
- معلومات قديمة.

واتبعت بلدان مختلفة نُهُجاً مختلفة لإنشاء سجلات المصادر. وفي البلدان التي يكون فيها سوق المصادر صغيراً نسبياً وتوجد جهة رقابية واحدة مسؤولة عن المصادر المختومة، يكون من الممكن الاحتفاظ بقاعدة بيانات دقيقة تتضمن معلومات محدَّثة عن جميع المصادر الفردية. وفي البلدان التي يوجد بها عدد كبير من المصادر، استُخدِم نهج إقليمي. وقد تجد بعض البلدان ذات الاستخدامات الطويلة الأمد والواسعة النطاق للإشعاع المؤيّن صعوبة في تغيير النظام القائم إلى نهج مركزي.

وعند إنشاء سجل وطني، أو تقييم اكتمال أو دقة قائمة الجرد، يجب إعطاء الأولوية لمصادر الفئات الأعلى. وعلى سبيل المثال، يجب أن يكون هناك درجة عالية من التأكيد على أن جميع مصادر الفئتين ١ و٢ مدرجة في السجل. ويمكن إدارة التحقق من وجود مصادر من الفئتين ٤ و٥ في السجل بأولوية أقل بكثير على مدى فترة زمنية أطول. والجانب الآخر فيما يخص جودة المخزون يتعلق بنوع المعلومات التي تُسجَّل بشأن كل مصدر من المصادر المشعَّة ودقتها واكتمالها.

وفي معظم الظروف، فإن أفضل طريقة لإنشاء جرد للمصادر المشعَّة والحفاظ عليه هي استخدام برامج قواعد البيانات، بدلاً من جداول البيانات أو برامج معالجة الكلمات، كما تم استخدامها في بعض الأحيان. وبمجرد إنشاء برامج قواعد البيانات هذه، تتيح قاعدة بيانات المصادر إمكانية إنجاز البحث والفرز والإبلاغ بسهولة أكبر. ويوجد عدد من برامج جرد المواد المشعَّة المتاحة تجارياً، بالإضافة إلى نظام معلومات الهيئات الرقابية التابع للوكالة [٤٤]، الذي يحتوي على وحدة جرد المصادر.

٥-١٣-٣- الإعفاء

تُعمِل معظم الدول الأعضاء مستوى معيناً من الإعفاء من التحكم الرقابي، استناداً إلى حدود نشاط النويدات المشعَّة الفردية واعتماداً على سميتها الإشعاعية أو على الممارسات المبرَّرة. وتستخدم بعض البلدان مزيجاً من كلا النهجين. ومع ذلك، هناك تباين كبير في الممارسات الفعلية فيما يتعلق بمستويات الإعفاء في مختلف الدول الأعضاء.

٥-١٣-٤- التمويل

بمجرد شراء المعدات وتسليمها، قد لا يتكفل المرفق تكلفة نقل ملكية المصدر عند سحب المعدات في النهاية. ويمكن أن يكون هذا هو الحال لأن مالكي المرفق ليس لديهم آلية ميزانية لتكبد تكلفة لن تنشأ إلا في المستقبل (ربما خلال عقود) وقيمتها الدقيقة لا يمكن إلا أن تكون قيمة تقديرية. وقد يكون ذلك أيضاً لأن المرفق يفترض أنه يمكن أن يغطي تكلفة نقل الملكية من ميزانيته التشغيلية أو كشرط لشراء معدات جديدة. ويمكن أن يؤدي ذلك إلى ضغوط مالية عندما يحين وقت نقل الملكية، مع الرغبة المقابلة لاستخدام خيارات أقل تكلفة. وقد تؤدي هذه البدائل إلى زيادة احتمال فقدان التحكم في المصدر المستهلك.

ويوفر عدد من الدول الأعضاء التمويل الحكومي والخبرة والتسهيلات لاستعادة المصادر المهمَلة واليتيمة وتكييفها وخزنها والتخلص منها. وهذا فعال بشكل خاص بالنسبة للمصادر ذات المخاطر العالية. ويمكن تطبيق هذه الممارسة مع أو دون رسوم على المستخدمين.

ويثني إدخال رسوم سنوية على الترخيص عن الخزن الطويل الأجل للمصادر المهمَلة من خلال فرض غرامة مالية. وهذا النظام مطبق في فنلندا.

٥-١٣-٥- إدارة السجلات

عدم وجود السجلات الخاصة بالسنوات الأولى للخزن فيما يتعلق بموقع المصادر المخزنة يجعل من الصعب استرجاع المصادر، بما في ذلك تقدير الجرعات التشغيلية وتقييم الأمان وشرح نتائج الرصد الإشعاعي.

وإذا كان مولدو النفايات يستخدمون نظاماً لتتبع المصادر، فمن المفيد أن يكون هذا النظام متوافقاً مع نظام تتبع النفايات في مرفق الخزن. وقد يقلل هذا من ازدواجية الجهود و/أو تمكين نقل بعض المعلومات فيما بين قواعد البيانات. وأثبتت التجربة أن استخدام طرق تحديد الهوية الشائعة الاستخدام (على سبيل المثال، الأرقام المرسومة في الجزء الخارجي من الأسطوانة أو الملصقات الورقية، حتى لو كانت محمية بالبلاستيك) لا تكفي لضمان التحديد فيما يخص الخزن لفترة طويلة. ويجب أن تكون الملصقات أكثر متانة، على سبيل المثال، يمكن استخدام الملصقات المعدنية المثبتة على المصفوفة الأسمنتية داخل الحاوية. ويجب الحرص بشكل خاص على تحديث النسخ الاحتياطية لقاعدة البيانات من حيث الأجهزة والبرمجيات. ويمكن أن تتغير تكنولوجيا الكمبيوتر بسرعة بمرور الوقت. ويمكن أن يؤدي التأخير في تحديث مكونات البرامج والأجهزة إلى تعريض قاعدة بيانات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة للخطر، مما يجعل وجود نُظُم استحاطة أمراً ضرورياً. وفُقد الكثير من المعلومات في الماضي بسبب سوء حفظ السجلات. وغالباً ما كانت الإدخالات التي أجريت في دفاتر السجلات مبهمة أو غامضة. ووجهت جهود كبيرة ولا تزال توجه صوب "ترجمة" بعض السجلات القديمة. ويتطلب الاحتفاظ بقاعدة بيانات تتبع المصدر جهداً مستمراً.

ومن المهم التحقق من السجلات. وتوجد أمثلة على أن السجلات لا تعكس بدقة الطبيعة الفعلية للمصادر ومواقعها وكمياتها. ولا تحتوي قواعد البيانات التاريخية على معلومات كافية لتمكين التصرف الفعال من حيث التكلفة في النفايات التي خُزِّنت لفترات طويلة. وتكمن المشكلة التي نواجهها في أن قاعدة البيانات الحالية هي قاعدة تشغيلية وقد لا تكون قابلة للاستخدام في المستقبل في حالتها الحالية.

وليس من الصعب فقط إنشاء نظام موثوق به لحفظ السجلات على المدى الطويل، ولكن هناك افتقار إلى الحافز لتخصيص الموارد لهذه المهمة في بعض الأحيان.

٥-١٣-٦- تقييم نظام التصرف

عادة ما يتم التحقق من كفاية نظام التصرف عن طريق التقييم. ويشمل التقييم الأنشطة التي تجري في أثناء التصرف بشأن التحقق من المنتج، والتقييم الذاتي، والتحقق المستقل. وينطبق التقييم على جميع عناصر التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ويمكنه قياس العلاقة القائمة بينها وفعاليتها. وأظهرت سنوات من الخبرة أن أي نظام تصرف يُترك بمفرده سيتدهور بمرور الوقت. ولذلك يصبح تقييم نظام التصرف أهم جزء في النظام الإداري العام لأنه يوفر مقياساً لتحديد فعالية هذا النظام قبل التخلص وفي أثناءه وبعد اكتماله، ومن أجل التحسين المستمر لجودة العملية برمتها.

٦- استراتيجية التصرف

تتطلب مدونة قواعد السلوك [١٤] ما يلي:

"ينبغي لكل دولة، من أجل وقاية الأفراد والمجتمع والبيئة، أن تتخذ الخطوات الملائمة الضرورية لضمان ما يلي: (أ) أن المصادر المشعَّة الموجودة داخل أراضيها أو الخاضعة لولاياتها القضائية أو لسيطرتها يتم التصرف فيها على نحو مأمون ويتم وقايتها على نحو آمن أثناء أعمارها التشغيلية وفي نهاية أعمارها التشغيلية".

ولا توجد استراتيجية واحدة شاملة لنهاية العمر التشغيلي قابلة للتطبيق في جميع الدول. وتعكس استراتيجيات التصرف الاختلافات في: (١) نضج النظام التشريعي والرقابي؛ (٢) وجود برنامج للقوى النووية؛ (٣) جرد المصادر المهمَلة وخصائصها في الدولة؛ (٤) الموارد المالية والبشرية المتاحة؛ (٥) ما إذا كانت الدولة مورِّداً للمصادر المشعَّة. ومن المرجح أن تكون المصادر المهمَلة هي أهم اعتبار فيما يتعلق بالتصرف في النفايات المشعَّة في الدول التي ليس لديها برامج للقوى النووية. وبالنسبة لبعض الدول التي لديها صناعة نووية، قد يكون من الصعب ضمان إعطاء أولوية كافية للمصادر المهمَلة. وفي العديد من البلدان، يتم تحديد سياسة التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في السياسة الوطنية للتصرف في النفايات المشعَّة. والقضايا التي يتعين معالجتها على مستوى وثيقة السياسة محددة في المادة ٢٨ من الاتفاقية المشتركة [١٣] وفي منشورات أخرى للوكالة [٢٩، و٤٤، و٤٥].

وبغض النظر عن حجم الأنشطة وأهمية المخاطر الكامنة، يجب أن يكون لدى كل دولة عضو استراتيجية لتنفيذ السياسة الوطنية. ويجب أن تحدد الاستراتيجية نهجاً منهجياً، بما في ذلك المسؤوليات المحددة بوضوح، والمعرفة التفصيلية بشأن المخزون الحالي والمتوقع للمصادر غير المستخدمة، وتسلسل محدد جيداً لجميع خطوات التصرف في كل مصدر أو فئة من المصادر، ووجود التقنيات المناسبة. ويجب النظر إلى الاستراتيجية على أنها خطة إدارية تسهل التخطيط المنتظم والتنفيذ المأمون لجميع أنشطة التصرف. وبعد أن توافق عليها السلطات، توفر خطة التصرف الأساس لمنح الأموال للتصرف في المصادر المهمَلة.

وقد يكون إعداد هذه الاستراتيجية مسؤولية المرخص له أو المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة. وإذا كان عدد المصادر صغيراً ولا توجد مؤسسة مركزية للتصرف في النفايات المشعَّة، فقد تتوصل الهيئة الرقابية بالتنسيق مع المستخدم إلى حل وطني مناسب للتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

٦-١- المتطلبات الأساسية لإعداد الاستراتيجية

من أجل إعداد أو تحديث استراتيجية وطنية أو استراتيجية لإحدى المنظمات المنفذة، يجب أن يكون لدى الأشخاص المعنيين، من بين أمور أخرى، فهم للمواضيع المدرجة أدناه.

- الاستخدام الحالي والمستقبلي للمصادر في الدولة؛
- جرد المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في البلد؛
- نظام لتحديد فئات المصادر؛
- خصائص المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة؛
- استراتيجيات التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في البلدان الأخرى؛
- معرفة مرافق التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الحالية (الخلايا الساخنة، ومرافق الخزن والتخلص)؛
- توافر الموارد (الأموال، والقوى العاملة، والبنية الأساسية)؛
- النظام الرقابي الحالي (متطلبات قبول وإعادة المصادر المهمَلة)؛
- توقعات ومصالح الأطراف المعنية؛
- مخطط التصنيف الوطني للنفايات المشعَّة.

وقد تفضل بعض البلدان صياغة استراتيجية على مستويين: يتم تحديد المسائل الرئيسية بعبارات عامة كاستراتيجية وطنية تضعها الحكومة، ويتم تفويض تنفيذها التفصيلي إلى مالكي مصادر معينة (استراتيجيات الشركات). ويمكن التوصية بهذا النهج لتحسين تنسيق التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، وزيادة أمانها وأمنها، واستغلال الموارد الوطنية بكفاءة. وعادة، يمكن التخطيط لمخزن/مستودع وطني واحد بدلاً من العديد من المرافق التي يملكها حاملو التراخيص الكبار أو يمكن إنشاء خدمات المعالجة والتكييف المركزية.

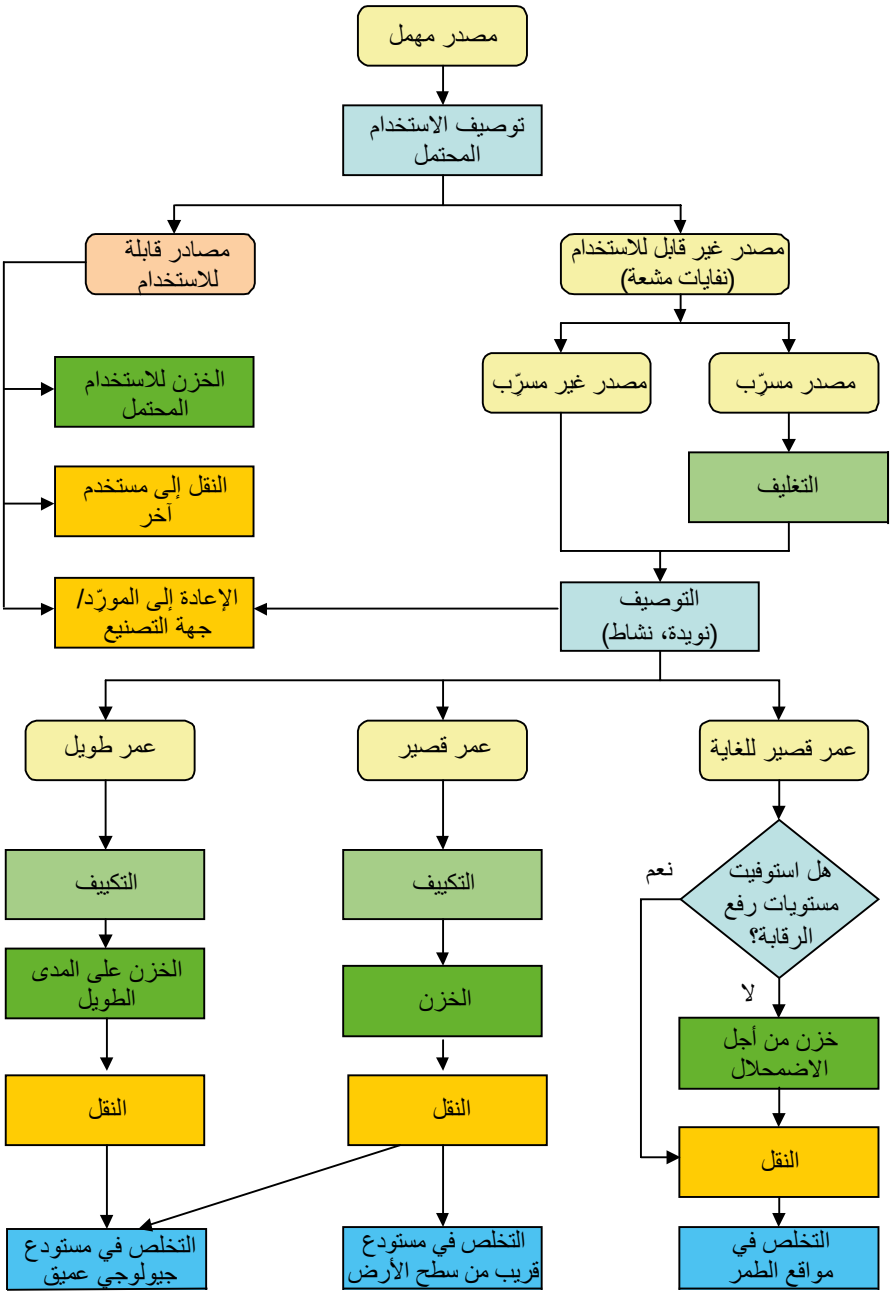
٦-٢- الخيارات الاستراتيجية للتصرف

سيعتمد تحديد خيار التصرف في مصدر ما على مجموعة متنوعة من العوامل ذات الصلة، بما في ذلك النشاط ومحتوى النظائر المشعَّة والعمر النصفي وشروط عقد الشراء والحالة المادية للمصدر. وبعد تحديد خيار التصرف، يخطر المرخص له الهيئة الرقابية بشأن القرار المتخذ. ويُطلب من المرخص له التفاعل مع المنظم في جميع الأمور المتعلقة بالتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

ويمكن النظر في خيارات التصرف في العامة التالية للمصادر المشعَّة المهمَلة:

- النقل إلى مستخدم آخر مصرح له (للاستخدام المصرح به)؛
- الإعادة إلى المورد/جهة التصنيع؛
- الخزن المؤقت في تدريعه الأصلي (على سبيل المثال، للنويدات المشعَّة التي يبلغ عمرها النصفي أقل من ١٠٠ يوم)؛
- التكييف (على سبيل المثال، الإفراط في التعبئة)؛
- الخزن (على سبيل المثال في مرفق خزن مخصص أو مركزي)؛
- التخلص.

ويجب تحديد فئات جميع المصادر التي تدخل في عملية التصرف في النفايات لتحديد نشاطها ومحتوى النويدات المشعَّة وغيرها من الخصائص المهمة. وبناءً على خصائص المصدر، يمكن تحديد خيارات محددة للتصرف فيه. ويصف الشكل ٤٤ بشكل عام خيارات التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، مع الأخذ في الاعتبار إمكانية إعادة الاستخدام/إعادة التدوير للمصدر وخيارات التخلص المختلفة، بناءً على خصائص المصدر، بما في ذلك العمر النصفي والحالة المادية.



الشكل ٤٤- مخطط بياني للتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

ويشير الإخراج من الخدمة إلى إزالة المصادر الإشعاعية المرخصة والأجهزة المرتبطة بها من مرفق وإلى الإجراءات الإدارية والتقنية المتخذة لرفع بعض الضوابط الرقابية أو جميعها [٣٠]. وقد تحتوي بعض المرافق على جهاز تشعيع واحد مثبت، مثل جهاز المعالجة البُعادية. وقد تشمل المرافق الأخرى المباني المرخصة التي يتم فيها تثبيت العديد من الأجهزة الفردية (مثل خط الإنتاج الذي يحتوي على مقاييس صناعية) أو خزنها (مثل مخزن للأجهزة المحمولة). وقد يشمل الإخراج من الخدمة إزالة عدد كبير من المصادر قبل إنهاء ترخيص المرفق. وقد يشمل الإخراج من الخدمة أيضاً إزالة جزء من مخزون الأجهزة بالمرفق قبل إصدار ترخيص جديد وتركيب أجهزة بديلة للعمل في المستقبل. ولا يعتبر استبدال المصدر داخل جهاز موجود بمثابة إخراج من الخدمة. ويجب اتباع الإرشادات الخاصة بالإدارة المأمونة لأنشطة الإخراج من الخدمة للمرافق الطبية والصناعية والبحثية [٤٦] في تخطيط وتنفيذ عملية الإخراج من الخدمة.

وبالنسبة للمرافق التي تستخدم المصادر المشعَّة المختومة، قد يشمل الإخراج من الخدمة فقط الإزالة المصرح بها لجميع المصادر من المرفق. وفي المواقف الأكثر تعقيداً حيث يتم تفكيك المعدات التي تحتوي على مصادر في الموقع، يجب تنفيذ أنشطة

الإخراج من الخدمة على يد موظفين مؤهلين وذوي خبرة مناسبة، في المناطق المناسبة لأنواع الإجراءات التي يتعين اتخاذها. ولن يكون لدى العديد من مستخدمي المعدات التي تحتوي على مصادر موظفين أو تصريح للتفكيك الكامل للمعدات الذي ينطوي على إزالة المصدر المختوم.

٦-٢-١- النقل إلى مستخدم آخر مصرح له

إذا سمح النشاط والحالة المادية للمصدر باستخدامه بشكل أكبر، فيمكن إعادة استخدام المصدر المشعّ المختوم المهمَل في تطبيقات أخرى. ويوفر نقل المصادر إلى مستخدمين آخرين فوائد اقتصادية وبيئية. ومع ذلك، يجب أن يتم النقل بطريقة خاضعة للرقابة ويجب أن يكون متلقي المصدر على دراية بالمتطلبات الرقابية ذات الصلة. ويحتاج الترتيب إلى التأكد من أن موقع المستخدم مرخص لاستلام المصدر، وأن البنية الأساسية المطلوبة لاستيعاب المصدر المعاد استخدامه في مرفق المستخدم الجديد متاحة، وأن الوثائق ذات الصلة يتم تبادلها بين المستخدم السابق والمستخدم الجديد، وكذلك وجود هيئة رقابية وطنية. ويمكن النظر في إعادة استخدام المصادر المختومة قبل شرائها، إذا سمحت الظروف بذلك.

ويجب إيلاء اهتمام خاص للتأكد من أن المصادر المختومة في حالة صالحة للخدمة ومناسبة للتطبيق الجديد المقصود. ويجب تقديم نسخ من جميع المعلومات ذات الصلة عن تاريخ استخدام المصدر (مثل شروط الاستخدام وسجلات الصيانة) إلى المالك الجديد. وكحد أدنى، يجب أن يشمل ذلك الرقم المسلسل للمصدر ومحتوى النويدات المشعَّة ونشاطها. وبالنسبة لمصادر النشاط العالي، من المحتمل أن يتم إجراء فحوصات قابلية الخدمة ذات الصلة فقط في مرفق متخصص. ولذلك، قد لا يكون النقل المباشر إلى مستخدم آخر مناسباً لمثل هذه المصادر؛ ويجب أن يتم النقل من خلال جهة تصنيع أو مورّد للمصادر، أو أي هيئة مختصة أخرى.

وينطبق النقل إلى مستخدم آخر داخل الحدود الوطنية بشكل خاص على السيزيوم-١٣٧ والكوبالت-٦٠ المستخدمين في العلاج الإكلينيكي. ويمكن إعادة استخدام المصدر في حامله الأصلي دون تفكيك الكبسولة. ويُفضَّل تغليف وشحن المصادر المختومة المقدمة للمستخدمين الآخرين في حاوية الشحن الأصلية. وفي حالة عدم توافر حاوية الشحن الأصلية، يجب وضع شروط للحصول على حاوية مناسبة أو التعاقد مع منظمة نقل نووي متخصصة.

٦-٢-٢- الإعادة إلى المورِّد/جهة التصنيع

عندما يتعذر إعادة الاستخدام، قد يتم إعادة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة إلى المورد/جهة التصنيع الأصلية أو البديلة. وبالنظر إلى أن جهات التصنيع و/أو الموردين على دراية باقتصاديات إعادة التدوير والطلب على المصادر من مختلف الأنواع، فإنهم في وضع مثالي لاتخاذ القرارات المناسبة فيما يتعلق بالتخلص النهائي من المصادر. وقد تشمل إجراءات الإعادة الترتيبات القانونية التالية:

- يُدرِج مستخدم المصادر المشعَّة المختومة بنداً في عقد الشراء أو التأجير يسمح أو يطلب إعادة المصدر. وأصبحت هذه ممارسة شائعة في العديد من البلدان؛
- تقديم نسخة من العقد، تبين شرط الإعادة، إلى الهيئة الرقابية قبل استيراد المصدر.

ويمكن إجراء الترتيبات مع المورد و/أو جهة التصنيع لإعادة المصدر، إذا لم يتم الاتفاق عليها وقت الشراء، في أي وقت خلال دورة حياة المصدر. والمصادر التي يتم إعادتها إلى الموردين/جهات التصنيع تحتاج إلى تعبئتها ونقلها وفقاً للوائح النقل المعمول بها [٤٧]. وفي بعض الأحيان لا تكون الإعادة ممكنة، خاصة بالنسبة للمصادر القديمة حيث لا يكون المورد معروفاً أو لم يعد مستمراً في العمل.

وغالباً ما تكون الإعادة إلى المورد الأصلي و/أو جهة التصنيع هي الخيار المفضل لمصادر الفئتين ١ و٢؛ ومع ذلك، يجب بذل محاولات لإعادة جميع المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة إلى المورد و/أو جهة التصنيع التي يجب أن يكون لديها جميع المعدات اللازمة لإعادة الاستخدام/إعادة التدوير.

ويتم إعادة تغليف وإعادة تدوير المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة العالية النشاط نسبياً في الخلايا الساخنة. ويُجرى إعادة التغليف عادةً لمصادر الكوبالت-٦٠ والسيزيوم-١٣٧ والأميريشيوم-البريليوم النيوترونية. ويمكن استخدام المواد الخام التي أُزيلت

من الكبسولات لإنتاج مصادر جديدة لأغراض أخرى. على سبيل المثال، مصادر السيزيوم-١٣٧ في شكل كلوريد السيزيوم من وحدات المعالجة القديمة يمكن استعادتها ومعالجتها إلى مصادر صغيرة لتطبيقات أخرى، مثل التشعيع الداخلي.

ويُستخدم نهج إعادة التدوير أيضاً مع المصادر النيوترونية مثل الكاليفورنيوم-٢٥٢. ويمكن قبول المصادر التي تحتوي على أقل من ٤٠ مليغراما من الكاليفورنيوم-٢٥٢ للتخلص منها بتكلفة منخفضة، بينما يمكن إعادة تدوير المصادر التي تحتوي على نشاط أعلى واستخدامها لتصنيع مصادر جديدة.

ولا تُستخدم إعادة التشعيع عادةً بالنسبة لمعظم النظائر. والاستثناء الملحوظ هو السلنيوم-٧٥، والذي يتم الحصول عليه عن طريق الإشعاع إما من السلنيوم الطبيعي أو من السلنيوم-٧٤ العالي الإثراء. والسلنيوم-٧٤ العالي الإثراء مادة خام باهظة الثمن. ويمكن تعريض المصادر المستهلكة للسلنيوم-٧٥ للإشعاع بشكل متكرر من أجل الحصول على مصادر جديدة بنفس الأداء كما كان من قبل.

وكبديل للشراء، أصبح تأجير المصادر خياراً شائعاً بشكل متزايد. وبموجب هذا الترتيب، لا يمتلك المستخدم المصادر مطلقاً، ولكنه يؤجرها من المورِد لفترة زمنية محددة يتم بعدها إعادة المصدر إلى المورد/جهة التصنيع. وفي بعض النواحي، يعمل التأجير على تحسين أمان المصادر حيث تحتفظ جهة التصنيع بملكية المصدر ومعها مسؤولية استرداد المصدر للتخلص منه. ومع ذلك، تظل المسؤولية المستمرة عن الأمان اليومي على عاتق الطرف الرئيسي. وقد يكون تأجير المصدر خياراً متاحاً للمستخدمين لمدة قصيرة، أو لمصادر ذات نشاط منخفض أو عمر نصفي قصير.

٦-٢-٣- الخزن قبل التخلص

يمكن خزن المصادر قبل التخلص منها على وجه التحديد للسماح بالاضمحلال الإشعاعي للنويدات المشعَّة القصيرة العمر *(الخزن القصير المدى)*، وبالتالي تبسيط ترتيبات التخلص، أو قد يتم خزنها في أثناء إجراء ترتيبات التخلص. ومع ذلك، لا يتم تشجيع الخزن المطول للمصادر المهمَلة لأسباب أخرى غير الاضمحلال الإشعاعي. ويجب أن يتم اختيار أفضل السبل لإدارة فترة الخزن في أثناء انتظار الإخراج النهائي من الخدمة والتخلص من جانب الطرف الرئيسي، بموافقة الهيئة الرقابية، مع مراعاة الظروف الخاصة في المرفق. وعلى سبيل المثال، إذا كان المرفق يحتوي على عدد كبير من المصادر على خط إنتاج مصادر مهمَلة، فيجب النظر في خيار تجميع هذه المصادر في موقع آمن. ويجب اتخاذ مثل هذا الإجراء على أي حال إذا كان لا يمكن ضمان الاحتفاظ بالتحكم في المصادر داخل المباني المهجورة.

ويمكن خزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ذات الأعمار النصفية القصيرة (على سبيل المثال الفُسفور-٣٢، واليود-١٢٥، والإيريديوم-١٩٢، والبولونيوم-٢١٠) لفترات، مما يسمح بالاضمحلال الإشعاعي وصولاً إلى مستويات مقبولة لرفع الرقابة ليتم إخراج المواد المشعَّة من التحكم الرقابي. ولا يُتخلَّص من المصادر المهمَلة المضمحلة كمواد غير مشعَّة في مرافق النفايات المحلية، أو غيرها من مواقع طمر النفايات غير المشعَّة، حتى يُتأكد من أن النشاط المتبقي الذي سيطلق في البيئة يفي بمستويات رفع الرقابة التي حددتها الجهات الرقابية.

وتحتاج الهيئة الرقابية، عند تحديد مستويات رفع الرقابة، أو فقط إخراج المصادر المهمَلة من المزيد من التحكم الرقابي على أساس "كل حالة على حدة"، إلى مراعاة مستويات الإعفاء المحددة في التشريعات الوطنية للوقاية من الإشعاعات. وكما هو موصى به في معايير الأمان الأساسية [١١]، لا ينبغي أن يكون مستوى رفع الرقابة عن نويدة معينة أعلى من مستوى الإعفاء لتلك النويدة. وبالنسبة للنويدات المشعَّة، المناسبة لخيار خزن الاضمحلال الإشعاعي، يوصى في معايير الأمان الأساسية ببعض الأمثلة ومستويات الإعفاء.

ويمكن فقط قبول المصادر التي تفي بالمتطلبات المحددة للخزن لكي تُخزَّن إما في الموقع أو في مرفق خزن مركزي (انظر القسم ٩). ومن أجل تلبية هذه المتطلبات، يجب أن يخضع المصدر لبعض التكييف الذي يجعله مناسباً للخزن المأمون والآمن. ويجب أن يأخذ تكييف المصدر لأغراض الخزن في الاعتبار إمكانية استرجاع المصدر لإعادة التدوير/إعادة الاستخدام اللاحق، أو لإعادة التغليف للتخلص منه (انظر القسمين ١٠ و١٢). وعلى سبيل المثال، قد يؤدي التكييف بدمجه في الخرسانة إلى نتائج عكسية فيما يتعلق باسترجاع المصدر وإعادة التدوير وإعادة الاستخدام لاحقاً، أو إعادة التغليف للتخلص منه في المستقبل.

وفي معظم البلدان، لا تتوافر مرافق التخلص المناسبة للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. وقد يكون هناك تأخيرات طويلة قبل التمكن من تطوير مرفق التخلص. ولذلك، فإن مرافق *الخزن الطويل الأجل* مطلوبة. ويمكن تشغيل هذه المرافق على المستوى الوطني أو الإقليمي، وتتطلب الإشراف الرقابي المناسب.

٦-٢-٤- التخلص

في حالة عدم وجود خيار إعادة التدوير/إعادة الاستخدام، أو العودة إلى المورد/جهة التصنيع وكان هناك مستودع مناسب متاح، يحتاج المستخدم إلى التفكير في التخلص من المصدر كنفايات مشعَّة وفقاً للمتطلبات المعمول بها. والتخلص هو المرحلة النهائية في دورة حياة المصادر المشعَّة.

وتختلف خيارات التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة باختلاف مستويات النشاط وأنواع النويدات المشعَّة في المصادر [٤٨]. وقد تكون المستودعات القريبة من سطح الأرض مناسبة للنشاط المنخفض والمصادر القصيرة العمر. ومع ذلك، فإن الخصائص الإشعاعية المحددة للعديد من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة لا تمتثل لمعايير قبول النفايات الموضوعة لهذه المرافق. وتكمن المشكلة في هذا الصدد في أنها تشكل تركيزات عالية موضعية، أو "نقاط ساخنة"، في المرفق ويمكن أن تؤدي إلى جرعات إشعاعية غير مقبولة في حالة التدخل البشري غير المقصود. وبالنسبة للمصادر القديمة المهمَلة ذات مستويات النشاط التي تتجاوز معايير التخلص في مستودع قريب من سطح الأرض، يكون التخلص العميق تحت الأرض هو الخيار المفضل. ويوفر التخلص الجيولوجي العميق أعلى مستوى من العزل المتاح بين مفاهيم التخلص قيد الدراسة حالياً. وبالنسبة للبلدان التي ليس لديها احتمال وجود مثل هذه المستودعات، سيكون من المفيد تطوير مستودعات جيولوجية متعددة الجنسيات في المستقبل. والاحتمال الآخر هو تطوير، على الأراضي الوطنية، نوع خاص من مرافق التخلص داخل حفر السبر المصممة خصيصاً للتخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة [٤٨].

ويجب إجراء تحليل الأمان لأي خيار تخلص والحصول على ترخيص لهذا الاستخدام، قبل تنفيذ الخيار.

٦-٣- نوع المرفق

بالإضافة إلى خيارات التصرف العامة الموضحة أعلاه، هناك بعض الأساليب التقنية التي قد تنظر فيها البلدان للتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. وتشمل هذه الأساليب مشاركة المرافق، ومركزية المرافق واستخدام مرافق المعالجة المتنقلة.

٦-٣-١- المرافق المشتركة

قد تنظر البلدان في مشاركة مرافق مخصصة للتصرف في النفايات المشعَّة مع دول أخرى. وهذا النهج له فائدة في خفض تكلفة التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة لجميع البلدان المعنية.

ويمكن أن تشمل المرافق المشتركة مرافق متعددة الأطراف للخزن والتخلص. وقد قُدمت مثل هذه الاقتراحات في إطار الاتفاقية المشتركة [١٣] ودارت مناقشات بين البلدان المهتمة [٤٩].

٦-٣-٢- المرافق المركزية

يمكن إجراء اختيار استراتيجي بين مرافق التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المركزية والمحددة بالموقع. وكل نهج له مزاياه. وعادة ما يكون المرفق المركزي القادر على المعالجة والخزن، وربما التخلص من كل أو جزء كبير من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في بلد ما أكثر اقتصادية من نهج الموقع الفردي، ويتطلب قوة عاملة أصغر من عدة مواقع فردية ومن المحتمل أن يكون أكثر أمناً. ومن ناحية أخرى، فإن التصرف في المصدر في الموقع الذي أصبح فيه مهمَلاً له ميزة تقليل الحاجة إلى نقل المصدر.

وفي الواقع، نادراً ما يتم الاختيار على أسس اقتصادية بحتة نظراً لوجود عوامل سياسية محلية وجوانب تطوير نووي تاريخية وطنية وعوامل جغرافية وجوانب رأي عام يجب مراعاتها. ومع ذلك، إذا كانت الاستراتيجية قيد التطوير أو التحديث، فيجب إعطاء الاختيار بين هذه الخيارات الاعتبار المناسب لجميع أنشطة التصرف في النفايات في البلد أو أجزاء منها.

٦-٣-٣- المرافق المتنقلة

يتمثل أحد البدائل الجزئية الممكنة لمرافق التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المركزية، والتي تتمتع بالعديد من المزايا الاقتصادية نفسها، في استخدام مرافق المعالجة المتنقلة. ويتم تشغيل هذه المرافق في وضع "الدُّفعة" نظراً لأن هناك حاجة إلى حد أدنى معين من المصادر لتشغيلها بكفاءة. ويمكن تقليل تكاليف التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة للمستخدمين الفرديين إذا تمت مشاركة نُظُم المعالجة هذه. ومرفق الخلية الساخنة المتنقل التابع للوكالة مثال على المرفق المتنقل المستخدم لتكييف مصادر النشاط العالي (انظر القسم ١٠-٧).

٦-٤- إعداد استراتيجية التصرف

يجب أن تكون استراتيجيات التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة متسقة مع الحالة المحددة في الدولة العضو وتتناولها. وقد تتكون الاستراتيجية الوطنية للتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة من ثلاث مراحل [٥٠]:

(١) *التقييم:* تحديد نطاق الاستراتيجية.
(٢) *الإعداد:* تحديد إجراءات الحلول وترتيبها حسب الأولوية، ووضع الخطة وفقاً لذلك.
(٣) *التنفيذ:* الحصول على الالتزام والموارد اللازمة، وتنفيذ الحلول، وتقييم تأثير الخطة بشكل نهائي.

وعند وضع استراتيجية شاملة، ستحتاج الدولة العضو إلى تقييم مزايا وعيوب الخيارات المختلفة وحسم ما يتعلق بأولوياتها. وبشكل عام، يمكن أن يستند تركيز الاستراتيجية الوطنية إلى ما يلي:

- فئات المصادر (على سبيل المثال الفئات ١ و٢ و٣)؛
- نوع المصدر (على سبيل المثال مصادر التصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية)؛
- القطاع الصناعي الذي حُدِّدت فيه المشاكل (على سبيل المثال إعادة تدوير الخردة المعدنية)؛
- المنطقة الجغرافية أو الإقليم (على سبيل المثال العاصمة)؛
- المصادر المستخدمة قبل إنشاء هيئة رقابية وطنية.

وإن التقييم الواقعي للموارد من أجل وضع وتنفيذ الاستراتيجية الوطنية أمر بالغ الأهمية لضمان نجاح الجهود. وقد تكون بعض البلدان قادرة على تكريس جهد كبير في وضع استراتيجية وطنية شاملة تستبق الظروف المستقبلية وتوفر الإجراءات المناسبة لتلك الظروف.

وتتضمن مرحلة التقييم لوضع استراتيجية وطنية للتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة جمع المعلومات ثم تقييمها من أجل الوصول إلى استنتاجات بشأن طبيعة المشكلة وحجمها. وستكون مرحلة التقييم عملية مستمرة ومتواصلة مع تطور حالة الدولة العضو. ولا يُقصد بمرحلة التقييم في هذه العملية أن تكون نقطة اتخاذ القرار الوحيدة؛ بل هي النقطة التي يتم عندها اتخاذ القرارات الرئيسية بشأن الحاجة إلى الاستراتيجية الوطنية وتوجهها ومحتواها.

وسيتم تقييم المعلومات في أثناء جمع المعلومات وبعد الانتهاء من جمعها. وقد تحدد كمية ونوع المعلومات التي تم الحصول عليها الحاجة إلى تعديل نطاق ومنهجية التقييم. وعند الحصول على المعلومات المناسبة، يمكن مقارنة الظروف الفعلية بالقوانين واللوائح الوطنية ذات الصلة، وكذلك المعايير والإرشادات الدولية [٢٨، و٥١]، لتحديد وجود ومدى التناقضات فيما يتعلق بالاستراتيجية الوطنية للتصرف في النفايات. ومدونة قواعد السلوك [١٤] مفيدة كوثيقة إرشادية دولية بشأن هذه المسألة.

٦-٥- المشاكل المعترَضة والدروس المستفادة

٦-٥-١- قضايا عامة

من المرجح أن يكون البلد الذي تم فيه استخدام المصدر قد حصل على أقصى فائدة عملية وتجارية منه ويمكن القول بأن البلد يجب أن يتحمل مسؤولية التخلص منه في حالة وجود طريق التخلص المناسب أو أنه جرى التخطيط له. ومع ذلك، يجب مراعاة الفوائد الاقتصادية لدمج أعداد كبيرة من المصادر من نوع مماثل لإعادة التدوير أو التخلص منها في مرفق واحد. وقد يكون هذا المرفق في بلد الصنع، على الرغم من أن هذا ليس هو الحال بالضرورة.

وفي بعض الأحيان، توجد ضوابط رقابية غير فعالة (التفتيش، والتنفيذ، وما إلى ذلك). وفي مثل هذه الحالات، يجب إنشاء نظام تفتيش لإنفاذ الأحكام المقدمة وفقاً للوائح ذات الصلة. ويجب أن تخول اللوائح السلطات بتطبيق العقوبات على مخالفة الأحكام الواردة في اللوائح. ويمكن أن تكون العقوبات غرامات متناسبة أو الإيقاف أو سحب الترخيص. كما ينبغي تطبيق الأحكام العامة للقانون الجنائي.

٦-٥-٢- النقل إلى مستخدم آخر مصرح له

تُظهر الخبرة المكتسبة من التعامل مع الحوادث الفعلية مع المصادر المهمَلة أن مخاطر الحوادث تزداد عندما يتم نقل المصادر فعلياً إلى مستخدم آخر دون تمرير المعلومات والمسؤولية المرتبطة بها.

وعندما يكون هناك تحول في المسؤولية، إما داخل نفس المؤسسة (من المُشغِّل السابق إلى شخص مسؤول عن الخزن المؤقت) أو من مؤسسة (مالك قديم) إلى أخرى (مالك جديد)، فإن أي فجوة معلومات بين المستخدمين أو المؤسسات هي مصدر محتمل لمخاطر جديدة.

٦-٥-٣- الإعادة إلى المورِّد/جهة التصنيع

في العديد من الدول الأعضاء، يُشجِّع الرقابيون فيها على إعادة المصدر إلى المورد/جهة التصنيع أو يشترطون ذلك. ومع ذلك، في بعض الحالات، قد يكون من الصعب تنفيذ هذا الخيار للأسباب التالية:

- المورد الأصلي غير معروف، أو لم يعد موجوداً، أو لا يمكن تعقبه؛
- انتهاء صلاحية شهادات المصدر أو شهادات الشكل الخاص؛
- عدم توافر حاوية نقل مناسبة؛
- وسائل النقل المناسبة مفقودة؛
- الأموال اللازمة لتعبئة ونقل المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة غير متوفرة؛
- فرض النظام الرقابي بعض القيود على الاستيراد/التصدير.

وتساهم هذه العوائق في حدوث قدر من الارتباك بين الأطراف المعنية، ولا سيما بالنظر إلى القيود والصعوبات التي ينطوي عليها الشحن عبر الحدود للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. ونظراً للقيود المفروضة على نقل النفايات المشعَّة من بلد إلى آخر، فقد كانت هناك حالات خاصة عدة مرات (على كلا الجانبين، أي المرسِل والمرسل إليه) لنقل المصادر المهمَلة من المستخدم إلى الطرف الذي يقبلها، على الأقل، لإعادة استخدامها جزئياً. وفي هذه الحالات، يبدو أنه من الممارسات الشائعة أن يقبل المرسل إليه الشحنة (التي تحتوي على عدة مصادر) ويعلن أن المصادر غير الضرورية نفايات، بعد وقت قصير من استلام الشحنة. ومع ذلك، فقد وفرت القضايا الأمنية المتعلقة بالمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الزخم لإعادة هذه المصادر إلى الموردين. ويمكن أن تكون القضية الرئيسية نحو الحل هي إعادة النظر في العمر التشغيلي الذي توصي بها جهات التصنيع والرقابيون كأداة مهمة في عملية اتخاذ القرار بشأن حالة المصدر المهمَل. ويمكن تحسين هذا المجال من خلال اعتماد سياسة مشتركة، والتي ينبغي أن تأخذ في الاعتبار النقاط الواردة أدناه.

٦-٥-٤- الخزن قبل التخلص

هناك أدلة على وجود أعداد كبيرة من المصادر المهمَلة في المخازن بمباني المستخدمين في جميع أنحاء الدول الأعضاء. وبعض المصادر مملوكة بالفعل لعيادات خاصة، وبالتالي فإن الملكية هي قضية مهمة في إعلان المصادر على أنها نفايات مشعَّة. ويتم خزن معظم المصادر في أماكن عمل المستخدمين في المقام الأول لأسباب اقتصادية. وقد يتم خزن هذه المصادر لعدة عقود في حاويات، وقد يكون بعضها في حالة سيئة. وفي بعض الحالات، قد تكون التكلفة العالية المرتبطة بالتخلص، أو الافتقار إلى خيارات التخلص المناسبة، رادعاً للتخلص من المصادر بأمان مما يقتضي خزن المصادر غالباً لفترة غير محددة. ونظراً لأن المصادر قيد الخزن وليست قيد الاستخدام، فقد تُفقد المساءلة عن المصادر بمرور الوقت، أو قد تحدث عمليات سحب دون إذن أو سرقة.

وتتوقع مدونة قواعد السلوك [١٤] أن تضمن كل دولة عدم خزن المصادر المختومة لفترات طويلة من الوقت في مرافق لم تُصمَّم لغرض الخزن هذا. ويقلل الخزن المركزي للمصادر المهمَلة من احتمالية الفقدان، لا سيما عند تطبيق التحكم الرقابي العام. وفي حين أن العديد من الدول الأعضاء تُشغِّل مخازن مركزية مؤقتة قادرة على تلقي معظم المصادر، إلا أن هناك قيوداً، في بعض الحالات، على أنواع المصادر التي يمكن التعامل معها وخزنها بسهولة. وفي العديد من الحالات، تصبح سعة الخزن أيضاً مشكلة في غضون سنوات قليلة.

ويتم تحليل العوامل التقنية وغير التقنية التي تؤثر على اختيار تقنيات تكييف النفايات في المرجع [٥٢]. وهذه العوامل قابلة للتطبيق جزئياً على المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة إذا كان المصدر يعتبر نفايات مشعَّة ويجب أن يؤخذ في الاعتبار في أثناء وضع استراتيجية التصرف في النفايات.

٦-٥-٥- التخلص

في حين أن عدداً من الدول الأعضاء لديها أو تخطط لتطوير مرافق التخلص من النفايات المشعَّة، فإن البعض الآخر ليس كذلك، وفي بعض الحالات قد لا يبرر العدد الصغير من المصادر والنفايات المشعَّة الأخرى تطوير مرفق التخلص، خاصة بالنسبة للنشاط العالي أو المصادر الطويلة العمر.

ولا ينبغي مطالبة البلدان الصغيرة التي لا تمتلك بنية أساسية نووية بتطوير مسار للتخلص من المصادر ويجب السماح لها باستخدام طرق التخلص في الدول الأعضاء الأخرى. ومن الناحية المثالية، يجب أن يكون هذا هو بلد الصنع، ولكن إذا كان هناك بديل عملي، فلا داعي أن يكون هذا هو الحال.

٧- تحديد خصائص المصادر المهمَلة

تُعرّف الوكالة "تحديد الخصائص" في المرجع [١] على أنه "تحديد الخصائص الفيزيائية والكيمائية والإشعاعية للنفايات لتقرير ما إذا كانت هناك حاجة إلى إجراء عمليات تعديل، أو معالجة أو تكييف إضافية، أو لتقرير ملاءمتها للقيام بالمزيد من عمليات المناولة أو المعالجة أو الخزن أو التخلص". ومعرفة كميات وخصائص المصادر المهمَلة أمر ضروري لاختيار خيار التصرف وإثبات أمان طرق التصرف.

٧-١- المعلومات المطلوبة

يجب تحديد خصائص كل مصدر مهمَل قبل اتخاذ أي خطوات بشأن التصرف فيه. والمعلومات التالية مطلوبة كحد أدنى:

- تحديد النويدات؛
- تقدير النشاط؛
- الخصائص الفيزيائية للمصدر و/أو الجهاز، بما في ذلك الوزن والأبعاد؛
- الشكل الكيميائي؛
- نوع التدريع؛
- حالة المصدر (على سبيل المثال تالف/مُسرّب/مُعدَّل).

والحصول على هذه البيانات هو الحد الأدنى المطلق من المتطلبات للتعامل مع المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة وتكييفها ونقلها وخزنها والتخلص منها. وبالإضافة إلى البيانات المذكورة أعلاه، ستكون المعلومات التالية مفيدة في إعداد استراتيجية التصرف في مصدر معين:

- طريقة ختم المادة المشعَّة؛
- أرقام المصدر والجهاز؛
- تاريخ التصنيع؛
- اسم جهة التصنيع وبلد المنشأ (للمصدر والجهاز)؛
- آخر مستخدم أو مالك؛
- الموقع الحالي؛
- أي معلومات قد تساعد في تحديد خصائص المصدر.

٧-٢- مجموعات تحديد خصائص المصادر المهمَلة

قد يكون تحديد الخصائص الأولي للمصادر ضرورياً للسماح بفصلها إلى أنواع يمكن إدارتها. فعلى سبيل المثال، فصل المصادر المشعَّة المختومة عن النفايات الأخرى، وفصل المصادر ذات النشاط المنخفض وتلك التي تحتوي على النويدات المشعَّة القصيرة العمر وإزالة المصدر المشع المختوم من مصفوفة تغليف الأسمنت. ويجب فصل المصادر المُسرّبة عن المصادر الأخرى وجمعها بشكل منفصل لتجنب انتقال التلوث. وقد يكون من الممكن إجراء فرز أولي للنفايات وفقاً لتاريخ المرفق وبيانات النفايات المسجلة الحالية والقياسات الحالية. وبالتالي، اعتماداً على اكتمال وقوة البيانات الموجودة، لا يمكن تنفيذ سوى برنامج تحديد خصائص مبسط للتحقق والتثبُّت.

