الفصل العاشر

أسس الحماية من الإشعاع الذري

١٠ ـ ١ نشأة فكرة الحماية من الإشعاع الذري

١٠ ـ ٢ أهداف الحماية من الإشعاع الذري

١٠ ـ ٣ تحقيق أهداف الحماية من الإشعاع الذري

١٠ ـ ٣ ـ ١ التبرير

١٠ ـ ٣ ـ ٢ إيصال الحماية من الإشعاع إلى الحالة المثلى

١٠ ـ ٣ ـ ٣ تحديد الجرع

١٠ ـ ٤ المسؤوليات في تطبيق الحماية الإشعاعية

١٠ ـ ٥ التخلص من النفايات المشعة وحماية البيئة

١٠ ـ ٦ الطوارئ الإشعاعية ومعالجتها

الفصل العاشر

أسس الحماية من الإشعاع الذري

قيض اللّه تعالى للعالم الألماني رونتجن أن يكتشف الأشعة السينية عام ١٨٩٥ م، وأخذ بها أول صورة ليد زوجته أظهرت عظامها، ولم يمض على هذا الاكتشاف المهم إلا أشهرٌ قليلة حتى استخدمت هذه الأشعة في التشخيص الطبي للكشف عن كسور العظام، وتحديد مواضع الشظايا في أجساد المصابين بها، فكانت تلك هي بداية صناعة أنابيب الأشعة السينية التي لم تكن وقتئذ مصنعة بدقة كافية، ثم بدأت تظهر على العاملين في صناعة تلك الأنابيب وفي مستخدميها الآثار الضارة للأشعة السينية، مثل احمرار الجلد والحروق الإشعاعية. وفي عام ١٩٠٢ م ظهر ورم سرطاني في يد أحد صانعي وعارضي أنابيب الأشعة السينية نتيجة لتعرضه للأشعة. ولم يكن ممكنًا في ذلك الوقت وضع حدود للتعرض الإشعاعي لأجل الوقاية منه نظرًا لعدم وجود أجهزة لقياس مقدار التعرض الحاصل لتحديد الجرع الإشعاعية التي تسبب مثل هذه التأثيرات الحادة[٣٦].

كما قيَّض اللّه تعالى أيضا للعالم الفرنسي بيكريل أن يكتشف ـ بعد ذلك بسنة واحدة ـ [أي في سنة ١٨٩٦ م] النشاط الإشعاعي الطبيعي لعنصر اليورانيوم. ثم أكملت العالمة البولندية ماريا سكلودسكا وزوجها بيير كوري البحث في النشاط الإشعاعي الطبيعي للعناصر الأخرى، مكتشفين بذلك ثلاثة عناصر نشطة إشعاعيًا أهمها: عنصر الراديوم الذي استخدم في بادئ الأمر في علاج الأورام السرطانية[٣٧]. وبعدها توالت اكتشافات العناصر الطبيعية المشعة الأخرى. ومن المعلوم الآن أن هناك أكثر من أربعين نظيرًا طبيعيًّا مشعًّا. ومن الجدير بالذكر أن السيدة كوري قد هلكت مع ابنتها إيرين بسبب إصابتهما

بسرطان خلايا الدم البيضاء الذي يحدث نتيجة استقرار الراديوم المشع في العظام، والتي تعد أحد المراكز النشطة في صنع خلايا الدم البيضاء في جسم الإنسان، وذلك من بين مسببات أخرى لهذا المرض.

١٠ ـ ١ نشأة فكرة الحماية من الإشعاع الذري [٣٨]:

في الفترة الأولى من استخدام الأشعة السينية والعناصر المشعة لم يكن هناك جهد جماعي منظم لوضع معايير للحماية الإشعاعية بالرغم من الاهتمامات المؤقتة بالحماية من الإشعاع، وفي عام ١٩١٣ م أصدرت الجمعية الإشعاعية الألمانية أول توصيات عامة لها للحماية من الإشعاع، ثم أعقبتها إنكلترا عام ١٩١٥ م، ومن ثمَّ تبعتها دول أخرى.