ومن وجهة نظر تحديد الخصائص، تقع المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في المجموعات التالية:

(أ) *المصادر الخاضعة للتحكم (الموثقة)*: يمكن تعريف الاستخدام "الخاضع للتحكم" لجهاز أو مصدر أو عبوة نقل مشعَّة على أنه يكون للغرض المقصود وأنه يمكن التعرف على المالك. وإذا لم تستوفَ هذه المتطلبات، فيمكن اعتبار الجهاز أو المصدر أو عبوة النقل "غير خاضعة للتحكم". والمصادر الخاضعة للتحكم يكون لها وثائق مناسبة توفر بشكل موضوعي معلومات عن خصائص المصدر. ويمكن أن تتضمن هذه الوثائق عادةً ما يلي:

- وثائق (شهادة) جهة التصنيع؛

- وضع علامات دائمة على المصدر أو المعدات/جهاز القياس؛
- شهادة التتبع؛
- بيانات القياس غير المتلِف؛
- وثائق المخزون.

ويمكن استخدام كل هذه الوثائق طالما أن هناك إمكانية للتتبع بين الوثائق والمصادر المرتبطة بها، وأن أنشطتها قد تم التحقق منها. ولتوثيق تتبع المخزون، يجب التحقق من الأنشطة.

(ب) *المصادر غير الخاضعة للتحكم (غير الموثقة):* المصادر التي تفتقر إلى التوثيق المناسب لخصائص المصدر. وستتطلب هذه المجموعة جهوداً إضافية في تحديد النظائر وتحديد الأنشطة المرتبطة بها. وتنتمي المصادر اليتيمة، في معظم الحالات، إلى مجموعة المصادر غير الموثقة، أي يجب تنفيذ إجراءات مماثلة لتحديد خصائص المصادر اليتيمة. وبالإضافة إلى عملية تحديد الخصائص، من المهم العثور على المالك السابق للمصدر. ويمكن أن يساعد هذا في تتبع مسار المصدر اليتيم من المالك الأخير (السابق) وصولاً إلى حالة الفقدان التي أصبح عليها المصدر، وتبرير ما إذا كان قد فُقِد مصدر واحد فقط أو أن هناك مصادر أخرى تحتاج أيضاً إلى البحث والمتابعة.

(ج) *المصادر المُسرّبة:* المصادر التي لم يعد الحاجز المُقيّد فيها يمنع تشتت المادة المشعَّة. وقد تتضمن هذه المجموعة من المصادر المختومة مصادر مُسرّبة لها وثائق مناسبة (خاضعة للتحكم) وتلك التي تفتقر إلى الوثائق المناسبة (غير خاضعة للتحكم). وتُصنّف المصادر المُسرّبة بشكل منفصل لأنها قد تتطلب تغليف و/أو خيارات تكييف إضافية أخرى.

٧-٣- تحديد هوية المصدر

أفضل طريقة لتحديد الهوية هي الرقم المسلسل إذا كان موجوداً ومقروءاً. ويعتبر الفحص البصري تقنية مفيدة للغاية لتحديد عدد من البارامترات، والتي ستساعد في تحديد خصائص المصادر المشعَّة المختومة [٥٣]. وتتضمن هذه البارامترات معلومات عن الحالة المادية للمصدر وأبعاده وتدريعه/غلافه.

ويمكن استخدام المرايا، والنظارات المكبرة، والمناظير، وكاميرات الفيديو التي يتم التحكم فيها عن بُعد وغيرها لإجراء عمليات الفحص البصري، ويوصى بشدة بالحصول على معلومات أولية تخضع للامتثال لمبدأ بقاء التعرض للإشعاعات عند أدنى حد معقول (ألارا). ويمكن استخدام المناظير الداخلية للفحص البصري عن بُعد للمصادر والحاويات. وعلى سبيل المثال، يمكن استخدامها للكشف عن علامات/وسم على المصادر المشعَّة المختومة، أو دليل على التآكل والرطوبة داخل نظام احتواء النفايات.

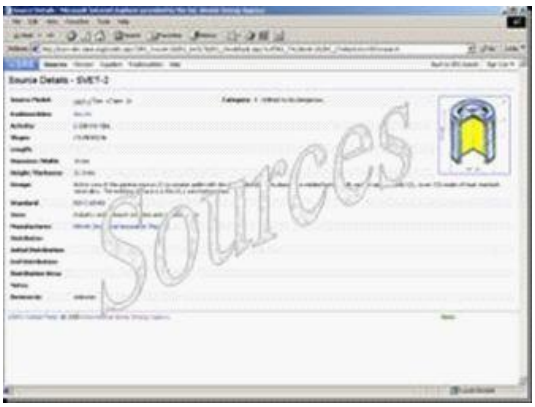
ويُسهِّل تحديد هوية المصادر من خلال التعرف على التدريع والمعدات المرتبطة بها. وفي كثير من الحالات يتم أيضاً وسم الأجهزة وعبوات النقل. واعتماداً على حماية العبوة، لا تشير ملصقات الفئات إلى كمية المواد المشعَّة أو نوع الإشعاع أو خطر المادة. ومع ذلك، يجب كتابة النويدات والعدد الكتلي والنشاط على الملصق. ولا ينبغي الخلط بين "الفئات" المشار إليها في سياق وضع وسم العبوات وبين نظام تحديد الخصائص لدى الوكالة، الذي يصنف المصادر المشعَّة وفقاً لمستوى الخطر. وتختلف أشكال وأحجام المصادر اعتماداً على الأغراض المقصودة منها بشكل كبير؛ ومع ذلك، فإن التصميم المحدد للأجهزة أو الحاويات التي تحتوي على مصادر مشعَّة قد يساعد في التعرف البصري على المصادر. ويمكن أن تعطي البيانات التي جُمعت في الماضي من المصادر المشعَّة النموذجية المختومة التي تغلف وتحمل الهياكل إشارة إلى النويدات المشعَّة التي قد تكون موجودة ومحتوى نشاطها التقريبي.

ولقد طوَّرت الوكالة نظاماً شاملاً للبيانات الخاصة بالمصادر المشعَّة المختومة. ويتضمن هذا النظام بيانات عن المصادر المشعَّة المختومة الفعلية، وكذلك عن الأجهزة التي تحتوي على المصادر. وتكون العبوة في شكل قاعدة بيانات حاسوبية وتسمى الفهرس الدولي للمصادر والأجهزة المشعَّة المختومة [٥٤].

ويوفر هذا الفهرس معلومات حيوية عن مختلف الأفراد والمنظمات ذات الصلة بالمصادر والأجهزة المشعَّة المُنتَجة صناعياً، والتي تم تحديدها على أنها "نماذج المصدر" و "نماذج الأجهزة". وهو يسهل تحديد هوية المصدر، بناءً على المعلومات المحدودة المتاحة (أو "الموجودة") لمصادر أو أجهزة مشعَّة معينة، وبالتالي يساعد في التعامل المأمون مع المصادر.

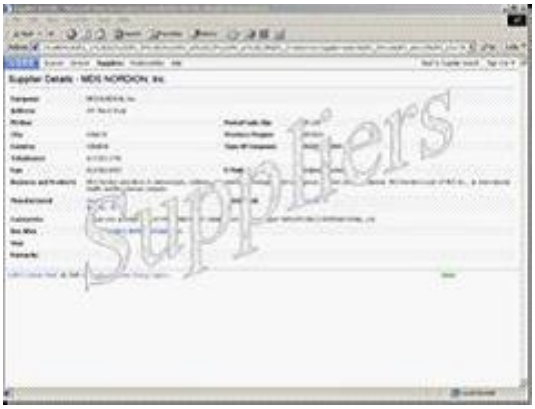
ويستخدم الفهرس كمية هائلة من البيانات من أجل توفير معلومات عن مصدر أو جهاز غير معروف معين حيث تكون البيانات المتاحة غير مكتملة للغاية. وتتم إدارة المعلومات من خلال ثلاث قواعد بيانات رئيسية مرتبطة.

— نماذج المصدر. تحتوي قاعدة البيانات هذه على بيانات عن نماذج المصدر (مثل النويدات المشعَّة، والنشاط، والفئة، والشكل، والحجم، وتفاصيل التصنيع، والاستخدامات، وجهة التصنيع/الموزع، وما إلى ذلك). وفي الوقت الحاضر، يحتوي الفهرس على ٦ ٨٠٠ نموذج مصدر.



— نماذج الأجهزة. تحتوي قاعدة البيانات هذه على بيانات عن نماذج الأجهزة، بما في ذلك حاويات النقل (أي الوصف والتطبيقات وجهة التصنيع/الموزع وتحديد المصادر المختومة المصرح بها داخل الجهاز). وفي الوقت الحاضر، يحتوي الفهرس على ٨ ٠٠٠ نموذج للأجهزة.

— الموردون. تحتوي قاعدة البيانات هذه على عناوين جهات التصنيع والموزعين لأجهزة المصادر المشعَّة المختومة والأجهزة التي تحتوي على هذه المصادر. وفي الوقت الحاضر، يحتوي الفهرس على معلومات عن ١ ٢٠٠ جهة تصنيع /موزع.



وتتضمن خيارات الفهرس نظام تحديد (متصفِّح)، حيث يملأ المستعلم نموذجاً معروضاً على الشاشة. وعند اكتمال النموذج، يوفر الفهرس هوية المصدر أو الجهاز الأكثر احتمالاً.

والمجموعة المستهدفة لاستخدام هذا الفهرس واسعة النطاق، وهي تشمل المنظمين والمهنيين الذين يتعاملون مع المصادر اليتيمة وجهات التصنيع والموزعين وفرق التصدي للطوارئ ومستخدمي المصادر/الأجهزة ومنظمات إنفاذ القانون وسلطات الجمارك وساحات الخردة ومصانع إنتاج المعادن، وشركات ومؤسسات التصرف في النفايات.

ولجعل الفهرس أداة مفيدة للدول الأعضاء، تخطط الوكالة لصيانته وتحديثه بشكل منتظم، مع التركيز بشكل خاص على ضمان/مراقبة الجودة واختبار الأجهزة عند دمجها.

٧-٤- تحديد خصائص المصادر غير الموثقة

في حالة عدم توافر المعلومات المذكورة أعلاه، يجب الحصول عليها بطرق مختلفة لتحديد الخصائص. ويوصى بإعداد وتنفيذ نظام تحديد خصائص وفقاً لنظام إداري مناسب. ويجب أن يوفر النظام الإداري الثقة في استيفاء المتطلبات البيئية والتقنية والمتعلقة بالأمان.

٧-٤-١- متطلبات نظام تحديد الخصائص

قبل إرساء نظام تحديد خصائص المصادر المشعَّة المختومة، من الضروري توفير مواصفات تحدد متطلبات النظام [٥٥، و٥٦]. ويمكن أن تكون هذه المواصفات خاصة بقطعة معينة من المعدات، إذا كان المشغّل واثقاً من أن هذه القطعة مطلوبة. وبدلاً من ذلك، يمكن تقديم مواصفات وظيفية تصف المشكلة (بما في ذلك المهام التي يتعين تنفيذها والمخرجات المطلوبة) وتسمح للمورد باستخدام الرأي المهني بشأن اختيار النظام. وقد يسمح هذا، على سبيل المثال، للمورد باقتراح نُظُم متكاملة أو فردية، حسب المشكلة.

ويجب التطرق إلى القضايا التالية:

(أ) تفاصيل عن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، بما في ذلك تاريخها، وعمرها، والنويدات المشعَّة المتوقعة، والشكل المادي للمصادر المشعَّة المختومة، ومصفوفة النفايات بما في ذلك المواد (مثل ماصات النيوترونات)، والتي قد تتداخل مع تقنيات القياس، وأبعاد التغليف؛

(ب) تفاصيل عن العملية الشاملة، بما في ذلك وصف للمرفق الذي سيحتوي على نظام (نُظُم) تحديد الخصائص، وبيئة العمل التي ستكون فيها المعدات، والقيود المفروضة على أبعاد المعدات، ومتطلبات الإنتاجية، والحد الأقصى للوقت المتاح للقياسات؛

(ج) تفاصيل المعدات ذات الوصلات البينية (على سبيل المثال، إذا كان من المقرر استخدام معدات تحديد الخصائص الجديدة المقترحة مع المعدات الموجودة)؛

(د) الدقة المطلوبة، بما في ذلك التقانة والحساسية المقبولة؛

(ه) اختبارات القبول المطلوبة في المصنع وفي موقع المعدات المقصود لإثبات أن النظام (بما في ذلك البرمجية) مناسب للغرض؛

(و) تحديد أي عملية تحقق إضافية يقوم بها المشتري؛

(ز) درجة الخبرة اللازمة والمتاحة لتشغيل المعدات؛

(ح) بيان حول النضج المطلوب للمعدات، على سبيل المثال إذا تم قبول التقنيات المبتكرة؛

(ط) الاحتفاظ بقطع الغيار، وتحديد أوقات إصلاح المعدات المعطوبة ومتطلبات تكرار الصيانة؛

(ي) الموارد المالية المتاحة (إذا كانت هذه مشكلة مُقيّدة) والإشارة إلى ما إذا كان سيتم استئجار المعدات أو شراؤها؛

(ك) توفير مصفوفة امتثال توضح ما إذا كانت (أو أنها ليست) المعدات الجديدة المقترحة متوافقة مع المتطلبات المذكورة أعلاه؛

(ل) توفير الإجراءات التشغيلية والتدريبية.

ويتعين على المُشغِّل تقديم دليل على معالجة جميع الشواغل المذكورة أعلاه. وعلى أساس هذه المتطلبات، يجب وضع خطة تحديد خصائص المصادر المشعَّة المختومة تتضمن تبرير المنهجية والتقنيات المختارة. ويجب أن تكون الخطة متوافقة مع معايير قبول النفايات الخاصة في مرفق الخزن أو التخلص الذي سيتلقى المصادر المهمَلة. وعلاوة على ذلك، يجب أن يتم إعداده وفقاً لخيارات وتقنيات الاسترجاع والتكييف المحددة بالفعل.

ويجب جمع جميع المعلومات المتعلقة بالمصدر وحفظها بطريقة منظمة لتسهيل الاسترجاع عند الحاجة؛ يجب الاحتفاظ بها في نسختين وفي موقعين منفصلين. ويتعين على المُشغِّل إجراء مراجعات على فترات منتظمة للتأكد من صحة المعلومات المسجلة.

٧-٤-٢- استرجاع البيانات التاريخية

استعادة البيانات التاريخية وجمعها ومعالجتها هي الخطوة الأولى في عملية تحديد الخصائص [٥٣]. وفي أثناء استرجاع البيانات، قد يكون من الضروري استشارة الموظفين السابقين أو المتقاعدين الذين قد يكونون قادرين على تقديم أي معلومات ذات صلة. وقد تتضمن قائمة إجراءات استرجاع البيانات ما يلي:

(أ) تحديد هوية المصادر المشعَّة المختومة؛

(ب) تجميع المعلومات المتعلقة بالمصادر المشعَّة المختومة ذات الصلة، بما في ذلك الخصائص الفيزيائية والكيميائية والإشعاعية، واسم جهة التصنيع، والرسومات، والرقم المسلسل، وتاريخ الإنتاج، ومستخدمي المصادر المشعَّة المختومة، وشهادة اختبار التسرب، ومعدلات الجرعة المقاسة، ومواد التكييف (إن وجدت)؛

(ج) وبالنسبة لتلك المصادر المشعَّة المختومة التي تم تكييفها، تحديد المغلفة منها في الخرسانة، و/أو رغوة البولي يوريثان، و/أو شمع البارافين و/أو المصفوفات الأخرى؛

(د) تحديد أنواع التدريع الإضافي المستخدم في المصادر المشعَّة المختومة (مثل الرصاص والأسمنت واليورانيوم المستنفد)؛

(ه) تحديد التغليف المستخدم في عبوات المصادر المشعَّة المختومة المكيفة وغير المكيفة (مثل الأكياس البلاستيكية وحاويات النقل المدرَّعة المحددة والبراميل والصناديق المعدنية والخشبية)؛

(و) تجميع المصادر المشعَّة المختومة من أجل تحديد الخصائص.

٧-٤-٣- تحديد الخصائص بطرق القياس غير المتلِف

إذا كان استرجاع البيانات التاريخية غير ممكن، فيجب بذل جميع الجهود لتحديد خصائص المصادر باستخدام طرق القياس غير المتلِف المحددة في المرجع [٥٣]. وإذا فشل القياس غير المتلِف للمصدر داخل الجهاز المرتبط في إعطاء معلومات كافية لتحديد خصائص المصادر المشعَّة المختومة بشكل مناسب، فيمكن النظر في استرجاع المصدر تدريجياً من الجهاز وهياكل التدريع. وفي أثناء عمليات الاسترجاع وتحديد الخصائص، يجب اتخاذ جميع الاحتياطات اللازمة لضمان الحفاظ على المخاطر عند أدنى مستوى يمكن حدوثه بشكل معقول.

ويمكن التعرف على عدد من المصادر المختومة التي تحتوي على طاقات غاما القوية عن طريق قياسات أشعة غاما [٥٣]. وتقع النويدات المشعَّة التالية ضمن هذه المجموعة: الصوديوم-٢٢، والكوبالت-٦٠، والكربتون-٨٥، والباريوم-١٣٣، والسيزيوم-١٣٧، واليُروبيوم-١٥٢، والراديوم-٢٢٦، والبلوتونيوم-٢٣٩-البريليوم والأميريشيوم-٢٤١. ويمكن أيضاً تحديد هوية بعض المصادر النيوترونية المركبة مثل الأميريشيوم-٢٤١-الليثيوم، والبلوتونيوم-٢٣٨-البريليوم، والأميريشيوم-٢٤١-البريليوم، والراديوم-٢٢٦-البريليوم، من خلال قياس أشعة غاما العالية الطاقة التي تنتج من خلال التفاعلات التالية: الهيدروجين-١ (نيوترون، غاما) الهيدروجين-٢، والبريليوم-٩ (ألفا، نيوترون غاما) الكربون-١٢، والليثيوم-٧ (ألفا، ألفا غاما). وعلاوة على ذلك، لتحديد هوية المصادر النيوترونية يمكن استخدام أشعة غاما العالية الطاقة التي تنتجها تفاعلات التنشيط النيوتروني (نيوترون، غاما) على مواد الاحتواء (مثل الألومنيوم والحديد والتيتانيوم) ومواد التدريع النيوترونية (على سبيل المثال البارافين المشبع بحامض البوريك). ولا يصلح تحديد هوية النويدتين المشعّتين البلوتونيوم-٢٣٨ والبلوتونيوم-٢٣٩ عن طريق قياسات غاما بسبب انخفاض كثافة إشعاع غاما.

وقد يكون من الضروري بشكل عام الحصول على معلومات إضافية باستخدام تقنيات أخرى أكثر تقدماً (مثل طرق اختبار غاما [٥٣]). ويسمح قياس طيف غاما بتحديد هوية النويدات المشعَّة المختلفة وتحت ظروف معينة من نشاطها. وبالنسبة للتحليل الكمي، يجب معرفة امتصاص أشعة غاما في مصفوفة النفايات و/أو مادة التدريع الخاصة بالمصادر المشعَّة المختومة؛ ويتحقق ذلك بشكل أساسي باستخدام معلومات أولية (مثل هندسة القياس، والكثافة، وتكوين المصفوفة) أو قياسات الإرسال.

ويمكن الكشف عن المصادر المشعَّة المختومة المدرجة أدناه عن طريق قياسات النيوترونات وطرق عد النيوترونات الخاملة و/أو النشطة [٥٣]. وتتضمن هذه المجموعة الراديوم-٢٢٦-البريليوم، والبلوتونيوم-٢٣٨، والبلوتونيوم-٢٣٨-البريليوم، والبلوتونيوم-٢٣٩، والبلوتونيوم-٢٣٩-البريليوم، والأميريشيوم-٢٤١-البريليوم، والأميريشيوم-٢٤١-الليثيوم، والكاليفورنيوم-٢٥٢. وكاشف النيوترون الأكثر استخداماً في نُظُم القياس غير المتلِف هو العداد التناسبي بغاز الهليوم-٣. وعداد غاز الهليوم-٣ عبارة عن كاشف حراري للنيوترونات ويستخدم للكشف عن النيوترونات عن طريق دمجه مع وسيط، مثل البوليثيلين العالي الكثافة. وبعض أنواع العدادات المحمولة باليد لقياس معدل جرعة النيوترونات مزودة بكاشفات تعمل بثلاثي فلوريد البورون يمكنها أن تتيح اكتشاف مصادر النيوترونات من خلال قياس التلامس حول التدريع أو عبوات النفايات.

واستخدام طرق تحديد الخصائص المتطورة والمكلفة ليس له ما يبرره بالنسبة لأجهزة الخزن المؤقت، التي لا تمثل خطراً إشعاعياً وليست مهمة لأمان مرحلة ما بعد إغلاق مرفق التخلص المستقبلي.

٧-٤-٤- تحديد الخصائص بالطرق المتلِفة

لا ينبغي النظر في الأساليب المتلِفة إلا عندما تكون ضرورية للغاية. وإذا تم تقديم مصدر مشع مختوم إلى مختبر لتحليله بطريقة متلِفة، فلن يظل مصدراً مختوماً وسيتطلب معالجة وتكييفاً لاحقاً وفقاً لمعايير قبول النفايات ذات الصلة. ويرد مزيد من التفاصيل بشأن طرق أخذ العينات والتحليل في المرجعين [٥٥، و٥٦].

٧-٥- تحديد خصائص المصادر المُسرِّبة

قبل التعامل مع مصدر مهمَل، يجب إجراء اختبارات المسحة على المصدر للتحقق من أي تسرب (انظر الشكل ٤٥). ويمكن استخدام أجهزة رصد التلوث بأشعة ألفا وبيتا والأشعة السينية وأشعة غاما المنخفضة الطاقة للكشف عن تسرب المصدر من خلال طريقة اختبار المسحة.

الشكل ٤٥- اختبارات المسحة للتحكم في التلوث.

٧-٦- الدروس المستفادة

سيكون لمعظم المصادر المختومة المهمَلة انبعاثات بيتا و/أو غاما مرتبطة. ويمكن اكتشافها باستخدام معدات غير متطورة مثل عدّاد غايغر-مولر المزود بنافذة طرفية أو بصمام رقيق الجدران لرصد الإرسال. ويُفضل استخدام أجهزة رصد الوميض، إن وجدت، لأن زمن استجابتها أقصر. وهذه المعدات الأساسية غير قابلة للتطبيق أو غير موثوقة إذا كان المصدر عبارة عن باعث ألفا أو باعث نيوتروني، أو إذا كان مصدر بيتا موضوعاً في حاوية مدرّعة. وقد تكون هناك حاجة إلى أدوات حساسة لإشعاع ألفا أو الإشعاع النيوتروني إذا كان من المتوقع مواجهة مصادر بها هذه النويدات المشعَّة.

وتعطي قياسات معدل جرعة غاما المعلومات الأولية عن وجود إشعاع غاما ويمكن في ظل ظروف معينة تقييم نشاط المصادر. ويمكن قياس نشاط المصادر المشعَّة المختومة باستخدام معدل الجرعة المقاس، وعامل تحويل الجرعة إلى نشاط وتكوين نويدات المصادر المشعَّة المختومة (إذا كان معروفاً). وتُظهر التجربة أن قياسات معدل الجرعة غير كافية لتحديد خصائص المصادر المشعَّة المختومة بالكامل لأنها تتطلب معلومات تفصيلية إضافية مثل تكوين النويدات المشعَّة ومواد التغليف ومواد الهيكل والمصفوفة والتدريع.

وتستخدم معظم الكاشفات المستعملة في قياس طيف غاما إما كاشفات تعمل بوميض يوديد الصوديوم المنشط بالثاليوم (استبانة منخفضة)، أو أشباه الموصلات العاملة بالجرمانيوم الفائق النقاء (استبانة عالية) أو الكاشفات العاملة بتلوريد الكادميوم (استبانة متوسطة). وتتنوع النُظُم من الأجهزة المحمولة إلى النُظُم المثبتة خصيصاً باستخدام هذه الأساليب، وهي متوافرة لعدد من السنوات. وتتطلب النُظُم المنخفضة الاستبانة صيانة أقل وعدم وجود تبريد. ويتمثل العيب في أنه يمكن جمع وتحليل الأطياف البسيطة فقط (أقل من ١٠ نقاط ذروة محللة جيداً في نطاق طاقة تتراوح من ٣٥ إلى ١٥٠٠ كيلو إلكترون فولط). ومع ذلك، يمكن استخدام هذه النُظُم لتحديد المصادر المشعَّة المختومة في النفايات التاريخية إذا كان مستوى نشاط المصادر المشعَّة المختومة مرتفعاً بدرجة كافية مع الأخذ في الاعتبار أن المصادر المشعَّة المختومة هي بشكل أساسي مصادر نويدات "أحادية". ونُظُم الاستبانة المتوسطة (تلوريد الكادميوم) هي حل وسط جيد بين نُظُم الاستبانة المنخفضة والعالية. وتحتاج نُظُم الاستبانة العالية إلى التبريد (النتروجين السائل أو التبريد الكهربائي) وعادة ما يكون باهظ الثمن وأقل قوة من الأجهزة في درجة حرارة الغرفة. وتتمثل ميزة نظام الاستبانة العالية في القدرة على التعامل مع عدد كبير جداً من نقاط ذروة أشعة غاما المختلفة.

ومن وجهة نظر القياس، تعتبر مصادر ألفا أو بيتا المدرَّعة هي الأصعب في الاكتشاف والقياس. والتقنيات الاستدلالية المستندة إلى النويدات الرئيسية، والتي يمكن استخدامها لوصف عمليات توليد النفايات وتكييفها المؤهلَة جيداً، لا تنطبق على تحديد خصائص المصادر المشعَّة المختومة.

٨- التعامل مع المصادر

يشمل التعامل مع المصدر أي تعامل مادي معه، بما في ذلك التحريك أو النقل أو تغيير المكان أو الإزالة من حاوية أو وضعه في حاوية أو تفكيك جزء من المعدات التي تحتوي على مصدر أو إزالة مصدر من الجهاز أو قياسه أو تفتيشه أو اختباره.

وكما نوقش في أقسام سابقة، تحتوي المصادر المختومة على مادة مشعَّة أكثر تركيزاً بكثير من النفايات المشعَّة الأخرى التي يتم التعامل معها عادةً في المرفق. وعند تخطيط وتنفيذ العمل الذي يتضمن التعامل مع المصادر، يجب مراعاة الزيادة المحتملة في شدة انعدام مراقبة التلوث والتعرضات العالية المحتملة التي يمكن تلقيها في أثناء التعامل مع المصادر. وفي أثناء التعامل مع المصادر المهمَلة، يجب مراعاة الأمان الصناعي والإشعاعي.

وقد تكون المصادر المختومة جزءاً لا يتجزأ من المعدات. وقد يتم توصيل هذا الجهاز بعملية كيميائية/فيزيائية وقد يلزم اتخاذ احتياطات خاصة لتجنب مخاطر معينة. وقد تكون المصادر المختومة أيضاً في شكل كيميائي/فيزيائي فريد قد يتطلب احتياطات خاصة. وقد تصبح المصادر مسرّبة أيضاً، الأمر الذي قد يتطلب مرة أخرى تدابير محددة للأمان الإشعاعي.

٨-١- التعامل مع متطلبات الأمان

يجب على المستخدمين التأكد من تلبية جميع المتطلبات الوطنية للوقاية من الإشعاعات والمتعلقة بالمرفق/المنشأة [١١]، ومن وجود الضوابط المناسبة لتقليل احتمالية انتشار التلوث الإشعاعي ولضمان تقليل التعرض الفردي لأدنى حد. والمبادئ الأساسية الموضحة في هذا القسم صالحة للتعامل مع جميع المصادر سواء كانت قيد الاستخدام أو تم تحديد احتمال أنها مهمَلة أو تم الإعلان عن أنها مهمَلة. وتنطبق هذه المبادئ أيضاً على جميع مراحل التصرف في المصادر المهمَلة.

يجب أن يكون المرفق الذي يستخدم فيه المصدر مزوداً بقدرات مناسبة للتعامل مع المصدر، بما في ذلك أدوات الحمل/الرفع، والإضاءة الكافية ومصادر القوى، وأجهزة رصد الإشعاعات والتلوث عن بُعد والمحمولة باليد. ويرتبط تعقد وتطور قدرات التعامل ارتباطاً مباشراً بالمخاطر المحتملة للمصادر التي سيتم التعامل معها.

وعند التعامل مع المصادر المهمَلة، يجب اتخاذ بعض الاحتياطات لمنع التلف الميكانيكي للمصدر (مثل السقوط من ارتفاع، أو الاصطدام بجهاز مناولة أو رافعة شوكية)؛ ولضمان وظائف نُظُم الأمان لحامل المصدر (على سبيل المثال، آلية إقفال المصادر سليمة)؛ ولتوفير الوقاية من الإشعاعات لموظفي التشغيل. وبالتالي، يجب مراعاة قواعد الأمان العامة والصناعية.

٨-٢- تخطيط العمل

تشكل المصادر المختومة مخاطر إشعاعية محتملة في أثناء التعامل معها. ويعتمد هذا الخطر على نوع النويدات المشعَّة، ونشاط المصدر، وشكله الكيميائي والفيزيائي، وحالته المادية وإمكانية التسريب. ومن المهم إجراء تقييم كامل لنوع وطبيعة جميع المخاطر المتضمنة قبل الشروع في أي عمليات تعامل مع المصدر. ويجب تقدير جرعة التعرض للإشعاع من أجل إجراء التعامل المحدد لتوفير تدابير الأمان والوقاية من الإشعاعات.

وعند التخطيط والتنفيذ للتعامل مع المصادر، ينبغي النظر في العوامل التي قد تؤثر على أمان المصادر وتؤدي إلى التعرض المحتمل للعمال والجمهور و/أو تلوث البيئة. ويجب أن تؤخذ هذه العوامل في الاعتبار، بغض النظر عن المصدر الذي يتم التعامل معه: مكشوف، أو في حاوية، أو في عبوة نقل، أو في غلافها/حاويتها الأصلية التي تم استخدامها كجزء من الجهاز. ويجب تخطيط جميع عمليات التعامل واختبارها وتنفيذها بالاشتراك مع موظفي الوقاية من الإشعاعات.

وبالإضافة إلى الشواغل المتعلقة بالوقاية من الإشعاعات، يتطلب التعامل مع المصدر عادةً معالجة وتحريك الأجسام الثقيلة الضخمة، واستخدام معدات التركيب/الرفع وغيرها من معدات حركة المواد، واستخدام الأدوات القياسية لفتح وإغلاق الحاويات. ويجب تقييم جميع مخاطر الأمان الصناعية وطرق الحماية واستخدامها حسب الاقتضاء.

ويجب أن يشمل التخطيط:

(أ) استعراض وثائق الترخيص الصادرة عن الهيئة الرقابية، والتأكد من أن عمليات التعامل مع المصدر التي سيتم إجراؤها مرخصة، واستيفاء أي متطلبات محددة للترخيص؛

(ب) استعراض خصائص المرفق لضمان وجود مسارات مناسبة للوصول والخروج، وأن التدريع ودوران الهواء مناسبان عند التركيب أو يمكن استكمالهما لدعم عمل محدد، وتحديد متطلبات الأدوات والمعدات والوفاء بها، وتوافر مناطق التجميع والخزن؛

(ج) تحديد المصادر التي يجب التعامل معها؛

(د) تحديد المهام التي يتعين القيام بها وتسلسلها بوضوح؛

(هـ) تدريب وتأهيل المُشغِّلين لأداء العمل، وضم من لديهم خبرة محددة في كل من المهام التي يتعين القيام بها وأنواع وأنشطة المصادر التي سيتم التعامل معها؛

(و) تحديد وكفاية التصدي للحوادث أو الطوارئ.

٨-٣- التعامل المعتاد مع المصادر

٨-٣-١- الجمع

أول خطوة للتعامل مع مصدر مهمَل هي جمعه من المستخدم، أو من مكان استرداده، لخزنه بأمان حتى اتخاذ قرار بشأن خطوة التصرف المستقبلية. وعادة ما تضطلع بتنفيذ هذا العمل المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة أو منظمة مماثلة، على سبيل المثال الوكالة الوطنية للتصرف في النفايات المشعَّة. وقبل الجمع، يجب تجميع كل المعلومات الممكنة عن المصدر.

والإجراء الفوري الذي يجب اتخاذه بمجرد تحديد مصدر يتيم هو ضمان حماية أفراد الجمهور في المنطقة المجاورة بشكل كافٍ. وستختلف المخاطر التي يمكن أن يتعرض لها الجمهور من مصدر يتيم من حيث النوع والشدة اعتماداً على كل من المصدر والظروف التي يوجد فيها المصدر، وبالتالي فإن الإجراء الوقائي الأكثر تحفظاً والأكثر فعالية الذي يمكن اتخاذه، في ظل جميع الظروف، هو عزل الجمهور عن المصدر. ويمكن تقليل احتمالية التعرض الخارجي والداخلي عن طريق تقييد الوصول وإبقاء الجمهور بعيداً عن المصدر. ويمكن استكمال التحكم في الوصول إلى موقع مصدر يتيم من خلال إقامة حواجز أو وضع علامات/ملصقات أو تغطية المصدر أو الاتصالات الشخصية أو غيرها من الوسائل.

ويعتبر الجمع الصحيح لمصدر مُسرِّب عملية صعبة حيث قد يؤدي إلى انتشار التلوث. ولذلك، يلزم وجود موظفين مؤهلين وذوي خبرة مناسبة لإجراء العملية، بما في ذلك اختبار التسرب. ويحتاج المصدر المُسَرِّب إلى أن يكون في عبوة مجمِّعة، كما يجب تغطية المناطق التي يتم فيها التعامل مع المصادر المُسرّبة، على سبيل المثال بغطاء بلاستيكي لتسهيل إزالة التلوث ومنع انتشار التلوث.

٨-٣-٢- الفصل

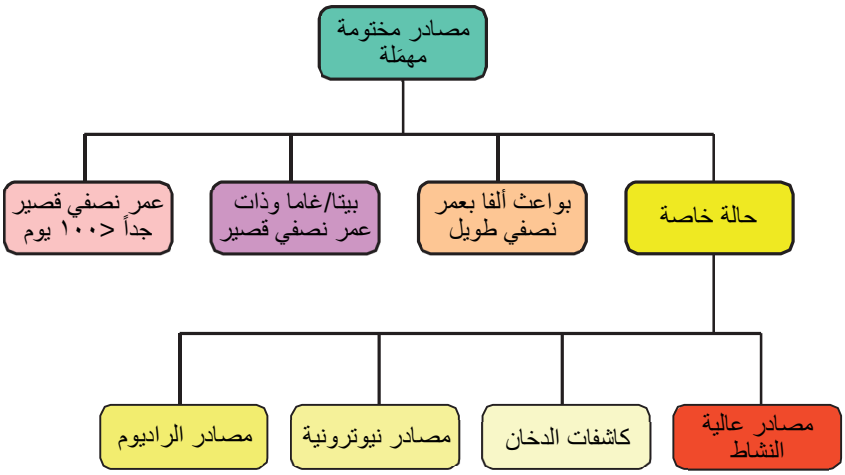
مع الأخذ في الاعتبار الحاجة إلى تحسين عمليات التصرف في النفايات التالية (أي قدرة معدات المناولة، ومعدات التدريع، ومعدات الرصد، والتغليف، وحاويات الخزن)، يمكن فرز المصادر المهمَلة وتجميعها بناءً على خيار التصرف الذي سيتم تطبيقه، أو عن طريق خصائص المصدر (النويدات المشعَّة، والعمر النصفي، والنشاط، والشكل الكيميائي والفيزيائي) أو أنواع المصادر الفريدة، مثل مصادر الراديوم أو المصادر النيوترونية.

وأحد العوامل الأولى في فرز/فصل المصادر هو ما إذا كان المصدر مثبتاً في جهاز أم أنه مصدر قائم بذاته. ويجب فصل جميع المصادر التي يتم تثبيتها داخل الجهاز والتي تتطلب تفكيك الجهاز ووضعها في منطقة خزن مناسبة.

والمجموعة التالية من المصادر التي يمكن فصلها كمخزون فريد هي تلك المصادر ذات الأنشطة المنخفضة والعمر النصفي القصير للغاية، والتي تلبي متطلبات الدولة العضو للسماح للمصدر بالاضمحلال حتى لا يتم قياس أي نشاط آخر يمكن اكتشافه. ويقتصر هذا عادةً على المصادر التي تحتوي على نويدات ذات عمر نصفي أقل من ١٢٠ يوماً. وبعد فصل الأجهزة التي ستتطلب تفكيك وإزالة تلك المصادر ذات النويدات التي يمكن السماح لها بالاضمحلال للتخلص منها، يمكن فرز المصادر المتبقية وفصلها

بناءً على مجموعة من الخصائص منها مسارات التخلص المحتملة، والأنواع الخاصة من المصادر، والمصادر العالية النشاط التي تمنع التعامل مع المصدر بأدوات معالجة ذات مقابض قصيرة أو طويلة.

ويمكن فرز المصادر المتبقية للخزن والتخلص بشكل أكبر كما هو موضح في الشكل ٤٦. ومن المحتمل التخلص من مصادر بيتا-غاما وبواعث ألفا القصيرة العمر النصفي (خلاف تلك المحتوية على عناصر ما وراء اليورانيوم) في مرافق التخلص الأرضية الضحلة ذات تكوينات التخلص المماثلة. ومن المحتمل ألا تكون بواعث ألفا ذات العمر النصفي الطويل في معظم الحالات مناسبة للتخلص منها في مرافق التخلص الأرضية الضحلة، وبالتالي ستظل مفصولة، في الخزن، حتى يتوفر سبيل التخلص المناسب. ويجب فصل المصادر النيوترونية ومصادر الراديوم ومصادر النشاط العالي بسبب وجود متطلبات محددة للتكييف والتعامل.



الشكل ٤٦- الفصل التشغيلي للمصادر المشعَّة المهمَلة.

ويجب تعبئة المصادر ذات الخصائص المماثلة التي تؤثر على الخزن والتخلص معاً. وفي هذه المرحلة، من الممكن أيضاً تقييد محتويات الحاوية لضمان الامتثال للقيود المفروضة على معدلات النشاط والجرعة.

وفي حالة تلف المصدر، يجب احتواء التسرب المحتمل. يجب فصل المصادر المُسرِّبة عن المصادر الأخرى وجمعها بشكل منفصل لتجنب انتقال التلوث. ويجب فحص الأجهزة بحثاً عن التلوث ثم وضعها في عبوات تتوافق مع متطلبات مرفق الخزن. ويمكن توفير الاحتواء المؤقت للأجهزة، على سبيل المثال، عن طريق لف الغلاف بغطاء بلاستيكي، أو وضعه في سلة قمامة أو برميل فولاذي وختم الغطاء. ويمكن عادةً الاحتفاظ بهذه الأجهزة في الخزن الطويل الأجل مع أو دون عبوات إضافية حتى يتوافر التخلص منها. وفي بعض الحالات، سيكون من الضروري وضع أجهزة متعددة في حاويات خزن كبيرة. ويجب إجراء جرد كامل لجميع الأجهزة داخل كل حاوية كبيرة وصيانتها وتوريدها إلى مرفق الخزن كما هو مطلوب. وباستثناء اعتبارات الأمان لمصادر النشاط العالي والأعداد الكبيرة جداً من الأجهزة التي تحتوي على مصادر أصغر، لا يوجد عادةً أي مبرر لإزالة المصادر من الجهاز للصيانة في الخزن في حالة عدم توافر مسار التخلص.

٨-٣-٣- إزالة المصادر من الأجهزة

عادة ما يكون خزن المواد المشعَّة والتخلص منها مكلفاً، وبالتالي، في حالة وجود عدد كبير من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، يمكن النظر في إزالة المصادر من الأجهزة الأصلية وتجميعها مع مصادر مماثلة للخزن أو التخلص. وينتج عن هذا الخيار تقليل حجم عبوات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المخصصة للخزن أو التخلص.

ويمكن نقل المصادر، بمجرد إزالتها من الأجهزة، إلى حاوية مدرَّعة للخزن. ويمكن أن تكون حاويات الخزن موحدة ويمكن تحسين تدابير الأمان والأمن. ومع ذلك، يجب توخي الحذر لمنع إتلاف المصدر أو التأثير على سلامته المادية في أثناء عملية الإزالة. وتتطلب المصادر التالفة والمُسَرّبة احتياطات إضافية، فضلاً عن معدات متخصصة توفر التدريع والاحتواء.

ويجب تصميم الحاوية المدرَّعة، التي ستحتوي في النهاية على المصدر، بحيث ينتج عنها معدل جرعة سطحية مقبول وأيضاً توفير حماية المصدر وفقاً للوائح ذات الصلة، بالإضافة إلى تقليل إمكانية الاسترجاع غير المصرح به للمصدر. ويجب أن توفر هذه الحاويات سعة داخلية كبيرة ومرونة كبيرة لخزن المصادر. وعندما يكون ذلك ممكناً، يجب أن تتضمن الحاوية تكويناً واحداً فقط، إما المصادر التي تمت إزالتها من الأجهزة أو المصادر المتبقية في الأجهزة. ولا ينبغي أن تشمل الحاويات كليهما.

ومع ذلك، فإن إزالة المصادر من الأجهزة تنطوي على التعامل مع مصادر مكشوفة، والتي تحتاج إلى خبرة خاصة، ومكان عمل مدرَّع مصمم جيداً وأدوات لحماية الأفراد العاملين من التعرض للإشعاع المرتفع المحتمل والتلوث الإشعاعي. ولا تتوافر هذه الخبرة والبنية الأساسية إلا لدى الهيئات التي تتعامل بانتظام مع المصادر المكشوفة، على سبيل المثال، لدى جهات تصنيع المصادر والأجهزة، أو فريق صيانة المصدر/الجهاز أو موظفي هيئات التصرف في النفايات التي تدير بانتظام عدداً كبيراً من المصادر المهمَلة. ومن حيث المبدأ، لأسباب تتعلق بالوقاية من الإشعاعات المهنية، يجب التعامل مع مصادر الفئتين ١ و٢ فقط في مرافق الخلايا الساخنة المعينة أو الخلايا الساخنة المتنقلة، على يد مُشغِّلين مؤهلين ومرخصين متاحين في جهات تصنيع المصدر ومنظمات إعادة التدوير. ولا يزال التعامل مع المصادر المكشوفة من الفئة ٣ والنطاق الأعلى للفئة ٤ يحتاج إلى نوع خاص من الخبرة والمعدات والترخيص.

ويجب تقييم الأساس المنطقي لإزالة المصدر من الحاوية الأصلية بعناية على أساس كل حالة على حدة. وبالنسبة للمصادر التي ليس لها مسار تخلص محدد، قد يكون من الأنسب ترك المصادر في الأجهزة حتى يحين الوقت الذي يتوافر فيه مسار التخلص أو عندما يصبح مكان الخزن محدوداً. وبالإضافة إلى ذلك، لا ينبغي لأحد أن يحاول إزالة المصادر من هذه الأنواع من الأجهزة دون تدريب وتأهيل. وبالنسبة لمصادر النشاط العالي، لا يتم النظر في إزالة المصدر من حامله الأصلي حتى يكون ذلك ضرورياً للغاية.

وفي سياق الاستعدادات لإزالة المصدر، يجب مراعاة النقاط التالية:

(أ) من المستحسن معرفة توزيع الجرعة داخل المعدات الأصلية للمصدر في وضعي "التشغيل" و"الإيقاف"؛

(ب) يجب أن يكون دليل الصيانة (خاصة فيما يتعلق بآلية حركة المصادر المشعَّة المختومة، وإصلاح الأعطال والإصلاحات المتنوعة) متاحاً ومفهوماً جيداً؛

(ج) يجب أن تكون الأدوات أو المواد أو الأجزاء أو المعدات الخاصة المطلوبة للعمل متوافرة ومفحوصة؛

(د) قد تكون بيانات التصميم والرسوم البيانية وأي صور/توضيحات مفيدة؛

(ه) يجب ضمان أن تكون إمدادات القوى وأقفال الأمان لآلية المصدر أو الأدوات أو المعدات الأخرى في وضع "التشغيل/الإيقاف" كما هو مطلوب وأنه لا يمكن تشغيلها أو إيقاف تشغيلها عن غير قصد عن طريق العبث بها في أثناء العمل؛

(و) يجب ضمان حركة درج المصدر ومحاذاة منفذ التفريغ ويجب ألا يتطلبا فحصاً مباشراً أو تعديلاً يدوياً في أثناء نقل المصدر؛

(ز) يجب دراسة المشاكل غير المتوقعة الناتجة عن آليات الانحشار جيداً ويجب أن تكون الحلول متاحة لهذه المشاكل المحتملة قبل العمل الفعلي. يجب أن يؤخذ في الاعتبار ضمان الحماية القصوى عندما يكون المصدر في الجهاز الأصلي أو درع خزن الأهداف.

٨-٣-٤- تغيير المكان داخل الموقع

تغيير المكان داخل الموقع يعني حركة المصدر في موقع المرخص له. وبعد الإعلان عن أن المصدر قد أصبح مهمَلاً، يجب إزالته من مكان التشغيل ونقله إلى منطقة الخزن. وعادة لا تغطي لوائح النقل الوطنية تحركات المصادر المشعَّة المختومة في موقع المرخص له. وعادة ما تُنظِم لوائحُ الموقع المحلية نقلَ المصادر المشعَّة المختومة في موقع المرخص له. ومن الجدير بالذكر أن العديد من المرخص لهم، خاصة في الشركات الصغيرة ذات العدد المحدود من الموظفين، مسموح لهم باستخدام المصدر، لكن لا يُسمح لهم بالتعامل معه بأنفسهم. وفي هذه الحالات، يحتاج المرخص له إلى التعاقد مع شركة خارجية مرخصة للقيام بذلك.

٨-٤- معدات وأدوات التعامل مع المصدر

خلال التشغيل الروتيني، يتم التعامل مع المصادر المشعَّة في الأجهزة الأصلية أو حاويات النقل أو في دروع أخرى تحمي المُشغِّلين من جرعات الإشعاع العالية. ويمكن التعامل مع العبوات يدوياً أو باستخدام رافعة شوكية. وعندما يتعين، لأسباب محددة، التعامل مع المصادر المشعَّة المكشوفة، يجب أن يكون المُشغِّل بعيداً قدر الإمكان عن المصادر لتقليل الجرعة.

ويمكن أن يكون التعامل المصادر المختومة مضللاً فيما يتعلق بمراقبة التلوث. وحتى المصادر القديمة التي تم استخدامها لسنوات يمكن أن تحافظ على نفس مظهر المصدر الجديد. ومن المألوف أن يصبح المُشغِّلون ذوو الخبرة الذين يتعاملون مع المصادر غير مبالين، بافتراض أن المصادر التي يتم التعامل معها سليمة ولا يوجد تسرب. ويجب على المستخدمين تشجيع الموقف القائل بأن المصادر والأجهزة التي تحتوي على مصادر ملوثةٌ حتى يثبت عكس ذلك.

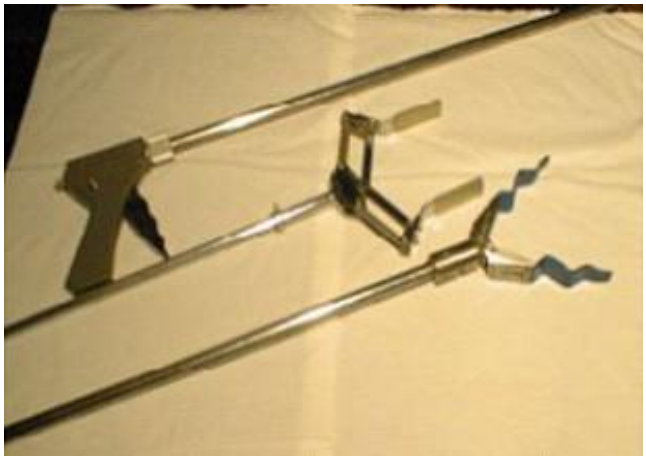
٨-٤-١- الملاقيط والدروع المؤقتة

عادةً ما يمكن التعامل مع المصادر ذات النشاط المنخفض التي تنبعث منها إشعاعات منخفضة الطاقة يدوياً (الشكل ٤٧) أو باستخدام أدوات مناولة قصيرة مثل الملاقيط أو الكلابات (الشكل ٤٨). وتشمل مصادر هذا النوع مصادر المعايرة، والمصادر المستخدمة في التطبيقات الطبية، ومصادر الفحص، وبعض المصادر المستخدمة في الأجهزة الصناعية. وعادة لا يتطلب التعامل مع مثل هذه المصادر أي تدريع.

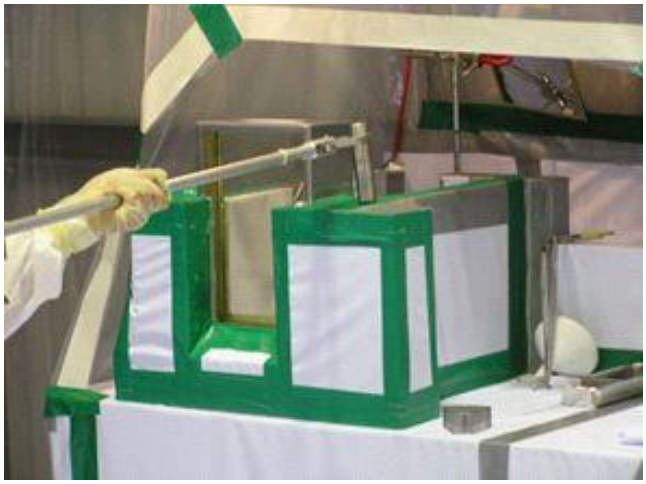
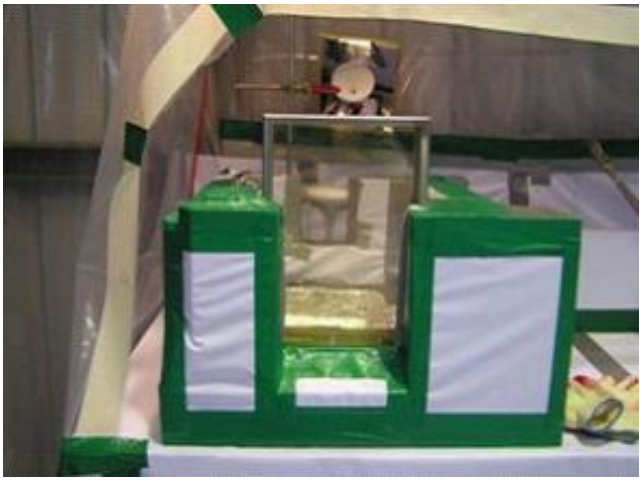
الشكل ٤٧- التعامل اليدوي مع المصادر.

الشكل ٤٨- أدوات قصيرة للتعامل اليدوي مع المصادر.

ويمكن أيضاً التعامل مع بعض المصادر ذات معدلات النشاط والجرعة الأعلى من تلك المذكورة أعلاه يدوياً باستخدام أدوات مناسبة مثل الملاقيط الطويلة (الشكل ٤٩) ولكن يلزم تدريع هذه المصادر لتقليل الجرعات التي يتلقاها المُشغِّل (الشكل ٥٠). والمصادر الأكثر شيوعاً في هذه المجموعة هي مصادر التشعيع الداخلي ذات معدل الجرعات المنخفضة التي تحتوي على السيزيوم والمصادر الموجودة في أجهزة قياس السمُك (الكربتون-٨٥، والسترونشيوم-٩٠)، وأجهزة قياس مستوى الامتلاء أو السمُك (السيزيوم-١٣٧)، وأجهزة قياس الكثافة (السيزيوم-١٣٧)، وأجهزة قياس كثافة الرطوبة (الأميريشيوم-٢٤١-البريليوم-السيزيوم-١٣٧) وقياس كثافة العظام (الكادميوم-١٠٩) وأجهزة إزالة الكهرباء الاستاتيكية.



الشكل ٤٩- الملاقيط الطويلة والتعامل مع المصادر من خلالها.

الشكل ٥٠- تركيب درع من الرصاص وزجاج من الرصاص والتعامل مع المصدر.

ويمكن استخدام التدريع المؤقت بفعالية في أثناء عمليات التعامل مع المصدر لتقليل الجرعة التي يتلقّاها العمال. وعند اختيار التدريع واستخدامه، يجب على المستخدمين مراعاة ما يلي:

- الدرع الزائد أو الموجود في الطرق التي تعيق أنشطة العمل يمكن في الواقع أن يزيد الجرعة التي يتلقّاها العمال. ويجب تقييم أداء العمل مقابل تقليل الجرعة المحتمل الذي يوفره التدريع بعناية لإيجاد توازن فعال.
- يجب اختيار مواد التدريع المناسبة للاستخدام.
- يجب توفير الزجاج المحتوي على الرصاص أو النوافذ الأخرى التي يمكن للمستخدمين من خلالها الرؤية عند استخدام درع بينهم وبين المصدر.

٨-٤-٢- خزانة الأبخرة

إذا كانت هناك مصادر منخفضة النشاط أو مصادر راديوم مُسرّبة/ملوَّثة يجب التعامل معها، فإن خزانة الأبخرة (أو الصندوق المغلق) هي وسيلة بسيطة ومأمونة وفعالة لحماية المُشغِّل ومنع انتشار التلوث. وخزانة الأبخرة هي خزانة أمان بها فتحة يمكن للمُشغِّل من خلالها التعامل مع المصادر داخل الخزانة مع استنفاد الهواء باستمرار من الخزانة بمعدل كافٍ لمنع هروب التلوث العالق في الهواء المتولد داخل الخزانة (الشكل ٥١). ويمكن تجميع التدريع المؤقت الموجود على شكل طوب من الرصاص داخل خزانة الأبخرة لتقليل الجرعة التي يتلقَّاها المُشغِّل عند التعامل مع مصادر ذات معدل جرعات عالية. وسيقلل هذا النهج من التكلفة ويزيد من مرونة توفير بيئة عمل مأمونة للمُشغِّلين.

الشكل ٥١- التعامل مع المصادر المختومة منخفضة النشاط في صندوق مغلق.

وفي خزانة الأبخرة، حيث تكون المساحة مرتفعة، يمكن تحقيق أقصى فصل بين المُشغِّل والمصادر باستخدام كلابات أو ملاقيط طويلة (الشكل ٥٢).

الشكل ٥٢- نقل مصدر مغلق باستخدام ملاقيط ذات مقابض طويلة.

ويجب إدراك أن القيام بالعمل باستخدام الملاقيط والكلابات يجعل من الممكن رفع كتل صغيرة فقط (بحد أقصى ٢ كغ بأريحية).

٨-٤-٣- الخلايا الساخنة

ليس من الممكن دائماً إزالة مصدر عالي النشاط من الجهاز في مبنى المستخدم. وقد يكون هذا بسبب تصميم الجهاز بحيث تُنزع المصادر منه في خلية مدرَّعة، أو بسبب عدم توافر معلومات تقنية كافية للقيام بذلك بأمان خارج خلية مدرَّعة. وفي مثل هذه الحالات، من الضروري نقل المصدر في درعه التشغيلي لإزالة المصدر منه عند الاستلام في مرفق مدرَّع مثل الخلية الساخنة. وتختلف الخلايا الساخنة المجهزة بمعالِجات بُعادية/مُنفِّذة بشكل كبير من حيث التطور والتعقيد، ولكن معظمها مناسب تماماً اعتماداً على المصادر التي يجب التعامل معها (الشكل ٥٣).

الشكل ٥٣- خلايا ساخنة تحتوي على معالِجات بُعادية/مُنفِّذة.

٨-٤-٤- الحاويات

عند نقل المصادر المهمَلة إلى موقع المرخص له، من المهم أن يتم الاحتفاظ بها في الحاوية الأصلية. وفي حالة معدات التصوير الإشعاعي أو المعالجة البُعادية، يجب الاحتفاظ بالمصادر المهمَلة بشكل صحيح في مكانها المدرَّع. وفي حالة استخدام حاويات أخرى غير الحاويات الأصلية، يجب أن يأخذ تصميم الحاوية الجديد في الاعتبار هندسة المصدر والنويدات المشعَّة ونشاطها ومتطلبات التعامل. ويرد مثال على حاوية نموذجية تستخدم لتغيير المكان داخل الموقع في الشكل ٥٤.

الشكل ٥٤- حاوية لمصادر بيتا-غاما المختومة.

ويجب وضع ملصقات مناسبة على الحاويات أو الأجهزة المستخدمة لنقل المصادر المشعَّة المختومة في الموقع للتحذير من المخاطر المحتملة. ومن المهم أن تكون علامة التحذير باللغة المحلية، بالإضافة إلى لغة جهة التصنيع. ولا يكفي استخدام رمز الوريقات الثلاث بمفرده لأن الناس قد لا يفهمون معناها.

ومتطلبات التصميم الرئيسية المطبقة على الحاويات المستخدمة لنقل المصادر المشعَّة المختومة في الموقع هي كما يلي:

— يجب أن تحافظ العبوة على سلامة الاحتواء والتدريع في أثناء عملية النقل. يجب إغلاق الحاوية ميكانيكياً عند تعرضها للضغوط المادية المرتبطة بالنقل في أثناء تغيير المكان.
— يجب أن يكون الحد الأقصى لمعدل الجرعة على الحاوية ممتثلاً لمبدأ "ألارا" وموافقاً لمتطلبات المرخص له للوقاية من الإشعاعات. وفي كلتا الحالتين، يجب ألا يتجاوز الحد الأقصى لمعدل الجرعة حدود معدل الجرعة المنصوص عليها في لائحة النقل الصادرة عن الوكالة، أي <٢ ملي سيفرت/ساعة على السطح و<٠,١ ملي سيفرت/ساعة على بعد متر واحد من سطح العبوة في أي وقت خلال النقل [٤٧].
— ويجب أن يكون التلوث الإشعاعي لأسطح الحاوية منخفضاً قدر الإمكان وموافقاً لمتطلبات المرخص له للوقاية من الإشعاعات. وفي كلتا الحالتين، يجب ألا يتجاوز التلوث الإشعاعي الحدود المنصوص عليها في لائحة النقل الصادرة عن الوكالة: ٤ بكريل/سم^{٢} لبواعث بيتا وغاما وبواعث ألفا المنخفضة السمية، و٠,٤ بكريل/سم^{٢} لجميع بواعث ألفا الأخرى.

٨-٤-٥- معدات الرفع والنقل

تستخدم معدات الرفع والنقل المختلفة للمصادر المهمَلة حسب أنشطتها وحجمها ووزنها. ويرد مثال على معدات الرفع المستخدمة مع رأس ثقيل لجهاز معالجة بُعادية في الشكل ٥٥.

الشكل ٥٥- تركيب ورفع رأس جهاز معالجة بُعادية.

عادةً ما تكون عربة الترولي التي يتم سحبها يدوياً بسعة ٥٠٠ كغ كافية لعملية النقل. وستكون هناك حاجة لرافعة شوكية يتم تشغيلها يدوياً بها ملحق للإمساك بالأسطوانة في المخزن لتنزيل المصدر من عربة الترولي. من المؤكد أن الرافعة الشوكية الكهربائية (الشكل ٥٦) تتطلب جهداً يدوياً أقل، وستكون أكثر ملاءمة للمصادر الثقيلة المهمَلة وإذا كان سيتم التعامل مع عدد كبير من المصادر في فترة زمنية قصيرة. وبالإضافة إلى الرافعة الشوكية، سيسمح ملحق الذراع الموجود بالرافعة برفع المصادر الثقيلة (الشكل ٥٧)، ونقلها في المرفق وإزالة أوعية التدريع من حاويات النقل، فضلاً عن أحزمة الرفع والأغلال والسلاسل والمسامير ذات العروة.

الشكل ٥٦- رافعة شوكية كهربائية.

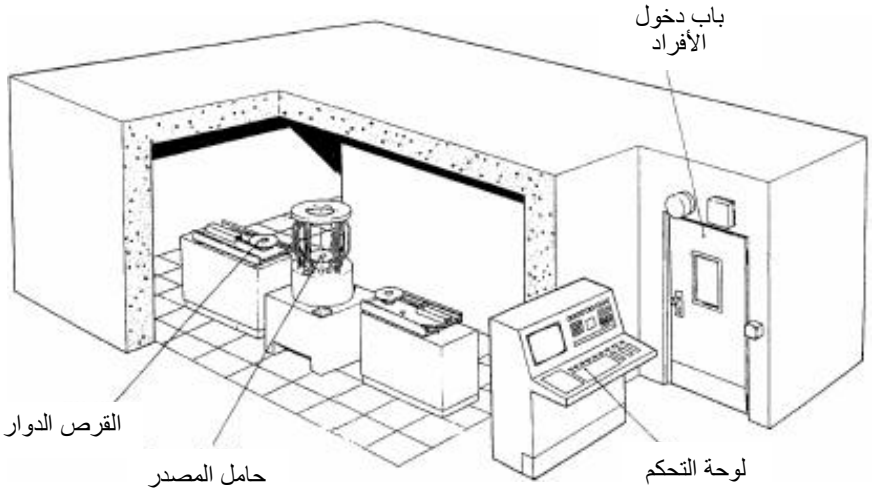
الشكل ٥٧- التعامل مع برميل نفايات سعة ٢٠٠ لتر باستخدام رافعة شوكية.

٨-٥- المشاكل المعترَضة عند التعامل مع مصادر الأنشطة العالية النشاط

يمكن أن يتخذ إعداد المصدر للخزن شكلين: يمكن إزالة المصدر من موقعه التشغيلي ونقله إلى موقع خزن يخضع لتحكم المؤسسة التي يتبعها المستخدم (ينطبق هذا الخيار على مصادر الفئات ١ إلى ٥). وبدلاً من ذلك، يمكن وضع المصدر في خزن مأمون في موقع التشغيل (يُنظر في هذا الخيار بشكل أساسي لمصادر الفئة ١).

وإذا تم تحديد الخيار الأول المذكور أعلاه لمصادر الفئتين ١ و٢، فإن البنية الأساسية الكافية (أي الصناعية والنووية) مطلوبة لتنفيذ هذا الخيار. ولا تتضمن العملية في هذه المرحلة فصل المصادر عن درع العمل أو تعطيل أي آلية متشابكة أو سمة أمان، وبالتالي الاحتفاظ بالمصدر داخل درعه وفي الوضع غير المكشوف. ويجب أن يتولى نقل المصدر من درع العمل الخاص به إلى حاوية النقل موظفون مدربون وفقاً للإجراءات المعتمدة. وتم تصميم حاوية النقل خصيصاً للمعدات، حيث يمكن إتمام نقل المصدر دون تعريض المصدر. ومن المهم التأكيد على أن فعالية الدرع الأصلي وأي سمات أمان/أمن يتم الحفاظ عليها في هذه المرحلة من العملية.

وإذا كانت معدات الفئة ١ ثابتة في المرفق، فإن الخيار الذي يمكن تنفيذه هو الخزن في الموقع، مع إبقاء المصدر في موضعه غير المكشوف (الشكل ٥٨). ويجب اتخاذ تدابير لضمان الحفاظ على المصدر في وضع غير مكشوف، وحمايته من الظروف البيئية، وأن تكون إمكانية التدخل ضئيلة. ويجب إجراء التفتيش على مثل هذه المرفق على أساس روتيني. وإذا تم تحقيق حالة الخزن المأمون للمصدر (الوضع المدرَّع) عن طريق الخزن الرطب (في حالة أجهزة التشعيع من نوع الأحواض)، فيجب الحفاظ على جودة ومستوى المياه طوال مدة الخزن.



الشكل ٥٨- منظر بانورامي لجهاز تشعيع نموذجي للخزن الجاف للمصادر.

ويحتاج مصدر الفئة ١ إلى مزيد من التأمين عن طريق إضافة آليات تأمين لضمان عدم تعرض المصدر عن غير قصد. ومع ذلك، يجب تصميم الآليات بطريقة تجعل إزالة المصدر ممكنة في وقت لاحق. ويجب إرفاق علامة دائمة بآلية الأمن، وتحديد وظيفتها، وسبب التثبيت، والتحذيرات أو الاحتياطات التي يجب الكشف عنها، والإشارة إلى أي تعليمات وتصريح قد يكون مطلوباً لإزالتها.

٩- الخزن

يُعرَّف الخزن على أنه الاحتفاظ بالمصادر المشعَّة أو الوقود المستهلك أو النفايات المشعَّة في مرفق يتيح احتواءها بهدف الاسترجاع [١]. وهو بحكم تعريفه تدبير مؤقت يمكن ترتيبه في الموقع أو في مرفق خزن مصمم ومشيد لهذا خصيصاً. وتتوقع مدونة قواعد السلوك أن تضمن كل دولة عدم خزن المصادر المختومة لفترات طويلة من الوقت في مرافق لم تُصمَّم لغرض الخزن هذا. ويجب أن يتم اختيار أفضل السبل لإدارة فترة الخزن في أثناء انتظار الإخراج النهائي من الخدمة والتخلص من جانب الطرف الرئيسي، بموافقة الهيئة الرقابية، مع مراعاة الظروف الخاصة في المرفق [٣٠].

وقد يكون الخزن في مبنى المستخدم (ما يسمى بالخزن في الموقع) للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة مطلوباً إما للسماح لنشاط المصدر بالاضمحلال إلى مستويات رفع الرقابة [١١، و٥٧-٥٩] أو قبل نقله إلى موقع آخر. وبموافقة الهيئة الرقابية المناسبة، يجوز إعفاء المصدر الذي يحتوي على نشاط إجمالي أو تركيز نشاط أقل من مستويات الإعفاء المحددة في معايير الأمان الأساسية [١١] من بعض أو كل المتطلبات الواردة في معايير الأمان الأساسية بخصوص التسجيل أو الترخيص، ويمكن التخلص منها في موقع طمر معتمد. ويجب أن تكون فترة الخزن في الموقع قصيرة قدر الإمكان. وتجدر الإشارة إلى أن الاحتفاظ بالمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في الخزن في الموقع دون اتباع المتطلبات المناسبة هو السبب الأكثر شيوعاً للحوادث وفقدان التحكم في المصادر. ومع ذلك، يجب الاعتراف بأنه قد لا يكون هناك بديل عملي للخزن في الموقع لبعض الوقت في المستقبل.

ومن غير المحتمل أن تكون الضوابط الإدارية والأمن مستداماً في مرفق المستخدم للفترة الزمنية المطلوبة لكي يضمحل المصدر إلى المستويات المطلوبة. ويحتاج الخزن في الموقع إلى تضمين خطط لمثل هذا النقل، ويجب الحفاظ على حالة المصادر في الخزن لتسهيل النقل واسترجاع المصدر من حائز المصدر في هذه المرحلة.

وتحتاج البلدان التي تستخدم بشكل مكثف المصادر المشعَّة المختومة والمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في العديد من المؤسسات إلى خزن مركزي ونظام خزن مناسب للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. ويرد وصف للتصميم المرجعي الصادر عن الوكالة لمرفق خزن مركزي للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في المرجع [٦٠]. ويجب التأكيد على أن معظم الدول الأعضاء لا يتوافر لديها مرافق تخلص مناسبة، وبالتالي، في معظم الحالات، يكون الخزن الطويل الأجل هو خيار التصرف البديل الوحيد للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في المستقبل المنظور. ومن الناحية العملية، لا يُستخدم المخزن المركزي عادةً حصرياً للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المكيفة، ولكن لأنواع أخرى من النفايات المشعَّة المنخفضة والمتوسطة المستوى المتولدة في البلد.

وتعتبر العبوة التي تحتوي على المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة بمثابة الحاجز الأول لإطلاق النشاط الإشعاعي في البيئة. وأهم الحواجز في المقام الأول هي كبسولة المصدر نفسها، تليها الحاوية. والحاجز المادي الأخير لإطلاق النشاط الإشعاعي هو مبنى الخزن. وسيحتاج مبنى الخزن إلى توفير حماية كافية للمصادر المخزنة لتحسين عمر العبوات، وقد يتطلب ذلك التحكم في بيئة المبنى ورصدها. ويجب استيفاء متطلبات الأمان لحماية الصحة البشرية والبيئة من خلال المستوى المناسب من تصميم المرافق ذات الصلة، وتشييدها، وتشغيلها وصيانتها، والتصميم المناسب للعبوات المعدة للخزن.

٩-١- متطلبات التصميم لعبوات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة

من المتوقع أن تفي كل عبوة نفايات، تحتوي على مصادر مشعَّة مختومة مهمَلة ومخصصة للخزن، بمجموعة أساسية من المتطلبات (تسمى عادةً معايير قبول النفايات أو متطلبات قبول النفايات) التي يحددها مُشغِّل مرفق الخزن [٦١، و٦٢]. وتستند هذه المتطلبات إلى تقييم الأمان والاعتبارات ذات الصلة، وكذلك إلى القضايا التكنولوجية والقانونية. وعادة ما تستعرض الهيئة الرقابية هذه المتطلبات وتوافق عليها أو يمكن أن تحددها الهيئة الرقابية نفسها. ويرد وصف للمتطلبات العامة لقبول خزن عبوات النفايات في المرجع [٦١]. وعند تطبيقها على المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، فإن العبوة المخصصة للخزن سوف:

(أ) تتكون من حاوية ومصدر مدمج وقد يكون لها نظام احتواء إضافي إذا لزم الأمر (مثل البطانة أو العبوة المجمعة) يحتفظ بالمحتويات المشعَّة في أثناء الخزن ويضمن بقاء أي انبعاثات للمواد المشعَّة أقل من الحدود المحددة.

(ب) تحتوي على غطاء بأجهزة تثبيت لمنع الغطاء من الانفصال عن جسم الحاوية في أثناء أنشطة التعامل والخزن الروتينية.

(ج) يكون معدل الجرعة الملامسة ومستوى التلوث الخاص بها متوافقاً مع متطلبات مرفق الخزن. وإذا كانت العبوة ملوَّثة، فيجب اتخاذ تدابير لاحتواء التلوث خلال فترة الخزن المؤقتة المتوقعة. ويجب تحديد معدل الجرعة القصوى المسموح به على سطح كل عبوة لمرافق خزن مؤقتة معينة أو أجزاء من المرافق.

(د) توفر التبريد السلبي الكافي للمصادر العالية النشاط (النفايات المولِّدة للحرارة) إن وجدت.

(ه) يكون لديها قوة ميكانيكية معينة لاحتواء مجموعة من عدة عبوات (يتم تحديدها لمرفق خزن معين).

(و) يمكن التعرف عليها بشكل فريد وتحتوي على بطاقة تعريف تشمل نوع العبوة والرقم المسلسل والوزن ومُعرّف السجل (ترد أمثلة على هذه الملصقات في الشكل ٥٩).

الشكل ٥٩- وسم العبوات المعدة للخزن والنقل.

وفي حالة توافر مرفق التخلص، يجب مقارنة معايير قبول النفايات في المستودع مع معايير قبول النفايات في مرفق الخزن ويجب اختيار المعايير الأكثر تقييداً لعبوات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. وقد تخضع عبوات المصادر لقيود إضافية بسبب القيود أو الظروف الخاصة الموجودة في مرفق الخزن والتي لا توجد في موقع التخلص. وعلى سبيل المثال، قد تحد أبعاد التحميل الأرضي والمدخل من حجم العبوة والوزن المسموح به للخزن.

٩-٢- متطلبات التصميم الخاصة بمرافق الخزن

يجب أن تأخذ المتطلبات الوظيفية لنظام الخزن في الاعتبار جميع متطلبات مستخدمي النظام، بما في ذلك خصوصياتهم واهتماماتهم؛ ويجب أن تستند إلى أهداف ومهام النظام. وتنطبق متطلبات الأمان المنصوص عليها في المرجع [٢٧] المتعلقة بوقاية الصحة البشرية والبيئة على خزن النفايات المشعَّة، بما في ذلك خزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

ويرِد وصف لمتطلبات تصميم مرافق خزن النفايات بالتفصيل في المراجع [٦١-٦٣]. وإذا كان ذلك مناسباً، يجب أن يكون لمرفق الخزن تصميم بسيط وقوي، وأن يحتوي على الحد الأدنى من التركيبات، وأن يتجنب النُّظُم الآلية المعقدة، وأن يعتمد على الأمان الخامل، وأن يحافظ على التشغيل البسيط والفعال من حيث التكلفة.

والمتطلبات العامة لتصميم مرافق خزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة هي كما يلي:

(أ) يجب تصميم مرافق الخزن لتقليل احتمالية وعواقب الحادثات والحوادث. ويجب توفير استرجاع المصادر للتكييف أو لتغيير المكان أو النقل في حالة وقوع حادث.

(ب) يجب أن يكون المخزن قادراً على الحفاظ على سلامة المصدر وحاويته أو جهازه حتى يتم إرسالهم إلى موقع آخر (أي إلى المستودع). ويجب إيلاء الاعتبار لضمان الوقاية من التأثيرات البيئية، مثل المطر والرطوبة والفيضانات والحرائق.

(ج) يجب أن يكون موقع المخزن منفصلاً وبعيداً عن أماكن العمل أو المناطق الأخرى التي يزورها الموظفون أو الجمهور بانتظام.

(د) يقتضى أن يكون الوصول سهلاً، بما في ذلك نقل المصادر من وإلى المخزن (على سبيل المثال، نقل المصعد بدلاً من السلم).

(ه) يجب أن تؤخذ سعة تحميل الأرضية في الاعتبار.

(و) وجود حواجز مادية ضد التدخل، والتي يمكن أن تشمل، حسب الاقتضاء، المراقبة، والأقفال العالية الأمن، ونظام الإنذار، والحراس المدربين أو أي مزيج من هذه الأمور. ويجب النظر إلى تدابير الحماية المادية ككل، مع مراعاة التأثير المشترك للاحتياطات الفردية.

(ز) ضرورة وجود علامات وتحذيرات واضحة في المخزن والمحيط للإشارة إلى وجود نشاط إشعاعي والوصول المقيد وغير المصرح به. ويجب تصميم العلامات التحذيرية لضمان أن تكون طبيعة الخطر واضحة للموظفين الذين قد يواجهونها. ويجب تثبيت هذه العلامات حتى مع وجود إجراءات أمنية وأن تكون مكتوبة بلغات يفهمها الأشخاص الذين قد يدخلون إلى المرفق.

(ح) يجب أن يكون المخزن كبيراً بما يكفي للسماح بخزن المصادر بطريقة منظمة وتُمكِّن من تحديد مجموعات المصادر الفردية بصرياً.

(ط) يلزم وجود أسطح ملساء في المخزن لتسهيل عملية إزالة التلوث الممكنة.

(ي) يجب أن يسمح تصميم المخزن بالخزن بشكل منفصل للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة والمواد غير المشعَّة.

(ك) يجب أن يسمح تصميم المخزن بالخزن المنفصل (في مناطق منفصلة بوضوح في المخزن) للمصادر المخزنة من أجل الاضمحلال، والمصادر قيد الاستخدام، والمصادر غير المناسبة للخزن من أجل الاضمحلال.

(ل) يجب خزن المصادر العالية النشاط من الفئتين ١ و٢ على وجه التفضيل في مخزن منفصل، أو على الأقل بشكل منفصل في منطقة محددة بوضوح. ويجب أن يحصل الأشخاص المرخص لهم بالوصول إلى هذا المخزن أو المنطقة على التدريب المناسب فيما يتعلق بوجود هذه المصادر وأهميتها.

(م) يجب أن يوفر تصميم المخزن دروعاً (إما كجدران أو مواد دروع متحركة) لضمان ألا يتجاوز معدل الجرعة في أي نقطة يمكن الوصول إليها داخل المخزن أو خارجه الحدود المطبقة التي تحددها الهيئة الرقابية. ويمكن أيضاً تطبيق مبادئ الحماية الذاتية، وبالتالي ترتيب المصادر بطريقة توفر التدريع للمصادر الأخرى. وعندما تكون هناك حاجة إلى وصول الأفراد بشكل متكرر إلى المخزن، فمن المهم النظر في تركيب الدروع المناسبة.

(ن) يجب توفير تهوية مناسبة إذا كان من الممكن توقع إطلاق مادة مشعَّة تعلق في الهواء، لا سيما عند خزن كميات كبيرة من اليود-١٢٥ أو اليود-١٣١ أو الراديوم-٢٢٦. وتتكون بعض مرافق الخزن القديمة من غرف فوق الأرض وتحتها. وبشكل عام، فإن المرفق تحت الأرض مناسب من حيث التدريع. ومع ذلك، في الجزء الموجود تحت الأرض، لوحظ وجود بيئة أكثر رطوبة.

ومن المهم أن ترخيص الهيئة الرقابية لمرفق الخزن، في حالة عدم تضمينه بالفعل في ترخيص التشغيل. وقد يتضمن الترخيص بعض المتطلبات المحددة لمرفق معين.

٩-٣- المتطلبات التشغيلية لمرافق الخزن

تقتصر العمليات التي يتم إجراؤها في مرفق الخزن على استلام عبوات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، ووضعها، ومراقبة سلامتها (إذا لزم الأمر)، واسترجاعها، وتحضيرها للإرسال. وعمليات الخزن خاملة بشكل أساسي لفترة طويلة من الوقت عندما تكون العبوات في انتظار الاسترجاع حتى يتم إنشاء مرفق المستودع. ويجب تنفيذ جميع العمليات المتعلقة بالخزن وفقاً للإجراءات المعتمدة المكتوبة.

٩-٣-١- الاستلام والوضع

تم تحديد مناطق الخزن وتشغيلها كمناطق خاضعة للرقابة للحد من انتشار التلوث وتقليل تعرض العمال للإشعاع المؤيّن. ويجب توفير ملابس/معدات واقية مناسبة وارتداؤها/استخدامها حسب الحاجة.

ويجب التخطيط مسبقاً لعمليات استلام المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. ويفحص مُشغِّل المخزن المعلومات للتأكد من أن عبوة المصدر مقبولة للخزن، على سبيل المثال أن تتوافق مع معايير قبول النفايات للخزن. وإذا كانت غير مقبولة، يجب تسجيل التفاصيل وإعادة الوثائق إلى المرسل مع توضيح أو طلب مزيد من المعلومات. وفي حالة التلوث الخارجي، يجب إزالة التلوث وإعادة فحص العبوة قبل قبولها للخزن.

ويجب أن يسمح تصميم المرفق عادةً بتراص العبوات والفرز والفحص البصري. وعند القبول، يحتاج مُشغِّل المخزن إلى إعداد الوثائق المناسبة لخزن المصادر. وفي المخزن، يجب تحديد موقع مناسب لعبوة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة وتسجيل تفاصيل هذا الموقع. ويجب وضع العبوة في الموقع المحدد. ويستصوب فصل المصادر لتسهيل الاسترجاع من أجل مزيد من التجديد أو أي استرجاع غير مخطط له، والذي يعتبر ضرورياً من خلال عمليات التفتيش الدورية لاحتمال تدهور حاويات المصدر، أو في حالة وجود فئات معينة من المصادر التي سيتم وضعها في نهاية المطاف في مرافق تخلص خاصة. ويجب تحديث سجلات مخزون المخزن، ويلزم إجراء فحص دوري لمحتويات المخزن مقابل السجلات.

يرِد مثال للخزن المنفصل في الشكل ٦٠.

الشكل ٦٠- الخزن المنفصل للنفايات المشعَّة، بما في ذلك المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

٩-٣-٢- التدريع الإضافي

يمكن توفير تدريع إضافي للتدريع المتوخى في التصميم في المخزن للعبوات ذات معدلات جرعات التلامس العالية وحيث يتم وضع عدد كبير من العبوات ذات معدل جرعة التلامس المنخفض في المخزن.

٩-٣-٣- مراقبة السلامة

نظراً لأن الفعالية الطويلة المدى للحواجز الهندسية أو الطبيعية ضد إطلاق النشاط الإشعاعي في البيئة لا يمكن ضمانها في جميع الظروف المستقبلية، يجب إنشاء برنامج رصد لمنطقة الخزن. وإذا كان ذلك ممكناً من الناحية التقنية، يلزم الرصد بين الحواجز الفردية (مثل العبوة وحدود الخزن وحدود المرفق) بحيث يتم اكتشاف انتقال النشاط الإشعاعي جيداً قبل انتشاره خارج المرفق. وفي هذه الحالة، يجب اتخاذ تدابير لتقليل انتشار التلوث. ولذلك، يُنصح بإجراء قياسات خلفية أولية وتسجيلها لمرفق الخزن قبل إدخاله في الخدمة. ويعتمد تكرار الرصد على عدد وأنواع عبوات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

ويجب تضمين فعالية نظام التهوية في برنامج المراقبة. ورصد الإشعاعات وقياس الجرعات الشخصية إلزاميان.

٩-٣-٤- الاسترجاع والإرسال

بعد استلام طلب استرجاع عبوة من الخزن، يحتاج مُشغِّل المخزن إلى الحصول على تفاصيل العبوة المعينة من سجلات المخزن وتمريرها إلى الطرف المناسب. وإذا كانت التفاصيل مرتبة، فقد تتم الموافقة على استرجاع العبوة من مرفق الخزن. وبمجرد أن يأذن مُشغِّل المخزن بإخراج العبوة، يتم استرجاع العبوة من المخزن ونقلها إلى منطقة الإرسال. وهنا، تخضع العبوة للرصد الإشعاعي لمستويات التلوث والإشعاع قبل إخراجها. ويتم نقل تفاصيل العبوة إلى سجلات النقل، ويتم تقديم العبوة للنقل وفقاً للوائح النقل [٤٧]. ويجب تعديل سجلات خزن العبوة لتسجيل تاريخ الإرسال والطرف المستلم.

٩-٣-٥- النُّظُم الأمنية

يجب أن تكون النُّظُم الأمنية لمنع التدخل جزءاً لا يتجزأ من مرفق الخزن. ويشتمل النظام الأمني النموذجي على سمات لتأخير الوصول وكشف الوصول غير المصرح به وتوفير نظام للإنذار والتصدي. ويرِد مثال على مرفق الخزن الآمن في الشكل ٦١. ويجب على موظفي التشغيل ضمان عمله دون انقطاع في ظل جميع الظروف المتوقعة.

الشكل ٦١- مرفق خزن آمنة.

يجب مراقبة الوصول إلى مناطق الخزن بشكل صارم من أجل منع فقدان المواد المخزنة، حيث قد لا يتم اكتشاف ذلك إلا بعد وقت طويل من حدوث السحب. وفي المخازن، يتم تحقيق الأمن عادة عن طريق غلق المبنى. ويتعين خفض عدد الموظفين المصرح لهم بالوصول إلى الحد الأدنى. ويمكن استخدام الأختام للكشف عن أي وصول غير مصرح به. ويجب مراعاة التدابير الأمنية المناسبة الأخرى (مثل الحراس، وسياجات الأسلاك الشائكة، وكاميرات المراقبة، ونُظُم الإنذار، وما إلى ذلك) والجرد المنتظم في سياق الوضع الأمني السائد. ويجب مراجعة وتحديث فعالية النظام الأمني بانتظام.

٩-٤- أمثلة على مرافق الخزن في الموقع

قد يُتوخى عدد كبير من نُظُم الخزن البديلة، والتي من شأنها تلبية المتطلبات المذكورة أعلاه. واعتماداً على عدد المصادر المراد خزنها، يمكن أن تتراوح ترتيبات الخزن من خزنة أرضية وخزانة مدرَّعة إلى مبنى مخصص. ويقدم هذا التقرير بعض الأمثلة فقط لتوضيح خيارات الخزن الممكنة. وقد يجد المستخدم أن أحد هذه الخيارات يفي بمتطلباته الفردية، ولكن يجب التأكيد على أن الترتيبات الأخرى قد تكون مناسبة أيضاً، مع مراعاة الظروف المحلية. ومن بين الخيارات المناسبة المتنوعة المتاحة، يجب تقييم الخيار الأكثر فعالية من حيث التكلفة.

٩-٤-١- الخزائن الأرضية

يستخدم هذا الخيار، المناسب فقط للمصادر الأصغر ولعدد محدود من الحاويات الصغيرة الحجم، الخزائن الأرضية التي يتم إنتاجها بكميات كبيرة وغير مكلفة ومتاحة بسهولة ومعترف بها كنظام آمن. والتدخل غير المصرح به أمر صعب للغاية. وسيكون من الصعب للغاية إزالة الخزنة نفسها، خاصة إذا تم تركيب الخزنة في أساس المبنى. وترِد صورة لخزنة أرضية نموذجية في الشكل ٦٢.

الشكل ٦٢- خزنة أرضية نموذجية.

وتوفر الخزائن، التي تتراوح سعتها التخزينية من ٣٠ إلى ٦٠ لتراً، الحماية من الهجمات البدنية المختلفة، مثل استخدام الروافع والمطارق الثقيلة والمطاحن والمثاقب والمشعل العامل بالأكسجين والأسيتيلين والمتفجرات. ويمكن تغطية هذه الخزائن بالخرسانة المسلحة وتحويلها إلى نظام يوفر خزناً طويل المدى حيث يكون الوصول مقيداً والمراقبة المطلوبة ضئيلة.

٩-٤-٢- الغرف المقاومة للتدخل

هذا المخطط مناسب لجميع أحجام العبوات. وعادة ما يتم بناء الغرفة المقاومة للتدخل بجدران خرسانية، وتكون مجهزة بباب آمن وأقفال عالية الأمن وإنذار لكشف التدخل. ويمكن وضع العبوات الصغيرة والمتوسطة الحجم على الرفوف (الشكل ٦٣)، بينما توضع الحاويات الكبيرة على الأرض (الشكل ٦٤). وكإجراء أمني إضافي، يمكن وضع الخزائن الأرضية، التي تحتوي كل منها على عدة مجموعات صغيرة، في غرفة مقاومة للتدخل. ويمكن أن يوفر هذا النظام خزناً آمناً لعدد كبير من المصادر، ولكنه لا يزال يتيح وصولاً سهلاً عند الحاجة.

الشكل ٦٣- خزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة على الرفوف.

الشكل ٦٤- خزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة على الأرض في غرفة مقاومة للتدخل.

٩-٤-٣- مستودعات/أقبية خرسانية

يمكن استخدام مستودع أو قبو خرساني لخزن الحاويات الصغيرة والمتوسطة والكبيرة، حسب حجم المستودع. ويمكن استخدام مستودع صغير نسبياً بسعة بضعة أمتار مكعبة ومصمم بغطاء ثقيل كنظام غير مكلف ولكنه آمن لخزن العبوات الصغيرة والمتوسطة الحجم.

ويمكن لقبو أكبر بغطاء ثقيل أن يستوعب عبوات كبيرة، وكذلك العبوات الصغيرة والمتوسطة الحجم، وسيكون مفيداً في حالة وجود عدد كبير من المصادر للخزن (الشكل ٦٥). وإذا لزم الأمر، يمكن تحويل هذه المستودعات بسهولة إلى مرافق خزن طويل الأجل عن طريق إغلاق المدخل بالخرسانة المسلحة، مما يتطلب الحد الأدنى من المراقبة.

الشكل ٦٥- قبو خرساني لخزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

٩-٤-٤- مقارنة بين نُظُم الخزن في الموقع

تتم مقارنة مرافق الخزن الموصوفة أعلاه من حيث الخصائص المختلفة الواردة في الجدول ٧ [١٥]. وتمثل هذه الخصائص السمات الرئيسية لخيارات الخزن المتنوعة، مما يوفر للمستخدمين الفرديين وسيلة بسيطة لاختيار الخيار المناسب.

الجدول ٧ - مقارنة نُظُم الخزن في الموقع [١٥]

النوع	خِزانة	غرفة مقاومة للتدخل	غرفة مقاومة للتدخل تحتوي على خزائن	مستودع خرساني
القدرة	منخفضة/متوسطة	مرتفعة	مرتفعة	مرتفعة
الكلفة	منخفضة	متوسطة	متوسطة	متوسطة
المرونة (حجم الحاوية)	محدودة	مرتفعة	مرتفعة	مرتفعة
الاحتواء	جيد	جيد	جيد	جيد
الوقاية من الإشعاعات	متوسطة	جيدة	جيدة	جيدة
الامن	جيد	جيد	جيد جدا	جيد
الوصول	جيد	جيد جدا	جيد	سيء
المراقبة المطلوبة	منتظمة	منتظمة	منتظمة	غير منتظمة

٩-٤-٥- المشاكل المعترَضة والدروس المستفادة

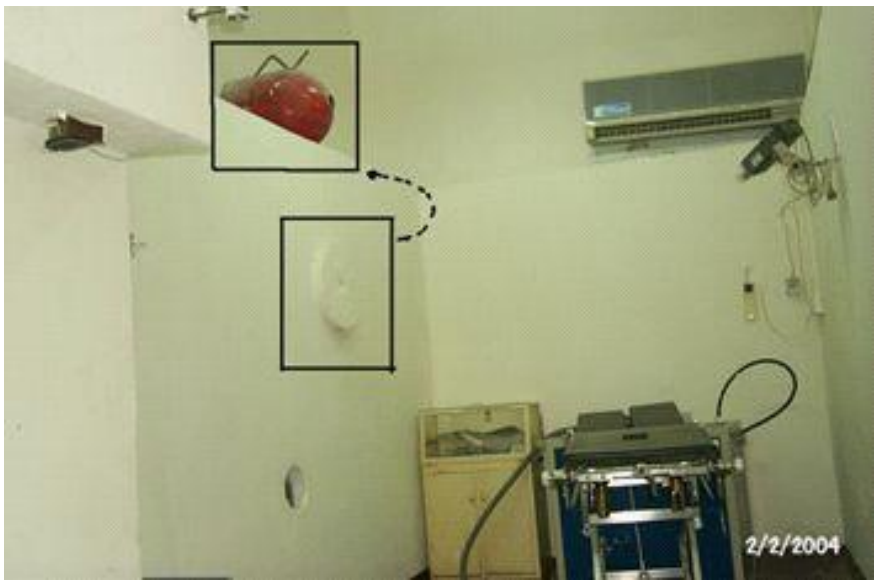
٩-٤-٥-١- الخزن غير الآمن وغير المأمون

يمكن أن يؤدي الخزن في ظل ظروف غير آمنة إلى وصول الأفراد غير المصرح لهم إلى المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة (في بعض الأحيان تكون مصادر عالية النشاط جداً)، ويلي ذلك عواقب إشعاعية خطيرة محتملة. ويوجد مثال على ظروف

الخزن غير الآمنة في الشكل ٦٦: كان من الممكن الوصول إلى رأس جهاز المعالجة البُعادية مهمَل (أي المصدر المشع)، الذي كان يخفيه عن الأعين غطاء فقط في ممر المستشفى.

الشكل ٦٦- مثال على ظروف الخزن غير الآمنة.

ولا يُنصح بتفكيك المصدر من حامله في موقع المستخدم، ولكن يُنصح فقط بإزالة الحامل من الجهاز. ومن المهم أن يتم وضع المصراع في وضع القفل. ومع ذلك، لا ينبغي أن يحاول ذلك إلا أفراد مدربون على استخدام المعدات المحددة حيث يمكن أن يتأثر أمان الحامل عن طريق التفكيك. وقد يؤدي تفكيك أفراد غير مدربين لوحدة المعالجة البُعادية إلى التعرض للإشعاع والإصابة البدنية (انظر الشكل ٦٧).



الشكل ٦٧- جهاز معالجة بُعادية مفكك جزئياً (تم قطع الرأس على الرغم من وجود الدرج في الجهاز).

وعندما يُترك المصدر سليماً في الجهاز، فقد يؤدي ذلك إلى حالة خطر محتملة. وعلى سبيل المثال، استخدم طاقم المستشفى غرفة العلاج الإشعاعي السابقة كغرفة تبديل ملابس/خزن (الشكل ٦٨). ولم يدرك الموظفون أن مصدر الكوبالت-٦٠ المشع تُرك مُخزَّناً في تلك الغرفة. ولحسن الحظ، كان المصدر ضعيفاً نوعاً ما، لذلك لم يحدث تعرض كبير، على الرغم من أن درج المصدر لم يكن مغلقاً في وضع الخزن.

الشكل ٦٨- لم تتم إزالة الدرج الذي يحتوي على مصدر الكوبالت-٦٠ من جهاز المعالجة البُعادية.

وفي بعض الحالات، لا تمتثل مرافق الخزن لمتطلبات الأمن، ونتيجة لذلك، يمكن للأشخاص غير المصرح لهم دخول المخزن وسرقة المصادر أو مادة التدريع (الشكل ٦٩).

الشكل ٦٩- مخزن مصادر الراديوم الذي نادراً ما تتم زيارته ويتم ذلك بشكل غير منتظم.

٩-٤-٥-٢- *بيئة الخزن غير المواتية*

قد تؤدي ظروف الخزن البيئية غير المواتية، بما في ذلك الرطوبة العالية وتقلب درجات الحرارة، إلى تدهور المصدر أو الحاوية بسبب التآكل (انظر الشكل ٧٠) وقد تتلف الملصقات الموجودة على المصادر والحاويات (انظر الشكل ٧١). ويجب توخي الحذر لضمان عدم ضياع بيانات المصدر وحماية جميع الملصقات وتسجيل معلوماتها في أثناء عمليات تغيير المكان.

ومن التجربة، وجد أيضاً أن الظروف المسببة للتآكل في مرفق الخزن قد تؤدي إلى تدهور الحامل وعطل آلية الغالق، مما قد يساهم في حدوث صعوبات في إزالة المصدر.

الشكل ٧٠- حاويات متآكلة.

الشكل ٧١- تدهور الملصق الموجود على حاوية المصدر.

٩-٤-٥-٣- *عدم وجود تحذير من الإشعاع*

في بعض الأحيان، لا يتم وسم مرفق الخزن بشكل صحيح للتحذير من وجود خطر إشعاعي (انظر الشكل ٧٢). وعلى سبيل المثال، لم تتم كتابة الملصقات باللغة المحلية ولا يفهم السكان المحليون جسامة المخاطر. وتجدر الإشارة إلى أنه في بعض الأحيان

لا تضع الإدارة إشارات التحذير على الأبواب عن عمد لتجنب لفت انتباه الأشخاص الذين لا يفهمون معنى العلامات أو كلمة "مشعَّة" حتى لا يعتقدوا أن بعض السلع القيمة مخزنة خلف الباب المغلق . وقد يؤدي هذا إلى تدخل أشخاص غير مصرح لهم في مرفق الخزن في الموقع.

الشكل ٧٢- مبنى خزن دون علامة تحذير أو ملصق.

وهناك خطر إضافي على الموظفين وعامة الجمهور يتمثل في عدم قياس مستويات الإشعاعات والتلوث بانتظام.

٩-٤-٥-٤- مخاطر الحريق

إذا تم خزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة مع مواد أخرى غير مشعَّة، مثل المواد القابلة للاشتعال، فقد يتسبب ذلك في حدوث تلف أو نشوب حريق (انظر الشكل ٧٣).

الشكل ٧٣- خزن غير مناسب للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

٩-٥- أمثلة على مرافق الخزن المركزية

تنقسم مرافق الخزن المركزية المتاحة في الدول الأعضاء بشكل أساسي إلى فئتين – المرافق السطحية ومرافق الخزن تحت السطح (جوفية)، والتي كان بعضها مخصصاً في الأصل للتخلص من النفايات. ويمكن تصميم مرفق الخزن السطحي والجوفي هندسياً بالكامل أو جزئياً [٦١].

والخزن *الجوفي* هو في الأساس وضع عبوات النفايات في مرافق مصممة بالقرب من السطح (جوفية)، والتي تتميز في كثير من الأحيان بقاعدة صلبة من الخرسانة مع مواد ردم مناسبة، والتي لا تزال تسمح باسترجاع النفايات.

ويشير الخزن السطحي إلى أي مبنى أو هيكل على السطح مخصص خصيصاً لخزن عبوات النفايات. وتعتمد تصاميم المخازن السطحية، في كثير من الحالات، على الحاجة إلى التعامل مع كميات كبيرة من عبوات النفايات في براميل أو صناديق. وقد تتراوح هذه المخازن من حاويات أساسية إلى مرافق مصممة هندسياً بمستويات عالية، والتي تتضمن هياكل التدريع ومعدات التعامل عن بُعد، ومزودة بالتهوية، وجمع الدوافق السائلة، وأدوات التحكم.

وفي الماضي، تم استخدام مكان الخزن للخزن المؤقت لمصادر الفئة ١ في الحالات التي لا تتوافر فيها مرافق خزن كافية تحت السطح أو الجوفية (الشكل ٧٤). وأدى عدم حماية عبوات النفايات من الظروف البيئية والأمنية غير المرضية إلى جعل خيار الخزن هذا غير كافٍ وغير مقبول وفقاً للمتطلبات الحديثة للأمان والأمن.

الشكل ٧٤- مكان خزن غير مناسب للمولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة.