وفي أثناء الحرب العالمية الأولى (١٩١٤ ــ ١٩١٨) ازداد استعمال الأشعة السينية كثيرًا لتلبية احتياجات الجيوش، وكانت تُستخدم في تلك الأيام الوحدات الحيوية (البيولوجية) لجرعة احمرار الجلد في تقدير التعرض الإشعاعي، وبعدها ابتداء التحول إلى استخدام الوحدات الفيزيائية المتمثلة في قياسات تأين الهواء بالإشعاع، ولا يزال يصنع ـ إلى الآن ــ الكثير من كواشف الإشعاع ومقاييسه على أساس تأين الغاز [جدول (٢ ـ ٣)].

وفي عام ١٩٢٨ م تم تأسيس الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP) التي قامت بإصدار توصياتها لوضع مواصفات العمل في هذا المجال، واستمرت هذه الهيئة حتى يومنا هذا بتطوير التعليمات والتوصيات الخاصة بكل ما يتعلق بالإشعاع الذري مع غيرها من الهيئات الدولية والوطنية، كالهيئة الدولية لوحدات الإشعاع وقياسه (ICRU)، والوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA)، والأمم المتحدة التي قامت بإنشاء اللجنة العلمية لتأثير الإشعاع الذري «اليونسير» (UNSCEAR). ومكتب العمل الدولي (ILO)، ومنظمة الصحة

الدولية (WHO). ولقد لقي الإشعاع وتأثيراته وطرق الوقاية منه من الدراسة والاهتمام ما لم يلقه أي مجال آخر.

١٠ ـ ٢ أهداف الحماية من الإشعاع الذري (١،٢٨،٣٨):

تهدف الحماية من الإشعاع الذري إلى وقاية الأفراد وذرياتهم والبشرية أجمع من التأثيرات الضارة للإشعاع الذري، الجسدية منها والوراثية، مع السماح باستخدامات الإشعاع المفيدة بالاستمرار.

وتتضمن أساليب الحماية من الإشعاع الذري نوعين مميزين من أنواع التعرض هما: التعرض المهني، الذي يمكن الحد منه بواسطة السيطرة على مصادر الإشعاع، وتطبيق نظام تحديد الجرع، والتعرض في حالة الحوادث الإشعاعية أو الطوارئ حيث ينبغي التخطيط والتدريب المسبق مع حالات الطوارئ.

وبالإضافة إلى ضرورة التأكد من أن أي عمل يتضمن التعرض للإشعاع يجب أن يكون مبررًا تبريرًا منطقيًّا مقبولاً فإن لبرنامج الحماية من الإشعاع هدفين رئيسيين هما:

١ ـ منع حدوث التأثيرات الجسدية العتبية (DETERMINISTIC EFFECTS)، وهي التأثيرات التي لا تتولد في الشخص المتعرض للإشعاع حتى تصل الجرعة الإشعاعية حدًّا معينًا، ومن هذه التأثيرات احمرار الجلد والحروق الإشعاعية وغيرها.

٢ ـ تخفيض حدوث التأثيرات غير العتبية (STOCHASTIC EFFECTS) الجسدية منها المتمثلة بمرض السرطان، والوراثية وهي التشوهات التي تظهر في الذرية نتيجة لتلف حاملات الوراثة في داخل الخلايا التناسلية (التلف الجيني)، ولا يوجد لهذه التأثيرات حد آمن من التعرض الإشعاعي، أي: إنه يمكن لأصغر جرعة إشعاعية من الناحية النظرية أن تحدث هذه التأثيرات، لهذا

لا يمكن اعتبار أي تعرض للإشعاع ـ مهما قل ـ بأنه آمن إلا أن خطورته تتفاوت من شخص إلى آخر، ويزداد احتمال ظهور تلك التأثيرات مع ازدياد جرعة الإشعاع.

ومنع التأثيرات العتبية يتضمن وضع حد أعلى لمكافئ الجرعة الإشعاعية بحيث لا يبلغ التعرض «ولو لمدى الحياة» هذا الحد، أما الحد من التأثيرات غير العتبية فيتم بالمحافظة على التعرض لأقل قدر ممكن من الإشعاع إذا لزم الأمر، مع الأخذ في الاعتبار العوامل الاقتصادية والاجتماعية لكل مجتمع، وهذا التعرض الإشعاعي مقيد كذلك بعدم تجاوز حدود مكافئ الجرعة كما أسلفنا.