٩-٥-١- الخزن الجوفي

هناك العديد من خيارات الخزن تحت السطح (الجوفي) للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. وتشمل خيارات الخزنِ الجاف، مثل مخازن من نوع الآبار (الشكل ٧٥)، أو مخازن الأنابيب (الشكل ٧٦)، أو الأقبية المدرَّعة (الشكل ٧٧). ويوفر هذا النوع من الخزن حماية مادية جيدة جداً وتدريعاً للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المخزنة. وقد يحتاج مرفق الخزن إلى استخدام أكثر من واحد من هذه الخيارات من أجل توفير الخزن المناسب للمجموعة الكاملة من المصادر المهمَلة التي يتم استلامها في المرفق.

الشكل ٧٥- تحضير وتحميل المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة للكوبالت-٦٠ في وحدة خزن من نوع الآبار.

الشكل ٧٦- مخزن أنابيب للمصادر المختومة.

الشكل ٧٧- الأقبية الخرسانية المستخدمة لإيواء الصناديق الخرسانية.

وبعد فترة من الخزن المؤقت، من المحتمل أن يتم استرجاع حاويات النفايات لمزيد من التكييف وإعادة التغليف قبل التخلص منها. وتشمل القضايا العملية التي يجب مراعاتها عند استخدام هذا النهج ما يلي:

- الحاجة إلى فصل المصادر عند وضعها في المخزن؛
- حدود توليد الحرارة والنشاط ومعدل الجرعة لكل حاوية وللمخزن؛
- الحاجة المستقبلية إلى استرجاع المصادر الموحدة وتكييفها ونقلها؛
- الحاجة إلى التأكد من أن أعلى مستوى للمياه الجوفية أدنى من قاع القبو.

٩-٥-٢- الخزن السطحي

قد تختلف مرافق الخزن المصممة هندسياً للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة حسب التصميم بسبب مخاطر الإشعاع التي تنطوي عليها. وقد يكون مرفق الخزن المصمم هندسياً للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الواقعة ضمن الفئات من ٣ إلى ٥ بسيطة البناء، على سبيل المثال مبنى على قاعدة خرسانية بهيكل من الصلب وألواح معدنية مموجة تغطي الجدران والسقف (الشكل ٧٨). وبدلاً من ذلك، يتم استخدام البناء من نوع المستودع دون ترتيبات للتعامل مع العبوات والتدفئة أو التهوية على نطاق واسع.

الشكل ٧٨- مرفق خزن نفايات بسيط البناء.

وتعد المخازن ذات التصميم الهندسي الأكثر تطوراً والمزودة بسمات هندسية كاملة أكثر ملاءمة للخزن لفترات أطول للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة التي تظهر معدلات جرعات سطحية مرتفعة. وقد تشمل مرافق الخزن ترتيبات للتعامل مع العبوات، وتدريع بالخرسانة (أو ما يعادلها)، والتفتيش عن بُعد، والتهوية، والتحكم في درجة الحرارة، وجمع الدوافق السائلة، وأسطح المباني المعدة لتسهيل إزالة التلوث. والحد الأدنى من معايير البناء لهذه المخازن هو المبنى المدرَّع بشكل كاف من نوع المستودعات بأرضية صلبة وشروط أمان كافية لتفتيش عبوات النفايات (الشكل ٧٩).

الشكل ٧٩- مرفق خزن قوي للنفايات.

وهناك نوع آخر من أماكن الخزن هو وضع المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في الحاوية الأكبر والتي، على الأقل، توفر حماية مادية أفضل للعبوات المخزنة. ويرد في الشكل ٨٠ مثال على مرفق خزن منطقة بسيطة (حاوية شحن/خزن موافقة لمعايير المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس).

الشكل ٨٠- حاويات بضائع كبيرة الحجم موافقة لمعايير المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس.

ويمكن وضع الحاوية في مكان مناسب، أي في موقع تجميع مركزي، أو في مركز صغير للبحوث النووية، أو محطة قوى نووية، أو منطقة خاضعة للحراسة تحت سيطرة الحكومة. واعتماداً على الحجم، يمكن خزن ما بين ٤٠ و٧٠ حاوية بسعة ٢٠٠ لتر بالداخل. في وقت لاحق، عندما يتوافر مستودع، يمكن نقل الحاويات مباشرة دون الحاجة إلى خطوات إعادة تحميل إضافية.

وفي نهاية فترة الخزن، من المهم التأكد من إمكانية تحديد واسترجاع ونقل المصادر المكيفة إلى مرفق التخلص. ويجب رص العبوات بطريقة منتظمة للسماح بالوصول السهل والاسترجاع، إذا لزم الأمر، مع مراعاة استخدام الرافعة الشوكية أو الرافعة للوصول إلى جميع أجزاء المواقع، وكذلك القدرة على الوصول إلى أي عبوة واسترجاعها.

٩-٥-٣- المشاكل المعترَضة والدروس المستفادة

٩-٥-٣-١- الخزن الجوفي

تم استخدام الآبار الجوفية (حفر السبر الضحلة والأقبية) لخزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في العديد من الدول الأعضاء لسنوات عديدة. وبشكل عام، فإن المرفق الموجود تحت الأرض مناسب من حيث التدريع والأمن. ومع ذلك، فقد أعيد النظر في خيار الخزن هذا في بعض الدول الأعضاء. وفي الأصل، كانت بعض المرافق مخصصة للتخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ولم يتم النظر في إمكانية استرجاع المصادر. وأظهرت تكلفة استرجاع هذه المصادر اليوم، إلى جانب المخاطر التي تنطوي عليها، أن هذا الخيار ليس خياراً حكيماً، خاصةً للخزن الطويل الأجل للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة (المكيّفة وغير المكيّفة). ويمكن النظر في الخزن الجوفي عندما يكون وقت الخزن قصيراً جداً وتكون الظروف المناخية مواتية، أي المناخات الجافة والمكان البعيد عن المناطق المأهولة.

٩-٥-٣-٢- الخزن السطحي

موقع مرفق الخزن

تقع بعض مرافق الخزن في مناطق معرضة لخطر الفيضانات (منطقة منخفضة). وأدى هذا إلى تدهور الحاويات التي تحتوي على مصادر مشعَّة مختومة مهمَلة.

وفي بعض الحالات، تم إنشاء مرافق الخزن بالقرب من حدود منطقة الموقع، وبالتالي تقييد معدل جرعة المصادر المهمَلة المخزنة في المرفق و/أو الحاجة إلى تدريع إضافي داخل المرفق. وهذا يقيد أيضاً التعامل مع المصادر العالية النشاط في المنطقة المجاورة لمرفق الخزن. وفي حالات أخرى، بدت مرافق الخزن قريبة جداً من الحدود الوطنية بسبب التغييرات السياسية التي أدت إلى إنشاء دول مستقلة جديدة.

وإلى جانب الجوانب التقنية والسياسية التي يجب مراعاتها في تحديد مواقع مرافق الخزن، هناك قضايا تتعلق بقبول السكان المحليين لهذه المرافق. ويؤدي قبول المرفق والخطط دوراً رئيسياً وقد يكون له تأثير متصل في المجال التقني.

سمات التصميم

ظروف الخزن البيئية

توضح التجربة السابقة أنه في بعض المرافق يمكن خزن عبوات النفايات التي تحتوي على المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة دون أي تدهور خلال عشرات السنين، ولكن خلال نفس الفترة الزمنية كشفت التجربة عن تدهور عبوات النفايات في المرافق الأخرى بعد فترة معينة من الخزن. ويصبح تدهور عبوات النفايات بمرور الوقت مسألة مهمة للغاية، لا سيما عند الحاجة إلى تمديد وقت الخزن.

وتظهر التجربة أن الظروف الجوية داخل مرفق الخزن لها تأثير كبير على طول عمر العبوات. واعتماداً على المناخ، يمكن تركيب نُظُم مراقبة جودة الهواء بالداخل. ويمكن تركيب معدات التبريد أو إزالة الرطوبة لتجنب أو تقليل التآكل/التدهور الخارجي لحاوية النفايات. وفي التصميم، لا يجب مراعاة الظروف في المرفق المحمل بالكامل فحسب، بل يجب أيضاً مراعاة المواقف التي يتم فيها تحميل المرفق جزئياً: قد تكون ظروف الهواء وتدفق الهواء وظروف الرطوبة مختلفة جداً في ظل ظروف التحميل الجزئي والكامل.

وحدث عطب في عبوات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في أثناء الخزن في بعض الأحيان بسبب التلف الميكانيكي للحاوية في أثناء التعامل. وتراوحت الأضرار بين خدوش الطلاء التي أدت إلى تآكل مادة الحاوية إلى تدمير الحاوية. وتميل عيوب الحاوية إلى الظهور مبكراً، وهذا سبب وجيه لفصل المصادر المختومة بحلول تاريخ التكييف. وبهذه الطريقة، يمكن تجنب المشاكل المتواترة المتعلقة بسلامة الحاوية. وكلما طالت مدة خزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، يمكن أن تؤدي التأثيرات الداخلية أو الخارجية إلى زيادة احتمال عطب العبوة.

وتظهر التجربة أيضاً أن العديد من الحاويات التي تم تصميمها لنقل المصادر غير مناسبة للخزن الممتد. وإذا لم تكن لوائح النقل تمثل شاغلاً مباشراً، أي للخزن الممتد، فيجب النظر في حلول خزن بديلة وأقل تكلفة للحاويات.

كما أظهرت التجربة سابقاً أن تصميم مرفق الخزن يجب أن يسمح بالمرونة والتعديل والتوسع، لا سيما عندما لا يتم الانتهاء من خيارات التخلص (بما في ذلك معايير قبول النفايات) ويحتاج وقت الخزن إلى التمديد. وفي هذا الصدد، يُنصح بتصميم وإنشاء مرافق خزن معيارية قابلة للتمديد، مما يسمح بالتوسع إذا لزم الأمر. وتوجد مرافق الخزن المعيارية هذه بالفعل في بعض البلدان بما في ذلك المملكة المتحدة وسلوفاكيا.

وعادة ما يتم رص حاويات المصدر الأصغر حجماً لتعزيز قدرة مباني الخزن. وغالباً ما كانت المصادر القديمة معبأة في حاويات غير قياسية، وغالباً ما تكون غير مؤهلة للرص. ومن العملي وضع تلك العبوات غير المنتظمة الشكل في عبوات مجمّعة وموحدة (مؤقتة) لتسهيل الرص وبالتالي زيادة كفاءة الخزن.

ونتيجة لأنشطة الخزن التشغيلية المختلفة، أو نتيجة لاختراق المياه مرافق الخزن، نشأت بعض الكميات الصغيرة من النفايات المشعَّة الثانوية السائلة منخفضة المستوى للغاية. وهذا يؤكد ضرورة تركيب نظام مناسب لجمع ومعالجة هذه النفايات. وبالمثل، تنتج كميات صغيرة من النفايات الصلبة عن أنشطة الرصد (على سبيل المثال، التحقق من تلوث السطح على العبوات والجدار الداخلي والقاع) ومن أنشطة التعامل (مثل الملابس الواقية). ويجب اقتراح تدابير جمعها ومعالجتها حسب التصميم.

القابلية للاسترجاع

لا يمكن استبعاد عطب العبوات الفردية أو مجموعات العبوات في أثناء الخزن، حتى إذا تم تقييم ذلك بعناية. وفي فترات مبكرة من التشغيل، تم وضع المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في حفر السبر أو المستودعات الخرسانية التي تم ردمها لاحقاً بالرمل ثم تغطيتها بالخرسانة. وكان التفتيش على هذه المصادر مستحيلاً. وقد أدى ذلك إلى تعقيد عملية استرجاع هذه المصادر بشكل كبير، كما أدت إضافة الرمال إلى زيادة كبيرة في حجم النفايات الملوَّثة بالإشعاع التي ستحتاج إلى وضعها في مرفق التخلص. ولا تعتبر هذه الممارسة مناسبة، سواء للخزن على المدى القصير أو الطويل الأجل.

الصيانة

في بعض الحالات، أخفقت هياكل بناء مباني الخزن في الماضي. وكانت أسباب هذه الإخفاقات هي استخدام مواد بناء بخصائص تقادم غير مناسبة، وانعدام مراقبة الجودة، والتخطيط الخاطئ للبناء الثابت، والاستخفاف بخصائص الترسب الخاصة بالهياكل أو الجوفية، وما إلى ذلك. واستبدال تلك الهياكل المخفقة أمر صعب ومكلف وقد يتطلب إزالة مؤقتة لحاويات النفايات إلى مكان آخر. وتظهر التجربة أن مرافق الخزن يجب أن تتمتع بجودة عالية في التصميم والمواد والتقنيات البناءة من أجل تقليل الحاجة إلى هذه العمليات. وفي أثناء تشغيل مرفق الخزن، يجب فحص هياكل المباني عن كثب ويجب قياس الترسب بانتظام.

وقد تشمل تدابير التحكم قياسات الهيكل والأساس وعمليات التفتيش المنتظمة والتي يجب التخطيط لها مسبقاً. وتركيب معدات الرصد في المناطق العالية الإشعاع أمر خطير ويجب اقتراحه في مرحلة التصميم. وفي كثير من الأحيان، تمتلئ جميع أماكن الخزن تقريباً بالحاويات، مما يجعل العثور على المشاكل أمراً صعباً.

وتشمل السمات الأخرى ذات الأهمية التي يجب رصدها قابلية تشغيل معدات التبريد حيث يتم خزن مصادر توليد الحرارة، فضلاً عن إمكانية تشغيل أجهزة الرصد.

الوصول إلى المخزن والعبوات

في بعض الحالات، تم تصميم وإنشاء مرافق الخزن القديمة مع منح نفس درجة الوصول لموظفي التشغيل ومركبات النقل المحملة بالنفايات المشعَّة. وكان هذا سبب بعض الحوادث وهو يخالف قواعد الوقاية من الإشعاعات. ومع أخذ هذا الدرس بعين الاعتبار، يجب أن يشتمل مرفق الخزن على وصول مضاعف وسهل.

ويجب تصميم مرفق الخزن بحيث يضمن الوصول إلى جميع عبوات النفايات. وهذا مهم جداً لتسهيل وضع الحاويات ولكن أيضاً لضمان المراقبة المنتظمة للعبوات وتفتيشها.

الاتصالات

تقع العديد من مرافق الخزن بعيداً عن المرافق النووية العاملة الأخرى وغالباً ما يزورها فرد واحد، مما يؤكد الحاجة إلى الاتصال. وفي تصميم المرفق، يجب ضمان مستوى مناسب من الاتصال الداخلي بين أي موظفين يؤدون الأعمال وغرفة التحكم المركزية.

الإجراءات التشغيلية

فحص العبوات

على الرغم من أن الممارسات السابقة لم تسمح دائماً بالمراقبة الدورية لعبوات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في الخزن، فإن عمليات التفتيش والرصد لمحتويات مرفق الخزن مطلوبة الآن ما لم تكن العبوات تخضع لنظام إداري شامل (ضمان الجودة سابقاً) من وقت التوليد.

ويجب أن تسمح الحاويات بإجراء التعامل المناسب، والرصد، وعمليات التفتيش، وإعادة تغليف المصادر. ويسهل التراص في الترتيبات، مثل الأعمدة، الوصول ويسهل التعامل ويتيح التفتيش. وتتطلب أجهزة التعامل والرفع الفحص والمراقبة، حيث إنها عرضة للتآكل مثل حاويات النفايات نفسها. ويجب توفير التمويل والموظفين الكافيين لهذا الغرض.

وعادة ما يتم ملء سقيفة الخزن من الخلف إلى الأمام. وفي وقت استرجاع الحاويات، يمكن أن يسمح الممر أو الباب الخلفي باسترجاع الحاويات القديمة أولاً. وخلاف ذلك، يجب على المرء أن يفرغ السقيفة بأكملها للوصول إلى الحاويات القديمة.

ولوحظ تراكم الغبار داخل مرفق الخزن مما قد يعقد الوصول إلى العبوات ويتطلب عمليات تنظيف قد تكون مكلفة من ناحية الوقاية من الإشعاعات.

الرصد البيئي

على الرغم من الجهود المبذولة في أثناء التصميم والتشغيل لجعل الهياكل مانعة للتسرب ومقاومة للماء، فقد حدث تسرب للمياه. وتم بذل جهود كبيرة لتحديد مصدر المياه في هياكل الخزن. وهناك حاجة إلى برنامج شامل لرصد المياه الجوفية لتحديد الإطلاقات غير المتوقعة من النفايات المغلَّفة، على سبيل المثال، بالخرسانة. وفي حالات أخرى، كانت هناك أدلة على أن مرافق الخزن تعمل بشكل جيد بعد عدة عقود.

١٠- التكييف

التكييف، وفقاً لمسرد مصطلحات الأمان الصادر عن الوكالة [١]، هو "العمليات التي تنتج عبوات نفايات ملائمة للمناولة والنقل والخزن و/أو التخلص. ويمكن أن يشمل التكييف تحويل النفايات إلى شكل نفايات صلب، وتطويق النفايات في حاويات، وإذا اقتضى الأمر توفير عبوة مجمِّعة."

يضمن تكييف المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة احتواء المواد المشعَّة، ويوفر مزيداً من الحصر للمصادر المختومة المُسَرّبة، ويوفر تدريعاً كافياً من الإشعاع، ويقلل من حجم الخزن/التخلص من خلال السماح بدمج مصادر متعددة في حاوية خزن/تخلص واحدة، ويسهل عمليات النقل ويساهم في الأمان والأمن كذلك.

وتعتمد قدرة المنظمة على تكييف المصادر المهمَلة، جزئياً، على بارامترات المصادر المختومة، ونقطة النهاية؛ وعملية التكييف المعتمدة والموارد والمواد المتاحة.

١٠-١- تأثير متطلبات قبول العبوات

قد ينتج عن التكييف الأمثل للمصدر المهمَل عبوة تلبي جميع متطلبات النقل والإعادة إلى بلد المنشأ و/أو الخزن و/أو التخلص، مما يسمح بالتعامل مع المصادر المهمَلة مرة واحدة. وقد تتداخل هذه المتطلبات أو قد تختلف أو قد لا تكون موجودة. وعلى أي حال، يجب أن يتأكد القائم على تكييف المصدر من أن العبوات التي تحتوي على المصادر متوافقة تماماً مع أفضل الممارسات الهندسية وخبرات الدولة العضو. ويجب استشارة الهيئة الرقابية والمنظمات المشغلة لخدمات النقل ومرافق الخزن والتخلص أو تخطط لذلك عند تحديد أنواع التكييف الضرورية.

وتتناول معايير قبول النفايات النموذجية مجموعة واسعة من البارامترات الفيزيائية والكيميائية والإشعاعية الضرورية للأداء الآمن والفعال لعبوة النفايات. وترِد بعض الاعتبارات الخاصة بمعايير قبول النفايات لخزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في القسم ٩ وللتخلص منها في القسم ١٢. وتضع لائحة النقل الصادرة عن الوكالة [٤٧] مجموعة من المعايير المتداخلة بشأن عبوات النفايات، التي يتم نقلها من الإنتاج أو الاستخدام إلى مرفق خزن و/أو من الخزن إلى مرفق التخلص. وتشمل هذه المعايير معدل الجرعة السطحية، وحدود تلوث السطح، والوزن، والحجم، والنشاط الكلي، ومتطلبات السلامة الهيكلية. ونظراً لأن بعض العبوات لها عمر تصميم محدود خارج مرفق التخلص، تعتبر معايير قبول النفايات مهمة في توفير ضمان أنه، بعد الخزن، لا يزال من الممكن استرجاع عبوة النفايات ونقلها بأمان.

وفي ظل ظروف الخزن انتظاراً لإجراء التخلص، يُتطلب الحفاظ على السلامة المادية والكيميائية لعبوة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. وقد تكون هناك حاجة إلى إزالة المصادر المهمَلة من حاويات الشحن/الخزن الأصلية الخاصة بها وإعادة تكييفها وإعادة تعبئتها لتتوافق مع متطلبات قبول النفايات لمرفق خزن طويل الأجل. ويمكن لمُشغِّل مرفق الخزن رفض قبول العبوات التي لا تتوافق مع معايير قبول النفايات وفقاً لترخيص المُشغِّل. وحالياً، في معظم البلدان، يتم تطوير عبوات النفايات للمصادر المهمَلة فقط للخزن نظراً لعدم توافر مرفق تخلص لكي يتم استخدامه.

وبالإضافة إلى معايير قبول النفايات لمرافق الخزن والتخلص، فإن إمكانية إعادة التدوير/إعادة الاستخدام، وإعادة المصادر إلى بلدان المنشأ قد تؤدي إلى متطلبات للتعبئة والاعتماد أيضاً. ويجب أن تضمن الدول الأعضاء التي تضطلع بتكييف نشط للمصادر من أجل الخزن مع أو دون وجود مسار محدد للتخلص حالياً أن أي إجراءات يتم اتخاذها في عملية التكييف قابلة للعدول عنها، حسب الحاجة، للامتثال لمتطلبات التعبئة المستقبلية. وبالنسبة للمصادر المراد إعادتها إلى بلد المنشأ، قد تبدو متطلبات الدولة العضو المستقبلة مفرطة التقييد أو معقدة، ومع ذلك، فإن الامتثال لهذه المتطلبات ضروري للإعادة إلى بلد المنشأ.

١٠-٢- مواصفات عبوات النفايات

مواصفات عبوات النفايات هي مجموعة من البارامترات الكمية التي يجب الوفاء بها في إنتاج عبوة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة قبل الخزن أو التخلص [٦٤]. وتهدف هذه المواصفات إلى التحكم في الخصائص الإشعاعية والفيزيائية والكيميائية للعبوة التي سيتم إنتاجها أو معالجتها أو قبولها من مؤسسة أخرى. وتؤكد مواصفات النفايات عادةً على أداء عبوات النفايات، أو

التحكم في عمليات مرفق التشغيل، ويمكن استخدامها كوسيلة تعاقدية للتحكم في عمليات التكييف المتعاقد عليها من الباطن. ويجب أن تكون مواصفات عبوات النفايات، مثل معايير قبول النفايات، مدركة للبارامترات المقصودة لمرفق الخزن/التخلص ولوائح النقل، وتشتمل على البارامترات ذات الصلة بمعايير قبول النفايات، أو بدلاً من معايير قبول النفايات، إذا لم يكن قد تم وضعها.

وفي حين أن معايير قبول النفايات بشكل عام خاصة بالمرفق أو الموقع وقد تتضمن العديد من أنواع العبوات المختلفة، فإن مواصفات عبوات النفايات محددة لنوع معين من العبوات، وتستخدم لتحديد خصائص وسمات عبوة النفايات. ويجب أن تكون مواصفات عبوة النفايات النهائية متسقة مع القيم المستخدمة في تقييمات الأمان للأنشطة، وخاصة التقييمات التي تشمل الخزن والتخلص الممتد.

ومن نقاط الضعف المحتملة في تكييف وخزن المصادر المهمَلة الحفاظ على المعلومات الخاصة بالمواد المشعَّة المكيفة. ولذلك، من المهم تضمين جميع المعلومات ذات الصلة خارج العبوة وداخلها، باستخدام مواد متينة مناسبة (الفولاذ غير القابل للصدأ أو الألومنيوم أو النحاس، مع بيانات مثقوبة أو محفورة). ومن الضروري ربط رقم تعريف فريد بالسجلات المؤرشفة وعبوة النفايات.

ويجب أن تظهر المعلومات التالية على الملصقات:

حاوية التغليف:	رقم التعريف الفريد النظير النشاط تاريخ التحميل
المبيت المؤقت (إذا توقفت العملية)	رقم التعريف الفريد الملصقات والتحذيرات الإشعاعية المعتمدة النظائر والنشاط الكلي
عبوة النفايات	رقم التعريف الفريد الملصقات والتحذيرات الإشعاعية المعتمدة النظائر والنشاط تاريخ التكييف معدل الجرعة (على السطح وعلى بعد متر واحد)

ويعمل تكييف المصادر ذات النويدة الواحدة في كل حاوية على تبسيط السجلات ويسمح بخطوات أسهل للتصرف فيما بعد.

١٠-٣- متطلبات التصميم الخاصة بمرافق التكييف

تختلف متطلبات مرافق التكييف وفقاً لحجم وخصائص المصادر مثل طبيعة النويدات المشعَّة والنشاط والتركيب الكيميائي والشكل الفيزيائي للمصدر ووزنه وأبعاده.

ويمكن أن تكون محطات التكييف قائمة بذاتها أو مرافق متنقلة وقد تكون مجاورة لمرافق الخزن لتقليل الحاجة إلى نقل العبوات بين المواقع للتكييف والخزن. وفي كلتا الحالتين يجب أن تكون موجودة في مناطق إشعاعية محددة بشكل مناسب.

ويجب أن تتمتع المرافق الخاصة بتكييف المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة بالقدرات التقنية الكافية لتكييف المصادر المختلفة مع مراعاة أوجه عدم التيقن بشأن توافر مرافق التخلص. وقد تشمل هذه القدرات المعدات اللازمة لتحديد خصائص المصادر المهمَلة (كاشفات الإشعاع، والعدادات وأجهزة قياس الطيف) وتفكيك الأجهزة وغيرها من الهياكل ذات الصلة مثل الخلايا الساخنة. وإذا كان نشاط المصادر المهمَلة منخفضاً بدرجة كافية، فيمكن إجراء التعامل المأمون في صندوق مغلق أو خزانة الأبخرة باستخدام أدوات التدريع والأدوات المناسبة (انظر القسم ٨-٢).

وعند تصميم مرفق التكييف، يجب مراعاة الحاجة إلى:

(أ) الوقاية من التعرض للإشعاعات (من خلال التدريع والاحتواء)؛

(ب) التحكم في الوصول إلى مناطق تكييف وخزن المصادر والتحكم في الحركة بين مناطق الإشعاع ومناطق التلوث؛

(ج) استرجاع العبوات المخزنة؛

(د) مراقبة المخزون: أرشيف تصاميم المصادر والحاويات؛

(هـ) تفتيش عبوات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة؛

(و) التعامل مع عبوات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة التي لا تستوفي المواصفات؛

(ز) التحكم في الدوافق السائلة والغازية؛

(ح) تهوية وترشيح الانبعاثات العالقة في الهواء من المواد المشعَّة؛

(ط) أعمال الصيانة والإخراج النهائي من الخدمة؛

(ي) الوقاية من الحرائق ومنع الانفجارات؛

(ك) منع الحرجية ومراقبة الضمانات؛

(ل) ضوابط الأمن المادي.

١٠-٤- المتطلبات التشغيلية الخاصة بمرافق التكييف

تكييف المصادر المهمَلة هو نشاط يجب الحصول له على ترخيص تشغيل. ويتعين تقديم تقرير لتحليل الأمان كجزء من طلب الترخيص. ويحتاج ترخيص التشغيل إلى تحديد نطاق عملية التكييف، بالإضافة إلى أي متطلبات محددة يجب مراعاتها.

ويجب أن تكون الإجراءات التقنية التفصيلية مؤهلة مع التركيز على القدرة الواقعية داخل كل بلد. وتوفر هذه المؤهلات تأكيداً على أنه يمكن تلبية متطلبات القبول في أثناء تصميم وبناء المرفق، وتطوير الإجراءات التقنية وفي أثناء التكييف الفعلي.

ويجب معالجة الجوانب المتعلقة بالصحة والأمان في الإجراءات التشغيلية التي تتعامل مع تكييف المصادر. ومن المهم أن يتم التخطيط والإعداد والتوثيق لعملية التكييف بشكل صحيح. ويجب الإبقاء على مستويات التعرض والانبعاثات المشعَّة والتلوث أقل من الحدود المسموح بها. ويجب إجراء بعض العمليات، مثل التفكيك، والتغليف، واللحام المتحكم فيه عن بُعد، واختبار اللحام، واختبار تسرب المصدر، في مناطق محكومة مصممة لهذا الغرض (الخلايا الساخنة، والصناديق المغلقة، وما إلى ذلك). ويمكن وضع إجراءات بديلة، وفقاً للشروط السائدة، ولكنها يجب أن تتوافق مع نفس متطلبات الأمان. ويجب اختبار جميع الإجراءات والموافقة عليها قبل التنفيذ.

ويجب أن تظهر المصادر المكيفة والمهمَلة معدلات جرعة سطحية مقبولة لأغراض النقل والخزن. وإذا كانت منطقة أو مرفق التكييف يقع على مسافة من المخزن (كما هو الحال عادة)، فيجب أن يكون المرفق مجهزاً بالمعدات المناسبة للرفع والتحويل والنقل مع مراعاة متطلبات الأمان والصيانة.

١٠-٥- اختيار طريقة التكييف

١٠-٥-١- معايير الاختيار

هناك العديد من العوامل التقنية وغير التقنية التي تؤثر على اختيار طريقة التكييف [٥٢]. ويجب أن تؤخذ البارامترات التقنية التالية وبعض العوامل الأخرى في الاعتبار في أثناء التخطيط لعملية تكييف المصادر المهمَلة:

- خصائص المصدر (نوع الإشعاع المؤيّن، والنشاط، والعمر النصفي، والسمية الكيميائية)؛
- الشكل الكيميائي والفيزيائي للمادة المشعَّة؛
- عدد المصادر المهمَلة وحجمها المادي؛ والحالة المادية للمصادر؛
- الامتثال للوائح (مثل متطلبات القبول للخزن و/أو التخلص، والوقاية من الإشعاعات ومتطلبات الأمان)؛

— فترة الخزن وظروف الخزن وموقع الخزن/مرفق التخلص؛
— توليد الحرارة إما بسبب مادة المصدر و/أو طريقة التكييف؛
— تقنيات التكييف المجربة؛
— التكلفة والموارد (المعدات والقوى العاملة والمواد اللازمة للتكييف).

وستعتمد الأهمية النسبية للعوامل المذكورة أعلاه على الوضع الخاص في البلد.

١٠-٥-٢- اختيار مواد عبوات النفايات

يعد اختيار المواد المستخدمة للتكييف أمراً مهماً للغاية حيث يمكن أن تتعرض كبسولة المصدر للتلف الناتج عن الظروف البيئية الخارجية أو الهجوم الكيميائي أو المادي من الداخل والخارج. ويجب أن تأخذ عملية التكييف في الاعتبار المشاكل المحتملة المختلفة، وبالتالي تقليل إمكانية التسرب.

ويجب أن يكون هناك توافق بين المصدر المختوم وحاوياته. واعتماداً على خصائص المصدر وطريقة التعامل والنقل والخزن، قد تحتاج الحاوية أيضاً إلى توفير الوقاية من الإشعاع المباشر. وعند اختيار مواد الحاوية وغلافها السطحي الخارجي، يجب مراعاة سهولة إزالة التلوث. وإذا لم يتم تصميم الحاوية مبدئياً لتلبية معايير القبول ذات الصلة للنقل أو الخزن أو التخلص، فسيكون من الضروري وجود حاوية إضافية أو عبوة مجمَّعة للوفاء بمعايير القبول. يجب توخي الحذر للنظر في توافق عبوة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة والعبوة المجمَّعة فيما يتعلق بمعايير قبول النفايات.

ويمكن أن يؤدي التكييف غير المناسب إلى إطلاق المادة المشعَّة في البيئة من مصدر مهمَل في شكل:

— نواتج غازية (مثل الرادون)؛
— سوائل (المحاليل المائية، السوائل المرتشحة، وما إلى ذلك)؛
— جسيمات صلبة (المسحوق، والهباء الجوي، وما إلى ذلك).

ويتم اختيار مادة التغليف للتأكيد على إتاحة الاحتواء المناسب والفعال للمادة المشعَّة. وبالإضافة إلى ذلك، يجب أن تكون المواد الحاجزة المختارة متينة وقادرة على تحمل الضغوط الميكانيكية والتأثيرات البيئية الأخرى.

ولذلك، فإن اختيار المواد المناسبة لمثل هذه الحواجز يجب أن يأخذ في الاعتبار:

— القوة الميكانيكية؛
— تدهور المواد (يجب أن يتجاوز عمر الحاجز على الأقل فترة الخزن المتوقعة في منطقة الخزن أو الفترة الزمنية المثلى التي تغطيها خطة توكيد الجودة)؛
— التأثيرات الإشعاعية في المادة الحاجزة؛
— مقاومة التآكل والحريق؛
— عدم نفاذية الماء والرطوبة؛
— نواتج الاضمحلال المشعَّة، خاصة في شكلها الغازي؛
— أمن المصدر.

١٠-٦- طرق التكييف

تم وصف الاستراتيجية العامة للتصرف في المصادر المهمَلة في القسم ٦. وقد ذُكر أنه في حالة عدم وجود خيارات إعادة التدوير/إعادة الاستخدام أو العودة إلى المورد/جهة التصنيع وتوافر موقع للتخلص، يجب التخلص من المصادر المهمَلة وفقاً للمتطلبات المعمول بها كنفايات مشعَّة. وإذا لم يكن أي من الخيارات السابقة عملياً، فسيلزم خزن المصادر المهمَلة حتى يتوافر خيار التخلص المناسب. ويجب أن تكون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة مكيفة لإنتاج عبوة تتوافق مع متطلبات القبول ذات الصلة.

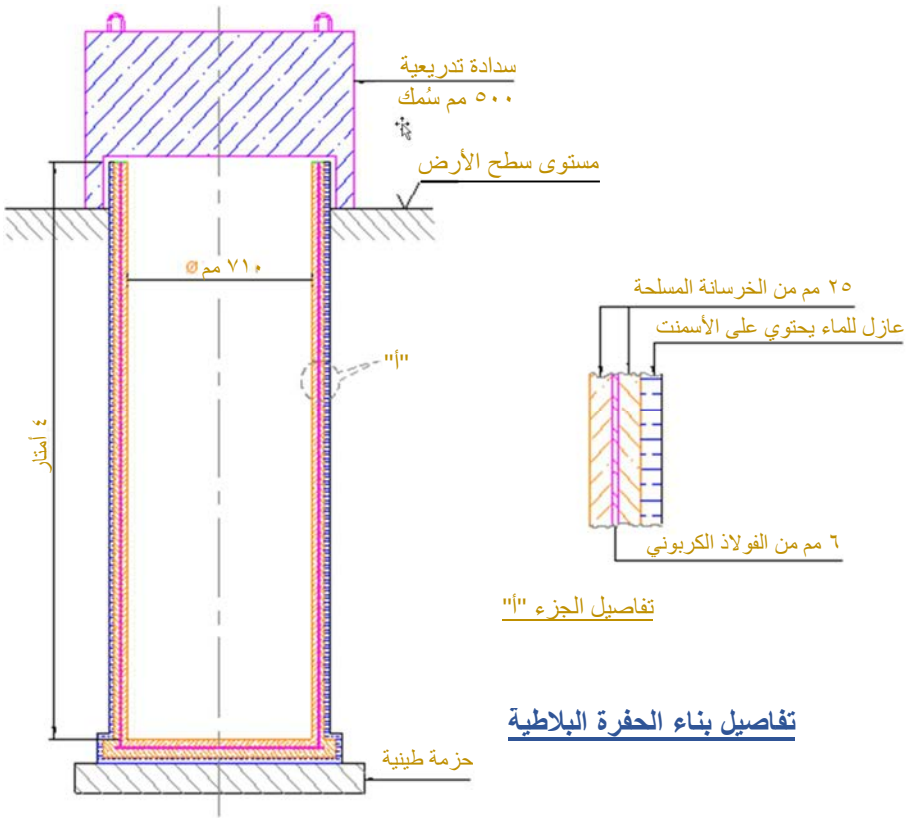
١٠-٦-١- المصادر المهمَلة ذات النويدات المشعَّة القصيرة العمر

في حالة الخزن في الآبار أو الأنابيب (انظر القسم ٩-٥-١)، تم إدخال المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ذات النويدات المشعَّة القصيرة العمر في درج من الفولاذ غير القابل للصدأ (القُطر ٣٧ مم، والطول ٥٠٠ مم)، والذي يحتوي على سدّادتين تدريعيتين مناسبتين في طرفيه. ثم يُغلق الدرج بنظام اللحام بالتنجستن في غاز خامل واختبار تسربه بطريقة اختبار الفقاعة. ولتحميل الدرج في أنابيب الخزن، تم استخدام حاوية نقل مدرَّعة للتحميل السفلي ويكون بالإمكان خفض الدرج ورفعه إلى وضع الخزن عن طريق المناولة عن بُعد. وقبل إجراء التحميل، يتم محاذاة حاوية النقل مع الأنبوب باستخدام درج وهمي (الشكل ٨١). ويتم الاحتفاظ بالمصادر في عدد من الحاويات الصغيرة الحجم نسبياً، مع وجود مصادر قليلة في كل حاوية. واسترجاع حاوية فردية أمر بسيط نسبياً.

الشكل ٨١- جزء دوار داخلي لحاوية تحميل/تفريغ من النوع B(U).

وعادة ما تكون حاوية واحدة قادرة على الاحتفاظ بدرجين أو ثلاثة أدراج نشطة ودرج واحد في جزء دوار. وميزة هذه الطريقة هي أنه يمكن استخدامها كدرج قياسي لأحجام مختلفة من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. ويعتمد نشاط أحد الأدراج على التدريع الذي توفره حاوية النقل. وصُممت المرافق من هذا النوع لكل من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المنخفضة النشاط والعالية النشاط.

وفي الهند، يتم وضع حاويات المصادر، المصممة للتخلص، في حفر بلاطية. والحفرة البلاطية عبارة عن حاوية أسطوانية من الصلب مبطنة بالخرسانة ذات سطح مفتوح ويبلغ عمقها حوالي ٤ أمتار. والسطح الخارجي مغطى بالخرسانة ومعالج بمادة مقاومة للماء. ويتم ملء الفراغ الموجود في الحفرة البلاطية بملاط الأسمنت. ويتم إغلاق الحفرة البلاطية في الأعلى بالخرسانة وبالتالي يتم تصبح مقاومة للماء. ويرد في الشكل ٨٢ رسم تخطيطي لحفرة بلاطية نموذجية.



الشكل ٨٢- رسم تخطيطي لحفرة بلاطية نموذجية.

١٠-٦-٢- المصادر المهمَلة ذات النويدات المشعَّة الطويلة العمر

النظائر المشعَّة الطويلة العمر الأكثر شيوعاً الموجودة في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة هي البلوتونيوم-٢٣٨، والبلوتونيوم-٢٣٩، والنبتونيوم-٢٣٧، والأميريشيوم-٢٤١، والراديوم-٢٢٦ (بواعث ألفا)، والكربون-١٤، والنيكل-٦٣ (بواعث بيتا). وكاشفات الدخان، وقضبان الصواعق وأجهزة إزالة الكهرباء الاستاتيكية هي أمثلة على النظائر المشعَّة الطويلة العمر الموجودة في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، والتي يمكن التعامل معها دون تدريع. ومن ناحية أخرى، تحتاج مصادر التشعيع الداخلي العاملة بالراديوم-٢٢٦ والسيزيوم-١٣٧ إلى حواجز من الرصاص ليتم التعامل معها بأمان.

١٠-٦-٢-١- *الراديوم والنظائر المشعَّة الأخرى الطويلة العمر الموجودة في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة*

هناك طريقة مؤكدة جيداً لتكييف مصادر التشعيع الداخلي بالراديوم (الأشكال ٨٣-٨٦) وغيرها من المصادر المهمَلة الطويلة العمر لأغراض الخزن، وهي تتضمن تغليفها في كبسولات (لتسهيل استرجاعها من الخزن للتخلص النهائي منها في مستودع جيولوجي)، ووضع الكبسولات الملحومة بالداخل في حاوية رصاصية لتدريعها (في حالة الخزن الطويل الأجل الذي يليه النقل)، ووضع الحاوية في برميل من الفولاذ الطري بسعة ٢٠٠ لتر مع بطانة خرسانية [١٦، و١٨]. وتستخدم الخرسانة بشكل أساسي للحماية المادية وأمن المصادر. وعادة ما يكون وزن هذه العبوات بحد أدنى حوالي ٣٥٠ كغ ويتطلب مناولتها ونقلها معدات ميكانيكية، مثل رافعة شوكية. ويوفر التكييف بهذه الطريقة حاجزاً ضد فقدان احتواء المواد المشعَّة وكذلك يمنع الإزالة غير المصرح بها للمصدر بسبب الحجم والوزن والطبيعة القوية للعبوة.

والكبسولة المستخدمة لتغليف المصادر الطويلة العمر عبارة عن أنبوب من الفولاذ غير القابل للصدأ بغطاء ملحوم بطرف واحد من الأنبوب (الشكل ٨٣). ويجب إعداد عدد من الكبسولات بهذه الطريقة مسبقاً لضمان توافر عدد كافٍ لتغليف جميع المصادر المتاحة. وبعد وضع المصدر داخل كبسولة الفولاذ غير القابل للصدأ، يتم لحام الغطاء الثاني بالطرف الآخر.

الشكل ٨٣- كبسولات نموذجية من الفولاذ غير القابل للصدأ.

الشكل ٨٤- تغليف مصادر الراديوم.

الشكل ٨٥- دروع من الرصاص للخزن الطويل الأجل.

الشكل ٨٦- عبوة الراديوم قبل الإغلاق.

وتم تطوير وتطبيق بعض الطرق المختلفة والمحددة قليلاً لتكييف الراديوم وغيره من المصادر الطويلة العمر في الاتحاد الروسي وفي بعض بلدان الاتحاد السوفياتي السابق وأوروبا الشرقية [٦٥].

ويجب تسجيل جميع المعلومات ذات الصلة بالمخزون المكيَّف – النظائر المشعَّة، وتاريخ التكييف، وعدد الكبسولات، والنشاط الإجمالي، وما إلى ذلك – بوسائل متعددة (مثل النسخ المطبوعة، والملفات الإلكترونية، والألواح المعدنية المنقوشة الملحقة بالعبوات) وحفظها لدى السلطة المختصة.

١٠-٦-٢-٢- كاشفات الدخان

تمثل كاشفات الدخان حالة خاصة في هذه الفئة، حيث يتم استثناء الوحدات الفردية غالباً من التحكم الرقابي، وبالتالي، يُسمح بالتخلص من المصادر الفردية في موقع الطمر العام. ومع ذلك، نظراً للعدد الكبير من هذه الأجهزة الموزعة داخل بلد ما والعمر

النصفي الطويل للمصادر، فقد أصبحت الممارسة المفضلة هي جمع المصادر وإزالتها (الشكل ٨٧) ودمج المصادر من أجل التكييف والخزن اللاحق الطويل الأجل [١٨].

ويمكن أن يكون خيار التكييف المناسب للمصادر المجمعة هو وضعها في علب من الفولاذ غير القابل للصدأ، ويتبع ذلك اللحام. وفي العديد من البلدان، يوجد حد تركيز قدره ٤٠٠٠ بكريل/غرام لبواعث ألفا في عبوات النفايات المشعَّة الفردية للتخلص منها في مستودعات قريبة من سطح الأرض [٦٦]. وفي حين أن لحام الفولاذ غير القابل للصدأ الفردي يمكن أن يكون طريقة مفضلة لتأخير أو إزالة احتمال انبعاث غاز الرادون أو نواتج أخرى من الحاوية المخزنة، قد تتطلب مرافق التخلص أو الخزن في المستقبل التحقق البصري من هوية كل مصدر قبل الشحن، وبالتالي يجب النظر في وسائل أخرى لإغلاق الحاوية الداخلية. وفي إحدى الدول الأعضاء، تمت تعبئة رقائق الأميريشيوم-٢٤١ التي أُزيلت من كاشفات الدخان في علب، على غرار علب الطلاء، التي يتم تحميلها بعد ذلك في برميل قياسي تبلغ سعته ٢٠٠ لتر للخزن حتى يحين التخلص.

الشكل ٨٧- مئات المصادر التي أزيلت من كاشفات الدخان.

١٠-٦-٢-٣- *قضبان الصواعق*

عادة ما تكون قضبان الصواعق ذات حجم كبير مع وجود مصدر صغير مختوم داخل الجهاز. ومن العملي تفكيك قضيب الصواعق وإخراج المصدر منه (الشكلان ٤١، و٨٨). ويعتمد إجراء التفكيك بشكل أساسي على مستوى التلوث لأجزاء مختلفة من الجهاز والجدوى التقنية لإزالة الأجزاء المشعَّة (رقائق أو أقراص) دون التسبب في نفايات ثانوية. ومن أجل تجنب تلوث البيئة، يتم نقل الكيس البلاستيكي المغلق بكل محتوياته (أجزاء من الجهاز، والمصادر، والمواد الاستهلاكية، وما إلى ذلك) إلى صندوق مغلق. ويتم فتح الحقيبة بعد إغلاق الصندوق المغلق.

الشكل ٨٨- ألواح الراديوم-٢٢٦ والأميريشيوم-٢٤١ المزالة من قضبان صواعق.

ويمكن لحام المصادر (رقائق أو شرائط أو أقراص خزفية) التي تمت إزالتها من جسم قضيب الصواعق في كبسولات غير قابلة للصدأ بالطريقة الموضحة أعلاه للراديوم.

١٠-٦-٣- المصادر النيوترونية

يتمثل الاختلاف الرئيسي في تكييف المصادر النيوترونية في الحاجة إلى الموهِنات التي تقلل معدلات الجرعات من النيوترونات بالإضافة إلى جرعة غاما. ومن الناحية العملية، يتم وضع المصادر النيوترونية، بما في ذلك الأميريشيوم-البريليوم والراديوم-البريليوم والبلوتونيوم-البريليوم بشكل نموذجي في كبسولات ذات شكل خاص، كما تم وصفه سابقاً، ثم يتم وضعها في عبوات أنبوبية مجمَّعة من النوع S100 أو النوع S300 الموصوفين أدناه. ومن المهم أن نتذكر أن المصادر النيوترونية لا تستخدم جميعها البريليوم كباعث نيوتروني. وعلى الرغم من أن البريليوم هو العنصر الأكثر شيوعاً المستخدم بالاقتران مع النويدة الباعثة لألفا، فقد تم استخدام عناصر أخرى مثل الليثيوم والبورون والفلور وغيرها. وتم استخدام الكاليفورنيوم-٢٥٢ أيضاً في المصادر النيوترونية. وهذه النويدة، التي تضمحل عن طريق الانشطار التلقائي، لديها معدل انبعاث نيوتروني أعلى بكثير من أي مصدر نيوتروني يستخدم تفاعلات ألفا-النيوترونات للانبعاث النيوتروني.

وبالنسبة للمصادر النيوترونية الموجودة في الأجهزة، يجب اتباع تعليمات جهة تصنيع الأجهزة أو المستخدم لإزالة المصدر النيوتروني. وإذا لم تكن التعليمات متوافرة، فيمكن حينئذٍ تعبئة الأجهزة لنقلها بشكل سليم أو تحديد طريقة للتجهيز، أو الحصول على إجراءات التفكيك. ولا ينبغي في أي حال من الأحوال إزالة المصادر من الأجهزة دون تعليمات أو إجراءات محددة من جهة تصنيع الأجهزة أو مصدر مطلع آخر.

ويمكن تكييف المصادر النيوترونية باستخدام النوع S-300 أو النوع S-100 لحاوية التغليف الأنبوبي المجمَّع. وهذه حاوية تخلص مقبولة في مرفق التخلص التشغيلي الذي يقبل المصادر النيوترونية، وهي معتمدة كذلك للاستخدام كحاوية نقل بموجب لائحة النقل الصادرة عن الوكالة.

وتستخدم حاوية التغليف الأنبوبي المجمَّع درعاً عالي الكثافة من البوليثيلين النيوتروني داخل أنبوب فولاذي مقاوم للصدأ، مما يقلل من معدلات مكافئ جرعة النيوترون الخارجية حسب نشاط كل وحدة في الحاوية. ويسمح هذا بتحميل الحاوية بمحتوى نشاط أعلى مع الحفاظ على الامتثال لقيود معدل الجرعة الخارجية لكل من التعبئة والتخلص. وهذه الحاوية متاحة تجارياً ولديها شهادة دولية كعبوة من النوع A.

وتتكون العبوة الأنبوبية المجمَّعة من النوع S-300 من مكون أنبوبي بقُطر ٣٠ سم يتم وضعه داخل أسطوانة سعتها ٢٠٠ لتر عن طريق حشو الألواح الليفية/الخشب الرقائقي ومواد التدريع الداخلي النيوترونية. ويبلغ الارتفاع الإجمالي لمكون الأنبوب ٧٠ سم وقُطره الخارجي ٣٢ سم. ويزن مكون الأنبوب المعبأ في الأسطوانة التي تبلغ سعتها ٢٠٠ لتر ١٩٥ كغ. ويتكون جسم مكون

الأنبوب والغطاء وشفة البرغي من الفولاذ غير القابل للصدأ. ويتطلب وجود مطاط من البوتيل أو الإيثيلين بروبيلين على شكل حلقة دائرية لإغلاق مكون الأنبوب.

وتتكون الحاوية من النوع S-100 (الشكل ٨٩) من مكون أنبوبي بقُطر ١٥ سم موضوع داخل أسطوانة سعتها ٢٠٠ لتر عن طريق مواد التدريع النيوتروني. ويبلغ الارتفاع الكلي لمكون الأنبوب ٧٠ سم وقُطره الخارجي ١٧ سم. ويزن مكون الأنبوب المعبأ في الأسطوانة التي تبلغ سعتها ٢٠٠ لتر ٢٢٠ كغ. ويتكون جسم مكون الأنبوب والغطاء وشفة البرغي من الفولاذ غير القابل للصدأ.

وتتاح تفاصيل الأداء أو المشتريات من وزارة الطاقة في الولايات المتحدة.

الشكل ٨٩- حاوية تغليف أنبوبي مجمَّع من النوع S100.

١٠-٦-٤- المصادر العالية النشاط المهمَلة

لا توجد خيارات كثيرة لتكييف المصادر المهمَلة العالية النشاط [١٦]. ويتطلب التعامل مع هذه المصادر وتكييفها خلايا ساخنة ومعالجات بُعادية/تابعة، وإزالة المصدر من الأجهزة أمر غير عملي.

١٠-٦-٤-١- إزالة حامل المصدر من المعدات

يعتبر هذا الخيار بمثابة تدبير مؤقت أو تدبير يتم اتخاذه فقط في ظروف خاصة. وعلى سبيل المثال، إذا لم يكن هناك مرفق مدرَّع متاحاً لإزالة المصادر من حامل المصدر، وكان حامل المصدر كبيراً جداً بحيث لا يمكن وضعه في حاوية مناسبة، فقد لا يكون هناك بديل آخر سوى اللجوء إلى هذا الخيار. وفي هذه الحالة، يقتصر التكييف على إزالة حامل المصدر (رأس المعالجة البُعادية، وجهاز تشعيع البحث، وما إلى ذلك) من الجهاز متبوعاً بنقله إلى مرفق الخزن. وتم تكييف العديد من رؤوس المعالجة البُعادية وأجهزة التشعيع البحثية، بسبب خصائص البناء والمصدر بهذه الطريقة. ويجب وضع علامات على جميع الأجهزة/حاملات المصدر، ووسمها، والتحكم فيها لضمان الخزن المأمون والآمن.

١٠-٦-٤-٢- تغليف حامل المصدر في حاوية الخزن

يعد استخدام البراميل المبطنة بالخرسانة، أو الصناديق الفولاذية أو الخرسانية لتكييف مصادر النشاط العالي في حاملات المصادر، ممارسة شائعة. ويمكن وضع حامل المصدر في حاوية قياسية (الشكل ٩٠). وعادةً، يتم وضع أسطوانة بسعة ١٠٠ لتر

داخل أسطوانة بسعة ٢٠٠ لتر باستخدام الخرسانة، أو بالنسبة للعناصر الأكبر حجماً، يمكن تثبيت براميل بسعة ٢٠٠ لتر في عبوات مجمَّعة. وتتمتع الصناديق الخرسانية أو الفولاذية بميزة على البراميل، بمعنى أنه يمكن رصها بسهولة أكبر، ولها حجم وحمل أكبر بكثير (الشكل ٩١).

الشكل ٩٠- رأس معالجة بُعادية قبل تكييفه داخل أسطوانة معدنية.

الشكل ٩١- وحدات المعالجة البُعادية قبل وبعد تكييفها داخل الصناديق المعدنية.

ومن أجل ضمان إمكانية استرجاع حامل المصدر لإعادة التكييف والتخلص في المستقبل، يتم وضع حامل المصدر في "فجوة" داخل الحاوية، ولكن لا يتم دفنه في الخرسانة الصلبة. وتوفر هذه الطريقة تدريعاً كافياً، وتحافظ على وزن العبوة، وتقلل من احتمالية الإزالة دون تصريح، ومع ذلك تسمح بإزالة حامل المصدر دون الحاجة إلى تقطيع الخرسانة المصبوبة عند توافر مسارات إضافية للتخلص.

١٠-٦-٤-٣- تغليف المصدر المزال من حامله

يمكن إزالة المصدر من حامل المصدر ووضعه في حاوية مناسبة. وتتم إزالة المصدر من حامله في خلية ساخنة مجهزة بشكل صحيح (على سبيل المثال مع المعالجات الرئيسية). وستعمل عملية التفكيك على تقليل الحجم للخزن والتخلص اللاحق. وهذا خيار مفيد إذا كان مخزون المصادر كبيراً. ويتم تحديد تصميم حاوية الخزن حسب خصائص المصدر ومتطلبات النقل. ويجب تزويد الخلية الساخنة بباب مدرَّع كبير بما يكفي للسماح بإدخال حاوية خزن مدرَّعة في الخلية. ويجب فحص الخلية الساخنة بحثاً عن التلوث قبل إدخال المصدر. ويتطلب وجود معدات الرفع في الخلية الساخنة، على وجه الخصوص، لتفكيك حاملات المصدر القديمة، حيث لم يكن من المفترض إزالة المصدر.

ويجب فحص حامل المصدر الفارغ بحثاً عن أي تلوث، وإذا كان نظيفاً، فيمكن إعادة استخدامه أو إعادة تدويره أو التخلص منه. وإذا كان حامل المصدر ملوثاً، فيجب تطهيره للوصول إلى مستويات مقبولة. ويجب إيلاء اعتبار خاص، إذا كان حامل المصدر مصنوعاً من اليورانيوم المستنفد.

ويمكن تصميم حاوية خزن مدرَّعة لاستيعاب عدد من المصادر المهمَلة. وعندما تكون الحاوية ممتلئة، يمكن وضعها في أسطوانة مبطنة بالخرسانة، مماثلة لتلك الموجودة في خيار التغليف الموضح أعلاه، لتوفير بعض التدريع الإضافي. وبدلاً من ذلك، يمكن تصميم حاوية خزن غير مدرَّعة لاستيعاب عدد من المصادر، والتي يمكن وضعها في خزن مدرَّع (على سبيل المثال، مخزن من نوع الآبار).

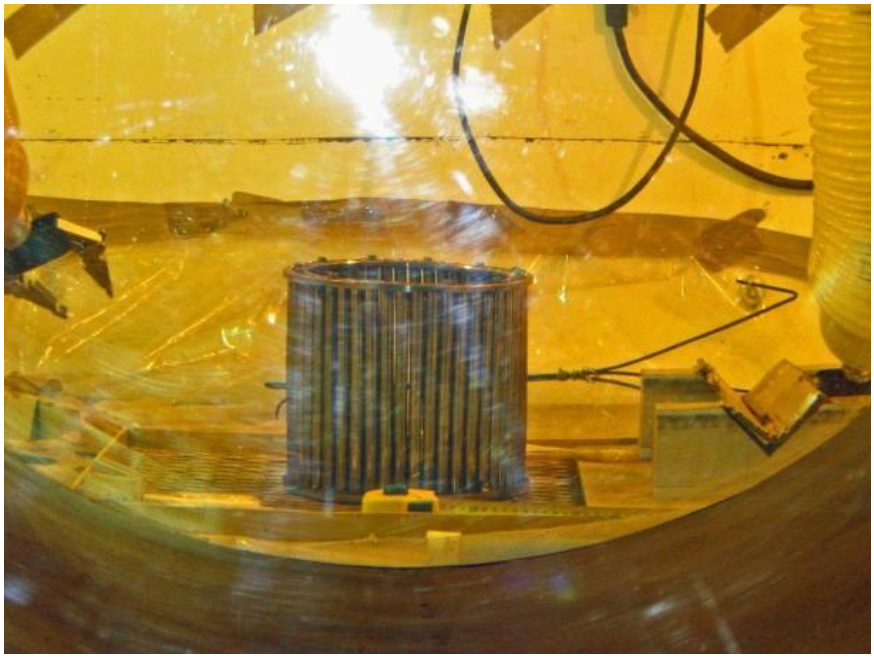
ويجب تأمين جميع المصادر العالية النشاط الموضوعة في الخزن، بغض النظر عما إذا كانت في تكوينات مدرَّعة أو غير مدرَّعة، لمنع المتطفلين من إزالة المصادر من الحاويات أو إزالة الحاوية بأكملها من موقع الخزن المدرَّع.

١٠-٧- مرفق الخلية الساخنة المتنقل التابع للوكالة

طورت الوكالة وتتعهد مرفق خلية ساخنة متنقل (الأشكال ٩٢-٩٤) لاستخدامه في تكييف المصادر المختومة العالية النشاط المهمَلة. ومنذ عام ٢٠٠٤، تساعد الوكالةُ الدولَ الأعضاء في كل من أفريقيا وأمريكا اللاتينية في إزالة المصادر من رؤوس المعالجة الطبية البُعادية، وأجهزة التشعيع، وفي إزالة المصادر المعزولة من التكوينات المدرَّعة المتنوعة.

وتتضمن قدرات التصميم نقل المصادر إلى حاوية خزن مدرَّعة أو إلى حاويات نقل، حسب الاقتضاء، لنقل مخزون المصدر إلى الخزن الوطني أو الإعادة إلى بلد المنشأ أو التخلص منه. ويتم نقل مرفق الخلية الساخنة في حاويتين من متوافقتين مع المعايير الصادرة عن المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس، ويتضمن جميع الأدوات والمعدات والمواد المتوقعة لمهمة الاسترجاع، والتي تتطلب فقط إضافة القوى والعمالة المحلية والرمل من المصادر المحلية للتدريع.

الشكل ٩٢- الخلية الساخنة المتنقلة التابعة للوكالة – مجمعة بالكامل وجاهزة للاستخدام.



الشكل ٩٣- سلة المصدر من جهاز تشعيع بحثي معروضة من خلال نافذة مرفق الخلية الساخنة المتنقل التابع للوكالة.

الشكل ٩٤- درع الخزن الطويل الأجل الملحق بالكامل بمنفذ النقل في مرفق الخلية الساخنة المتنقل التابع للوكالة.

ويقتصر استخدام هذه الإمكانية، بسبب الوقت والعمالة والنفقات، على التطبيقات في المواقع التي توجد بها العديد من المصادر العالية النشاط، ولا توجد إمكانات مناسبة للتعامل عن بُعد، وتكون هناك محدودية في توافر مرافق الخزن الآمن أو أنها غير متوافرة أصلاً. وبمجرد اختيار الطريقة المثلى لتكييف مخزون معين، تبرم الوكالة عقوداً مع الدولة العضو والمقاول التشغيلي لتخطيط وتنفيذ عمليات التكييف. وينقل المقاول بعد ذلك مرفق الخلية الساخنة والحاويات المناسبة إلى الموقع الذي تحدده الدولة العضو، ويسافر إلى الموقع ويجمِّع مرفق الخلية الساخنة باستخدام العمالة والمواد المحلية قدر الإمكان، والمصادر المكيفة من الأجهزة المجمعة في موقع العمل. وعند الانتهاء من المهمة، ستكون الدولة العضو على النحو الأمثل بلا مصادر، ولكن في الواقع، من

المرجح أن تتحمل الدولة العضو مسؤولية خزن حاوية الخزن الطويل الأجل في المخزن الوطني الذي يحتوي على مخزون المصادر المتبقية التي لا يمكن نقلها للتخلص منها على المدى الطويل من خلال التخلص منها أو إعادتها إلى بلد المنشأ.

ويشبه درع الخزن الطويل الأجل من حيث المفهوم العديد من "قوارير النقل" المستخدمة في دوائر الصناعة لنقل مصادر جديدة للتزود بالوقود لرؤوس المعالجة البُعادية. ولديه القدرة على استقبال أربعة أدراج للمصادر الفردية، يمكن أن يحتوي كل منها على مصادر متعددة من رؤوس المعالجة البُعادية أو أجهزة التشعيع. وافترض التصميم الأولي وتحليل الأمان أن تكون سعة الدرع المذكور ٣٧٠ غيغابكريل (١٠ ٠٠٠ كوري) من الكوبالت-٦٠. ويمكن استخدامه كقارورة نقل، لخزن المصادر، أو يمكن نقله في عبوة مجمَّعة معتمدة تفي بمتطلبات العبوة من النوع B.

وتواصل الوكالة جهودها، بالتعاون مع الدول الأعضاء، للاستمرار في تطوير إمكانات النقل لدرع الخزن الطويل الأجل من أجل التصديق على الحاوية من النوع B لنقل الدرع.

١٠-٨- الدروس المستفادة

١٠-٨-١- المصادر القصيرة العمر

في الماضي، كان يتم استخدام تضمين المصادر في الخرسانة، أي تغليف المصدر في عبوة من النوع A [١٥]. ويوضع المصدر في التدريع الخاص به في وسط برميل من الصلب الطري بسعة ٢٠٠ لتر مع بطانة خرسانية وقضبان ملحومة ومليئة بملاط أسمنتي ويغلق بغطاء. وفي الوقت الحاضر، لا تعتبر هذه الطريقة عملية ولا اقتصادية. وفي حالة عدم وجود مسار للتخلص وعدم توافر معايير قبول النفايات للتخلص، قد يحتاج المصدر إلى إعادة التكييف المرتبط بضرورة استرجاع المصدر من الخرسانة. وستكون هذه العملية مكلفة وغير مأمونة. وإذا كانت متطلبات التخلص المستقبلية ستسمح بالتخلص من العبوة كما هي، فسيؤدي ذلك إلى ارتفاع تكلفة التخلص مع مراعاة حجم ووزن العبوات. ومن ثم، فإن توافر المعلومات الأصلية عن المصدر المكيَّف وكذلك الإجراءات التقنية المستخدمة في عملية التكييف أمر مهم للغاية. وهناك اتجاه واضح في التكييف لاستخدام طرق تتسم بقابلية العدول عنها بقدر كونها عملية.

١٠-٨-٢- المصادر الطويلة العمر

يشمل تكييف الراديوم والأميريشيوم، والأميريشيوم-البريليوم، والراديوم-البريليوم والمصادر الأخرى الطويلة العمر المهمَلة من أجل الخزن مراحل لتغليفها في كبسولات من الفولاذ غير القابل للصدأ. وتوفر هذه الطريقة حجماً صغيراً من المصادر المغلفة وتسهل استرجاع هذه الكبسولات من العبوات للتخلص النهائي منها في مستودعات جيولوجية عميقة. وفي حالة مصادر الراديوم، يجب إثبات أن التغليف خضع لاختبار التسرب. ويرد وصف لطرق اختبار التسرب المناسبة في المعيار ISO 9978 الصادر عن المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس [٢٢]. واختبار الفقاعات الفراغية هو الطريقة المفضلة.

وفي الماضي، استخدمت بعض جهات التصنيع أمبولات من الزجاج أو الكوارتز لتغليف الراديوم [١٨]. واحتمال تسرب غاز الرادون من هذه الأمبولة أعلى مما هو عليه في حالة كبسولات الفولاذ غير القابل للصدأ الملحومة. ويعد التغليف الإضافي لهذه الأمبولات في حاويات فولاذية أو نحاسية ضرورياً لتقليل هذا الخطر وحماية الأمبولات من الضغوط الميكانيكية والتأثيرات البيئية الأخرى.

ولتكييف المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الأخرى الطويلة العمر مثل الراديوم-٢٢٦-البريليوم، والأميريشيوم-٢٤١-البريليوم، والكاليفورنيوم-٢٥٢ التي تنبعث منها إشعاعات نيوترونية، يجب تضمين المواد الهيدروجينية (مثل البوليثيلين العالي الكثافة، والشمع) في تصميم التدريع للعبوة المعدة للخزن.

١٠-٨-٣- المصادر العالية النشاط

تتطلب العمليات المتعلقة بإزالة مصدر عالي النشاط (الفئتان ١ و٢) من حامله، ووضعه في حاوية أخرى وبعض العمليات الأخرى المطلوبة في أثناء تكييف المصادر العالية النشاط، خلية ساخنة وموظفين مؤهلين للغاية. والافتقار إلى الحاويات المعتمدة والخلايا الساخنة والقوى العاملة يجعل تكييف هذه المصادر صعباً أو مستحيلاً في العديد من الدول الأعضاء التي لديها تطبيقات

نووية محدودة. ومن الناحية العملية، لا يوجد بلد تقريباً يتصرف في مصادر عالية النشاط بسبب عدم وجود مستودع جيولوجي. وهذا يعني أن تكييف مثل هذه المصادر يقتصر على إعداد المصادر للخزن الطويل الأجل فقط [١٧].

وفي ظل هذه الظروف، سيكون الحل الممكن فقط لهذه المشاكل هو تلقي المساعدة الدولية، على سبيل المثال من الوكالة التي تقدم خدمات لتكييف مصادر العالية النشاط وإعادتها إلى بلد المنشأ (انظر القسم ١٠-٧).

وتم تطوير تقنية تكييف خاصة في الموقع في الاتحاد الروسي لتحسين أمان الخزن الطويل الأجل للمصادر العالية النشاط المكشوفة التي تم إزالتها من الأجهزة ونقلها إلى حاويات من الفولاذ غير القابل للصدأ مخزنة في حفر تنقيب ضحلة في مستودعات لنوع الرادون. وتتضمن هذه التقنية الملء التدريجي لوعاء الخزن بسبيكة معدنية ذات نقطة انصهار منخفضة [٦٧].

١١- النقل

تعتمد الطريقة، التي يتم من خلالها نقل مصدر مهمَل من مباني المستخدم إلى مرفق الخزن/التخلص المركزي أو الإقليمي، من بين عوامل أخرى، على الحالة المادية ونوع ونشاط المصدر ونوع الجهاز وتوافر العبوات المناسبة للنقل، وقدرة المرفق المستقبِل على المناولة ومتطلبات التكييف والخزن.

١١-١- لوائح النقل

يجب أن يتم نقل أي مادة مشعَّة على الطرق العامة وفقاً للوائح النقل الوطنية المعمول بها. وتلتزم الدول الأعضاء عادة بلائحة النقل الصادرة عن الوكالة [٤٧]. ويتم استشارة الهيئة الرقابية قبل النقل الفعلي للمصادر. وإذا لم تكن هناك سلطة قائمة تتمتع بالخبرة الكافية المتاحة في البلد، فيمكن التماس المساعدة من الوكالة.

وإذا كان المصدر يحتوي على نشاط بقيمة أقل من القيمتين A_1 أو A_2، على النحو المنصوص عليه في لائحة النقل الصادرة عن الوكالة [٤٧]، فيمكن نقله في عبوات النقل من النوع A. وقد تكون العبوة من النوع A عبارة عن صندوق أو برميل أو وعاء مشابه، أو حتى صهريجاً أو حاوية بضائع أو حاوية وسيطة للسوائب تحتوي على نشاط تصل قيمته إلى القيمة A_2 أو إلى القيمة A_1، إذا كانت المحتويات تفي بالتعريف التقني لـ "المادة المشعَّة ذات الشكل الخاص":

"تعني المادة المشعَّة ذات الشكل الخاص إما مادة مشعَّة صلبة غير قابلة للتشتت أو كبسولة مختومة تحتوي على مادة مشعَّة".

وبالنسبة لـ "المادة المشعَّة ذات الشكل الخاص"، تنطبق عليها القيمة A_1 (أو القيمة A_2 إذا لم تكن ذات شكل خاص)، على سبيل المثال، بالنسبة لبعض النظائر النموذجية، هذه القيم هي كما يلي[٨]:

- الكوبالت (الكوبالت-٦٠): A1 = A2 = ٠,٤ تيرابكريل (~ ١١ كوري)؛
- السيزيوم (السيزيوم-١٣٧)[٩]: A1 = ٢ تيرابكريل (~ ٥٤ كوري)، A2 = ٠,٦ تيرابكريل (~ ١٦ كوري)؛
- الإيريديوم (الإيريديوم-١٩٢): A1 = ١ تيرابكريل (~ ٢٧ كوري)، A2 = ٠,٥ تيرابكريل (~ ١٤ كوري)؛
- السترونشيوم (السترونشيوم-٩٠): A1 = ٠,٢ تيرابكريل (~ ٥,٦ كوري)، A2 = ٠,١ تيرابكريل (~ ٢,٧ كوري)؛
- الأميريشيوم (الأميريشيوم-٢٤١): A1 = ١٠ تيرابكريل (~ ٢٧٠ كوري)، A2 = ١ × ١٠$^{-٣}$ تيرابكريل (~ ٢,٧ × ١٠$^{-٢}$ كوري)؛
- الكاليفورنيوم (الكاليفورنيوم-٢٥٢): A1 = ٠,٠٥ تيرابكريل (~ ١,٤ كوري)، A2 = ٣ × ١٠$^{-٣}$ تيرابكريل (~ ٨ × ١٠$^{-٢}$ كوري).

ومن المتوقع أن تفي العديد من المصادر بمتطلبات التصنيف على أنها "مادة مشعَّة ذات شكل خاص"، خاصة المصادر المصنعة وفقاً للمعايير الحالية. وهي تشمل حدود الأبعاد واختبار الصدم واختبار الطرق واختبار الثني واختبار الحرارة. وبالإضافة إلى السمات التقنية، فإن "المادة المشعَّة ذات الشكل الخاص" هي فئة قانونية تؤثر على اختيار خيار النقل. ويمكن اعتبار أن المصدر "مادة مشعَّة ذات شكل خاص" فقط في حالة توافر "شهادة المادة المشعَّة ذات الشكل الخاص".

وإذا كان مقدار النشاط في العبوة يتجاوز القيمة A_1 أو القيمة A_2، يلزم وجود عبوة من النوع B. وللحصول على المواصفات التفصيلية للاختبارات والمعايير الأخرى لعبوة النقل من النوع A أو النوع B، يمكن الرجوع إلى لائحة النقل الصادرة عن الوكالة [٤٧].

ويجب أن تكون العبوات من النوع A والنوع B متينة وموسومة بوضوح من الخارج وعليها ملصق الفئة المناسب. وتوضع ملصقات الفئات (بما في ذلك رمز الإشعاع المؤيّن) على وجهين متقابلين من العبوة وتكون مرئية وواضحة من أي عوائق (الشكل ٥٩). ويجب أن تكون علامات التحذير الموجودة على علامات وملصقات النقل باللغة التي تقتضيها لائحة النقل الوطنية، حسب الاقتضاء. وتُلصق على الشاحنات البرية، وكذلك حاويات البضائع الكبيرة، علامات تحذير مناسبة، مثبتة على كل جدار جانبي وكل جدار طرفي (الشكل ٩٥):

---

[٨] القيم بوحدة الكوري تقريبية ونوردها هنا لمن هم أكثر اعتياداً عليها.

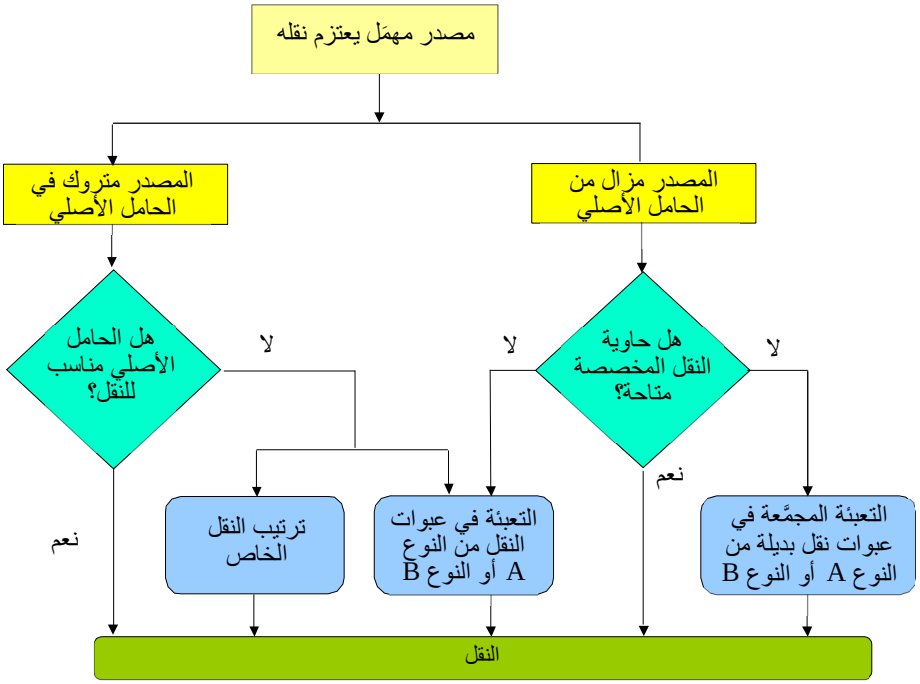
[٩] تتضمن القيمتان A1 وA2 مساهمة من النويدات الوليدة التي يكون عمرها النصفي أقل من ١٠ أيام..

"يُحظر نقل المصادر المهمَلة التي لا يمكن عملياً الامتثال بشأنها للأحكام الأخرى التي تنص عليها هذه اللائحة إلاّ بموجب *ترتيبات خاصة*. ويجوز للسلطة المختصة *أن تعتمد عمليات تتم بموجب ترتيب خاص لنقل شحنة واحدة أو سلسلة مزمعة من الشحنات المتعددة*، شريطة أن تقتنع السلطة المختصة بعدم إمكانية الامتثال عملياً للأحكام الأخرى المنصوص عليها في هذه اللائحة، وأن يتم إثبات استيفاء معايير الأمان الضرورية التي حددتها هذه اللائحة من خلال وسائل بديلة للأحكام الأخرى. ويُراعى أن يكون مستوى أمان النقل بوجه عام مساوياً على الأقل للمستوى الذي يتوفر في حالة الوفاء بجميع المتطلبات المنطبقة. ويُشترط الحصول على موافقة متعددة الأطراف بالنسبة للشحنات من هذا النوع." [٤٧].

الشكل ٩٥- وضع الملصقات على المركبات المستخدمة في نقل المصادر المشعَّة المختومة.

١١-٢- خيارات النقل

هناك خياران ممكنان لنقل المصادر المهمَلة، وهما نقل المصدر في حامل المصدر الأصلي ونقله بعد إزالة حامل المصدر (الشكل ٩٦).



الشكل ٩٦- الخياران الممكنان لنقل المصادر المختومة المهمَلة.

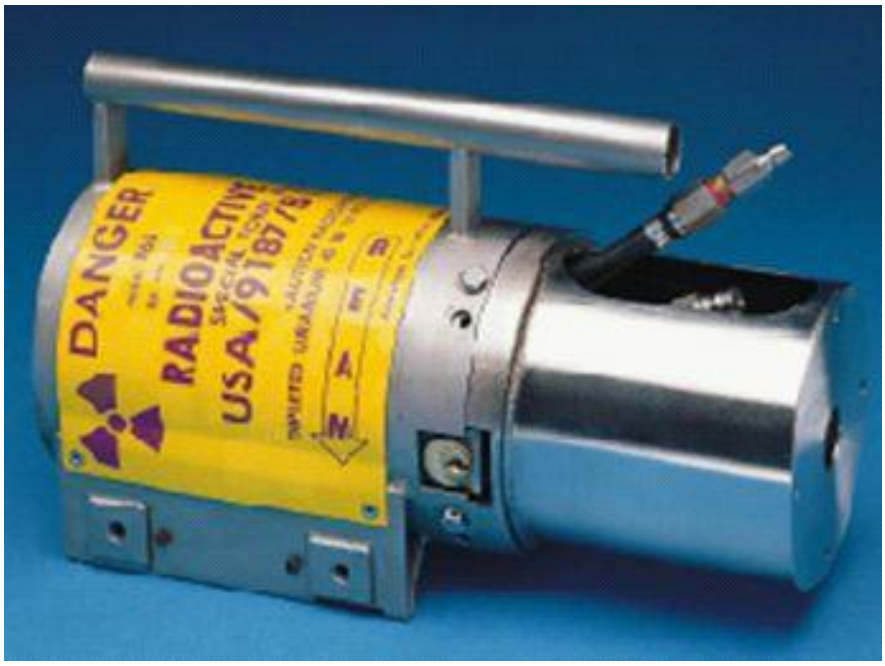
وتناقش الأقسام الفرعية التالية الاحتمالات المختلفة لنقل المصادر المهمَلة. وبينما تتم مناقشة الخيارات المختلفة هنا بشيء من التفصيل، فإن الموافقة الرقابية على الخيار (الخيارات) التي يحددها المستخدم لا تزال شرطاً أساسياً.

١١-٢-١- المصدر متروك في الحامل الأصلي

هناك خياران محتملان لهذا الموقف.

١١-٢-١-١- النقل في حامل المصدر الأصلي

في بعض الحالات، يمكن أن يكون حامل المصدر مؤهلاً ليكون بمثابة عبوة نقل من النوع A أو النوع B وفقاً للامتثال للائحة النقل الحالية. وهذا النهج بالتأكيد مأمون ومناسب وفعال من حيث التكلفة بالنسبة للمستخدم، لأنه يقلل من جرعة الإشعاع في أثناء التعامل، ويتجنب الحاجة إلى عبوة نقل. ويمكن أن يكون مناسباً أيضاً من وجهة نظر مرفق الاستقبال، حيث يتم تقليل جرعة الإشعاع إلى الحد الأدنى، طالما أن معايير قبول النفايات لمرفق التخلص لا تتطلب إزالة المصدر من حامله. وحتى إذا كان المصدر بحاجة إلى إزالته من حامله قبل الخزن الطويل الأجل أو التخلص منه، فمن المحتمل أن يكون المرفق المستقبل مجهزاً بشكل أفضل للقيام بهذه العملية من المستخدم. وترِد في الشكل ٩٧ أمثلة على حاملات المصادر المشعَّة الأصلية المستخدمة كعبوات نقل.



الشكل ٩٧- مثالان على حاملين أصليين لمصادر مشعة مستخدمين كعبوتي نقل.

وإذا كان حامل المصدر الأصلي غير مؤهلاً ليكون بمثابة عبوة نقل، وكان النقل ضرورياً، فقد يتم منح الموافقة بموجب شروط الترتيب الخاص. وكبديل لشهادة الترتيب الخاص، تحتاج السلطة المختصة المعنية إلى النظر في تجديد شهادة النقل الأصلية لفترة قصيرة للسماح بنقل المصدر المهمَل. وقد تكون هناك حاجة للمساعدة الدولية لتحديد وتقييم البارامترات المقبولة للسماح بالنقل. ويجب النظر في كل خطوة في عملية نقل المصدر على أساس كل حالة على حدة.

وكانت هذه الطريقة تُستخدم غالباً في الماضي لنقل مصادر التصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية الصغيرة، التي ربما يتراوح وزنها من ٢٠ إلى ٣٠ كغ فقط (الشكل ٩٨). ومع ذلك، قد لا تكون هذه الطريقة قابلة للتطبيق، خاصة بالنسبة للمصادر العالية النشاط. وإذا تم اعتماد هذا النهج، فمن المهم التأكد من أن جميع آليات الأمان تعمل بشكل صحيح، مثل آلية تأمين الغالق.

الشكل ٩٨- بالنسبة للمصادر الصغيرة، اعتماداً على حجم المصدر وهندسته ونشاطه، يجب استخدام حاوية خاصة للنقل.

١١-٢-١-٢- نقل المصدر المتروك في حامله في عبوة نقل معتمدة

إذا لم يكن من الممكن أو العملي إزالة مصدر مهمَل من حامله في موقع المستخدم، فقد يكون من الضروري نقله في عبوة نقل معتمدة ذات حجم تجويف كافٍ لحمل حامل المصدر. وهذا ممكن بشكل خاص لحاملات المصادر الأصغر حجماً التي يصل إجمالي وزنها إلى ما يقرب من ٥٠٠ كغ وتكون ذات أنشطة ضمن حدود النوع A. ويوجد عدد من تصميمات العبوات من النوع A، والتي يجب أن تكون مناسبة لنقل مثل هذه المصادر. ويوضح الشكل ٩٩ مثالاً نموذجياً على العبوة المجمَّعة لأسطوانة فولاذية. ويمكن نقل حاملات المصادر في هذا النوع من الحاويات، طالما أنها تحتوي على تدريع متكامل مناسب وتكون مثبّتة بإحكام داخل العبوة في أثناء النقل.

الشكل ٩٩- عبوة نقل من النوع A ذات حجم داخلي وسعة تحميل كبيرين (حوالي ٣٠٠ كغ).

وقد يتطلب نقل حاملات المصادر المحتوية على أنشطة تتجاوز القيمة A_1 أو القيمة A_2 عبوات نقل كبيرة ومعقدة من النوع B (الشكل ١٠٠). وهذه العبوات باهظة الثمن إلى حد ما وبالنسبة لبعض البلدان، مع وجود عدد صغير نسبياً من مصادر الفئتين ١ و٢، يكون لديها حجة قوية للتعاون الدولي. ومن الواضح أن هذا الخيار سيتطلب بعض المناقشة والاتفاق على معالجة مسألة نقل المواد المشعَّة عبر الحدود.

الشكل ١٠٠- عبوة نقل من النوع B لمصادر الفئة ١.

وفي حالة عدم توافر عبوة نقل مناسبة في دولة عضو، قد يكون من الممكن التقدم بطلب إلى السلطة المختصة للحصول على ترتيب خاص، والذي قد يسمح، على سبيل المثال، بإعادة استخدام عبوة النقل الأصلية. وقد يوفر هذا الخيار حلاً أقل تكلفة ويجب أن توليه السلطات المختصة في الدول الأعضاء الاعتبار الواجب لتسهيل إزالة المصادر المهمَلة وخزنها بشكل مناسب.

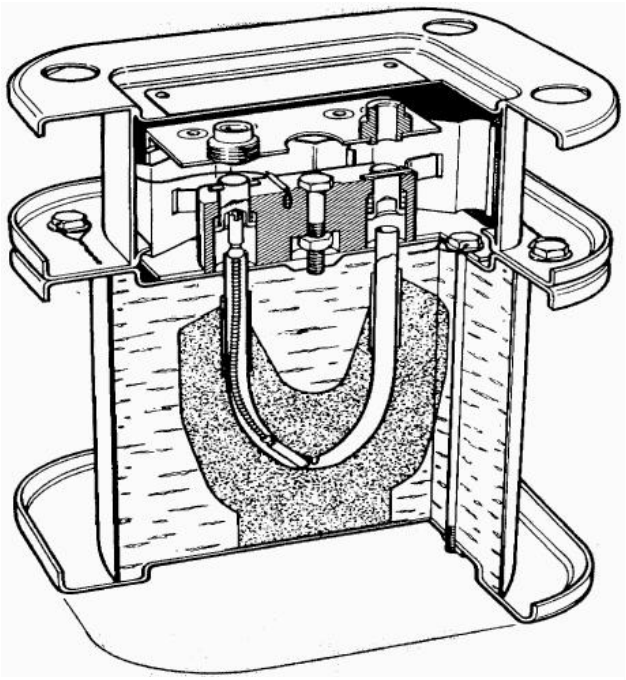
١١-٢-٢- المصدر مزال من الحامل الأصلي

عادة ما ترتبط مصادر الفئتين ١ و٢ بجرعة تعرض عالية تحقق الوصول حتى خلال فترات التعرض القصيرة. ويجب القيام بأي محاولة لإزالة المصدر من حامل المصدر الأصلي فقط عند الضرورة القصوى. ولأسباب تتعلق بالأمان، يلزم وجود بنية أساسية قوية (مثل مرفق الخلايا الساخنة) ومتطلبات تقنية/إدارية (انظر القسم ٦). ويلزم أن يتمتع العاملون في مجال الإشعاعات الذين يخططون للقيام بمثل هذه العملية بالخبرة الواسعة في مجال الوقاية من الإشعاعات. وسيتم وضع المصدر العالي النشاط الذي تمت إزالته في عبوة من النوع B. ويوضح الشكل ١٠١ مثالاً على عبوة مناسبة من النوع B.

الشكل ١٠١- مثال على عبوة نقل من النوع B.

١١-٢-٢-١- نقل المصدر من الجهاز إلى حاوية نقل مخصصة

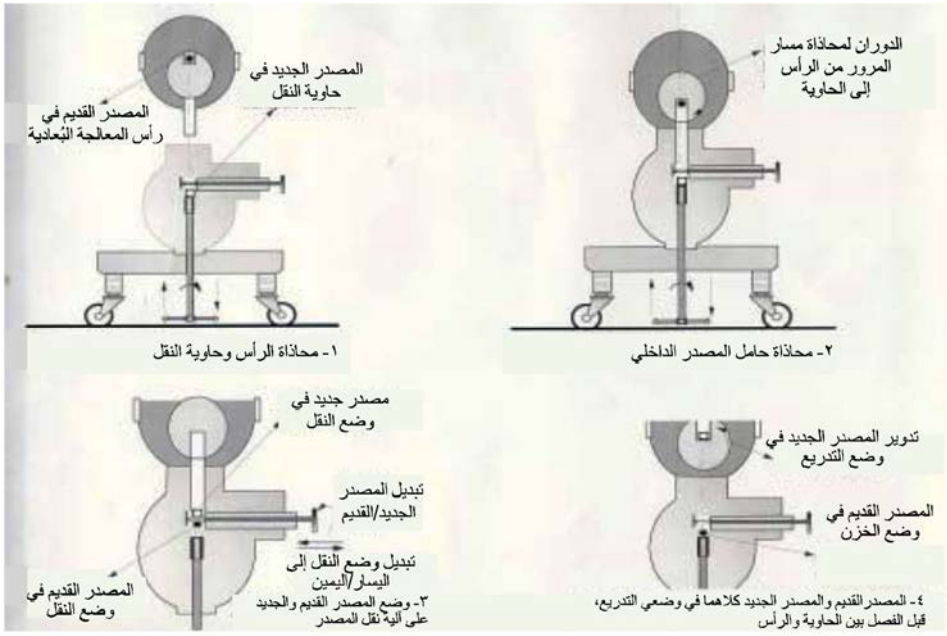
تم تصميم العديد من أنواع حاملات المصادر للسماح بتبادل المصدر في الميدان. وهي تشمل معظم وحدات التصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية الحديث ووحدات المعالجة البُعادية باستخدام الكوبالت-٦٠. وبالنسبة لوحدات التصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية، فإن عملية إزالة المصدر من حامله إلى حاوية صغيرة مدرَّعة نسبياً تكون بسيطة. ويظهر في الشكل ١٠٢ مثال على عبوة نقل مصممة للاستخدام المخصص مع مصدر تصوير إشعاعي للأغراض الصناعية.



جهاز تغيير المصادر من نوع TN 650، COC 0148

الشكل ١٠٢- عبوة نقل مصدر تصوير إشعاعي للأغراض الصناعية (النوع B، ٨,٨ تيرابكريل الإيريديوم-١٩٢).

وبالنسبة لوحدات المعالجة البُعادية، يتم توصيل قارورة نقل كبيرة مخصصة برأس المعالجة البُعادية، ويتم دفع المصدر أو سحبه من الرأس إلى قارورة النقل. ويضمن التوافق المحكم بين رأس المعالجة البُعادية وعبوات النقل الحد الأدنى من الجرعة الإشعاعية للعمال. وبشكل عام، تملك جهة التصنيع/المورد هذا النوع من عبوات النقل. ويوضح الشكل ١٠٣ عملية تبادل المصدر في وحدة معالجة بُعادية.



الشكل ١٠٣- رسم تخطيطي يوضح تبادل المصدر في وحدة معالجة بُعادية.

١١-٢-٢-٢- نقل المصدر من الجهاز إلى عبوة النقل العامة

بالنسبة للعديد من وحدات المعالجة البُعادية الأقدم ووحدات التصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية الأقدم العالية النشاط، لا تتوافر عبوات نقل المصدر المخصصة، أو يكون النقل في الميدان غير مناسب بسبب التصميم. وفي حالة عدم توافر عبوة نقل مصدر مخصصة، فقد يظل من الممكن نقل المصدر إلى عبوة نقل بديلة مناسبة. وفي الواقع، قد يكون هذا ضرورياً إذا كان المرفق المستلِم غير قادر على التعامل مع المصدر داخل حامله (على سبيل المثال بسبب الحجم)، أو في حالة عدم وجود عبوة نقل لنقل الوحدة بأكملها (المصدر داخل حامل، انظر أدناه).

وعند اقتراح نقل المصدر من حامله إلى عبوة نقل مدرَّعة، يتوافر حينها عدد من عبوات النقل الشديدة التنوع. ويتطلب نقل المصدر مرفقاً مناسباً وموظفين مدربين جيداً. ويوضح الشكل ١٠٤ سلسلة من الحاويات ذات سمك تدريع مختلف. ويمكن دمجها داخل بعضها البعض لإعطاء مجموعة من أشكال النوع A والنوع B بسماكة إجمالية تصل إلى ١٥٠ مم. ويوفر تصميم العبوة هذا تجويفاً داخلياً كبيراً ومرونة كبيرة.

الشكل ١٠٤- تحميل حاوية داخلية مدرَّعة للسيزيوم-١٣٧ في عبوة من النوع B، بعد إزالة مصادر السيزيوم-١٣٧ من جهاز تشعيع بحثي.

وعبوات النقل العامة، مثل تلك الموصوفة أعلاه، ليست مصممة للغرض المحدد المتمثل في نقل مصدر من حامل مصدر له تصميم معين. ولذلك، سيكون من الضروري تطوير حل مصمم خصيصاً يسمح بنقل المصدر إلى العبوة بأقل جرعة إشعاعية

للمُشغِّلين. وعلى سبيل المثال، قد يتم توصيل العبوة مباشرة بحامل المصدر، أو بدلاً من ذلك، قد يكون النقل على مرحلتين باستخدام قارورة نقل مخصصة. ويجب تجنب نقل المصدر غير المدرَّع في جميع الحالات التي تنطوي على مصادر من الفئتين ١ و٢. وإذا تم استخدام هذا النهج، فيجب أن يضطلع بوضع الإجراءات التقنية واختبارها وتنفيذها موظفون مؤهلون جيداً.

وعند الاستلام في مرفق الخزن، سيكون هناك حاجة أيضاً إلى حل لإزالة المصدر من عبوة النقل. وغالباً ما يتم تحقيق ذلك داخل خلية ساخنة.

وإذا لم تكن هناك خبرة محلية كافية لإجراء إزالة المصدر، أو كانت المعدات أو الأدوات غير متوافرة، فيجب عندئذٍ الاتصال بمورد/جهة تصنيع/مالك عبوات/مصادر مماثلة، أو منظمة أجنبية معنية بالتصرف في النفايات أو منظمة دولية (مثل الوكالة الدولية للطاقة الذرية) للحصول على المساعدة.

١١-٣- المشاكل المعترَضة والدروس المستفادة

هناك العديد من الحالات التي تظل فيها المصادر في مباني المستخدم بسبب وجود مشاكل في تحديد طريقة مناسبة واقتصادية لنقل المصادر إلى المورد/جهة التصنيع، أو مستخدم آخر، أو مرفق تكييف، أو مرفق خزن في المؤسسة المركزية للتصرف في النفايات المشعَّة، أو مرفق التخلص وفقاً للائحة النقل الدولية ذات الصلة [٤٨]. وفيما يلي بعض الأسباب الرئيسية لتأخر نقل مصدر مهمَل من موقع المستخدم:

- التمويل غير الكافي؛
- صعوبات الترخيص؛
- عدم وجود شهادات المصدر أو معلومات المصدر؛
- عدم وجود شهادات المواد المشعَّة ذات الشكل الخاص؛
- عدم وجود حاوية نقل مناسبة ومعتمدة.

ومن المهم أن تتعاون السلطات المختصة والمرخص له لإيجاد حلول لهذه المشاكل لنقل المصادر المهمَلة بأمان.

١١-٣-١- التمويل غير الكافي

في الوقت الحاضر، غالباً ما يكون نقل المصادر المهمَلة دولياً مكلفاً لأن عبوة النقل الأصلية غير متوافرة أو انتهت صلاحية شهادتها. وبمجرد شراء المعدات وتسليمها، قد لا يتكفل المرفق تكلفة نقل ملكية المصدر عند سحب المعدات في النهاية. وقد يكون السبب هو أن مالكي المرفق ليس لديهم آلية ميزانية لتكبد تكلفة لن تنشأ إلا في المستقبل (ربما خلال عقود) وقيمتها لا يمكن إلا أن تكون قيمة تقديرية. وقد يكون السبب الآخر هو أن المرفق يفترض أنه يمكن أن يغطي تكلفة نقل الملكية من ميزانيته التشغيلية أو كشرط لشراء معدات جديدة. ويمكن أن يؤدي ذلك إلى ضغوط مالية عندما يحين وقت نقل الملكية، مع الرغبة المقابلة لاستخدام خيارات أقل تكلفة. وقد تؤدي هذه البدائل إلى زيادة احتمال فقدان التحكم في المصدر المستهلك أو المهمَل.

١١-٣-٢- صعوبات الترخيص

في بعض البلدان، من الضروري الحصول على ترخيص لنقل المواد المشعَّة. ونتيجة لذلك، عندما يتم نقل المصادر عبر العديد من الحدود، من الضروري توظيف شركة محلية أو سائق محلي في البلد الذي يسري فيه هذا النظام. وهذا يضيف جهوداً وتكاليف إدارية كبيرة.

١١-٣-٣- عدم وجود شهادات المصدر أو معلومات المصدر

هناك حاجة إلى شهادة المصدر أو معلومات المصدر لتحديد ما إذا كان يمكن نقل المصدر في عبوة متاحة. ويمكن استخدام شهادة المصدر أو معلومات المصدر لتحديد ما إذا كان نشاط المصدر والأبعاد المادية متوافقة مع عبوة النقل المتاحة. وإذا لم تكن شهادة المصدر أو معلومات المصدر متاحة، فيمكن النظر في الخيارين التاليين:

(أ) يمكن أن تُقدّم جهة التصنيع أو المورد شهادة مصدر جديدة أو معلومات المصدر؛

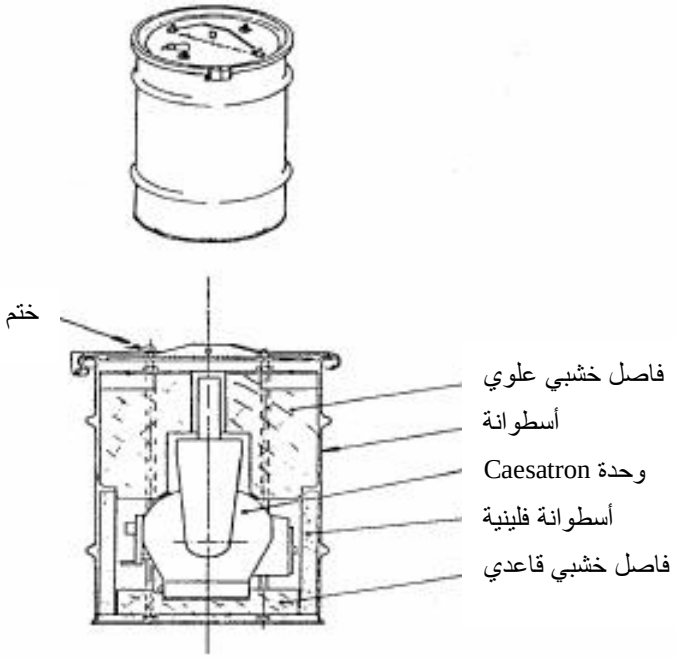
(ب) يجب تحديد خصائص المصدر لتحديد نشاطه ونظيره وسلامة احتوائه.

١١-٣-٤- عدم وجود شهادات المواد المشعَّة ذات الشكل الخاص

في كثير من الحالات، قد لا تكون شهادات المواد المشعَّة ذات الشكل الخاص صالحة للمصادر المهمَلة. وعادة ما يكون هذا هو الحال عندما يكون تصميم الكبسولة متقادماً أو أن جهة تصنيع المصادر لم تعد تعمل، وبالتالي لم تعد في وضع يمكنها من تمديد صلاحية الشهادة. ولا يعني انتهاء صلاحية شهادة المواد المشعَّة ذات الشكل الخاص أن المصدر المشع لم يعد يفي بالمتطلبات التقنية "للمادة المشعَّة ذات الشكل الخاص". وقد يظل المصدر متوافقاً مع متطلبات الاحتواء لعبوات النوع B، وبالتالي يتم نقله بأمان. ومن المهم أن تعمل السلطة المختصة والمرخص له معاً لإيجاد حل عملي لتسهيل نقل المصدر المشع المختوم. ويمكن أن يشمل ذلك تجديد شهادة الشكل الخاص لفترة قصيرة، أو تعديل شهادة النقل لتشمل المصدر المشع في شكل غير خاص، أو إصدار ترخيص ترتيب خاص.