ولما كانت معظم القرارات التي نتخذها تستند إلى الموازنة بين التكلفة والمنفعة، فإذا رجحت كفة المنفعة فالفعالية تستحق القيام بها وإلا فلا، فكذلك قضية التعرض للإشعاع فإنها يجب أن تتم بصورة يحصل فيها كل من الفرد والمجتمع على أقصى فائدة ممكنة وبأقل قدر ممكن من الضرر.

ولتحقيق هذه الأهداف قامت الهيئة الدولية للحماية من الإشعاع عام ١٩٧٧ م بإصدار توصياتها بوضع نظام لتحديد الجرع الإشعاعية لبني البشر[٤٠]. وتؤمن الهيئة أنه إذا تمت حماية الإنسان من الإشعاع بصورة كافية فسوف يكون في ذلك حماية لغيره من الكائنات الحية.

١٠ ـ ٣ تحقيق أهداف الحماية من الإشعاع الذري [٣٨، ٣٩]:

تشمل التعليمات الرئيسية لنظام تحديد الجرع ما يلي:

التبرير: لا يتم القيام بأي عمل في مجال الإشعاع الذري ما لم يؤد ذلك إلى منفعة إيجابية.

إيصال الحماية من الإشعاع إلى الحالة المثلى: إن جميع التعرضات للإشعاع الذري يجب خفضها إلى أقل ما يمكن ضمن حدود المعقول في كل مجتمع.

تحديد الجرع: إن مكافئ الجرع الإشعاعية للأفراد يجب ألا يتجاوز حدودًا موصى بها من قبل الهيئة حسب الظروف.

وسوف نشرح هذه الخواص باختصار فيما يلي:

١٠ ـ ٣ ـ ١ التبرير:

لغرض منع التعرض غير الضروري إلى الإشعاع الذري فإن أي عمل يؤدي إلى التعرض للإشعاع يجب ألا يجاز من السلطة المختصة ما لم ينتج عنه فائدة محققة، ويجب تبرير العمل المتضمن التعرض للإشعاع الذري عن طريق دراسة المزايا والمساوئ، للتأكد من أن الضرر الكلي الذي ينتج عن العمل المقترح أقل بصورة ملموسة من الفوائد المتوخاة.

ويمكن في ذلك استخدام تحليل التكلفة/ الفائدة لغرض الوصول إلى قرار بإجازة أو عدم إجازة العمل أو المشروع الذي يؤدي إلى التعرض للإشعاع.

فإذا افترضنا أن:

الفائدة الصافية (B)

الفائدة الكلية (V)

كلفة الإنتاج (P)

كلفة الحصول على مستوى مختار من الوقاية الإشعاعية (X)

كلفة الضرر الناتج عن التشغيل أو الإنتاج أو الاستخدام والتخلص من الإنتاج عند المستوى المختار من الوقاية الإشعاعية (Y).

يمكن وضع معادلة الفائدة/ التكلفة بالصيغة التالية:

$$B = V - (P + X + Y)$$

ومن الواضح أن حساب الحدود الواردة في المعادلة أعلاه لغرض التقدير المطلق اللازم لتبرير العمل ليس بالأمر السهل، ولهذا يلجأ أحيانًا الى التقدير

النسبي الذي يتم بالمقارنة مع مبررات المشاريع البديلة، حيث إن هذا الإجراء أسهل، وتبقى الفائدة الإجمالية كما هي.

١٠ ـ ٣ ـ ٢ إيصال الحماية من الإشعاع إلى الحالة المثلى:

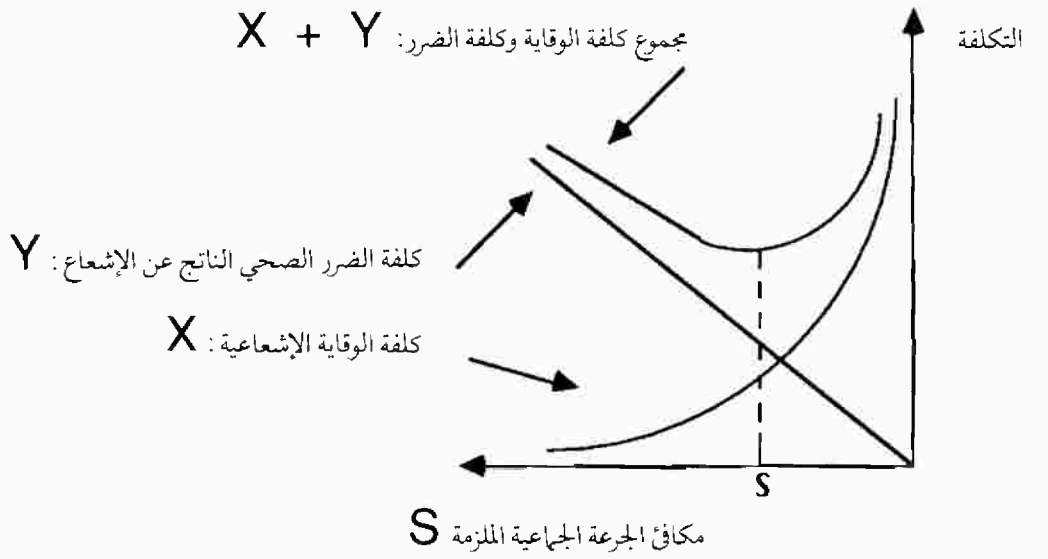
لمعرفة ما إذا كان تقليل التعرض الإشعاعي قد تم بصورة معقولة فإنَّ من الضروري أخذ الموازنة بين زيادة الفائدة من هذا التقليل وزيادة التكاليف في الاعتبار. ولزيادة الفائدة الصافية إلى أقصى قدر ممكن يؤخذ التفاضل لمعادلة الفائدة/ التكلفة مع المتغير غير المعتمد وهو مكافئ الجرع الإشعاعية الجماعية الملزمة (S_{EC}) على النحو التالي:

$$\frac{dv}{ds_{EC}} - \left(\frac{dp}{ds_{EC}} + \frac{dx}{ds_{EC}} + \frac{dy}{ds_{EC}} \right) = 0$$

وبما أنَّ كلاً من الفائدة الكلية «V» وكلفة الإنتاج «P» يمكن اعتبارهما ثابتين مع المكافئ الإشعاعي للجرعة الملزمة «S» لفعالية معينة، فإن الوضع الأمثل يتحقق لقيمة «S_{EC}» بحيث إن الزيادة في تكاليف الوقاية لوحدة مكافئ الجرعة الجماعية الملزمة تعادل النقصان في الضرر الناتج لوحدة مكافئ الجرعة الجماعية الملزمة، أي إن:

$$\left\{ \frac{dX}{ds_{EC}} \right\}_s = - \left\{ \frac{dy}{ds_{EC}} \right\}_s$$

وتعد الوقاية من الإشعاع مثالية عندما يكون مجموع تكاليف الوقاية الإشعاعية (x) وتكاليف الضرر الناتج من الإشعاع (y) عند أقل قدر ممكن (شكل ١٠ ـ ١).



الشكل (١٠ ـ ١) الوصول بالوقاية من الإشعاع إلى الحالة المثلى

ومما يساعد في عملية التقييم المستند إلى المعادلة أعلاه هو وضع قيمة نقدية لوحدة الجرعة الجماعية الملزمة S، ومع الصعوبة البالغة في تقدير هذه القيمة النقدية من الناحية العملية، فقد نُشِرَت عدة تقديرات في هذا الخصوص، وهي مفيدة ـ بالرغم مما عليها من تحفظات ـ لأجل اتخاذ القرار المناسب.

ويمكن القول ـ بناءً على ما سلف ـ إنه عند تصميم مصادر الإشعاع الذري ووضع الخطط الخاصة باستعمالها، وتشغيل المصدر أو المنشأة، ينبغي أن يجرى ذلك بطريقة تؤدي إلى أن يكون التعرض للإشعاع في أقل مستوى يمكن معه إنجاز العمل بطريقة معقولة (٤٠)[تطبيق قاعدة الآرا[1] ALARA]، مع الأخذ في الاعتبار العوامل الاقتصادية والاجتماعية المحلية.