١١-٣-٥- عبوة النقل الأصلية غير مناسبة

حتى في حالة توافر شهادة المصدر وشهادة الشكل الخاص، قد لا تتوافق عبوة النقل الأصلية التي تم تسليم المصدر أو الجهاز فيها مع لائحة النقل الحالية. وفي معظم الحالات، لا تزال عبوة النقل في حالة جيدة؛ ومع ذلك، فإن شهادة اعتماد السلطة المختصة لم تعد صالحة. وأحد الأمثلة على هذه المشكلة هو رؤوس المعالجة البُعادية القديمة، والتي تم تسليمها كاملة مع مصادرها في عبوات مجمَّعة بسيطة (الشكل ١٠٥).



وصف العبوة والأبعاد والوزن:

العبوة برميل معزول من الصلب يحمل الرصاص في جهاز تشعيع فولاذي

الأبعاد ٥٢٠ مم قُطر × ٨٦٤ مم ارتفاع

الوزن الإجمالي ٢٩٨ كغ

الشكل ١٠٥- عبوة نقل لوحدة معالجة عن بُعد قديمة تعمل بالسيزيوم-١٣٧، لا تتوافق مع المعايير الحالية.

وفي بعض الأحيان، لا تتوافر حاوية نقل مناسبة أو يكون تصميم ورسم حامل المصدر والأوصاف المتعلقة بنظام إزالة المصدر غير معروفين (مفقودين). وفي مثل هذه الحالات، يكون إعادة تحميل المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة أمراً مستحيلاً ولا يمكن إجراء النقل إلا بموجب ترتيبات خاصة. وعلى سبيل المثال، يمكن استخدام جسم جهاز التشعيع (مع بعض عمليات الارتقاء بالأمان) للنقل والخزن المؤقت للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة (انظر الشكل ١٠٦). ويتطلب هذا النقل موافقة ومراقبة السلطات الرقابية الوطنية.

الشكل ١٠٦- جهاز تشعيع محمل بمصادر مشعَّة مختومة مهمَلة من السيزيوم-١٣٧ جاهز للنقل إلى مرفق التخلص.

١٢- التخلص

يجب الإعلان عن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة التي لا توجد لها خيارات لإعادة التدوير أو الإعادة إلى بلد المنشأ كنفايات ويجب التخلص منها في مرفق تخلص وفقاً للصكوك القانونية الدولية ذات الصلة ومعايير الأمان والممارسات الجيدة، لتوفير التصرف فيها على نحو مأمون وطويل الأجل. ويتطلب تطوير مرفق التخلص وجود بنية أساسية ذات صلة بما في ذلك سياسة وطنية للتصرف في النفايات واستراتيجية مناسبة للتنفيذ [٥٠]، وإطار رقابي، والموارد المالية والبشرية والتقنية اللازمة لمثل هذا التطوير. وفي حالة تعذر التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة بسهولة في مرافق قائمة بالفعل أو مخطط لها، يجب تطوير حل مخصص للتخلص ويجب توفير البنية الأساسية المناسبة. وفي مثل هذا السياق، لا يزال تنفيذ مسار مناسب للتخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة موضع قلق على المستوى الدولي، لا سيما في الدول الأعضاء ذات الموارد المحدودة [٦٨-٧١].

ويوضح القسم ٢-١ بعض العوامل المهمة التي يجب مراعاتها عند اتخاذ قرار بشأن خيار التخلص المناسب. وينبغي تقييم مخزون المصادر والخصائص المقابلة للنويدات المشعَّة التي تم النظر في التخلص منها. ويجب تقييم احتياجات التخلص بما يتفق مع متطلبات الأمان المتعلقة بالتخلص من النفايات المشعَّة [٧٢]. وفي هذا الصدد، يتم إعطاء تركيز النشاط النموذجي للعديد من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة اهتماماً خاصاً، جنباً إلى جنب مع اعتبارات أخرى مثل النشاط بشكل عام والعمر النصفي. وينبغي النظر في خيارات التخلص في إطار السياق الوطني الأوسع للخطط الحالية والمستقبلية المتعلقة باستخدام التكنولوجيا النووية، والبحوث و/أو توليد القوى النووية. وعادةً ما يتم تكييف المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المعلنة كنفايات في عبوات نفايات، وقد تؤثر على خصائصها وسماتها وتحتاج إلى تصميم لضمان قبول التخلص منها في مرفق معين. وأخيراً، توفر معايير قبول النفايات أداة إدارية للتحقق مما إذا كان يمكن قبول مخزون معين من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المعبأة للتخلص منه في مرفق معين، سواء كان يلزم إجراء تقييم أمان إضافي مُركّز، أو ما إذا كانت هناك حاجة إلى تطوير مسار بديل للتخلص.

ومن حيث المبدأ، يمكن توفير حل مناسب للتخلص من جميع المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المُعلن عنها كنفايات. وتشمل الخيارات المتاحة مرافق التخلص القريبة من سطح الأرض، ومرافق التخلص الجيولوجي، فضلاً عن مرافق التخلص داخل حفر السبر المخصصة. وترد في القسم ٢-٢ لمحة موجزة عن هذه الخيارات. وفي الواقع، تم إحراز تقدم كبير في التخلص من النفايات ذات المستوى المنخفض والمتوسط، ولا تزال تعمل مرافق التخلص التي تقبل هذه الأنواع من النفايات منذ عدة عقود. وبالإضافة إلى ذلك، قدمت العديد من البلدان أو شارفت على تقديم طلب ترخيص لبناء مرفق للتخلص الجيولوجي مخصص لاستقبال نفايات متوسطة الإشعاع و/أو نفايات عالية الإشعاع و/أو وقود مستهلك تم الإعلان عنه كنفايات. وأخيراً، تم إيلاء مفهوم التخلص داخل حفر السبر الاعتبار الواجب وتم اقتراحه كمرفق للتخلص مخصص لتلقي المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المعلن عنها كنفايات. ويتم استعراض الخبرات المتاحة والدروس المستفادة من هذه الأنواع من مرافق التخلص بإيجاز في القسم ٢-٣.

١٢-١- العوامل التي تؤثر على اختيار خيارات التخلص

يمكن التخلص من مخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المعلن عنها كنفايات إما مع النفايات المشعَّة الأخرى في مرافق التخلص الموجودة بالفعل أو المخطط لها، أو في مرفق التخلص المصمم والمخصص خصيصاً للتخلص من هذا المخزون. وعلاوة على ذلك، قد يكون حل التخلص المخصص في ظل ظروف معينة مشتركاً في موقع واحد مع مرفق موجود بالفعل، أو يتم تهيئة أجزاء من تصميم مرفق قائم كشرط أساسي لقبول المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المعلن عنها كنفايات في ذلك المرفق.

وسيعتمد الحل الأنسب لأي دولة عضو على عدة عوامل، لا سيما مخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة واحتياجات التخلص المرتبطة به، بالإضافة إلى مخزون النفايات المشعَّة التي يمكن توقعها من الأنشطة الأخرى، والتي قد توجد مرافق قائمة بالفعل للتخلص منه أو من المقرر التخطيط لمثل هذه المرافق.

وبغض النظر عن السياق، يجب تقييم احتياجات التخلص بما يتفق مع متطلبات الأمان المتعلقة بالتخلص من النفايات المشعَّة. وفي التحليل الأول، يجب أن تكون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة مرتبطة بفئة من النفايات لفهم احتياجات التخلص المرتبطة بها. ومع ذلك، يتم تصنيف المصادر المشعَّة المختومة وفقاً للمخاطر التي يشكلها المصدر عندما يكون خارج نطاق التحكم. ويختلف هذا عن فئات النفايات التي وُضِعت للمساعدة في اتخاذ القرارات الاستراتيجية بشأن تطوير خيار التخلص، ويجب تقييم الخصائص الإشعاعية للمصادر لتحديد خيار التخلص المناسب. ولذلك، لإجراء اختيارات مستنيرة، يجب فهم نظام تصنيف النفايات لدى الوكالة، وتقييم الخصائص الإشعاعية للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ومطابقتها لهذا النظام، وخيارات التخلص المناسبة المختارة لتوفير التخلص المأمون والفعال.

١٢-١-١- نظام تصنيف النفايات لدى الوكالة

لفهم خيار التخلص الذي قد يكون مناسباً، يحتاج المرء أولاً إلى النظر في فئات النفايات التي يجب أن تُنسب إليها المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة التي تم الإعلان عنها كنفايات. وإذا تم الإعلان عن مصدر مختوم مهمَل كنفايات مشعَّة، يتم تطبيق جميع مبادئ الأمان المتعلقة بالنفايات [٢٨]. وطوّرت الوكالة نظام تصنيف نفايات مقبول دولياً يسمح بتجميع النفايات المشعَّة، بما في ذلك المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، في الفئات الست التالية وفقاً للنشاط والعمر النصفي للنويدات المشعَّة [٦٦]:

(١) النفايات المعفاة (من الرقابة): هي النفايات التي تستوفي معايير رفع الرقابة أو الإعفاء أو الاستبعاد من التحكم الرقابي لأغراض الوقاية من الإشعاعات على النحو المبيّن في المرجع [٥٩].

(٢) النفايات القصيرة العمر: هي نفايات يمكن تخزينها لكي تضمحل خلال فترة زمنية محدودة لا تتجاوز بضع سنوات فيُرفع عنها التحكم الرقابي في وقت لاحق وفقا لترتيبات تعتمدها الهيئة الرقابية من أجل التخلص منها أو استخدامها أو تصريفها دون رقابة. وتتضمن هذه الفئة النفايات التي تحتوي بالأساس على نويدات مشعَّة لها أعمار نصفية قصيرة جداً تُستخدم في الكثير من الأحيان في البحوث والأغراض الطبية.

(٣) النفايات الضعيفة الإشعاع جدا: هي نفايات لا تستوفي بالضرورة معايير النفايات المعفاة (من الرقابة)، ولكنها لا تقتضي درجة عالية من العزل والاحتواء، وتكون بالتالي مناسبة للتخلص منها في مرافق طمر النفايات القريبة من سطح الأرض والخاضعة لضوابط رقابية محدودة. وقد تحتوي مرافق طمر النفايات هذه على نفايات خطرة أخرى. وتكون تركيزات النويدات المشعَّة الأطول عمراً في النفايات الضعيفة الإشعاع جداً محدودة جداً على وجه العموم.

(٤) النفايات الضعيفة الإشعاع: هي نفايات تتجاوز مستويات رفع الرقابة، ولكنها تحتوي على كميات محدودة من النويدات المشعَّة الطويلة العمر. وتقتضي مثل هذه النفايات شكلا متينا من أشكال الاحتواء والعزل لفترات تصل إلى مئات السنين وهي مناسبة للتخلص منها في مرافق هندسية قريبة من السطح. وتشمل هذه الفئة مجموعة كبيرة جداً من النفايات. وقد تحتوي النفايات الضعيفة الإشعاع على نويدات مشعة قصيرة العمر ذات مستويات أعلى من تركيز النشاط ونويدات طويلة العمر ولكنها ذات مستويات منخفضة نسبيا من تركيز النشاط.

(٥) النفايات المتوسطة الإشعاع: هي نفايات تقتضي درجة من الاحتواء والعزل أكبر من الدرجة التي يوفرها التخلص بالقرب من سطح الأرض، وذلك بسبب ما تحتوي عليه من نويدات مشعَّة طويلة العمر على وجه التحديد. ولكن النفايات المتوسطة الإشعاع لا تقتضي أي حكم أو تقتضي أحكاماً محدودة لتبديد الحرارة خلال خزنها والتخلص منها. وقد تحتوي النفايات المتوسطة الإشعاع على نويدات مشعة طويلة العمر، لا سيما النويدات المشعَّة الباعثة لأشعة ألفا، التي لا تضمحل إلى مستويات تركيز النشاط المقبولة للتخلص قرب السطح في الوقت الذي يمكن الاعتماد فيه على الرقابة المؤسسية. ومن ثم فإن النفايات في هذه الفئة تقتضي التخلص منها في مواقع أشد عمقاً تتراوح بين عشرات الأمتار ومئات الأمتار.

(٦) النفايات القوية الإشعاع: هي نفايات يتركز فيها النشاط الإشعاعي بمستويات عالية بما يكفي لتوليد كميات كبيرة من الحرارة جراء عملية اضمحلال إشعاعي أو نفايات تضم كميات كبيرة من النويدات المشعَّة الطويلة العمر التي تقتضي النظر فيها لدى تصميم مرفق للتخلص من مثل هذه النفايات. والخيار الذي يراعى عموماً للتخلص من النفايات القوية الإشعاع هو التخلص منها في التكوينات الجيولوجية العميقة والمستقرة التي يبلغ عمقها عادة عدة مئات من الأمتار أو أكثر تحت سطح الأرض.

وتوفر فئات النفايات هذه إرشادات عامة بشأن مدة ومتانة الاحتواء والعزل، بالإضافة إلى اعتبارات أخرى مثل تلك المتعلقة بتبديد الحرارة، اللازمة للتخلص المأمون من النفايات. وهي تسمح باستنتاج إرشادات عامة بشأن الخيارات المناسبة لمرفق التخلص المقابل.

١٢-١-٢- مخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة وخصائص النويدات المشعَّة المقابِلة وفئات النفايات

إذا كان مخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة يتضمن عدة فئات من النفايات، فيجب النظر في خيارات مختلفة للتخلص منها، بدءاً من التخلص قرب السطح إلى التخلص الجيولوجي، بما في ذلك مرافق من نوع حفر السبر ذات الأعماق المختلفة. وتسمح اعتبارات الأمان بإعادة تجميع المخزون في خيار التخلص المناسب لفئة النفايات ذات المستوى الإشعاعي الأعلى. ومع ذلك، فإن اعتبارات التكلفة والحجم الإجمالي لمخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة والخيار المحتمل للاستفادة من المرافق الحالية لفئات النفايات ذات المستوى الإشعاعي الأدنى قد تقترح التخلص من مخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في العديد من مرافق التخلص المناسبة.

ولا يمكن إجراء تحليل احتياجات التخلص إلا إذا كان مخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المعلن عنها كنفايات معروفاً. وتُظهر المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة درجة عالية من التباين في خصائصها الفيزيائية والإشعاعية، مثل محتوى النويدات المشعَّة، والعمر النصفي، والأنشطة الإجمالية، وتركيز النشاط. وتحدد هذه الخصائص فئة النفايات التي يجب تخصيصها لها، بما يتوافق مع التصنيف المقدم في القسم السابق، وبالتالي مدة ومتانة الاحتواء والعزل المتوقعين من خيار التخلص المحدد. ولا يوجد تطابق دقيق بين فئات المصادر من ١ إلى ٥ وفئة النفايات التي سينتمون إليها في النهاية. ومن الواضح أن المصادر التي تحتوي على النويدات المشعَّة ذات الأنشطة الإشعاعية الأعلى والعمر النصفي الأطول تتطلب درجة أكبر من الاحتواء والعزل وقد تحتاج إلى اعتبارها كنفايات متوسطة الإشعاع. وقد تتأهل بعض المصادر الأخرى لتكون ضمن النفايات الضعيفة الإشعاع جداً.

ويمكن تقديم بعض الإرشادات الأولية بناءً على تحليل المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الشائعة وخصائص النويدات المشعَّة المرتبطة بها. وتم تلخيص البيانات الخاصة بالنويدات المشعَّة المستخدمة في المصادر المشعَّة المختومة لتطبيقات مختلفة في المرجع [٢٣]. ويعتمد الجدول ٨ على البيانات المقدمة في المرجع [٢٣] وعلى سبيل المثال يحتوي على فترات العمر النصفي ونطاق أنشطة بعض النويدات المشعَّة المستخدمة في المصادر المشعَّة المختومة.

الجدول ٨ - الأعمار النصفية ونطاق أنشطة النويدات المشعَّة المختارة المستخدمة في المصادر المشعَّة المختومة لتطبيقات مختلفة

النويدة المشعَّة الرئيسية	العمر النصفي	الحد الأدنى من النشاط للنويدة (بالبكريل)	أقصى نشاط للنويدة (بالبكريل)	التطبيق
التريتيوم-٣	١٢,٣ عاماً	1.9E + 09	1.1E + 10	التطبيقات العسكرية والصناعية وأجهزة انبعاث الضوء الغازي وأهداف أنابيب النيوترون
الكوبالت-٦٠	٥,٣ أعوام	9.3E + 09	5.6E + 17	أجهزة التشعيع، والمعالجة البُعادية، والتصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية، والتشعيع الداخلي، والمقاييس الصناعية
السلنيوم-٧٥	١٢٠ يوماً	3.0E + 12	3.0E + 12	التصوير الإشعاعي الصناعي
الكربتون-٨٥	١٠,٧ أعوام	1.9E + 09	3.7E + 10	المقاييس الصناعية، وقضبان الصواعق
السترونشيوم-٩٠	٢٨,٦ عاماً	3.7E + 08	2.5E + 16	المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة، وقياس السُّمك، ومطابيق العين
اليود-١٢٥	٦٠ يوماً	1.5E + 09	3.0E + 10	التشعيع الداخلي
السيزيوم-١٣٧	٣٠,١ عاماً	3.0E + 08	1.9E + 17	أجهزة التشعيع والتشعيع الداخلي والمقاييس الصناعية وتسجيل بيانات الآبار/أجهزة قياس الرطوبة
اليتربيوم-١٦٩	٣٢ يوماً	9.3E + 10	3.7E + 11	التصوير الإشعاعي الصناعي
الثوليوم-١٧٠	١٢٩ يوماً	7.4E + 11	7.4E + 12	التصوير الإشعاعي الصناعي
الإيريديوم-١٩٢	٧٤ يوماً	7.4E + 08	7.4E + 12	التصوير الإشعاعي للأغراض الصناعية والتشعيع الداخلي
راديوم-٢٢٦	١٦٠٠ عام	2.6E + 05	1.9E + 09	التشعيع الداخلي، وقضبان الصواعق، وكاشفات الدخان
البلوتونيوم-٢٣٨	٨٧,٨ عاماً	1.1E + 11	1.0E + 13	المولدات الكهربائية الحرارية العاملة بالنظائر المشعَّة، أجهزة تنظيم ضربات القلب
البلوتونيوم-٢٣٩-البريليوم	١٠٠ ٢٤ عام	7.4E + 10	3.7E + 11	البحوث
الأميريشيوم-٢٤١	٤٣٢ عاماً	4.8E + 07	8.5E + 11	المقاييس الصناعية، وكاشفات الدخان، وقضبان للصواعق، وقياس كثافة العظام
الأميريشيوم-٢٤١-البريليوم	٤٣٢ عاماً	1.9E + 10	8.5E + 11	البحوث
الكوريوم-٢٤٤	١٨,١ عاماً	7.4E + 09	3.7E + 10	المقاييس الصناعية
الكاليفورنيوم-٢٥٢	٢,٦ أعوام	1.1E + 06	4.1E + 09	المقاييس الصناعية، وتسجيل بيانات آبار النفط، والتنشيط النيوتروني، والتطبيقات الطبية

وتجدر الإشارة إلى أن نطاقات الأنشطة الواردة في الجدول ٨ تشير إلى المصادر قيد الاستخدام. وعندما يصبح المصدر مهمَلاً، تكون أنشطته عند الحد الأدنى المحدد للنشاط أو أقل منه، وتنخفض بشكل أكبر وفقاً لعمره النصفي. وعلى سبيل المثال، قد يكون مخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الذي له خصائص مصادر محددة مناسباً لخيارات التخلص التالية:

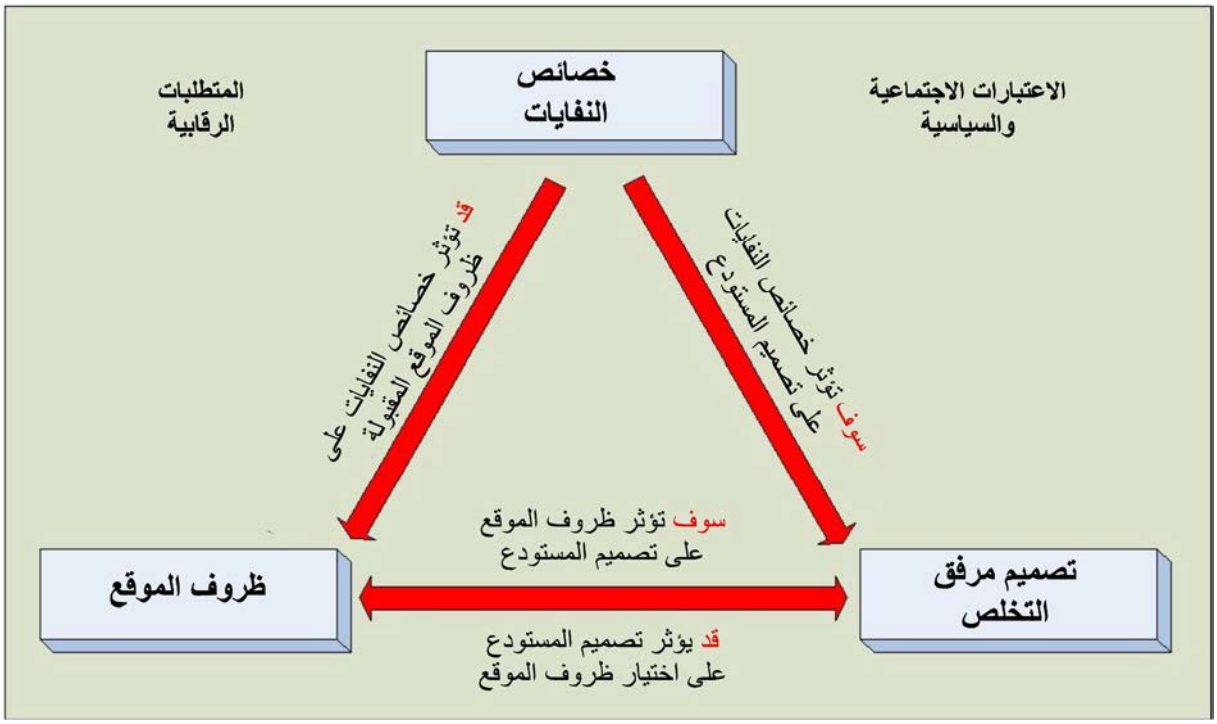
- قد يتم التخلص من المصادر المشعَّة التي تحتوي على مستويات من النشاط أقل من مستويات رفع الرقابة، كما هو الحال على سبيل المثال بالنسبة لكاشفات الدخان شريطة أن تنص اللائحة الوطنية على هذا الخيار، في مواقع طمر النفايات، بما يتفق مع خيار التصرف في النفايات المعفاة.
- المصادر المشعَّة ذات النشاط المنخفض إلى المتوسط وتكون ذات أعمار نصفيه قصيرة جداً (عادة أقل من حوالي ١٠٠ يوم) سوف تضمحل إلى مستويات رفع الرقابة في غضون بضع سنوات. ومن وجهة نظر التصرف في النفايات، يمكن السماح لمثل هذه المصادر بالاضمحلال بأمان في مرفق الخزن، بما يتفق مع خيار التصرف في النفايات القصيرة العمر جداً.
- المصادر المشعَّة التي تحتوي على مستويات منخفضة جداً من النشاط، على الرغم من أنها قد تحتوي على نويدات مشعَّة طويلة العمر مثل الكربون-١٤ (العمر النصفي = ٥ ٧٠٠ عام)، والكلور-٣٦ (العمر النصفي = ٣٠٠ ٠٠٠ عام) واليود-١٢٩ (العمر النصفي = ١٧ مليون عام))، مثل التي يمكن استخدامها على سبيل المثال لمعايرة الأدوات، قد تكون مقبولة في مرافق التخلص من نوع مواقع طمر النفايات القريبة من سطح الأرض، بما يتفق مع التصرف في النفايات الضعيفة الإشعاع جداً.
- يمكن بشكل عام التخلص من المصادر المشعَّة ذات الأعمار النصفية القصيرة (حتى حوالي ٣٠ عاماً، مثل الكوبالت-٦٠ والسترونشيوم-٩٠ والسيزيوم-١٣٧) في مرافق قريبة من السطح شريطة أن ينخفض نشاطها إلى الحدود التي وضعها تحليل الأمان خلال المدة المخطط لها للرقابة المؤسسية وشريطة احترام أي معايير تتعلق بكثافة النشاط، بما يتفق مع خيار التصرف في النفايات الضعيفة الإشعاع. وللحصول على تقدير تقريبي، يتعلق هذا بالمصادر التي تخفض النشاط إلى مستويات رفع الرقابة في غضون ٣٠٠ سنة ولا تتجاوز الأنشطة المحددة المبينة في حالة الأمان.
- قد تتطلب مصادر النشاط العالية ذات العمر النصفي القصير، وكذلك المصادر التي تحتوي على النويدات المشعَّة الطويلة العمر، مثل البلوتونيوم-٢٣٨ والراديوم-٢٢٦، التخلص الجيولوجي مما يوفر أماناً طويل المدى، بما يتوافق مع خيار التصرف في النفايات المتوسطة الإشعاع.

وكل ما سبق أمثلة تشير إلى مرافق التخلص المطورة للتصرف في النفايات المشعَّة بشكل عام. وإذا كان سيتم تطوير مرفق محدد للتخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، فقد يكون التخلص في حفر السبر هو الخيار الأكثر كفاءة لتوفير درجة مناسبة من الحماية [٧٣]. واعتماداً على موقعه وعمق وضعه، يمكن من حيث المبدأ توفير مستوى العزل والاحتواء المتوافق مع النفايات الضعيفة الإشعاع، وكذلك النفايات المتوسطة الإشعاع. ويمكن تحديد موقع حفرة السبر هذه كمرفق قائم بذاته أو مشاركته مع مرفق تخلص آخر.

وسيتم تحديد الجوانب الكمية، مثل قيم محتوى النشاط المسموح به لكل نويدة مشعة مهمة وكذلك قيم التركيز المحلي للأنشطة والمخرجات الحرارية على أساس تقييمات الأمان لمرفق التخلص الفعلي. وهذا بدوره يشير إلى سيناريوهات الأمان المستخدمة في التقييمات، بما في ذلك اعتبارات انبعاث النويدات المشعَّة ونقلها إلى البيئة التي يمكن الوصول إليها واحتمالية التدخل غير المقصود. ويمكن بعد ذلك تحديد هذا كجزء من معايير قبول النفايات، كأداة إدارية تساعد في اتخاذ قرار ما إذا كان يمكن التخلص من النفايات المشعَّة بأمان في هذا المرفق.

١٢-١-٣- خيارات التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في سياق مخزون النفايات المشعَّة الوطنية

عند اختيار خيار التخلص المناسب لمخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المعلنة كنفايات، يجب أن يتم ذلك بما يتفق مع الصورة الأوسع للسياق الاجتماعي والسياسي والرقابي الوطني مع مراعاة: (١) مخزون النفايات المشعَّة؛ (٢) خصائص الموقع؛ (٣) تصميم مرفق التخلص. ويرِد في الشكل ١٠٧ توضيح لهذا السياق الوطني.



الشكل ١٠٧- خصائص مخزون النفايات بأكمله كعنصر مؤثر على تصميم المستودع.

بالنسبة لبرامج التصرف في النفايات المشعَّة الصغيرة، التي تتكون أساساً أو حصرياً من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المعلنة كنفايات، فإن تطوير واحد أو أكثر من مرافق التخلص المخصصة أمر مطلوب. والحل المدروس جيداً والقادر على توفير التخلص الفعال والمأمون من كميات صغيرة من النفايات المشعَّة هو مفهوم التخلص في حفر السبر [٧٣]. وإذا كان اكتساب الخبرة الأولية في تنفيذ مفهوم التخلص في حفر السبر أمراً ضرورياً، فقد يكون الخيار المناسب هو التخلص أولاً من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة التي تم تحديدها على أنها نفايات ضعيفة الإشعاع في مرفق مخصص للتخلص في حفر السبر، وفي الخطوة الثانية اللاحقة، التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة التي تم تحديدها على أنها نفايات متوسطة الإشعاع في مرافق التخلص داخل حفر السبر المنفصلة التي توفر عزلاً واحتواءً أكثر قوة. ومن ناحية أخرى، إذا كان من الممكن اكتساب الخبرة بالفعل من خلال التنفيذ المسبق لمفهوم التخلص في حفر السبر، مما يدل بشكل فعال على متانته، فقد يكون من الأفضل تحديد خيار التخلص المناسب للنفايات المتوسطة الإشعاع والتخلص المشترك من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المؤهلة كنفايات ضعيفة الإشعاع في نفس حفر السبر.

ويجب أيضاً مراعاة كيفية مواءمة التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المُعلن عنها كنفايات مع البنية الأساسية الأوسع للتصرف في النفايات المشعَّة، على سبيل المثال لمرافق التخلص الموجودة بالفعل أو المخطط لها والمخصصة لتلقي النفايات الضعيفة الإشعاع جداً أو النفايات الضعيفة الإشعاع.

وبالنسبة لبرامج التصرف في النفايات المشعَّة التي يتعين عليها التعامل مع مخزون أكبر، على سبيل المثال النفايات الضعيفة الإشعاع والمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، فيمكن النظر في العديد من الخيارات. ويمكن تكييف مخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المعلنة كنفايات مقبولة للتخلص في مرفق تخلص قرب سطح الأرض من النفايات الضعيفة الإشعاع في عبوة نفايات مناسبة والتخلص منها كنفايات أخرى ضعيفة الإشعاع. وقد يلزم إيلاء اهتمام خاص للجمع بين تركيز النشاط والعمر النصفي، والذي قد يكون أعلى في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة منه في النفايات الضعيفة الإشعاع الأخرى. وقد يتسق هذا أو لا مع معايير قبول النفايات لمرافق التخلص في مواقع الطمر أو بالقرب من سطح الأرض. وإذا لم يكن الأمر كذلك، فيمكن للمرء تقييم خيار خزن بعض مخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، حتى يقلل الاضمحلال الطبيعي تركيز النشاط إلى مستوى يتوافق مع معايير قبول النفايات. وإذا كان هذا لا يوفر خياراً معقولاً، أي أن التخلص المأمون يتطلب مستوى أعلى من الاحتواء والعزل الذي يتم توفيره بعد ذلك من خلال التخلص القريب من سطح الأرض، فقد يكون الخيار المتاح والفعال هو التخلص في حفر السبر على عمق مناسب ومع حواجز هندسية مناسبة. ويمكن بعد ذلك الاشتراك في موقع واحد، أو لا، مع مرفق التخلص القريب من سطح الأرض الحالي، اعتماداً على خصائص الموقع واعتبارات أخرى.

وإذا كان برنامج التصرف في النفايات المشعَّة بحاجة إلى تطوير حلول للتخلص من النفايات المتوسطة الإشعاع أو النفايات القوية الإشعاع، بالإضافة إلى تشغيل مرفق التخلص القريب من سطح الأرض، فيمكن الاحتفاظ بالمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة غير المقبولة للتخلص في المرفق الحالي في خزن طويل الأجل حتى يتم إدخال مستودع جيولوجي في الخدمة.

١٢-١-٤- تكييف المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة للتخلص منها – عبوة النفايات

يحتوي الجهاز المشع على واحدة أو أكثر من النويدات المشعَّة ذات النشاط الإشعاعي والشكل الكيميائي المعروفين، ومختومة في كبسولة خاصة توفر الاحتواء الأولي. وفي معظم الحالات، ستحتاج المصادر المشعَّة إلى مزيد من التكييف والتعبئة قبل التخلص منها للمساهمة في متانة احتوائها على المدى الطويل (انظر القسم ١٠)، ومواءمة عبوة النفايات مع مرفق التخلص. ويمكن أن تحتوي عبوة التخلص من المصدر المشع على أكثر من نوع واحد من المصادر ويمكن أن تشتمل على طبقات احتواء إضافية وأي مادة مصفوفة مضافة لتحسين أداء الأمان العام. ويوفر هذا بشكل فعال حاجزاً هندسياً للعزل والاحتواء، ويجب تصميمه بما يتوافق مع خيار التخلص المختار وأن يكون مناسباً له.

ونوقشت متطلبات تصميم عبوة التخلص بالتفصيل في المرجع [٤٨]. ويمكن تصميم العبوة للمساهمة في احتواء المصادر المشعَّة عن طريق منع أو الحد من إطلاق النويدات المشعَّة في الغلاف الأرضي. ويمكن تطبيق نهجين لضمان استمرار الاحتواء: استخدام مواد مقاومة للتآكل، أو استخدام حاوية سميكة الجدران تتطلب وقتاً طويلاً بما يكفي للتآكل. وفي كلتا الحالتين، تؤدي المواد المختارة للتغليف، بالإضافة إلى تأثيرات البيئة الفيزيائية والجيوكيميائية في منطقة التخلص، دوراً مهماً. وعادة، قد تتكون الطبقة الخارجية من العبوة من معدن أو خرسانة أو مواد مركبة. وقد يكون للمصفوفة (الردم) التي يتم فيها تجميد المصادر المشعَّة أيضاً تأثير كبير على خصائص العبوة ويمكن أن تؤثر بشدة على أدائها المطلوب.

وقد تتم العمليات الكيميائية أو الميكروبيولوجية أو التحلل الإشعاعي داخل عبوة المصدر المشع، مما يؤدي إلى نشوء غاز و/أو حرارة و/أو تآكل، اعتماداً على النويدات المشعَّة ونشاطها وخصائص مواد العبوة. ويجب معالجة قضايا توليد الغاز المحتملة في مرحلة مبكرة من تطوير مفهوم التخلص وتصميم وحدات التخلص [٧٤-٧٧].

ويجب تحديد الحد الأقصى للنشاط الذي سيتم قبوله في العبوة من تقييمات الأمان التشغيلية وما بعد الإغلاق. وفي بعض الحالات، قد تقلل العبوة مستويات الإشعاع الخارجي بما يكفي للسماح بالمناولة والنقل. ومع ذلك، لا يمثل التدريع مشكلة بعد التخلص من العبوة، وقد يتم تطبيق اعتبارات خاصة للخزن والنقل إذا لم توفر عبوة التخلص التدريع الكافي.

وفي حالة إجراء التخلص في وحدات التخلص ذات الأبعاد المحدودة، كما هو الحال في حفر السبر، يجب مواءمة الأبعاد الخارجية لعبوة التخلص مع هذا. وقد يزيد استخدام المزيد من التقنية، مثل متطلبات التعامل، من تقييد تصميم العبوة.

ويجب تنفيذ اعتبارات إعادة تجميع وتعبئة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في عبوة نفايات، وتصميم عبوة النفايات المقابل، بشكل متسق مع خيار التخلص المفضل لمخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. وعلى وجه الخصوص، قد يكون تركيز النشاط في عبوة نفايات معينة معياراً يحدد ما إذا كان مقبولاً التخلص منها في مرفق تخلص قريب من سطح الأرض. وبشكل عام، يشير تصميم عبوات النفايات ومحتوى النفايات الخاص بها إلى معايير قبول النفايات لمرفق التخلص، وبالتالي أيضاً إلى سيناريوهات الأمان التي تم تقييمها عند تطبيق واستلام ترخيص وضع النفايات في ذلك المرفق.

١٢-١-٥- معايير قبول النفايات للتخلص

في أثناء تشغيل مرفق التخلص من النفايات المشعَّة، يتم تحديد قبول التخلص من مخزون معين من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، المكيّفة في عبوات النفايات من خلال مقارنة خصائص عبوات النفايات والنفايات بمعايير قبول النفايات. ومعايير قبول النفايات أداة إدارية تسمح بالتحقق مما إذا كان هذا التخلص متوافقاً مع تقييمات الأمان والاحتياجات الإدارية والتشغيلية لمرفق التخلص [٧٤، و٧٥]. ومن الناحية العملية، يجب تحديد معايير قبول النفايات من أجل المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، كما هو الحال بالنسبة للأنواع الأخرى من النفايات المشعَّة، بطريقة تتوافق من خلالها نتائج تقييمات الأمان التشغيلية وتقييمات ما بعد الإغلاق مع متطلبات الأمان المعمول بها (على سبيل المثال قيود الجرعة و/أو المخاطر أو الأهداف). وبينما يمكن تحديد معايير قبول النفايات العامة من حيث المبدأ قبل تحديد موقع مرفق معين وتصميمه وإجراء تقييم الأمان المقابل – ستصبح معايير قبول النفايات العامة هذه بعد ذلك من متطلبات تصميم ذلك المرفق – لا يمكن إرساء معايير قبول النفايات الفعلية إلا بناءً على تقييم أمان

كامل وستتطلب إذناً من هيئة الأمان الوطنية. وتجدر ملاحظة أنه بالإضافة إلى معايير قبول النفايات المحددة بالرجوع إلى نتائج تقييم الأمان، تشير المعايير الإضافية لقبول النفايات إلى المعايير التقنية المحددة بالرجوع إلى تصميم المرفق، مثل أبعاد العبوة وحدود الوزن، أو الرجوع إلى المعايير الإدارية، على سبيل المثال لضمان تحديد النفايات وتتبعها.

وإذا تم التخطيط للتخلص في مستودع قريب من سطح الأرض، فإن العامل المهم بشكل خاص هو المدة المتوقعة للرقابة المؤسسية، والتي تساهم في تحديد المحتوى المقبول وتركيز النويدات المشعَّة الأطول عمراً في المخزون للتخلص منها. ومن الاعتبارات الأخرى المهمة هو تركيز نشاط المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المعلنة كنفايات، والسيناريوهات المستخدمة لتقييم الأمان الطويل الأجل للتخلص منها في مرفق قريب من سطح الأرض.

وسيتم التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة إما في المرافق القائمة أو في تلك المطورة حديثاً. وفي الحالة السابقة، ستحدد معايير قبول النفايات المعتمدة من جانب هيئة رقابية للمرفق الحالي المصادرَ المشعَّة المختومة المهمَلة التي يمكن قبولها بسهولة للتخلص منها. وفي حالة ما إذا كانت المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة التي تم الإعلان عنها كنفايات تشكل دوافق نفايات لم يتم التخطيط لها في الأصل في ذلك المرفق، ولا تتوافق خصائصها مع معايير قبول النفايات، فإن قبولها للتخلص يجب أن يكون مبرراً من خلال تقييم الأمان المستهدف، وأن توافق الهيئة الرقابية على ذلك. وبالنسبة لحلول التخلص المصممة خصيصاً لاستيعاب المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المُعلن عنها كنفايات، كما هو الحال في مرفق التخلص في حفر السبر، يجب أن يكون تقييم الأمان ومعايير قبول النفايات متسقين للسماح بالتخلص من المخزون محل النظر. ويشير استيفاء معايير قبول النفايات إلى أن التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة يتوافق مع تقييم الأمان وأن مرفق التخلص في حفر السبر سيوفر الاحتواء والعزل اللازمين لحماية الإنسان والبيئة.

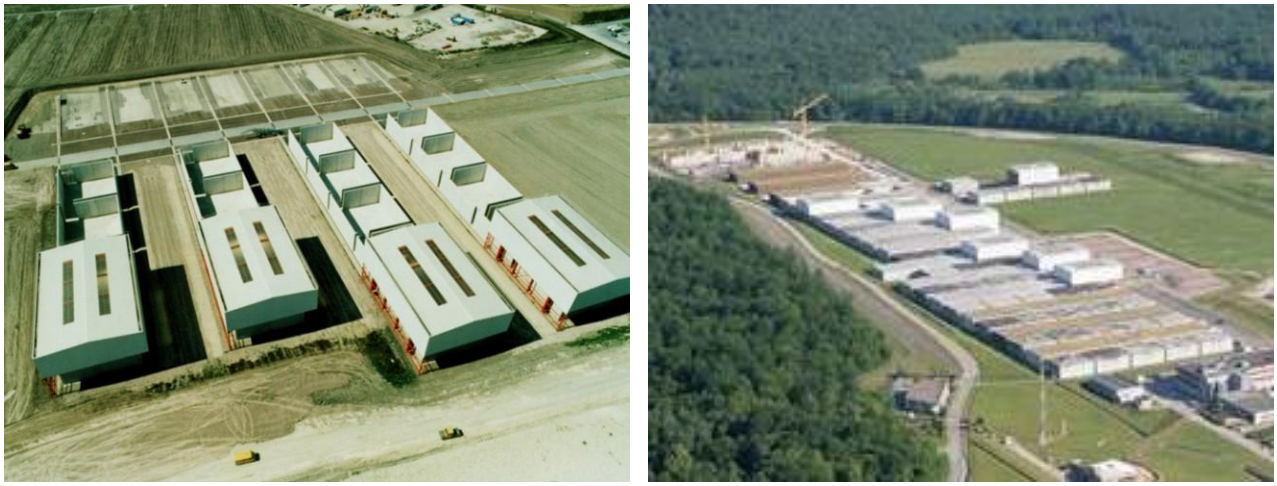
١٢-٢- خيارات التخلص

باستثناء المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المؤهلة كنفايات معفاة أو النفايات القصيرة العمر جداً، يجب التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المعلن عنها كنفايات في مرفق التخلص المناسب. ويناقش العدد ٤٣٦ من سلسلة التقارير التقنية الصادرة عن الوكالة [٤٨] خيارات التخلص من المصادر المهمَلة والعوامل التي تؤثر على اختيار خيار مناسب لأنواع مختلفة من المصادر. ولقد جرى عرضها أعلاه ويرِد في الأقسام التالية وصف موجز لحلول التخلص الحالية والتشغيلية.

١٢-٢-١- التخلص من النفايات قرب سطح الأرض

تم تطوير مرافق التخلص من النفايات قرب سطح الأرض وهي قيد التشغيل لعدة عقود، للتخلص من النفايات الضعيفة الإشعاع جداً والنفايات الضعيفة الإشعاع، بما في ذلك المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المعلنة كنفايات في فئة النفايات المقابلة والتي لها خصائص متوافقة مع معايير قبول النفايات. والخنادق غير المصممة هندسياً قيد التشغيل وقد تكون مناسبة فقط للمصادر التي ستضمحل إلى مستويات مأمونة خلال فترة الرقابة المؤسسية. والهدف هو التأكد من أنه بعد هذه الفترة، لا تشكل أي مصادر مشعَّة في المستودع نقاطاً ساخنة للنشاط من شأنها أن تشكل خطراً إذا تم حفر الموقع عن غير قصد أو اقتحامه. ولذلك، قد يكون تركيز النشاط معياراً مقيداً يتطلب دراسة متأنية وربما يمنع بعض المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة و/أو عبوات التخلص من النفايات التي تعيد تجميع العديد من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ليتم قبولها في بعض مرافق التخلص قرب سطح الأرض.

ولدى المستودعات من نوع الأقبية المصممة هندسياً والقريبة من سطح الأرض الواسعة النطاق (عادة بسعة آلاف الأمتار المكعبة) (الشكل ١٠٨) أهداف احتواء مماثلة وتستخدم أيضاً بشكل أساسي للنفايات الضعيفة الإشعاع جداً والنفايات الضعيفة الإشعاع. وتنشأ الكثير من هذه النفايات من تشغيل محطات القوى النووية. ويرد وصف لتصميم ووظيفة المستودعات القريبة من سطح الأرض في المراجع [٧٨-٨١]. ومع ذلك، قد لا توفر مرافق التخلص هذه قبولاً أكبر بكثير للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، مقارنة بالتخلص في الخنادق. وفي الواقع، في تلك الحالات التي لا توفر فيها الحواجز الهندسية حماية أفضل و/أو تقلل من مخاطر التدخل بعد فترة الرقابة المؤسسية، قد يكون السيناريو الذي يقيّم عواقب التدخل في موقع تمركز المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة هو العامل المهيمن في مواءمة معايير قبول النفايات المقابل. وهذا هو الحال عندما يكون من المحتمل أن تقدم خصائص المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة و/أو استراتيجية التعبئة و/أو التخلص نقاطاً ساخنة للنشاط.



الشكل ١٠٨- النفايات الضعيفة الإشعاع في مركز دو لوب، وهو مرفق تخلص بالقرب من سطح الأرض مصمم هندسياً في فرنسا (الصورتان مهداتان من وكالة "أندرا").

وفي حين أن هذا الأمر مفهوم جيداً، فإن بيان حالة الأمان وخصائص بعض مخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة قد سمحوا مع ذلك للعديد من البلدان المشغِّلة لمستودعات من النوع المصمم بالقرب من سطح الأرض أن تصل إلى استنتاج مفاده أنه بالنظر إلى استراتيجية التخلص المناسبة، فإن جزءاً من مخزون المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة يتوافق مع معايير قبول النفايات لتلك المرافق (مثل سلوفاكيا وفرنسا وإسبانيا).

وتشمل مرافق التخلص القريب من سطح الأرض للنفايات الضعيفة الإشعاع تلك المرافق الموجودة في مرفق جوفي قريب جداً من سطح الأرض لتوفير سمات الأمان الكامنة الطويلة الأجل المطلوبة للتخلص من بعض أنواع النفايات المتوسطة الإشعاع والنفايات القوية الإشعاع. وطورت بعض الدول الأعضاء، مثل السويد وفنلندا والنرويج، مرافق التخلص من النفايات المشعَّة في تجاويف صخرية كبيرة على أعماق تصل إلى عشرات الأمتار، بشكل عام في صخور بلورية صلبة مثل الجرانيت، للتخلص من النفايات الضعيفة الإشعاع. وغالباً ما يشتمل الاحتواء الذي توفره هذه المستودعات على أقبية أو صوامع خرسانية ضخمة، مع حواجز هندسية إضافية مثل ردم الطين والعوازل. ويوفر هذا خياراً مناسباً للتخلص من بعض المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ذات النشاط العالي، مع الأخذ في الاعتبار التعبئة المناسبة وتركيزات النشاط التي تناسب خصائص الصخور المضيفة ونظام الحاجز الهندسي للمستودع.

ويقع مستودع ريتشارد في الجمهورية التشيكية في منجم مهمَل تم التنقيب عنه في الحجر الجيري، وهو مرخص لاستقبال النفايات الضعيفة الإشعاع. ويتكون المستودع من نفق وصول رئيسي، تم حفره بشكل أفقي تقريباً في جانب التل لعدة مئات من الأمتار. ويتم استخدام عدد من الغرف المؤدية إلى نفق الوصول الرئيسي للتخلص من النفايات المكيفة في براميل فولاذية بسعة ٢٠٠ لتر. وتم التخلص من مصادر النشاط القصيرة العمر والمنخفضة النشاط في تلك الغرف. ولم يقبل مستودع ريتشارد مصادر الأميريشيوم-البريليوم أو البلوتونيوم-البريليوم أو غيرها التي تتجاوز حدود النشاط المحددة لبراميل النفايات [٨٢]. ومع ذلك، يتم خزن هذه المصادر في المرفق في حاويات مصممة خصيصاً، في انتظار تكييفها والتخلص منها لاحقاً في مستودع جيولوجي مناسب.

وإذا لم تكن هناك مستودعات متاحة أو من المحتمل أن تصبح متاحة في المستقبل القريب للنفايات المشعَّة بخلاف المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، فيمكن توفير التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في مرافق التخلص بالقرب من سطح الأرض المصممة خصيصاً لاستيعاب الحجم الصغير عموماً من المصادر المشعَّة. ومرافق التخلص هذه المصممة خصيصاً للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة سيكون لها مستويات مختلفة من الاحتواء الهندسي المطابق لخصائص المصادر المشعَّة التي ستحتفظ بها [٤٨]. وقد لا تكون مرافق التخلص بالقرب من سطح الأرض المصممة لهذا الغرض من مرافق مناسبة للتخلص من المخزون بالكامل، ولا سيما المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة العالية النشاط، ويجب اتخاذ القرارات على أساس تقييمات الأمان، من بين عوامل أخرى.

وفي الهند، يدير مركز بهابها للبحوث الذرية اثنين من هذه المرافق للتخلص من المصادر المختومة: موقع التصرف في النفايات الصلبة المشعَّة في ترومباي والمرفق المركزي للتصرف في النفايات في كالباكام. وكلا المرفقين يعملان منذ سنوات عديدة. ويتم فصل المصادر المخصصة للتخلص إلى مجموعات مصادر مماثلة. ويتم تطبيق خفض الحجم، إذا لزم الأمر. ويتم إعادة ختم المصادر المُسرِّبة وتوضع المصادر الأصغر في حاوية من الفولاذ غير القابل للصدأ وتختم باللحام. ويتم التخلص بشكل روتيني من السيزيوم-١٣٧، والكوبالت-٦٠، والإيريديوم-١٩٢ ومصادر بيتا وغاما الأخرى ذات الأعمار النصفي الأقل من ٣٠ عاماً.

١٢-٢-٢- التخلص الجيولوجي

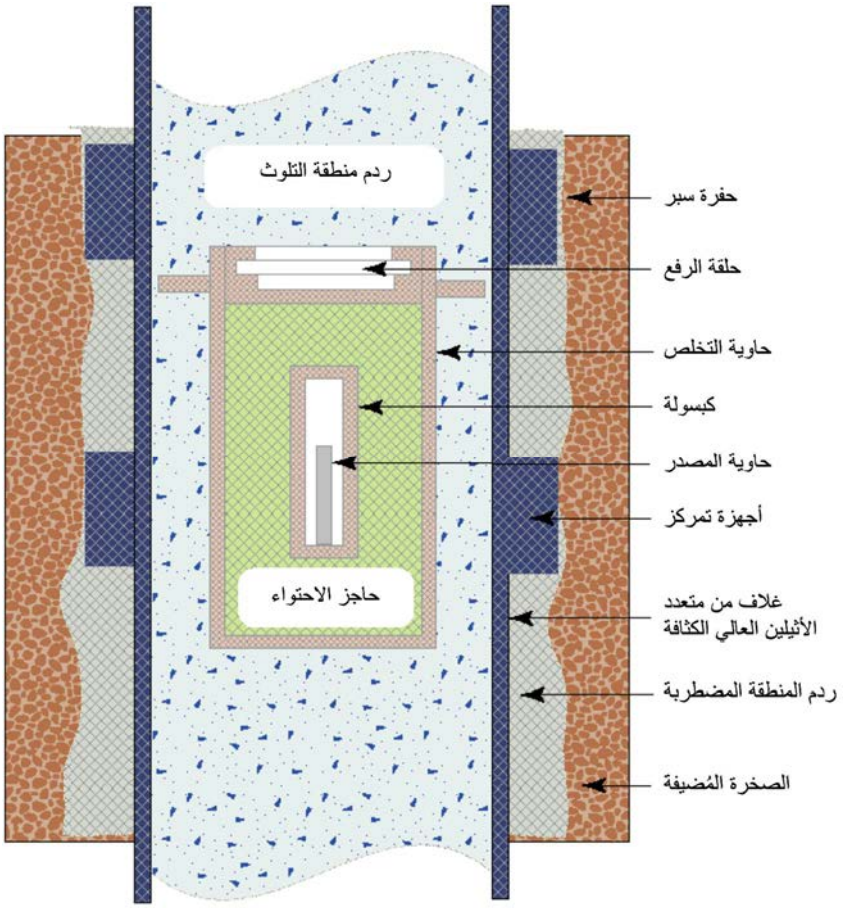
يتم تطوير مستودعات المنجمية، التي تشمل الكهوف أو الأنفاق مع أنواع مختلفة من الحواجز الهندسية في العديد من البلدان التي لديها نفايات ناتجة عن صناعة القوى النووية من أجل التصرف من هذه النفايات. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أيضاً النظر في استخدام المناجم و/أو الكهوف المهمَلة في التخلص الجيولوجي. وفي كلتا الحالتين، يجب إثبات مدى ملاءمتها من خلال بيان حالة الأمان والامتثال للعملية الرقابية المحددة. واعتماداً على موقعها وتصميمها، أو بسبب القرارات السياسية، قد تقتصر بعض مرافق التخلص الجيولوجي على تلقي النفايات الضعيفة الإشعاع أو النفايات المتوسطة الإشعاع، بينما قد يكون البعض الآخر مناسباً للتخلص من النفايات القوية الإشعاع والوقود المستهلك المعلن كنفايات. وبغض النظر عن ذلك، فإن الاحتواء الذي توفره جميع هذه المستودعات [٨٣] سيكون أكثر من كافٍ للتخلص من جميع أنواع المصادر المشعَّة، بحيث يمكن للبلدان التي لديها إمكانية الوصول إلى مستودع جيولوجي أن تنظر في خزن جميع المصادر المشعَّة للتخلص النهائي منها، شريطة أن تسمح بذلك المتطلبات القانونية والرقابية المتعلقة بمخزون المستودع. وفي الواقع، تفرض بعض البلدان قيوداً صارمة على أنواع النفايات التي يمكن وضعها في مستودعات محددة، وتطبيقها لأسباب تتعلق بالسياسات وليست بالضرورة مبررة باعتبارات الأمان والأداء.

وفي الوقت الحالي، لا توجد مرافق تخلص جيولوجي عاملة للتخلص من النفايات القوية الإشعاع أو الوقود النووي المستهلك المعلن كنفايات. ومع ذلك، توجد مرافق جيولوجية تقبل أو قبلت فئات أخرى من النفايات المشعَّة ومن المتوقع حدوث المزيد خلال العقد القادم. وعلى سبيل المثال، تقع المحطة التجريبية لعزل النفايات في صحراء تشيواوان، خارج كارلزباد، في نيو مكسيكو، بالولايات المتحدة الأمريكية. وقد بدأت عمليات التخلص في آذار/مارس ١٩٩٩. ويقع المستودع في تكوينات ملحية ذات أسرَّة على عمق ٦٥٠ متراً. وتم ترخيص المرفق للتخلص من نفايات ما وراء اليورانيوم المتولدة من برنامج الدفاع الحكومي. وتم ترخيص المرفق أيضاً لقبول جميع المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة المكيفة، التي تحتوي على الأميريشيوم-٢٤١ والبلوتونيوم-٢٣٨ والبلوتونيوم-٢٣٩، المصنعة في الولايات المتحدة، من أجل التخلص منها.

وتم استخدام مستودع آخر، مرفق التخلص الجيولوجي الموجود في منجم ملحي سابق في مورزليبن بألمانيا، للتخلص من النفايات الضعيفة والمتوسطة الإشعاع، بما في ذلك بعض المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة. ومع ذلك، فإن نوع النظائر ومستويات النشاط المقبولة للتخلص كانت محدودة للغاية [٨٢]. وفي الوقت الحاضر، يخضع مرفق مورزليبن لترخيص الختم والإغلاق.

١٢-٢-٣- التخلص في المهاوي وحفر السبر

المصادر المشعَّة المهمَلة غير المقبولة للتخلص في مستودعات قريبة من سطح الأرض، لأن نشاطها المحدد الأولي يتجاوز معايير القبول أو لأنها لن تضمحل بشكل كافٍ خلال فترة الرقابة المؤسسية، قد يكون من المناسب التخلص منها بعمق أكبر في مرافق التخلص الموجودة في موقع مناسب والمصممة لذلك. وفي الدول الأعضاء التي لديها برامج نووية لا تذكر أو حيث يكون توافر الموارد محدوداً، يعد التخلص من المصادر المشعَّة المهمَلة في الأعمدة والمهاوي وحفر السبر خياراً واعداً. ويستلزم التخلص في حفر السبر من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة وضع نفايات مشعَّة صلبة أو مصلّدة في مرفق مصمم هندسياً يشتمل على حفرة سبر بقُطر ضيق نسبياً يتم حفرها مباشرة من السطح. وتنظر مفاهيم أخرى في التخلص في مهاوي ذات قُطر أوسع. وقد تغطي مرافق التخلص داخل حفر السبر والمهاوي مجموعة من التصاميم بأعماق تتراوح من بضع عشرات من الأمتار إلى عدة مئات من الأمتار. ويمكن أن تتفاوت أقطارها من بضع عشرات من السنتيمترات إلى أكثر من متر واحد [٨٤-٨٦]. وقد تحتوي حفرة السبر أو المَهوَى على غلاف وعادة ما يتم احتواء المصادر في عبوة مصممة هندسياً محاطة بمادة الردم (الشكل ١٠٩).



الشكل ١٠٩- رسم توضيحي للمكونات المحتملة لنظام التخلص في حفرة سبر.

وقد يتكون مرفق التخلص من حفرة سبر واحدة أو مجموعة من حفر السبر التي قد تكون أو لا تكون موجودة بالاقتران مع مرافق نووية أخرى. ويحد المخزون المحدود من النويدات المشعَّة بشكل جوهري من المخاطر المحتملة على الأشخاص والبيئة. وتتمتع مرافق التخلص داخل حفر السبر بعدد من الخصائص المواتية للاستفادة المحتملة من أمان النفايات والناحية الاقتصادية، وهي:

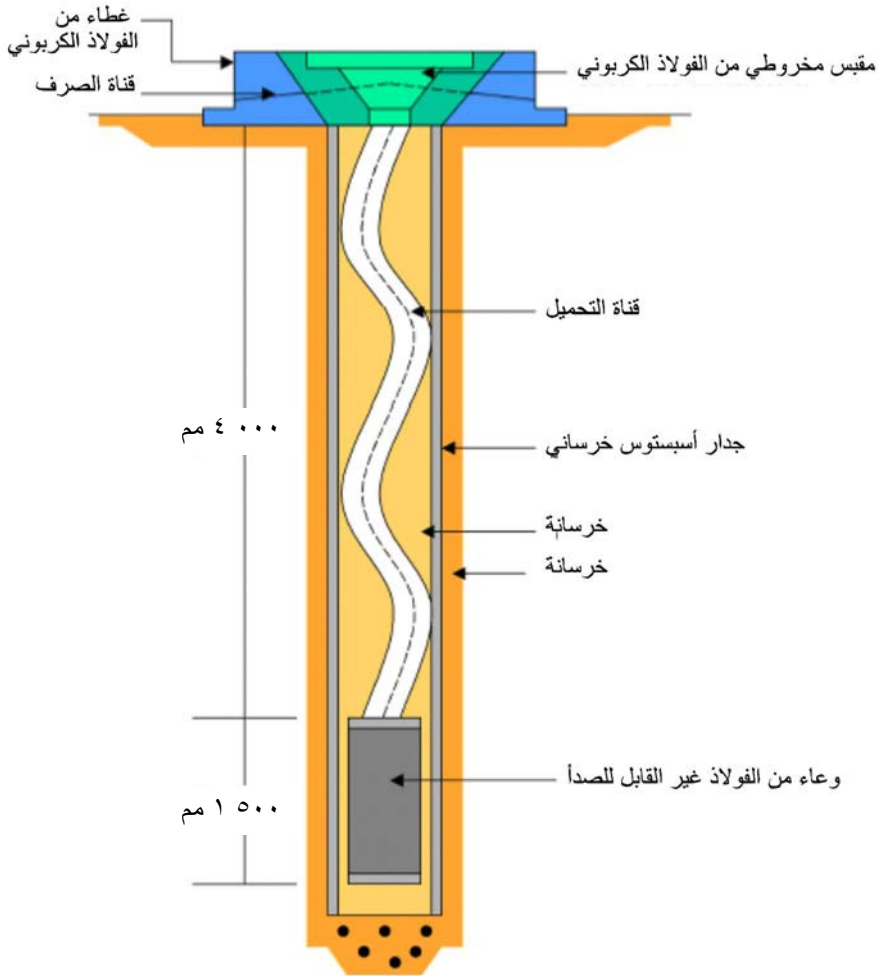
- توفير عزل طويل الأجل عن الإنسان والبيئة لأحجام صغيرة من النفايات المشعَّة ذات النشاط المحدد العالي في عبوات نفايات ذات درجة عالية من السلامة؛
- توفير وصول مباشر وفعال من حيث التكلفة إلى أفق جيولوجي مناسب، باستخدام التكنولوجيا المتاحة بسهولة؛
- تتطلب مساحة أرض محدودة وبنية أساسية محدودة؛
- تتطلب فترات قصيرة من التشييد والتشغيل والإغلاق؛
- ذات احتمالية منخفضة للتدخل البشري والأحداث التخريبية المستقبلية نظراً لصغر مساحة حفرة السبر والقدرة على تحديد عمق مناسب.

ويمكن تصميم الحواجز الطبيعية والمصممة هندسياً لتوفير الأمان على المدى الطويل عن طريق وظائف أمان متعددة لا تعتمد بشكل غير ملائم على بعضها البعض. ويمكن تحقيق ذلك من خلال التأكد من أن وظائف الحواجز الهندسية والطبيعية تعتمد على عمليات فيزيائية وكيميائية متنوعة ومضمونة من خلال إجراءات إدارة الجودة. وبهذه الطريقة، لا ينبغي أن يعتمد الأمان العام للنظام بشكل كبير على أداء أي مكون واحد. ويرد مزيد من التفاصيل بشأن التخلص في حفر السبر في المرجع [٤٨].

واستُخدمت مرافق حفر السبر في عدد من البلدان لخزن النفايات المشعَّة والتخلص منها. ويرِد استعراض موجز بشأن هذه المرافق في المرجع [٨١].

وعلى سبيل المثال، تم التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في المهاوي أو حفر السبر المنشأة في البيئات القاحلة في المنطقة غير المشبعة في مرفق التخلص بالاحتواء الأكبر، في موقع إجراء التجارب في نيفادا في الولايات المتحدة وفي جبل والتون إيست في أستراليا [٨٧، و٨٨].

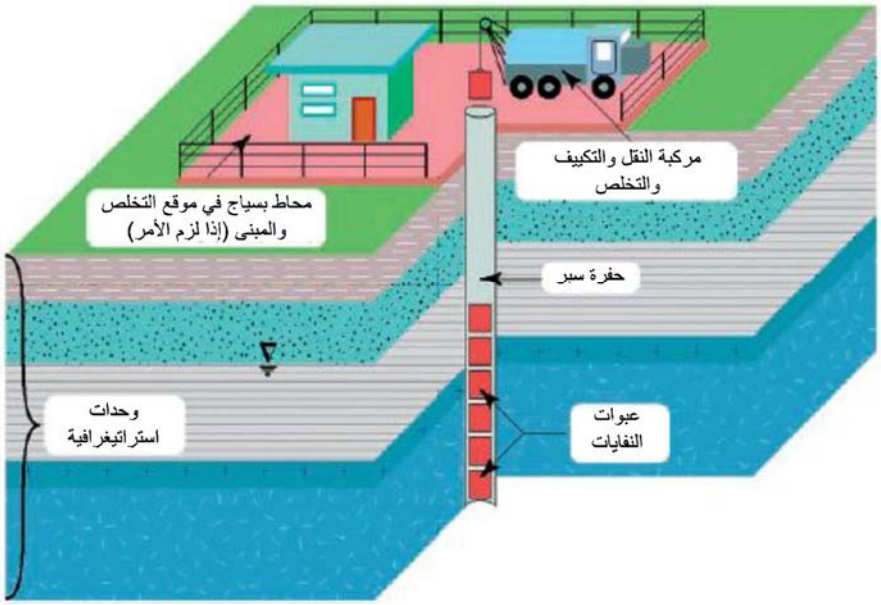
وكمثال آخر، فإن مرفق حفر السبر الخاص بالمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في الاتحاد الروسي عبارة عن وعاء أسطواني من الفولاذ غير القابل للصدأ يبلغ قُطره ٤٠٠ مم وارتفاعه ١ ٥٠٠ مم، ويتم وضعه على عمق ٤ أمتار في بئر من الخرسانة المسلحة (الشكل ١١٠). ويستخدم خليط من الطين والأسمنت لردم حفرة البناء الأولية في الأرض حول الجدار الخرساني للمرفق وهو يعمل بمثابة مانع للتسرب. ويأخذ تصميم المرفق في الاعتبار درجة الحرارة القصوى المسموح بها الناتجة عن المصادر (حوالي ٢٣٠ درجة مئوية). ولتلبية هذا المطلب، يجب ألا يتجاوز الحد الأقصى للحمل في المرفق ١,٨٥ بيتابكريل (٥٠ ٠٠٠ كوري). و"تمت زيادة سعة مرافق حفر السبر إلى ٦,٧ بيتابكريل (١٨٠ ٠٠٠ كوري) عند استخدام التكييف في الموقع باستخدام مصفوفة معدنية."



الشكل ١١٠- تصميم مستودع حفرة سبر من "نوع الرادون" في الاتحاد الروسي.

ويجري التخطيط حالياً لمرافق التخلص داخل حفر السبر الجديدة كامتداد لمرفق التخلص التقليدي بالقرب من سطح الأرض، والتي قد تكون قيد التشغيل بالفعل أو في مرحلة التخطيط [٨٩، و٩٠]. كما طورت الوكالة، بالتعاون مع شركة جنوب أفريقيا للطاقة النووية في جنوب أفريقيا، تصميماً لمفهوم التخلص في حفر السبر خصيصاً للتخلص المأمون من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة [٧٣، و٨٥، و٨٦].

ويستلزم مفهوم التخلص في حفر السبر (الموضح تخطيطياً في الشكل ١١١) وضع المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في مرفق مصمم هندسياً مجوف أو محفور ويعمل مباشرة من السطح. يُنظر إلى التخلص داخل حفر السبر بشكل أساسي على أنه نشاط صغير الحجم يمكن تنفيذه دون برنامج كبير للبحث العلمي والموقعي.



الشكل ١١١- رسم تخطيطي لمفهوم التخلص في حفر السبر والمرفق.

ومن منظور متطلبات الأمان، لا يختلف التخلص في حفر السبر عن التخلص بالقرب من سطح الأرض أو التخلص الجيولوجي من النفايات المشعَّة. وفي الواقع، نظراً لأن نطاق الأعماق الذي يتم الوصول إليه عن طريق التخلص في حفر السبر يقترب من الأعماق المرتبطة عادةً بالتخلص بالقرب من سطح الأرض والتخلص الجيولوجي، يتم إيلاء الاعتبار لعناصر كليهما. وبالنسبة للتخلص بالقرب من سطح الأرض والتخلص الجيولوجي، فإن مجموعة من الحواجز الطبيعية والحواجز الهندسية تساهم في أمان التخلص داخل حفر السبر. وتم تصميم هذه الحواجز معاً لاحتواء المواد المشعَّة إلى أن تضمحل إلى مستويات غير مهمة، ولتوفير عزل واحتواء كافيين لضمان مستوى كافٍ من الوقاية للأشخاص والبيئة [٩١]. وفي المرجع [٩١] يتم توفير إرشادات بشأن كيفية تنظيم أنشطة الاستعداد لتقديم الأمان المطلوب على المستوى التشغيلي وفيما بعد الإغلاق (أي كيفية تلبية متطلبات الحماية والمعايير المرتبطة بها) للمرفق الجديد للتخلص في حفر السبر.

١٢-٣- المشاكل المعترَضة والدروس المستفادة

١٢-٣-١- التخلص من النفايات قرب سطح الأرض

طور العديد من الدول الأعضاء مرافق للتخلص بالقرب من سطح الأرض من أجل النفايات الضعيفة الإشعاع جداً والنفايات الضعيفة الإشعاع. ومع ذلك، فإن الخصائص المحددة للعديد من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة لا تتوافق مع معايير قبول النفايات التي أرسيت للمرافق الحالية قيد التشغيل بالفعل. وهذه الخصائص تشمل:

- مستويات النشاط: الخاصية الأساسية للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ضمن الفئتين ١ و٢ هي النشاط العالي المتبقي.
- النشاط النوعي العالي: يتجاوز عدد كبير من المصادر ذات النشاط الأعلى حدود النشاط المحددة للنفايات المقبولة في مرافق التخلص من النفايات قرب سطح الأرض لأنها قد تؤدي إلى جرعات إشعاعية غير مقبولة في حالة التدخل البشري غير المقصود.
- الخصائص الفيزيائية والكيميائية: على الرغم من استخدام البناء القوي في تصنيع المصادر المختومة، إلا أنها ليست غير قابلة للتدمير. ويحدد الشكل الكيميائي للمحتويات المشعَّة درجة التشتت وإمكانية نزوح النويدات المشعَّة.
- الحرارة والجرعة: قد يتسبب النشاط النوعي العالي لمصدر من الفئة ١ في درجات حرارة محلية مرتفعة موضعية، مما قد يؤدي إلى تقليل قدرة العزل لواحد أو أكثر من الحواجز.
- توليد الغاز: يجب مراعاة توليد الغاز المحتمل بسبب الاضمحلال الإشعاعي ونواتج الاضمحلال الإشعاعي والتآكل.

وتم التخلص من عدد من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة غير المكيَّفة الممزوجة بنفايات أخرى في مرافق قريبة من سطح الأرض لها خصائص موقعية غير مناسبة، مما تسبب في مخاوف خطيرة تتعلق بالأمان بسبب النشاط العالي والطبيعة الطويلة

العمر للمصادر التي تم التخلص منها. وقد أدت هذه المخاوف على الدوام إلى قيام السلطات المختصة بالنظر في استرجاع واستعادة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ذات النشاط العالي والطويلة العمر من هذه المرافق في العديد من البلدان، مثل إستونيا وهنغاريا وليتوانيا، كجزء من برامج تطوير المستودعات الخاصة بهم [٨٢].

وفي لاتفيا، تم التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في مرفق الرادون في موقع بالدوني خلال الفترة من الستينيات إلى أوائل التسعينيات. ومنذ ذلك الحين، لم يعد يُسمح بالتخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ويتم الآن استرجاعها ونقلها إلى قبو خزن مؤقت جديد. وستعتمد الإجراءات المستقبلية المتعلقة بالمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، التي تم التخلص منها بالفعل وتلك الموجودة في الخزن، على نتيجة تقييم الأمان لتحديد ما إذا كان هناك حاجة إلى أي إجراء علاجي.

وبين عامي ١٩٦٣ و١٩٨٨، تم التخلص من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة في ليتوانيا في مستودع مايسياغالا القريب من سطح الأرض. وقد أعيد تصنيف المستودع مؤخراً كمرفق خزن وتم تنفيذ مشروع ترقية له خلال الفترة من ٢٠٠٤ إلى ٢٠٠٦. ومن المخطط استرجاع النفايات التي تم التخلص منها بمجرد توفر التخلص الجيولوجي.

وتفترض حالات الأمان للعديد من مرافق التخلص من النفايات قرب سطح الأرض فترة من الرقابة المؤسسية (عادةً ما تكون بضع عشرات إلى مئات السنين) يُفترض ألا يكون من المحتمل خلالها حدوث تدخل بشري غير مقصود. ومع ذلك، حتى خلال هذه الفترة وخاصة الأطر الزمنية الأطول، والتي لن تضمحل خلالها المصادر ذات النشاط العالي والطويلة العمر بشكل كافٍ، فمن المتصور أن الرقابة المؤسسية لن تكون كاملة، وبالتالي لا يمكن استبعاد التدخل البشري غير المقصود وتعرض البشر لخطر الإشعاعات المرتبط بذلك.

١٢-٣-٢- التخلص الجيولوجي

تكلفة بناء مرفق التخلص الجيولوجي عالية. وسيكون من الصعب تبرير بناء مثل هذه المستودعات في البلدان التي لديها عدد قليل من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الطويلة العمر. والحلول الممكنة هي تصميم مرفق حفرة سبر مناسب، أو اعتبارات تقاسم مسؤوليات التخلص على نطاق إقليمي. ويثير الحل الأخير أسئلة مرتبطة بخيار المستودعات المتعددة الجنسيات، كما تمت مناقشته بمزيد من التفصيل على سبيل المثال في المرجع [٩٢].

١٢-٣-٣- التخلص في حفر السبر

يمكن أن يوفر مفهوم التخلص في حفر السبر الذي طورته الوكالة خصيصاً للمصادر المشعَّة المهمَلة [٧٣، ٩١] خياراً فعالاً من حيث التكلفة ومأموناً للتخلص، خاصة بالنسبة للبلدان ذات البنية الأساسية النووية المحدودة. وهو خيار واعد خاصة للبلدان التي لديها المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة فقط ولا توجد لديها مرافق أخرى للتخلص من النفايات المشعَّة.

وتم التخفيف من بعض مخاوف الأمان المرتبطة بالتخلص داخل حفر السبر من نوع الرادون من خلال التكييف في الموقع للمصادر المكشوفة باستخدام سبيكة معدنية ذات نقطة انصهار منخفضة وإدخال قابلية الاسترجاع في التصميم [٩٣]. ومع ذلك، فإن هذه الممارسة التي تم التخطيط لها مسبقاً كي تكون للتخلص، تعتبر الآن بمثابة وسيلة خزن.

وطور الاتحاد الروسي أيضاً تصميماً جديداً من الحاويات لكي تستخدم مع المصادر المشعَّة الطويلة العمر، مما يتيح استرجاع المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الجوفية لنقلها إلى التخلص النهائي. وتحتوي حاوية المستودع هذه على خزان جوفي لخزن المصادر بحجم ١٠٦ ديسيمترات مكعبة. وهي مصممة لخزن المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ذات النشاط الإشعاعي الإجمالي البالغ ٣,٧ × ١٠^{١٤} بكريل (١٠ كيلو كوري).

ووافق مرفق التخلص في نوفي هان في بلغاريا على المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة للتخلص منها. وتم تعليق الترخيص التشغيلي للمرفق في عام ١٩٩٤ لأسباب تتعلق بالأمان. وبعد ذلك، تم البدء في برنامج ترقية رئيسي لتحسين أمان المستودعات [٨٢].

ومثال آخر على التخلص في حفر السبر من المصادر المختومة المهمَلة هو مستودع بوسبوكسيلاغي في هنغاريا، والذي يقع على بعد حوالي ٤٠ كم شمال بودابست على سلسلة من التلال. تم التخلص من النفايات في عدد من وحدات التخلص بالقرب من سطح الأرض (الأقبية وحفر السبر) باستخدام حواجز هندسية. وكانت المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الطويلة العمر الموضوعة في حفر السبر يعتزم في البداية التخلص منها، ولكن تم إعادة النظر في هذا النهج على أن هذه المصادر قيد الخزن، وفي انتظار الاسترجاع، قبل التخلص منها في مستودع جيولوجي.

١٣- بيان حالة الأمان وتقييم الأمان

تتطلب متطلبات الأمان الصادرة عن الوكالة [٦٢، و٧٢]، من بين أمور أخرى، وضع بيان حالة أمان جنباً إلى جنب مع تقييم الأمان الداعم. وبيان حالة الأمان هو جمع الحجج والأدلة العلمية والتقنية والإدارية والتنظيمية لدعم أمان مرفق التخلص، والتي تشمل ملاءمة الموقع وتصميم المرفق وتشييده وتشغيله وتقييم مخاطر الإشعاع وضمان كفاية وجودة جميع الأعمال المتعلقة بالأمان المرتبطة بمرفق التخلص. وتقييم الأمان، وهو جزء لا يتجزأ من بيان حالة الأمان، مدفوع بالتقييم المنهجي للمخاطر الإشعاعية وهو عنصر مهم في بيان حالة الأمان. ويتضمن الأخير تحديد كمية جرعة الإشعاع ومخاطر الإشعاع التي قد تنشأ لمقارنتها مع معايير الجرعة والمخاطر، ويوفر فهماً لسلوك المرفق في ظل الظروف العادية والأحداث المؤدية للاضطراب، مع مراعاة الأطر الزمنية التي تظل فيها النفايات المشعَّة خطرة. ويوفر بيان حالة الأمان وتقييم الأمان الداعم الأساس لإثبات الأمان والترخيص. وكلاهما يتطور مع تطوير المرفق، وسوف يساعدان ويوجهان القرارات المتخذة بشأن تحديد الموقع والتصميم والعمليات. وسيكون بيان حالة الأمان أيضاً الأساس الرئيسي الذي سيتم بناءً عليه إجراء الحوار مع الأطراف المعنية والذي ستقوم عليه الثقة في أمان المرفق. وتوفر أدلة الأمان الصادرة عن الوكالة [٩٤، و٩٥] إرشادات وتوصيات بشأن تلبية متطلبات الأمان لبيان حالة الأمان وتقييم الأمان الداعم للتصرف في النفايات المشعَّة تمهيداً للتخلص منها والتخلص الفعلي منها.

وتقييم الأمان على النحو المحدد في المرجع [١] هو "تقييم جميع الجوانب التي تخص ممارسة ما والتي تكون ذات صلة بالوقاية والأمان؛ وبالنسبة للمرفق المأذون به، يشمل ذلك تحديد موقع المرفق وتصميمه وتشغيله". ويؤدي تقييم الأمان دوراً مهماً على مدى العمر التشغيلي للمرفق أو النشاط كلما قام المصممون أو المشيّدون أو الصانعون أو المنظمة المشغّلة أو الهيئة الرقابية باتخاذ قرارات بشأن قضايا الأمان. ويوفِّر وضع نظام تقييم الأمان واستخدامه في البداية إطاراً لاكتساب المعلومات الضرورية من أجل إثبات الامتثال لمتطلبات الأمان ذات الصلة، ولتطوير تقييم الأمان وتعهّده على مدى العمر التشغيلي للمرفق أو النشاط.

ويلزم إعداد تقييمات الأمان للمرافق والأنشطة المستخدمة للتصرف في المصادر المختومة المهمَلة كدوافق نفايات معينة، بما في ذلك أنشطة الإخراج من الخدمة، لإثبات أن أساس الأمان مناسب، وبشكل أكثر تحديداً، أن هذه المرافق والأنشطة ستكون وفقاً لمتطلبات الأمان التي وضعتها الهيئة الرقابية [٩٦]. ويجب أن يوضح تقييم الأمان أيضاً أن عبوات المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة ستقيد النويدات المشعَّة بشكل كافٍ في العمليات العادية وفي الحادثات والحوادث المفترضة.

١٣-١- مبادئ تقييم الأمان

تنص وثيقة 'مبادئ الأمان الأساسية' الصادرة عن الوكالة [٢٨] على أن "غاية الأمان الجوهرية هي حماية الناس والبيئة من التأثيرات الضارة للإشعاعات المؤيّنة". وتنطبق هذه الغاية على جميع المرافق والأنشطة التي تتعامل مع التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، ويجب تحقيقها في جميع مراحل عمر هذه المرافق والأنشطة دون تقييد تطبيق التكنولوجيا بلا داعٍ.

ومراحل العمر التشغيلي لمرفق أو نشاط معيّن يتم فيه تنفيذ تقييم للأمان واستيفاؤه واستخدامه من قبل المصممين أو المنظمة المشغّلة أو الهيئة الرقابية تشمل ما يلي [٩٦]:

(أ) تقييم موقع المرفق أو النشاط؛

(ب) إعداد التصميم؛

(ج) تشييد المرفق أو تنفيذ النشاط؛

(د) إدخال المرفق أو النشاط في الخدمة؛

(هـ) بدء تشغيل المرفق أو مزاولة النشاط؛

(و) التشغيل العادي للمرفق أو المزاولة العادية للنشاط؛

(ز) تعديل التصميم أو التشغيل؛

(ح) استعراضات الأمان الدورية؛

(ط) تمديد العمر التشغيلي للمرفق لفترة تتجاوز عمره التصميمي الأصلي؛

(ي) التغيّرات في ملكية المرفق أو إدارته؛

(ك) إخراج مرفق ما من الخدمة وتفكيكه؛

(ل) إغلاق مستودع للتخلص من النفايات المشعَّة ومرحلة ما بعد الإغلاق؛

(م) استصلاح موقع ما ورفع التحكم الرقابي عنه.

وبالنسبة للعديد من المرافق والأنشطة، سيلزم إجراء تقييمات للأثر البيئي وتقييمات للمخاطر غير الإشعاعية قبل التمكن من بدء عملية التشييد أو التنفيذ. وسيكون لتقييمات هذه الجوانب، على وجه العموم، أوجه مشتركة عديدة مع تقييم الأمان المنفَّذ من أجل التصدّي للمخاطر الإشعاعية المرتبطة به. ويجوز الجمع بين هذه التقييمات المختلفة بغية توفير الموارد وزيادة مصداقية نتائجها ودرجة مقبوليتها.

وتتضمن وثيقة 'مبادئ الأمان الأساسية' [٢٨] عشرة مبادئ يجب تطبيقها لتحقيق غاية الأمان الجوهرية هذه. ويؤدي ذلك، فيما يؤدي إليه، إلى متطلب إجراء تقييم للأمان. وتمت مناقشة العلاقة المتبادلة بين مبادئ الأمان الأساسية وتقييم الأمان بالتفصيل في المرجع [٩٦]، والتي تحدد أيضاً المتطلبات القابلة للتطبيق عموماً التي يتعين الوفاء بها في تقييم الأمان للمرافق والأنشطة، مع إيلاء اهتمام خاص للدفاع في العمق والتحليلات الكمية وتطبيق نهج متدرج على مجموعات المرافق والأنشطة المعنية. ويتناول هذا المنشور أيضاً عملية التحقق المستقل من تقييم الأمان التي يجب أن يجريها واضعو تقييم الأمان ومستخدموه. والقصد من هذا المنشور توفير أساس متّسق ومتماسك لتقييم الأمان في جميع المرافق والأنشطة، بما يتيح تيسير نقل الممارسات الجيدة بين المنظمات التي تجري عمليات تقييم الأمان، كما سيساعد في احتياجات تقييم الأمان لمراعاة الأحداث الداخلية المتعلقة بالعملية (الحريق الداخلي، وعبوات النفايات المتساقطة، وفشل احتواء عبوة النفايات، وقصور التهوية، وانقطاع التيار الكهربائي، وما إلى ذلك) والمخاطر الخارجية (مثل حوادث الطائرات، وحوادث النقل بعيداً عن المرفق، والزلازل، والأعاصير والحرائق الخارجية).

١٣-٢- عملية تقييم الأمان

العناصر الرئيسية لعملية تقييم الأمان والتحقق منه موضحة في الشكل ١١٢ [٩٦]. ويتطلب ذلك إجراء تقييم منهجي لجميع سمات المرفق أو الأنشطة ذات الصلة بالأمان، ويشمل التقييم ما يلي:

(أ) التحضير لعملية تقييم الأمان، من حيث تجميع الدراية والأدوات والمعلومات المطلوبة لتنفيذ العمل؛

(ب) تحديد المخاطر الإشعاعية الممكنة الناتجة عن التشغيل العادي أو عن الوقائع التشغيلية المتوقعة أو عن حالات الحوادث؛

(ج) تعيين وتقييم مجموعة شاملة من المهام المرتبطة بالأمان؛

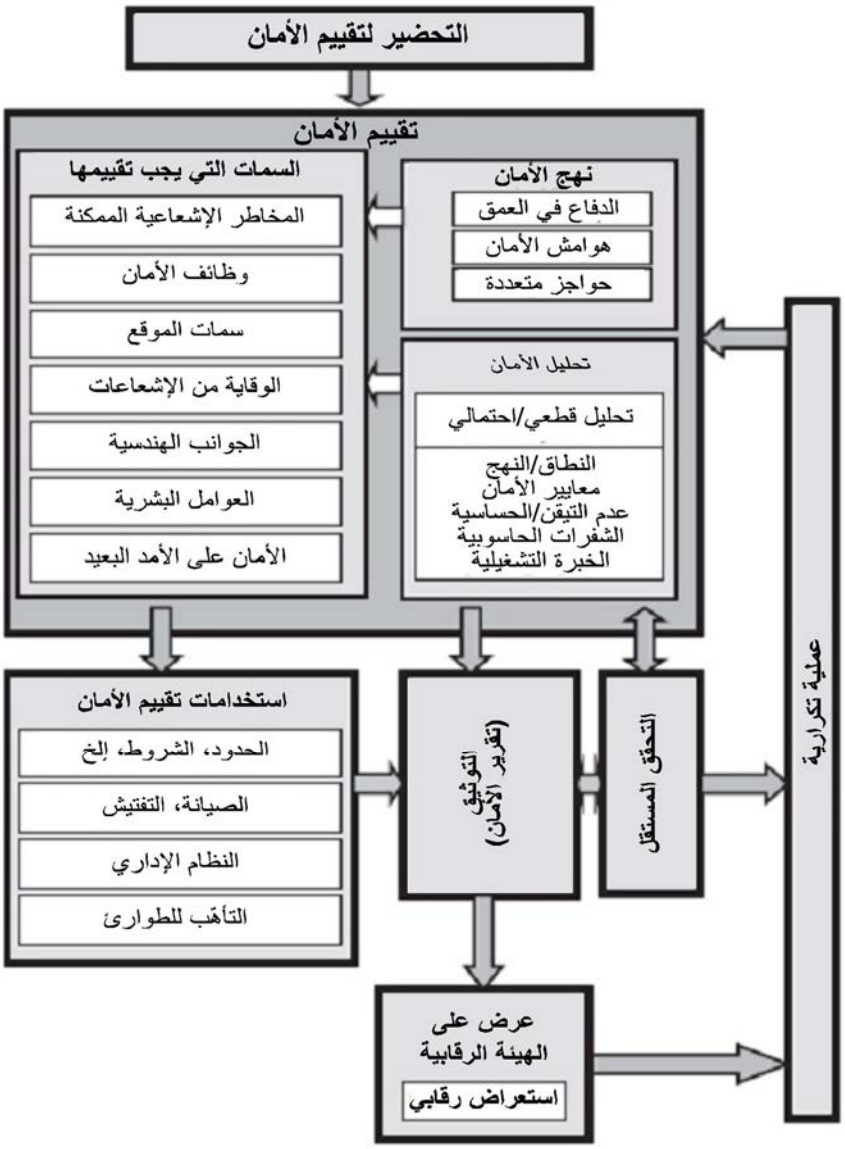
(د) تقييم سمات الموقع المرتبطة بالمخاطر الإشعاعية الممكنة؛

(ه) تقييم ترتيبات الوقاية من الإشعاعات؛

(و) تقييم الجوانب الهندسية لتحديد ما إذا كانت قد تمت تلبية متطلبات الأمان ذات الصلة بالتصميم فيما يخص المرفق أو النشاط؛

(ز) تقييم ما يرتبط بالعامل البشري من جوانب تصميم المرفق وتشغيلها أو تخطيط النشاط وتنفيذه؛

(ح) تقييم الأمان على الأمد الأبعد، وهو ما يتسم بأهمية خاصة في الحالات التي قد تحدث فيها تداعيات ناتجة عن التقادم ربما أثَّرت على هوامش الأمان، وعند إخراج المرافق من الخدمة وتفكيكها، وعند إغلاق مستودعات المواد المشعَّة.



الشكل ١١٢- لمحة شاملة عن عملية تقييم الأمان [٩٦].

ويجب إجراء تقييم الأمان مع إيلاء الاعتبار الواجب لجميع اللوائح ذات الصلة وإرشادات الأمان ذات الصلة بالمخاطر الممكنة في كل مرحلة من مراحل التصرف في النفايات. ويجب أن يشمل تقييم الأمان جميع العمليات والمخاطر الكامنة المرتبطة بكل جانب من جوانب التصرف في النفايات المشعَّة في المرفق. وقد تكون تقييمات الأمان مطلوبة أيضاً لممارسات التصرف في النفايات خارج الموقع، بما في ذلك نقل النفايات.

وتُكرَّر عملية تقييم أمان المرافق والأنشطة كلياً أو جزئياً حسب الاقتضاء في وقت لاحق من سير العمليات، وذلك كي يؤخذ في الحسبان تغيُّر الظروف (مثل تطبيق معايير جديدة أو حدوث تطورات علمية وتكنولوجية)، ومردود خبرة التشغيل، فضلاً عن مراعاة التعديلات المُدخَلة وآثار التقادم. وبالنسبة للعمليات التي تستمر لفترات زمنية طويلة، تُراجَع عمليات التقييم وتُكرَّر حسب الاقتضاء. ويكون استمرار تلك العمليات مرهوناً بإثبات عمليات إعادة التقويم المذكورة أن تدابير الأمان لا تزال وافية بما يرضي الهيئة الرقابية.

وفي حالة مستودع مخصّص للنفايات المشعَّة بكميات يُعتدّ بها، يجب مراعاة المخاطر الإشعاعية في مرحلة ما بعد الإغلاق. وقد تنشأ مخاطر إشعاعية في أعقاب إغلاق المستودع من عمليات تحدث تدريجياً، مثل تدهور حالة الحواجز، ومن أحداث غير مترابطة يمكن أن تؤثِّر في عزل النفايات، مثل الاقتحام البشري غير المقصود أو تغييرات مفاجئة تحدث في ظروف جيولوجية.

وينبغي النظر في النطاق الكامل لخصائص النفايات المتوقعة، كما يجب تقييم الآثار والتأثيرات البيئية للعمليات العادية للمرفق وظروف الحوادث المحتملة في تقييمات الأمان. وسيستلزم ذلك تحديد المسارات البيئية للنويدات المشعَّة للإنسان والتعرضات المحتملة. ويجب استخلاص قيم المستويات المقبولة لجميع المخلفات السائلة والغازية التي يمكن تصريفها بشكل روتيني في البيئة من المرفق على أساس التعرضات المحتملة. كما ينبغي تقييم مدى كفاية المعدات المستخدمة لرصد مستويات هذه التصريفات والتحكم فيها. ويجب استعراض تقييمات الأمان من وقت لآخر وتحديثها حسب الضرورة على أساس المعلومات التي تم جمعها من خلال رصد مكان العمل والبيئة.

وترِد توصيات بشأن إعداد تقييم الأمان للتخلص من النفايات المشعَّة قرب سطح الأرض في المرجع [٩٧]. وترِد نظرة عامة بشأن تقييم الأمان بعد الإغلاق وإعداد بيان حالة الأمان لمرافق التخلص داخل حفر السبر في المرجعين [٨٦، و٩٨]. وترِد توصيات لإعداد واستعراض تقييمات الأمان لأنشطة الإخراج من الخدمة في المرجع [٩٩].

١٤- الاستنتاجات

يقدم هذا التقرير استعراضاً لخطوات التصرف المختلفة المطبقة على المصادر المشعَّة المهمَلة بهدف تقديم إرشادات عملية للدول الأعضاء للتعامل مع أي نوع من المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة الناشئة عن التطبيقات الطبية والصناعية والبحثية والتطبيقات النووية الأخرى وتكييفها ونقلها وخزنها. وهذه الإرشادات، مع الامتثال لمعايير الأمان الأساسية ومتطلبات الأمان ذات الصلة، ليست سوى طريقة واحدة للوفاء بهذه المتطلبات. ويتوخى من القارئ أن يأخذ بعين الاعتبار الظروف الفعلية والمواقف السائدة لجعل إجراءاته ومبادئه التوجيهية الفعلية فعالة وفقاً لظروفه والبنية الأساسية المتاحة.

ويمكن إيجاز الاستنتاجات المستخلصة من هذا التقرير على النحو التالي:

(أ) تطبيقات وخصائص المصادر المشعَّة المختومة المستخدمة في الطب والصناعة والبحوث متنوعة للغاية. ويُستخدم عدد كبير من المصادر المختومة المتنقِّلة، ومعظمها ذو نشاط إشعاعي ضئيل أو ضعيف، في مجالي الصناعة والطب. وتبعاً لذلك، ليس مدعاة للدهشة أن بعض المصادر تُفقد على الرغم من حفظ المعلومات عن أرصدتها والضوابط المفروضة عليها. وتركيب معظم المصادر المختومة متين تماماً بحيث إن الحوادث المنطوية على فقد المصادر عادة ما تكون ناتجة عن أخطاء بشرية. لا يمكن نقل المصادر العالية النشاط بسهولة ولكنها تنطوي على مخاطر عالية من التعرض المفرط إذا لم يتم التصرف فيها بشكل صحيح.

(ب) يجب وصف المصادر بشكل كامل من الناحية الإشعاعية والكيميائية والفيزيائية كتمهيد للتصرف الفعال فيها. وهناك تحد في التعرف على المصادر المشعَّة المختومة غير الموثقة وتحديد خصائصها. ويمكن أن يكون الدليل المرجعي لتحديد المصادر والأجهزة المشعَّة، الذي أعدته الوكالة [٢١]، أداة فعالة لتحديد المصادر المختومة والأجهزة المرتبطة بها.

(ج) يجب تضمين جميع الأنشطة المتعلقة باستخدام المصادر المهمَلة والتصرف فيها ضمن النظام الرقابي. وتتمثل إحدى مشاكل التحكم الرئيسية في تحديد الوقت الذي يصبح المصدر فيه مهملاً بالضبط. وهذا أمر بسيط إذا تم استبدال المصدر أو إغلاق المرفق. ومع ذلك، فإن العملية غالباً ما تكون تدريجية (على سبيل المثال، يتم استخدام مصدر بحثي بشكل أقل انتظاماً). وفي هذه المرحلة تكون المصادر أكثر عرضة لخطر الفقدان. ويجب أن تفرق المخططات الرقابية بين المصادر المستخدمة/المهمَلة. وتتمثل إحدى الطرق في مطالبة المستخدم بالإبلاغ المنتظم بالمخزون، مع قائمة منفصلة بالمصادر المستخدمة/المهمَلة. وقد لا يكون هذا كافياً للتعامل مع المصادر التي تنجرف تدريجياً وتصبح مهمَلة. ولذلك قد يكون الخيار الثاني هو الإبلاغ عن تاريخ آخر استخدام لكل مصدر. ويمكن بعد ذلك تعيين حد زمني إذا حدث قصور في استخدام المصدر بعد حلوله، يصبح هذا المصدر "مهمَلاً" تلقائياً.

(د) يجب تنفيذ نظام إداري حديث يشمل التعامل والتعبئة والتدريب والمراجعة وتقييم الأمان والمتطلبات الرقابية ذات الصلة وحفظ السجلات لجميع خطوات ومكونات استراتيجية التصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

(هـ) اعتماداً على الموقف، قد تتم إعادة المصادر المهمَلة إلى المورد، أو نقلها إلى مستخدم آخر، أو التخلص منها في البلد الذي تم استخدامها فيه، أو التخلص منها في بلد ثالث على استعداد لقبولها. ومما يُؤسف له أن المصادر المهمَلة غالباً ما تُطرح جانباً. وفي بعض الأحيان، تتسبَّب المصادر المطروحة جانباً في وقوع حوادث. وقد أدت هذه الحوادث، التي تحدث حتى في الدول الأعضاء التي لديها أطر تشريعية ورقابية مناسبة، إلى تعرض الأشخاص للإشعاع، مما أدى إلى عواقب وخيمة في بعض الحالات. ولهذا يلزم تزويد الهيئة الرقابية بالوسائل اللازمة التي تمكِّنها من مراقبة جميع المصادر الرئيسية الموجودة في الدولة العضو مراقبة فعَّالة. ويلزم أيضاً أن تواظب الهيئة الرقابية على إجراء اتصالات فعَّالة مع حائزي الرخص المتعلقة بتلك المصادر.

(و) إعادة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة إلى المورد يعتبر حلاً جيداً، من حيث المبدأ، على النحو المتوخى في الاتفاقية المشتركة بشأن أمان التصرف في الوقود المستهلك وأمان التصرف في النفايات المشعَّة (المرجع [١٣]، المادة ٢٨). ومع ذلك، فمن الناحية العملية، قد تكون هناك صعوبات بسبب تشريعات الدولة العضو و/أو الأعباء المالية، على سبيل المثال، أن المورد لم يعد يعمل أو لم تعد جهة تصنيع المصادر موجودة.

(ز) خزن المصادر المهمَلة في مرافق المستخدم ليس مثالياً من ناحية الأمان والأمن. وتتعرض المصادر المهمَلة في الخزن التشغيلي إلى بعض مخاطر فقدان التحكم فيها. ويقلل الخزن المركزي للمصادر المهمَلة من احتمالية فقدان التحكم. ويجب تقليل الوقت الذي يقضيه المستخدم في الخزن إلى أدنى حد، ويجب أن يولي المستخدم والجهة الرقابية اهتماماً خاصاً للتحكم في الوصول، والأمن، وصيانة السجلات المناسبة، والمسؤوليات الفردية والفحوصات الروتينية (مثل اختبارات التسرب).

(ح) يعتمد أي فصل مطلوب على مرفق الخزن وعلى مسار التخلص النهائي. ويُنصح بفصل المواد التي يُحتمل إعادة تدويرها أو إعادة استخدامها. وتعتمد معظم سياسات الفصل على معدل الجرعة (عامل مهم في الخزن) والنظائر/العمر النصفي والنشاط (عوامل مهمة في التخلص).

(ط) نظراً لبعض خصائص المصادر المهمَلة (نشاط نوعي مرتفع، ونشاط مرتفع، وعمر نصفي طويل، وما إلى ذلك) لا يمكن التخلص من العديد من المصادر في مرافق التخلص بالقرب من سطح الأرض. ونظراً لعدم توافر مستودع جيولوجي عميق حتى الآن، فإن خيار التصرف الوحيد هو الخزن الطويل الأجل. ويمكن أن يكون التخلص في حفر السبر حلاً واعداً؛ وهذا المفهوم قيد التطوير الآن. وحتى يتغير الوضع، ينبغي بذل معظم الجهود على الإعداد الكافي للمصادر المعنية للخزن عن طريق التكييف المناسب وتوفير مرافق خزن مأمونة للمصادر المكيفة. ويمكن أن تكون مرافق معالجة النفايات المركزية التي تخدم عدداً من المستخدمين خيار تصرف فعال من حيث التكلفة.