---

1 - ALARA: AS LOW AS REASONABLY ACHIEVABLE.

١٠ ـ ٣ ـ ٣ تحديد الجرع:

لقد وضعت الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية حدودًا للتعرض الإشعاعي ينبغي عدم تجاوزها إلا في حالات خاصة، وذلك لتجنب تعدي حدود الأمان، ولتقليل التأثيرات التي تظهر قبل حدود الأمان إلى أقل قدر ممكن. وحدود الأمان من تأثيرات الإشعاع الذري تبلغ لأفراد الجمهور عشر المقدار للعاملين في مجال الإشعاع الذري الذين يتعرضون له بحكم عملهم، ويعوضون ماديًّا لقاء ذلك، ولهم الحرية في البحث عن عمل آخر إذا لم يرتضوا أن يتعرضوا لمثل تلك المخاطر. أما أفراد الجمهور فهم لا يتعرضون للإشعاع بمحض اختيارهم، كما أن فيهم مجموعات هي بحكم تكوينها أكثر تأثرًا بالإشعاع من غيرها وهم الأطفال والأجنَّة [الفصل الثامن].

هذا وقد جرى تخفيض ملموس على حدود الجرع الإشعاعية عبر السنين، وكان آخر تلك التخفيضات سنة ١٤١١ هـ (١٩٩٠ م) أوصت به الهيئة الدولية للحماية من الإشعاع بعد ظهور أدلة جديدة تفيد أن تأثيرات الإشعاع الضارة هي أكبر مما كان مقدرا لها سابقًا، ويبين الشكل (١٠ ـ ٢) التخفيض الذي أجري على الجرعة الإشعاعية المسموح بها للعاملين في مجال الإشعاع الذري وذلك منذ عام ١٣١٨ هـ (١٩٠٠ م) وحتى الآن.

هذا وقد وضعت الهيئة حدودا لمستويات التلوث بالإشعاع ووضع لكل مستوى من التلوث نظام يحكمه.

شكل (١٠ ـ ٢) التخفيض الذي أجري على الجرعة الإشعاعية
المسموح بها في مجال الإشعاع الذري وذلك منذ عام ١٩٠٠ م حتى الآن (١٩٩٤)[٤١]

١٠ ـ ٤ المسؤوليات في تطبيق الحماية الإشعاعية [٣٨]:

هناك عدة مستويات لتطبيق الحماية من الإشعاع الذري؛ **الأول**: هو **السلطة المختصة** التي من مسؤولياتها أن تضع الضوابط اللازمة لوقاية العاملين في حقول الإشعاع بصفة خاصة، وعموم الجمهور بصفة عامة من هذا المصدر الخطر من مصادر الطاقة، وهي تصدر بذلك الأنظمة والتعليمات وتشرف على تنفيذها، وتمنح الرخص لإقامة المشاريع والمنشآت المستخدمة للإشعاع أو تمنعها.

والمستوى **الثاني** من المسؤولين في تطبيق الحماية من الإشعاع هم **أصحاب ومديرو المنشآت** التي تستخدم المصادر المشعة، وهم مطالبون بالتقيد بالأنظمة والتعليمات الخاصة بالوقاية من الإشعاع الذري، والصادرة عن السلطة المختصة.

وهناك بعض الفعاليات الإشعاعية ومصادر الإشعاع المعفاة من الحصول على إجازة، وذلك لكونها لا تشكل خطرًا ملموسًا على الصحة يستحق وضع ضوابط للسيطرة عليها، وعلى إدارة المنشأة المالكة للمصادر المشعة، سواء كانت صغيرة أم كبيرة، ضرورة التقيد بتطبيق برنامج للوقاية من الإشعاع الذري، ويعتمد هذا البرنامج على سعة العمل، ونوعية التعرض، ويتراوح بين شخص واحد مسؤول عن أعمال الحماية من الإشعاع في المنشآت الصغيرة، ومجموعة كبيرة من العاملين في المنشآت الكبيرة من مثل المفاعلات الذرية المنتجة للطاقة الكهربائية وغيرها.

ومن المهام الملقاة على عاتق إدارة المنشأة المالكة لمصادر مشعة ما يلي:

أ - دراسة التصاميم المعمارية للمنشأة للتأكد من أنها ملائمة لتطبيق برنامج ناجح للوقاية من الإشعاع.

ب - مراجعة الأمور التشغيلية المتعلقة ببرنامج الوقاية من الإشعاع بصورة دورية، للاستفادة من الخبرة المكتسبة ولمواجهة الأخطار المستجدة.

جـ - تعريف كل العاملين بقواعد الوقاية من الإشعاع وتدريبهم عليها.

د - توفير كل الأجهزة اللازمة لمراقبة الإشعاع وللكشف عن التعرض الإشعاعي.

هـ - توفير الفحوصات الطبية الدورية للعاملين بطريقة منتظمة حسب طبيعة العمل.

و - التأكد من صلاحية كل الأفراد العاملين لديها للعمل الموكل إلى كل منهم.

ي - وضع خطط تفصيلية وعملية للطوارئ والتدريب المستمر على القيام بها.

هـذا ويجب التنبيه على كل فـرد عامـل في مجال الإشعاع الـذري أنه مسـؤول مسؤولية كاملة عن حماية نفسه وزمـلائه وعموم الناس من خطر الإشعاع الذري وذلك بالالتزام الدقيق بأنظمة وتعليمات الوقاية من الإشعاع .

١٠ ـ ٥ حماية البيئة (٤):

قبل اكتشـاف الانشطار النـووي سنـة ١٩٣٨ م، والبدء في بنـاء المفاعـلات الـذريـة سنة ١٩٤٢ م، لم يكـن التخلص من النفايـات المشعـة يشكل قضيـة لـلإنسـان، فقـد قـدر مجمـوع المواد المستعملـة في كل مـن البحـوث العلميـة والمجـالات الطبيـة عـام ١٩٣٨ م بأقـل من ٣٠ تيرابيكـريل [ويسـاوي ١٢١٠ بيكريل] وهذا يماثل استخدام ما يقارب كيلوغـرامًا واحدًا من الراديوم (وهو من العناصر الطبيعيـة المشعة كما أسلفنـا)، بينما مفاعـل كبير واحد لتـوليد الطـاقة الكهربائية مـن المفاعلات المقامة اليوم يحتـوي على ما يزيد على ٨١٠ تيرابيكريل من المواد الانشطارية، فكيف بوجود عدة مئات من مفاعلات الطاقة في العالم؟ [مبحث (٥ ـ ٦)]، وتبعًا لذلك فقد تزايدت النفايات المشعة في كل من محطات الطاقة النووية والمستشفيات والمصانع ومعاهد كل من البحوث والتدريس نتيجة لتطبيقـات الإشعـاع، لهذا فقد وضعت الهيئـات الـدوليـة والوطنيـة، الأنظمـة الدقيقة للسيطرة على النفايات المشعة. وهناك اتجاهان عامان لذلك هما **الطرح** أو **الخزن**.

والاتجاه المرغوب فيه للتخلص من النفـايات المشعة في حالـة ما، يعتمد على عـوامل عـدة مثل كميـة المادة المشعـة ونـوعهـا، وكل من هيئتهـا الكيميـائيـة والفيزيائية، وكذلك على الموقع الجغرافي المقرر طرحها أو خزنها فيه.

فطرح النفـايات المشعـة السائلـة أو الغازية إلى البيئـة يجب أن يُحدد من قبل السلطة المختصـة، وذلك لتقليل تعرض السكان لأخطـار الإشعاع على كل من المدى القريب والبعيد نتيجة لهذا **الطرح** إلى أقل ما يمكن عمليًّا.

أما خزن النفايات المشعة فهي طريقة جدُّ مفيدة عند التعامل مع نظائر مشعة ذات عمر نصفي قصير نسبيًّا (إلى عدة أشهر مثلاً) حيث تحفظ المخلفات لفترة قد تصل إلى عدة سنوات، مما يقلل من إشعاعها إلى مستوى مناسب للسماح بإطلاقها. والمبدأ المستخدم في هذه الحالة هو **تخزين** النظير المشع حتى يضمحل إشعاعه. وهذه الطريقة هي الأكثر شيوعًا في الاستعمال بالنسبة للسوائل، أما بالنسبة للمواد المشعة ذات الأعمار النصفية الطويلة فتعد طريقة الخزن بمثابة حل مؤقت لا يغني عن أخذ كل الاحتياطات الواجبة ضد تسرب الإشعاع من النظير المخزون.