(ي) يجب على مُشغِّلي النفايات تكييف المصادر المهمَلة الأكثر فعالية من حيث التكلفة للشراء والتشغيل، والتي تلبي جميع المتطلبات المحلية والوطنية. ويجب أن يعتمد اختيار العملية، لا سيما في الدول الأعضاء النامية، على تقنية بسيطة نسبياً وقوية ومتاحة بسهولة ويمكن صيانتها وتكون كافية للتعامل مع المصادر المهمَلة. ويمكن التوصية باستخدام كبسولات الفولاذ غير القابل للصدأ متبوعاً بلحام الغطاء لتكييف المصادر الطويلة العمر في ضوء المزيد من استرجاع المصادر وتجديدها للتخلص منها.

(ك) قد يكون التفكيك مطلوباً عندما يكون الحجم كبيراً. ويجب أن تتم عملية التفكيك فقط في مرافق محتواة ومدرَّعة بشكل مناسب على يد موظفين مؤهلين وذوي خبرة مناسبة. وفي حالة عدم توافر هذه المرافق والخبرة، يمكن الحصول على النُّظُم المتنقلة وفرق الخبراء من الخارج تجارياً أو من خلال برامج المساعدة الثنائية أو الدولية.

(ل) يجب تحديد مسار التخلص قبل شراء المصدر، وإذا أمكن، يتم الاتفاق على الترتيبات التجارية في نفس الوقت. وفي حين أن هذا النهج أصبح ميعارياً، لا تتوافر للعديد من المصادر التاريخية مسارات خزن/تخلص مؤقتة في العديد من البلدان. ويُفضل عموماً الإعادة إلى جهة التصنيع عن الإرسال إلى مخزن مؤقت مركزي. وحيثما أمكن، ينبغي النظر في إعادة الاستخدام أو إعادة التدوير، ولكن من غير المحتمل أن يتم تحديد هذه المسارات في وقت الشراء. وقد تتيح الإعادة إلى جهة التصنيع إمكانية الوصول إلى إمكانيات إعادة التدوير.

(م) يجب إجراء جميع عمليات نقل المصادر المهمَلة إلى مرفق الخزن/التخلص المركزي وفقاً لإجراءات إدارية جيدة ومناسبة. ويجب أن يُصدر مُشغِّل المرفق المركزي شهادة التخلص من المصدر إلى المرسل لتأكيد نقل المسؤولية.

المراجع

[١] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، مسرد مصطلحات الأمان الصادر عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية، المصطلحات المستخدمة في مجالي الأمان النووي والوقاية من الإشعاعات، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠٠٧).

[٢] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Nature and Magnitude of the Problem of Spent Radiation Sources, IAEA-TECDOC-620, IAEA, Vienna (1990).

[٣] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Goiânia, IAEA, Vienna (1988).

[٤] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in San Salvador, IAEA, Vienna (1990).

[٥] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Tammiku, IAEA, Vienna (1998).

[٦] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Yanango, IAEA, Vienna (2000).

[٧] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Gilan, IAEA, Vienna (2002).

[٨] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Samut Prakarn, IAEA, Vienna (2002).

[٩] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Loss of an Iridium-192 Source and Therapy Misadministration at Indiana Regional Cancer Center, Indiana, Pennsylvania, on November 16, 1992, NUREG-1480, NRC, Washington, DC (1993).

[١٠] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Lilo, IAEA, Vienna (2000).

[١١] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، الوقاية من الإشعاعات وأمان المصادر الإشعاعية: معايير الأمان الأساسية الدولية: طبعة مؤقتة، الجزء ٣ من متطلبات الأمان العامة، GSR Part 3 (Interim)، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١١).

[١٢] منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، ومنظمة العمل الدولية، ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، ومنظمة الصحة للبلدان الأمريكية، ومنظمة الصحة العالمية، معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤينة ولأمان المصادر الإشعاعية، سلسلة وثائق الأمان – العدد رقم ١١٥، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (١٩٩٦).

[١٣] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, IAEA International Law Series No. 1, IAEA, Vienna (1997).

[١٤] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، مدونة قواعد السلوك بشأن أمان المصادر المشعة وأمنها، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠٠٤).

[١٥] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Handling, Conditioning and Storage of Spent Sealed Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1145, IAEA, Vienna (2000).

[١٦] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Conditioning and Interim Storage of Spent Radium Sources, IAEA-TECDOC-886, Vienna (1996).

[١٧] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Management of Spent High Activity Radioactive Sources (SHARS), IAEA-TECDOC-1301, IAEA, Vienna (2002).

[١٨] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Management of Disused Long Lived Sealed Radioactive Sources (LLSRS), IAEA-TECDOC-1357, IAEA, Vienna (2003).

[١٩] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Methods to Identify and Locate Spent Radiation Sources, IAEA-TECDOC-804, IAEA, Vienna (1995).

[٢٠] FÖLDIAK, G. (Ed.), Industrial Application of Radioisotopes, Akadémiai Kiadó, Budapest (1986).

[٢١] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Identification of Radioactive Sources and Devices: Technical Guidance, IAEA Nuclear Security Series No. 5, IAEA, Vienna (2006).

[٢٢] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Radiation Protection: Sealed Radioactive Sources — Leakage Test Methods, ISO 9978:1992, ISO, Geneva (1992).

[٢٣] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، تصنيف المصادر المشعَّة، معايير الأمان الخاصة بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، دليل الأمان رقم RS-G-1.9، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠٠٩).

[٢٤] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Categorization of Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1344, IAEA, Vienna (2003).

[٢٥] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، أمن المصادر المشعَّة، العدد ١١ من سلسلة الوكالة للأمن النووي، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١١).

[٢٦] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION Sealed Radioactive Sources: Classification, ISO 2919:1980, ISO, Geneva (1980).

[٢٧] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Protection and the Safety of Radiation Sources: A Safety Fundamental, Safety Series No. 120 (1996).

[٢٨] الاتحاد الأوروبي للطاقة الذرية، ومنظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، ومنظمة العمل الدولية، والمنظمة البحرية الدولية، ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، ومنظمة الصحة للبلدان الأمريكية، وبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، ومنظمة الصحة العالمية، مبادئ الأمان الأساسية، سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة، العدد SF-1، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠٠٧).

[٢٩] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، الإطار الحكومي والقانوني والرقابي للأمان، معايير الأمان الخاصة بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، العدد رقم GSR Part 1، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١٠).

[٣٠] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Radiation Generators and Sealed Radioactive Sources, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.10, IAEA, Vienna (2006).

[٣١] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، التحكم الرقابي في المصادر الإشعاعية، معايير الأمان الخاصة بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، العدد رقم GS-G-1.5، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١٢).

[٣٢] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، النظام الإداري للمرافق والأنشطة، سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة، العدد رقم GS-R-3، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١١).

[٣٣] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Management System for Facilities and Activities, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.1, IAEA, Vienna (2006).

[٣٤] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Quality Assurance for Safety in Nuclear Power Plants and Other Nuclear Installations, Code and Safety Guides Q1–Q14, Safety Series No. 50–C/SG-Q, IAEA, Vienna (1996).

[٣٥] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for the Processing, Handling and Storage of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards No. GS-G-3.3, IAEA, Vienna (2008).

[٣٦] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Management System for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-3.4, IAEA, Vienna (2008).

[٣٧] منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة والوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة العمل الدولية ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي ومكتب الأمم المتحدة لتنسيق الشؤون الإنسانية ومنظمة الصحة للبلدان الأمريكية ومنظمة الصحة العالمية، التأهب للطوارئ النووية أو الإشعاعية والتصدي لها، سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية، العدد رقم GSR-2، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠٠٢).

[٣٨] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، طريقة لوضع ترتيبات التصدي للطوارئ النووية أو الإشعاعية. (تحديث المنشور IAEA-TECDOC-953)، التأهب والتصدي للطوارئ، EPR-Method-2003، فيينا (٢٠٠٩).

[٣٩] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards No. GS-G-2.1, Vienna (2007).

[٤٠] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، توصيات الأمن النووي بشأن المواد المشعَّة والمرافق ذات الصلة، العدد ١٤ من سلسلة الأمن النووي الصادرة عن الوكالة، فيينا (٢٠١١).

[٤١] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Surveillance and Monitoring of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, Safety Reports Series No. 35, IAEA, Vienna (2004).

[٤٢] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Monitoring of Radioactive Contamination on Surfaces, Technical Reports Series No. 120, IAEA, Vienna (1971).

[٤٣] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Strengthening Control over Radioactive Sources in Authorized Use and Regaining Control over Orphan Sources. National strategies, IAEA-TECDOC-1388, IAEA, Vienna (2004).

[٤٤] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Regulatory Authority Information System (RAIS), (Computer software and instructions manual, Version 2.0, IAEA, Vienna (1999).

[٤٥] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، إيقاف تشغيل المنشآت الطبية والصناعية والبحثية، سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية، العدد رقم WS-G-2.2، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (١٩٩٩).

[٤٦] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، استراتيجية وطنية لاستعادة التحكم في المصادر اليتيمة وتحسين التحكم في المصادر المعرضة للخطر، سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذريــة، العـدد رقم SSG-19، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١٢).

[٤٧] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، لائحة النقل المأمون للمواد المشعَّة: طبعة ٢٠١٢، سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية، العدد SR-R-6، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١٢).

[٤٨] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Disposal Options for Disused Radioactive Sources, Technical Reports Series No. 436, IAEA, Vienna (2005).

[٤٩] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Developing Multinational Radioactive Waste Repositories: Infrastructural Framework and Scenarios of Cooperation, IAEA-TECDOC-1413, IAEA, Vienna (2004).

[٥٠] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Policies and Strategies for Radioactive Waste Management, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-G-1.1, IAEA, Vienna (2009).

[٥١] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، البنية الأساسية القانونية والحكومية المتعلقة بالأمان النووي والأمان الإشعاعي وأمان النفايات المشعَّة وأمان النقل، سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية، العدد GS-R-1، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠٠٠).

[٥٢] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Review of the Factors Affecting the Selection and Implementation of Waste Management Technologies, IAEA-TECDOC-1096, IAEA, Vienna (1999).

[٥٣] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Locating and Characterizing Disused Sealed Radioactive Sources in Historical Waste, IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.17, IAEA, Vienna (2008).

[٥٤] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY International Catalogue of Sealed Radioactive Sources and Devices, IAEA, Vienna (2004).

[٥٥] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Characterization of Radioactive Waste Forms and Packages, Technical Reports Series No. 383, IAEA, Vienna (1997).

[٥٦] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Strategy and Methodology for Radioactive Waste Characterization, IAEA-TECDOC-1537, IAEA, Vienna (2007).

[٥٧] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Clearance Levels for Radionuclides in Solid Materials, IAEA-TECDOC-855, IAEA, Vienna (1996).

[٥٨] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Principles for the Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control, Safety Series No. 89, IAEA, Vienna (1988).

[٥٩] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.7, IAEA, Vienna (2004).

[٦٠] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Reference Design for a Centralized Spent Sealed Sources Facility, IAEA-TECDOC-806, IAEA, Vienna (1995).

[٦١] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Interim Storage of Radioactive Waste Packages, Technical Reports Series No. 390, IAEA, Vienna (1998).

[٦٢] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، التصرف في النفايات المشعَّة تمهيداً للتخلص منها، سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية، العدد رقم GSR Part 5، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠٠٩).

[٦٣] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Storage of Radioactive Waste: Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-6.1, IAEA, Vienna (2006).

[٦٤] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Development of Specifications for Radioactive Waste Packages, IAEA-TECDOC-1515, IAEA, Vienna (2006).

[٦٥] ARUSTAMOV, A.E., OJOVAN, M.I., SEMENOV, K.N., SOBOLEV, I.A., Preparation of radium and other spent sealed sources containing long-lived radionuclides to long-term storage (Proc. WM'03 Conf. Tucson, 2003), (2003) CD-ROM.

[٦٦] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Classification of Radioactive Waste, General Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. GSG-1, IAEA, Vienna (2009).

[٦٧] OJOVAN, M.I., et al., An Introduction to Nuclear Waste Immobilization, Elsevier, Amsterdam (2005).

[٦٨] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Radiation Sources and Security of Radioactive Materials (Proc. Int. Conf. Dijon, 1998), IAEA, Vienna (1999).

[٦٩] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety of Radioactive Waste Management (Proc. Int. Conf. Córdoba, 2000), IAEA, Vienna (2000).

[٧٠] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Issues and Trends in Radioactive Waste Management (Proc. Int. Conf. Vienna, 2002), IAEA, Vienna (2003).

[٧١] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Security of Radioactive Sources (Proc. Int. Conf. Vienna, 2003), IAEA, Vienna (2003).

[٧٢] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، التخلص من النفايات المشعَّة، سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية، العدد رقم SSR-5، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠١١).

[٧٣] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, BOSS: Borehole Disposal of Disused Sealed Sources. A Technical Manual, IAEA-TECDOC-1644, IAEA, Vienna (2011).

[٧٤] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Gas Generation and Release from Radioactive Waste Repositories (Proc. Workshop Aix-en-Provence, 1991), OECD, Paris (1992).

[٧٥] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, Microbial Degradation of Low-Level Radioactive Waste, Rep. NUREG/CR-6341, Office of Standards Development, NRC, Washington, DC (1996).

[٧٦] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Gas Generation and Migration in Radioactive Waste Disposal (Proc. Workshop Reims, 2000), OECD, Paris (2001).

[٧٧] EUROPEAN COMMISSION, PROGRESS Project: Research into Gas Generation and Migration in Radioactive Waste Repository Systems. Final Report, Rep. EUR 19133 EN, EC, Luxembourg (2000).

[٧٨] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Considerations in the Development of Near Surface Repositories for Radioactive Waste, Technical Reports Series No. 417, IAEA, Vienna (2003).

[٧٩] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Technical Considerations in the Design of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste, IAEA-TECDOC-1256, IAEA, Vienna (2001).

[٨٠] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Scientific and Technical Basis for the Near Surface Disposal of Low and Intermediate Level Waste, Technical Reports Series No. 412, IAEA, Vienna (2002).

[٨١] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Considerations in the Disposal of Disused Sealed Radioactive Sources in Borehole Facilities, IAEA-TECDOC-1368, IAEA, Vienna (2003).

[٨٢] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Upgrading of Near Surface Repositories for Radioactive Waste, Technical Reports Series No. 433, IAEA, Vienna (2005).

[٨٣] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Issues Relating to Safety Standards on the Geological Disposal of Radioactive Waste (Proc. Mtg Vienna, 2001), IAEA-TECDOC-1282, IAEA, Vienna (2002).

[٨٤] PROZOROV, L., TKATCHENKO, A., TITKOV, V., KORNEVA, S., Prospects of Large Diameter Well Construction at 'Radon' Sites, HLW, LLW, Mixed Wastes and Environmental Restoration — Working Towards a Cleaner Environment, Waste Management 0,1, Tucson (2001).

[٨٥] VAN BLERK, J.J., VIVIER, J.J.P., PIROW, P., ANDREOLI, M.A.G., HEARD, R.G., The Borehole Disposal Concept for Spent Sources, Volume I: Development and Evaluation of the Concept, NECSA Rep. GEA-1353 (NWS-RPT-00\013), NECSA, Pretoria (2000).

[٨٦] KOZAK, M.W., STENHOUSE, M.J., VAN BLERK, J.J., The Borehole Disposal of Spent Sources, Volume II: Preliminary Safety Assessment of the Disposal Concept, NECSA Rep. GEA-1353 (NWS-RPT-00\013), NECSA, Pretoria (2000).

[٨٧] COCHRAN, J.R., et al., Compliance Assessment Document for the Transuranic Wastes in the Greater Confinement Disposal Boreholes at the Nevada Test Side, Vol. 2: Performance Assessment, Rep. Sand 2001–2977, Sandia National Laboratories, NM (2001).

[٨٨] HARTLEY, B.M., et al., "The establishment of a radioactive waste disposal facility in Western Australia for low level waste", Nuclear Energy, Science and Technology (Proc. 9th Pacific Basin Nucl. Conf. Sydney, 1994), AE Conventions Pty Ltd, Canberra (1994).

[٨٩] ANGUS, M.J., CRUMPTON, C., McHUGH, G., MORETON, A., ROBERTS, P.T., Management and Disposal of Disused Sealed Radioactive Sources in the European Union, European Commission Rep. EUR-18186EN, EC, Brussels (2000), http://europa.eu.int/comm./energy/nuclear/synopses.htm#18186

[٩٠] EUROPEAN COMMISSION, Management of Spent Sealed Radioactive Sources in Central and Eastern Europe (Czech Rep., Estonia, Hungary, Poland and Slovenia), Report EUR-19842EN, EC, Brussels (2001), http://europa.eu.int/comm./energy/nuclear/synopses.htm#19842

[٩١] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Borehole Disposal Facilities for Radioactive Wastes, IAEA Safety Standards Series No. SSG-1, IAEA, Vienna (2009).

[٩٢] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Technical, Institutional and Economic Factors Important for Developing a Multinational Radioactive Waste Repository, IAEA-TECDOC-1021, IAEA, Vienna (1998).

[٩٣] OJOVAN M.I., DMITRIEV S.A., SOBOLEV I.A., "Long-term storage and disposal of spent sealed radioactive sources in borehole type repositories", Waste Management '03 (Proc. Int. Conf. Tucson, 2003), CD-ROM, p.11.

[٩٤] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Safety Case and Safety Assessment for the Predisposal Management of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. GSG-3, IAEA, Vienna (2013).

[٩٥] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, IAEA Safety Standards Series No. SSG-23, IAEA (2012).

[٩٦] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، تقييم أمان المرافق والأنشطة، سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية، العدد رقم GSR Part 4، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠٠٩).

[٩٧] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، تقويم الأمان للتخلص من النفايات المشعَّة بالقرب من السطح، سلسلة معايير الأمان الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية، العدد رقم WS-G-1.1، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (١٩٩٩).

[٩٨] OJOVAN M.I., GUSKOV A.V., PROZOROV L.B., ARUSTAMOV A.E., POLUEKTOV P.P., SEREBRIAKOV B.E., Safety assessment of bore-hole repositories for sealed radiation sources disposal, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 608, (2000) 141–146.

[٩٩] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-5.2, IAEA, Vienna (2008).

المرفق

المخاطر المرتبطة بالمصادر المهمَلة

يناقش هذا المرفق المخاطر، ولا سيما المخاطر الإشعاعية المرتبطة بالمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة.

وقعت أكثر الحوادث خطورة والتي تنطوي على مصادر مهمَلة عندما انتهى الأمر بتلك المصادر في أيدي غير مهنيين لم يكونوا على دراية بأنهم كانوا يتعاملون مع مواد مشعَّة، لأن المعدات أو حاملات المصادر التي تحتوي على مصادر مهمَلة قد تبدو مثل الخردة العادية (انظر الشكل ألف-١). ويمكن أن يؤدي فقدان التحكم في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة أيضاً إلى مخاطر فقدان المصدر أو سرقته أو الاستحواذ عليه. ويتمثل أحد الأبعاد الجديدة للمخاطر المحتملة للمصادر المهمَلة في إمكانية سرقتها عمداً للاستخدام الشرير أو الاتجار غير المشروع.

ولقد أثبتت الحوادث الماضية أن الإشعاع، بسبب طبيعته وتاريخه، لديه قدرة فريدة على إثارة الخوف والقلق لدى عامة الناس. ولا يلزم أن تكون كمية المواد المشعَّة كبيرة لكي تتسبب في عواقب اقتصادية؛ فحتى الكمية الصغيرة منها يمكن أن تسبب تأثيرات نفسية ضخمة. ويمكن أن يؤدي تنفيذ التدابير الأمنية المناسبة إلى تقليل احتمالية حدوث مثل هذه المواقف.

ألف-١- السمات التي تؤثر على المخاطر المرتبطة بالمصادر المهمَلة

في حالة المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، يمكن أن تشمل عواقب الحادث واحداً أو أكثر مما يلي [ألف-١]:

- التلوث الداخلي و/أو الخارجي للأفراد والإصابات الإشعاعية المرتبطة به (مثل الحُمَامَى وتلف الأنسجة والبتر وحتى الموت) بسبب التعرض المفرط للأفراد؛
- تلوث المواد أو البيئة نتيجة لحدوث خرق في الغلاف وتشتت المحتوى الإشعاعي للمصادر المشعَّة المختومة (تدمير الغلاف، والذوبان مع الخردة، وما إلى ذلك)؛
- الخسائر الاقتصادية الناجمة عن العلاج الطبي، ومراقبة الإشعاعات المرتبط بالحوادث، وإزالة التلوث، والتفكيك، والتصرف في النفايات والتخلص منها، فضلاً عن التكاليف الناجمة عن فقدان القدرة الإنتاجية، والتعويض النقدي للأفراد المعرضين أكثر من اللازم، والنفقات الاجتماعية، وفقدان استخدام المصدر نفسه .

وبشكل عام، يتمثل الخطر في فرصة أو احتمال تعرض الشخص للأذى أو التعرض لتأثير صحي ضار إذا تعرض لخطر، وهو ترجيح يقوم على الاحتمال (احتمال حدوث حدث معين) والنتيجة (مدى الآثار الضارة). وتتأثر المخاطر المرتبطة بالتعرض للمصادر المشعَّة المختومة المهمَلة بخصائص المصدر، والبيئة التي يتأثر فيها المصدر، وتصرفات الأشخاص المعنيين. والمصادر المشعَّة التي تحتوي على النويدات المشعَّة الطويلة العمر، مثل الأميريشيوم-٢٤١ أو الراديوم-٢٢٦، ستظل خطرة بعد آلاف السنين. وعلى العكس من ذلك، تصبح النظائر المشعَّة القصيرة العمر مأمونة في وقت أقصر بكثير. ويقلل اضمحلال عشرة أعمار نصفية من النشاط بنحو ١ ٠٠٠ مرة. وسوف يضمحل مصدر المعالجة البُعادية مع نشاط أولي قدره ١٠٠ تيرابكريل للكوبالت-٦٠ إلى مستوى أكثر أماناً بعد ١٠٠ عام، بينما يتطلب مصدر السيزيوم-١٣٧ للنشاط نفسه ٦٠٠ عام بينما يتطلب مصدر التصوير الإشعاعي باستخدام الإيريديوم-١٩٢ أربع سنوات فقط، ليضمحل إلى نفس مستوى النشاط.

وعواقب الحادث الذي ينطوي على التعرض للمصادر المشعَّة المختومة تتناسب طرديا مع نشاطها [ألف-٢]. وبالنسبة لمصدر انبعاث ألفا أو بيتا، فإن الضرر الناجم عن التعامل مع مصدر يبلغ كيلو بكريل لن يكون قابلاً للاكتشاف، لكن مصدراً مشابهاً لقوة تيرابكريل قد يكون له آثار قاتلة (لاحظ أن هذا يفترض مصادر بيتا و/أو غاما فقط).

الشكل ألف-١- معدات خارج الخدمة تحتوي على مصادر مهمَلة.

ألف-٢- آثار الإشعاع المؤيّن

يعتمد تأثير أي تعرض للإشعاع على نوع الإشعاع المرتبط بالمصدر. وعندما ينقل الإشعاع المؤيّن الطاقة إلى الأنسجة الحية، فمن المحتمل أن يحدث الضرر. وكلما زادت شدة الإشعاع الساقط، زاد حجم الضرر. ولذلك، فإن نقل أو ترسب الطاقة في الأنسجة الحية هو الذي يحدد مدى الضرر الذي يلحق بالأنسجة، وبالتالي الإصابة. ويمكن أن يحدث تأين الأنسجة أيضاً كنتيجة مباشرة، كما هو الحال مع إشعاعات ألفا وبيتا، أو بشكل غير مباشر، كما هو الحال مع أشعة غاما والنيوترونات. وفي حين أن إشعاع ألفا له خاصية تأين عالية النوعية، فإن تغلغلها محدود للغاية.

وتعتمد خصائص تأين إشعاع غاما وتأين الحزمة النيوترونية على طاقتهما. وتتطلب المصادر النيوترونية (مثل الأميريشيوم-البريليوم والراديوم-البريليوم والبلوتونيوم-البريليوم) معالجة دقيقة بشكل خاص لأن النيوترونات المنبعثة من هذه المصادر تمثل نوعاً أكثر خطورة من الإشعاع. وعلاوة على ذلك، عند امتصاص الوسط المحيط للنيوترونات، يمكن للنيوترونات أن تحفز النشاط الإشعاعي الاصطناعي.

وبالنسبة للتأثيرات الحتمية (غير العشوائية) على الإنسان، هناك جرعات عتبية لا تظهر آثار معينة دونها. ويمكن أن يكون تعرض الجسم بالكامل فوق ٣ سيفرت، وما فوق ٧ سيفرت، قاتلاً للبشر. وإذا تعرض جزء من الجسم فقط، يمكن للفرد أن يعيش بجرعات أعلى، لكن الضرر قد يكون شديداً لدرجة أنه قد يتعين إزالة الجزء المتعرّض. ويعتمد نظام تحديد فئات المصادر لدى الوكالة [ألف-٣] على التأثيرات الحتمية.

ومن المحتمل أن تتسبب مصادر الفئة ١، إذا لم يتم التصرف فيها أو حمايتها بشكل آمن، في إصابة الشخص بشكل دائم في أثناء المناولة، أو بدلاً من ذلك، عند ملامسته المصادر لأكثر من بضع دقائق. وقد يكون من المميت أن تكون على مقربة من مادة مشعَّة غير مدرَّعة لمدة تتراوح من بضع دقائق إلى ساعة.

ويمكن أن تتسبب مصادر الفئة ٢، إذا لم يتم التصرف فيها أو حمايتها بشكل آمن، في إصابة الشخص بشكل دائم في أثناء المناولة، أو بدلاً من ذلك، عند ملامسته المصادر لفترة قصيرة من الوقت (دقائق إلى ساعات). ويمكن نوعاً ما أن يكون مميتاً أن تكون بالقرب من مادة مشعَّة غير مدرَّعة لمدة ساعات إلى أيام.

ويمكن أن تتسبب مصادر الفئة ٣، إذا لم يتم التصرف فيها أو حمايتها بشكل آمن، في حدوث إصابة دائمة للشخص في أثناء المناولة، أو بدلاً من ذلك، عند ملامسته المصادر لعدة ساعات. ومن المستبعد جداً أن يتعرض أي شخص على مقربة منها لأكثر من ساعتين في مثل هذه المسافات القصيرة.

ولا توجد عتبة للتأثيرات العشوائية، ولا سيما استحثاث السرطان والآثار الجينية؛ ويعتبر خطر التأثير متناسباً مع الجرعة. ويبلغ خطر استحثاث السرطان المميت ٢-٤ × ١٠$^{-٢}$ لكل سيفرت، بينما بالنسبة للتأثيرات الوراثية الشديدة يكون الخطر أقل، حوالي ١٠$^{-٢}$ لكل سيفرت. وترد مناقشة أشمل لتأثيرات الإشعاع المؤيّن على الإنسان والبيئة في المراجع [ألف-٤ إلى ألف-٨].

والوقت والمسافة والحماية هي العناصر الأساسية للوقاية من الإشعاعات وتقليل التعرض. وترتبط المخاطر الإشعاعية بنفس العناصر. وقد يتسبب التعرض للإشعاع في مزيد من الضرر إذا تعرض الشخص لفترات أطول، وعلى مقربة شديدة، ومع وجود مواد تدريع أقل بين المصدر والشخص. وهذه العوامل تجعل من الصعب إلحاق ضرر جسيم بأعداد كبيرة من الناس لأنه من الصعب وضع العديد من الأشخاص على مقربة شديدة من مصدر لفترة طويلة، وحتى جسم الإنسان نفسه يوفر نوعاً ما من التدريع، بحيث تكون الحشود بمثابة دروع إلى حد ما أمام المصدر المشع. وقد لا يكون لمصدر واحد، حتى لو كان كبيراً، آثاراً نفسية واجتماعية أو اقتصادية كبيرة أو دائمة.

وفي حالة وجود مصدر تالف، قد يكون التأثير على البيئة هو تلوث المباني والمنطقة العامة. والنشاط النوعي العالي للمادة المشعَّة في المصادر المختومة يعني أن انتشار كميات قليلة تبلغ ميكروغرام واحد من محتوياتها في البيئة يمكن أن يؤدي إلى خطر كبير على الإنسان، وبالتالي تقييد استخدام المباني والمناطق التي يحتمل أن تكون ملوثة. ويمكن أن تكون تكلفة إزالة التلوث مرتفعة للغاية. ولقد أدت الحوادث المنطوية على مصادر مهمَلة بالفعل إلى تلوث البيئة على نطاق واسع وارتفاع تكاليف أعمال إزالة التلوث المرتبطة بها.

ألف-٣- المخاطر السمِّية للمصادر المشعَّة

قد يكون تسمم أعداد كبيرة من الناس بالنويدات المشعَّة الموجودة في مصادر مختومة لتحقيق تأثيرات صحية على المدى القريب أمراً صعباً لأنه في الغذاء، على سبيل المثال، يجب أن تكون المادة المشعَّة شديدة التركيز إلى حد ما ليكون لها تأثير حتمي على أي فرد. والبكتيريا أكثر فعالية في إحداث الضرر. ولذلك للتأثير على العديد من الناس يتطلب استخدام كمية كبيرة جداً من المواد. ويمكن إدخال المواد المشعَّة القابلة للذوبان في خزانات المياه، لكن أي عدد معقول من المصادر المشعَّة سيصبح مخففاً جداً بحيث لا يكون له تأثير كبير على الصحة. ويمكن إدخال المادة بالقرب من نقطة الاستهلاك، ولكن بعد ذلك سيكون عدد الأشخاص المتأثرين منخفضاً. ومن المحتمل أن تؤدي نوبة التسمم إلى نوع من عدم الثقة في إمدادات الطعام أو المياه، ولكن نظراً لأنه يتواتر إلى حد ما حدوث تفشي الأمراض المنقولة عن طريق الأغذية والمياه، فهذه الحالات مألوفة إلى حد ما. ومن الممكن أيضاً أنه إذا كان الخزان ملوثاً بمادة مشعَّة، فإن المستهلكين سيصرون على تنظيف الخزان، حتى لو لم يكن للمادة المشعَّة آثار على أمان المياه في منازل الناس. وقد يكون هذا التنظيف مكلفاً، ولكن مثل هذا الهجوم لم يعد متعلقاً بالتسمم؛ سيكون هجوم تشتت إشعاعي من نوع إنكار الاستخدام.

ألف-٤- دور تصميم المصدر

تتطلب العديد من تطبيقات المصادر المشعَّة تركيز النشاط في حجم صغير جداً (*مصدر بؤري*) أو لتقريب هندسة الخط (*مصدر خطي*). وعادة ما يكون حجم المادة المشعَّة في حدود سنتيمتر مكعب أو بضعة مليمترات مكعبة، مما يضمن أبعاداً صغيرة جداً للمصدر، على الرغم من أن الحجم الكلي يزداد نتيجة للتغليف.

وعادة ما تكون المادة المستخدمة للتغليف من الفولاذ غير القابل للصدأ، ولكن في بعض الأحيان يتم استخدام البلاتين أو التيتانيوم أو الألومنيوم أو مواد أخرى أيضاً. وتم استخدام كبسولات الذهب والنحاس والفضة وحتى الزجاج في مصادر الراديوم-٢٢٦ المبكرة. وتمت سرقة المعادن الثمينة، المستخدمة في تغليف مصادر الراديوم، لقيمتها النقدية وأصبحت سبباً للعديد من الحوادث.

وتم تصنيع المصادر القديمة (خاصة مصادر الراديوم القديمة) وفقاً لمعايير أقل مما هو مقبول اليوم. وكانت المادة المشعَّة في هذه المصادر عبارة عن مسحوق أو ملح قابل للذوبان، وهو قابل للتشتت بسهولة في حالة حدوث تلف في الغلاف.

ألف-٥- بعض الحادثات/الحوادث المنطوية على مصادر مهمَلة

في كثير من الأحيان، يجمع غير المهنيين المصادر المهمَلة وحاوياتها كخردة قيمة. ويمكن أن تكون مثل هذه المواقف خطيرة للغاية. وحادث غويانيا في البرازيل في عام ١٩٨٧ مثال على هذا الحادث، الذي نتج عن التخلي غير المقصود عن وحدة المعالجة البُعادية المستخدمة للسيزيوم-١٣٧ [ألف-٩]. وحدث هذا عندما انتقل معهد خاص للعلاج الإشعاعي في غويانيا إلى مبنى جديد، تاركاً وراءه وحدة معالجة بُعادية تستخدم السيزيوم-١٣٧ دون إخطار هيئة الترخيص كما هو مطلوب بموجب شروط ترخيص المعهد. وتم في وقت لاحق هدم المباني السابقة جزئياً. ونتيجة لذلك، أصبحت وحدة المعالجة البُعادية غير آمنة. ودخل شخصان إلى المبنى، ولم يعرفا ماهية الوحدة، ولكنهما اعتقدا أنها قد تحتوي على قيمة خردة، وأزالا مجمعة المصدر من رأس الإشعاع الخاص بالجهاز. وأخذاها إلى المنزل وتمزقت كبسولة المصدر. وبعد ذلك، تم بيع بقايا مجمعة المصدر إلى مالك ساحة الخردة. وأصيب ١٤ شخصاً بشكل خطير، توفي أربعة منهم ونجا الآخرون بعد علاج مكثف. واضطر أكثر من ٠٠٠ ١٢ شخص للخضوع لرصد شامل للتعرض للإشعاع، من بينهم ٢٤٩ فرداً تلوثوا إما داخلياً أو خارجياً. وحدث تلوث بيئي شديد. ونتج عن معالجة المنطقة الملوثة حجم إجمالي من النفايات الملوثة تبلغ ٥٠٠ ٣ متر مكعب. وكان التعاون الدولي مطلوباً للتخفيف من عواقب هذا الحادث. وتقدر التكاليف المباشرة لعملية إزالة التلوث وبناء قبو خزن خرساني للنفايات بمبلغ ١٥ مليون دولار.

ووقع حادث آخر ينطوي على مصادر مختومة مهمَلة في جورجيا في عام ١٩٩٧ [ألف-١٠] حيث تبين أن ١١ من أفراد الخدمة العسكرية قد أصيبوا بأمراض جلدية ناتجة عن الإشعاع. وكان السبب الرئيسي للحادث هو التخلي غير السليم وغير المصرح به عن ١٢ مصدراً من المصادر المشعَّة للسيزيوم-١٣٧ استخدمها الجيش سابقاً.

وحدث مثال ثالث لحادث من هذا النوع في إستونيا في عام ١٩٩٤، حيث اقتحم ثلاثة أشخاص مرفقاً غير خاضع للحراسة يستخدم للتخلص من النفايات وأزالوا مصدراً من السيزيوم-١٣٧ وأخذوه إلى منزلهم [ألف-٢]. ونتيجة لذلك، توفي شخص وأصيب عدد آخر من أفراد الأسرة بالتلوث، وقد أصيب بعضهم بحروق جلدية ناتجة عن الإشعاع.

وترتبط حوادث أخرى بانصهار المصادر المهمَلة الموضوعة في أثناء إعادة تدوير الخردة المعدنية. وفي جميع أنحاء العالم، كانت هناك العديد من الحالات التي تم فيها صهر المواد المشعَّة عن غير قصد في أثناء إعادة تدوير الخردة المعدنية.

وفي حادث واحد في المكسيك في عام ١٩٨٣، تم صهر مصدر الكوبالت-٦٠ المستخدم في المعالجة البُعادية في مسبك في الجزء الشمالي من البلاد. وتم استخدام قضبان الفولاذ الملوثة الناتجة في البناء المدني في المكسيك والولايات المتحدة الأمريكية، مما أدى إلى تلوث عدة آلاف من الأشخاص وهدم العديد من المنازل الملوثة. ووقع حادث مماثل في عام ١٩٩٨، في أوروبا، عندما صُهِر مصدر السيزيوم-١٣٧ في مصنع للمعادن في جنوب إسبانيا. وانتشر التلوث العالق في الهواء الناتج لأيام حتى تم اكتشافه في جنوب فرنسا وسويسرا وإيطاليا وجنوب ألمانيا. كما تلوثت مصانع الصلب واثنين من مصانع المعالجة التي استقبلت المواد المحترقة. وقد أمرت هيئة الأمن النووي الإسبانية بإغلاق هذه المحطات حتى يتم تنفيذ إجراءات إزالة التلوث.

ألف-٦- خطوات عملية لتقليل المخاطر

يمكن تلخيص مكونات البنية الأساسية المتعلقة بالحد من المخاطر المتعلقة بالتصرف في المصادر المشعَّة المختومة المهمَلة، على مستوى مُشغِّل النفايات، على النحو التالي [ألف-١]:

— الإلمام الكامل بتصميم وخصائص المصادر التي تم إحضارها إلى المرفق للتكييف أو الخزن. وهذا يعني توثيقاً جيداً ووصفاً تقنياً لجميع أنواع المصادر المستوردة إلى البلد.

— موظفون مدربون وذوو خبرة (التدريب الأولي والدوري بما في ذلك الوقاية من الإشعاعات، وإجراءات التشغيل، والجوانب العملية للرعاية الصحية والأمان، وخصائص المصدر، والمتطلبات الرقابية، وإجراءات الرقابة الإدارية، ومتطلبات التوثيق).
— الترخيص (بما في ذلك استيفاء جميع متطلبات السلطة المختصة).
— نظام إداري (بما في ذلك الإجراءات المكتوبة والمراقبة والتدابير الأمنية والتخطيط للطوارئ).
— المراجعة المنتظمة (الداخلية و/أو الخارجية).

حواشي المرفق

[ألف-١] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Management for the Prevention of Accidents from Disused Sealed Radioactive Sources, IAEA-TECDOC-1205, IAEA, Vienna (2001).

[ألف-٢] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Tammiku, IAEA, Vienna (1998).

[ألف-٣] الوكالة الدولية للطاقة الذرية، تصنيف المصادر المشعَّة، معايير الأمان الخاصة بالوكالة الدولية للطاقة الذرية، دليل الأمان رقم RS-G-1.9، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (٢٠٠٩).

[ألف-٤] منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، ومنظمة العمل الدولية، ووكالة الطاقة النووية التابعة لمنظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي، ومنظمة الصحة للبلدان الأمريكية، ومنظمة الصحة العالمية، معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤينة ولأمان المصادر الإشعاعية، سلسلة وثائق الأمان – العدد رقم ١١٥، الوكالة الدولية للطاقة الذرية، فيينا (١٩٩٦).

[ألف-٥] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Ionizing Sources: Sources and Biological Effects, 1982 Report, UNSCEAR, New York (1982).

[ألف-٦] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, 1988 Report, UNSCEAR, New York (1988).

[ألف-٧] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, 1990 Recommendations of the Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Ann. ICRP, **21** (1990) 1–3.

[ألف-٨] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 103, Ann. ICRP (2007).

[ألف-٩] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Goiânia, IAEA, Vienna (1988).

[ألف-١٠] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Radiological Accident in Lilo, IAEA, Vienna (2000).

المساهمون في الصياغة والاستعراض

Ali, Q.	هيئة الطاقة الذرية الباكستانية، باكستان
Balla, J.	الوكالة الدولية للطاقة الذرية
Beer, H-F.	معهد بول شيرر، سويسرا
Benitez-Navarro, J.C.	الوكالة الدولية للطاقة الذرية
Berci, K.	شركة إيروترف، هنغاريا
Braeckeveldt, M.	الوكالة البلجيكية للنفايات المشعَّة والمواد الانشطارية المخصبة، بلجيكا
Charette, M-A.	شركة MDS Nordion، كندا
Dayal, R.	مستشار، كندا
Degnan, P.	الوكالة الدولية للطاقة الذرية
Dimitrovski, L.	المنظمة الأسترالية للعلوم والتكنولوجيا النوويتين، أستراليا
Falvi, L.	معهد النظائر، هنغاريا
Fasten, W.	شركة QSA GmbH، ألمانيا
Friedrich, V.	الوكالة الدولية للطاقة الذرية
Grimm, J.	وزارة الطاقة في الولايات المتحدة الأمريكية
Heard, R.	الوكالة الدولية للطاقة الذرية
Hordijk, L.	شركة جنوب أفريقيا للطاقة النووية، جنوب أفريقيا
Kinker, M.	الوكالة الدولية للطاقة الذرية
Kohli, A.K.	مجلس التكنولوجيات الإشعاعية والنظيرية، الهند
Mayer, S.	الوكالة الدولية للطاقة الذرية
Mele, I.	الوكالة الدولية للطاقة الذرية
Mendoza Valdezco, E.	معهد البحوث النووية الفلبيني، الفلبين
Mikhalevich, P.	شركة تكنولوجيا النظائر، بيلاروس
Mourão, R.	الهيئة الوطنية للطاقة النووية/مركز تطوير التكنولوجيا النووية، البرازيل
Neubauer, J.	مستشار، النمسا
Niels, Y.	معهد العناصر الإشعاعية، بلجيكا
Novaković, M.	شركة إيكوتك المحدودة، كرواتيا
Ormai, P.	الوكالة العامة للتصرف في النفايات المشعَّة، هنغاريا
Pearson, M.W.	مختبر لوس ألاموس الوطني، الولايات المتحدة الأمريكية
Smith, M.	شركة جنوب أفريقيا للطاقة النووية، جنوب أفريقيا
Syed Ahmad, S.H.S.	المعهد الماليزي لبحوث التكنولوجيا النووية، ماليزيا
Trifunović, D.	المكتب الحكومي للوقاية من الإشعاعات، كرواتيا
Tsyplenkov, V.	مستشار، الاتحاد الروسي

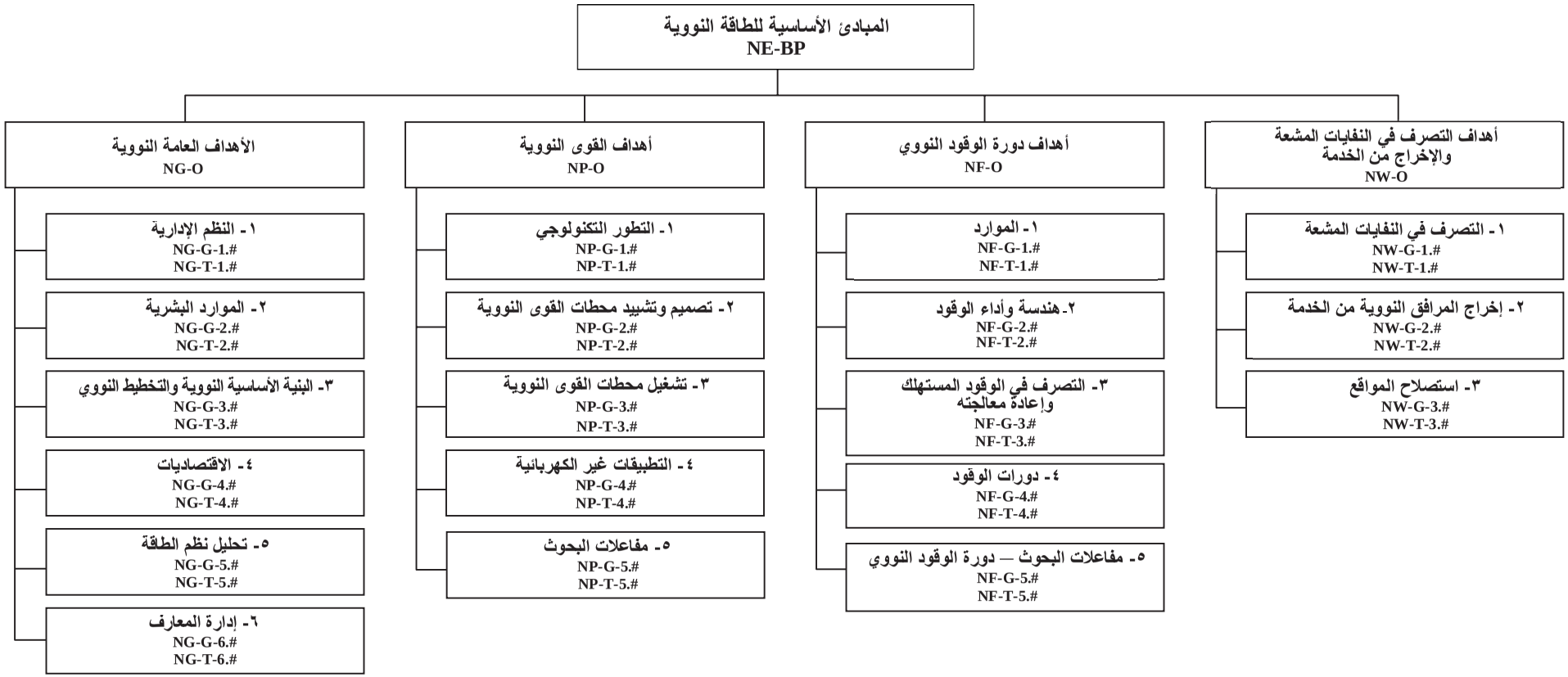
اجتماع للاستشاريين

فيينا، النمسا: ٢٢-٢٦ تشرين الثاني/نوفمبر ٢٠٠٤؛ ٢٩ تشرين الثاني/نوفمبر – ٣ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٤؛ ١٧-٢١ تشرين الأول/أكتوبر ٢٠٠٥؛ ٣١ أيار/مايو – ٤ حزيران/يونيه ٢٠١٠

اجتماعات تقنية

فيينا، النمسا: ٢٨ تشرين الثاني/نوفمبر – ٢ كانون الأول/ديسمبر ٢٠٠٥؛ ٤-٨ أيلول/سبتمبر ٢٠٠٦

هيكل سلسلة الطاقة النووية الصادرة عن الوكالة



دليل		*أمثلة*	
BP:	المبادئ الأساسية	**NG-G-3.1**:	منشورات عامة نووية **(NG)**، والأدلة والبنية الأساسية النووية والتخطيط النووي (الموضوع ٣)، #١
O:	الأهداف	**NP-T-5.4**:	القوى النووية **(NP)**، والتقارير **(T)**، ومفاعلات البحوث (الموضوع ٥)، #٤
G:	الأدلة	**NF-T-3.6**:	الوقود النووي **(NF)**، والتقارير **(T)**، والتصرف في الوقود المستهلك وإعادة معالجته (الموضوع ٣)، #٦
T:	التقارير التقنية	**NW-G-1.1**:	التصرف في النفايات المشعَّة والإخراج من الخدمة **(NW)**، والأدلة، والنفايات المشعَّة (الموضوع ١)، #١
Nos 1-6:	التسميات المواضيعية		
#:	رقم الدليل أو التقرير (١ و٢ و٣ و٤ إلخ)		

طلب شراء المنشورات محليًّا

يمكن شراء المنشورات المسعَّرة الصادرة عن الوكالة الدولية للطاقة الذرية من المصادر المذكورة في القائمة أدناه أو من المكتبات المحلية الكبرى.

أمَّا المنشورات غير المسَّعرة فينبغي توجيه طلبات شرائها إلى الوكالة مباشرة. وترد تفاصيل الاتصال في آخر هذه القائمة.

أمريكا الشمالية

Bernan / Rowman & Littlefield

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214, USA

Telephone: +1 800 462 6420 • Fax: +1 800 338 4550

Email: orders@rowman.com • Web site: www.rowman.com/bernan

سائر بلدان العالم

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

Eurospan Group

Gray's Inn House

127 Clerkenwell Road

London EC1R 5DB

United Kingdom

الطلبات التجارية والاستفسارات:

Telephone: +44 (0)176 760 4972 • Fax: +44 (0)176 760 1640

Email: eurospan@turpin-distribution.com

الطلبات الفردية:

www.eurospanbookstore.com/iaea

للحصول على مزيد من المعلومات:

Telephone: +44 (0)207 240 0856 • Fax: +44 (0)207 379 0609

Email: info@eurospangroup.com • Web site: www.eurospangroup.com

ويمكن توجيه طلبات شراء المنشورات، المسعَّرة وغير المسعَّرة على السواء، مباشرة إلى العنوان التالي:

Marketing and Sales Unit

International Atomic Energy Agency

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

Telephone: +43 1 2600 22529 or 22530 • Fax: +43 1 26007 22529

Email: sales.publications@iaea.org • Web site: https://www.iaea.org/ar/almanshurat

الوكالة الدولية للطاقة الذرية
فيينا