ويتم التعامل مع المخلفات الصلبة إما بدفنها أو إغراقها في البحر بعد تقليص حجمها بكبسها أو إحراقها، ثم وضعها في حاويات محكمة الغلق مانعة لتسرب الإشعاع منها.

والطريقة المتبعة من قبل المراكز التي تستخدم كميات ضئيلة نسبيًّا من المواد المشعة (من مثل المستشفيات ومختبرات الأبحاث والجامعات وما شابهها) للتخلص من المخلفات الصلبة هو طرحها مع المخلفات الاعتيادية، والمبدأ الأساسي المستخدم لهذه الغاية هو **التخفيف** حيث تحوي المخلفات المعنية على كمية صغيرة جدًّا من المواد المشعة، وقد خففت جدًّا بخلطها مع كمية هائلة من المخلفات الاعتيادية في مواطن إلقاء القمامة المحلية. ولكن هذه الطريقة تستدعي موافقة السلطة المختصة، كما يجب أن توضع حدود لكل من كمية المواد المشعة في الرزمة المطروحة، وكمية المواد الكلية التي تطرح سنويًّا وفق هذه الطريقة.

ويتم التعامل مع المخلفات السائلة ذات المستوى الإشعاعي العالي بواسطة التبادل الأيوني أو التبخير أو المعالجة الكيميائية، حتى يصبح المتبقي أو الراسب أكثر ملاءمةً للخزن أو الطرح كمخلفات صلبة، أما المواد السائلة [الدفق] الناتجة فتعالج كمخلفات ذات مستوى إشعاعي منخفض يمكن تفريغه

- عادة - إلى المجاري مثل المخلفات الاعتيادية، أو الأنهار والبحيرات أو إلى البحر مباشرةً.

أما بالنسبة لإطلاق المواد المشعة إلى الجو فهو يشكل خطرًا أكبر لأنه يوفر سُبُلاً أكثر مُباشرةً للتعرض للإشعاع منها في أشكال الطرح الأخرى. ومع بعض الاستثناءات القليلة ـ كالغازات الخاملة ـ فإن حدود الطرح إلى الجو منخفضة جدًّا، والتفكير السائد هو تقليل المواد المشعة التي تطلق نحو الجو إلى أقل حد ممكن، وذلك بعد معالجة النفايات المشعة بإحدى الطرق التالية:

أ ـ الترشيح من أجل إزالة الدقائق المشعة.

ب ـ الادمصاص[1] لتقليل إشعاعية الغازات.

جـ ـ التبديد بواسطة المداخن.

١٠ ـ ٦ الطوارئ الإشعاعية ومعالجتها [٤١]:

يمكن تعريف الطارئ الإشعاعي بأنه أي حادث يؤدي إلى خطر إشعاعي غير اعتيادي أو غير متوقع، وهذا التعريف يغطي احتمالات الإراقة الثانوية لمحلول مشع يشتمل على عدة ميجابيكريل في معامل البحث، وحتى حادث رئيسي في مفاعل نووي للطاقة، حيث قد تنطلق عدة آلاف من الميجابيكريل من نواتج الانشطار المشعة كما حصل في حادث مفاعل تشرنوبل سنة ١٩٨٦م. والأسباب الرئيسية التي قد تؤدي إلى طارئ إشعاعي ما يلي:

١ ـ فقدان الحواجز الواقية مما قد يؤدي إلى مستويات عالية من الإشعاع.

٢ ـ فقدان الحاوي، مما يؤدي إلى انطلاق المواد المشعة، أو إلى حدوث: كتلة حرجة[2] غير متحكم فيها ـ وما هي في الواقع إلا التولد السريع لمصدر مشع كبير مع مستويات عالية من الإشعاع.

---

١ ـ الادمصاص Adsorption عملية كيميائية تعني تكثف جزئيات الغاز والتصاقها بالجسم الصلب.

٢ ـ الكتلة الحرجة: هي الكتلة من الوقود النووي الضرورية لاستمرار تفاعل متسلسل.

وتنتج هذه الحالات عادة عن أسباب تقليدية، مثل حدوث خلل ميكانيكي أو نشوب حريق أو فيضان أو حادث نقل أو انفجار أو مشابه ذلك.

وهنا يجب التفريق بين المستويات المختلفة للطوارئ الإشعاعية التي يمكن أن تقع، فالإراقة الثانوية لسائل مشع في مختبر تعتبر **حادثًا موضعيًّا**، ومصدر إزعاج أكثر من أن تشكل خطرًا، أما الطوارئ الموقعية الخطيرة فهي التي تستوجب إخلاء بعض المناطق داخل المنشأة ولكن ليس لها أثر خارجها، أما إذا شكل الحادث خطرًا على عموم المواطنين خارج المنشأة فإنه يعد طارئًا عموميًّا.

وأيا كانت الحالة، فمن المهم جدًّا أن يكون احتمال حدوثها قد بحث مُسبقًا ووضعت الإجراءات المناسبة لمعالجتها، ومن المهم والبدهي كذلك ضرورة وضع الأجهزة المناسبة لاكتشاف أية حالة غير طبيعية في أقرب وقت ممكن، فإذا ما اكتشف حادث فقدان حواجز واقية مباشرةً مثلاً واتخذت الخطوات التصحيحية حياله، وأجري الإخلاء فورًا، فإن الجرعة المتعرض لها العاملون ستكون صغيرةً جدًّا، وعلى النقيض من ذلك إذا أهمل استخدام أجهزة الإنذار المبكر لخطر الإشعاع الذري، ووقع الحادث في غفلة من عمال التشغيل وغيرهم ممن يعملون في المنشأة التي تستخدم نظائر مشعة، فقد يتعرضون لجرعات عاليةً جدًّا من الإشعاع لا يمكن تدارك أخطارها.

وينبغي التخطيط المسبق للتعامل مع حالات الطوارئ في مرحلة التصميم لأية محطة أو عملية أو تجربة تستخدم النظائر المشعة. فالتحليل التفصيلي في هذه المرحلة لا يظهر فقط المخاطر الرئيسة التي يمكن أن تتعرض لها المنشأة، بل ويمكّن من إدخال طرق عديدة لخفض احتمالية وقوع تلك المخاطر في التصميم ذاته. ومهما كانت جودة التصميم أو عدد الإجراءات الوقائية المتوافرة يبقى الاحتمال واردًا في وقوع حادث من نوع ما، ومن أجل التعامل مع هذا الاحتمال ينبغي وجود تنظيم خاص لمواجهة تلك للطوارئ.

وحجم تنظيم الطـوارئ هـذا يعتمـد كثيرًا على نـوع المنشأة، وعلى الحجم المحتمل للطارئ الـذي يمكن أن يقع، ففي المنشأة الكبيرة مثل مفاعل الطـاقة يجب أن يكون التنظيم كبيرًا إلى حد ما، والعكس صحيح في المنشآت الصغيرة.

ويجب أن تحتوي أية خطة للطوارئ على ما يلي [٣٨]:

١ - توصيف كامل لهيكل الجهاز الذي يتعامل مع الحالة الطارئة.

٢ - مخطط مفصل لطـرائق الاتصـال ضمن المنشأة ومع السلطـات المختصـة المناسبة خارجها.

٣ - مخطط مفصل للمراقبة الخاصة المطلوبة لتقدير الحالة.

٤ - شرح كامل لمختلف الأعمال التصحيحيـة اللازمة لتقليل التعـرض السكاني للإشعاع، ولكيفية زيادة فعالية هذه الأعمال تحت مختلف الظروف.

٥ - وصف كـامل للمستلزمـات البشرية والماديـة الـلازمة للقيـام بالإجـراءات التصحيحية الضرورية في حالة كل طارئ محتمل.

٦ - بيان وافٍ بالأعمال والبيانات التي تعد ضرورية لمواجهة الطارئ والتي يجب إبلاغها إلى السلطات المختصة فورًا.