الفصل التاسع

أخطار الإشعاع الداخلي

obeikandl.com

obeikandl.com

الفصل التاسع

أخطار الإشعاع الداخلي

9-1 المواد المشعة المكشوفة:

عندما توضع مادة مشعة في أحد أنواع الأواني المغلقة (الحاويات) فقد تكون خطراً إشعاعيًّا خارجيًّا للأشخاص العاملين في جوارها. وعلى العكس من ذلك، عندما تكون المادة المشعة غير معبأة (مكشوفة) بأي شكل من الأشكال، فتشكل حينئذ احتمال **خطر إشعاعي داخلي**. ويشار إليه عادة **بالتلوث**.

والكمية الصغيرة من المادة المشعة لا تمثل أي خطر خارجي يذكر، ولكن يمكنها أن تقود إلى معدل جرعة ملحوظ متى ما لامست الجسم أو دخلته، فعندما تدخل المادة الجسم تستمر في تشعيعه حتى تضمحل أو يطرحها الجسم، ويعتمد معدل الاضمحلال الإشعاعي على عمر نصف النظير، الذي يتباين من جزء صغير من الثانية وحتى آلاف عدة من السنين، أما معدل طرح الجسم للمادة فيعتمد بشكل رئيس على صفاتها الكيميائية؛ لذا فقد يتم ذلك في أيام عدة، أو قد يستغرق وقتاً أطول قد يصل إلى سنوات عدة. ولهذا عندما تدخل مادة مشعة في الجسم، فقد تعرضه للإشعاع أيامًا عدة فقط أو مددًا قد تمتد سنوات عدة في حالة بعض النويدات.

9-2 منافذ تلوث الجسم:

هناك أربعة منافذ يمكن عن طريقها أن يشكل التلوث خطراً على الجسم ألا وهي:

(أ) **التنفس** المباشر للهواء الملوث.

(ب) **الهضم** الذي يتم عن طريق الفم.

(جـ) النفوذ عن طريق الجلد، أو عن طريق جرح ملوث.

(د) التشعع المباشر للجلد.

عندما يكون الجو ملوثاً، فإنه يستنشق من الرئتين، فيصل جزء منه إلى الدم، وجزء آخر يُبلع بعدما يخرج من الرئتين، أما الباقي فيطرد في عملية الزفير. إن نسبة ما يصل إلى الدم أو الذي يُبلع أو المطرد في عملية الزفير تعتمد على عوامل عدة، مثل: التركيب الكيميائي أو الفيزيائي للتلوث وإلى أيض[1] ووظائف أعضاء جسم الشخص المتعرض. ومثل ذلك، عندما يهضم التلوث يمر جزء منه إلى مجرى الدم عن طريق جدار القناة الهضمية، ويعتمد مقدار هذا الجزء على طبيعة التلوث وعلى أيض الأعضاء ووظائفها.

هناك تباين كبير في الصفات الفسيولوجية للبشر، لهذا فقد عرفت الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية، **الرجل المرجع**، (رجل الإسناد) في نشرتها رقم 23، وبعض هذه الصفات مسجلة في الجدول (9-1)، حيث يمكن مثلاً ملاحظة أن الرجل المرجع يتنفس 23م^3 من الهواء في اليوم، ويشرب ما مجموعه ثلاثة لترات من الماء يومياً. والرجل المرجع: هو شخصية افتراضية تمثل صفاته متوسط شريحة واسعة من الصفات البشرية المتباينة جداً.

وعام 2003م نشرت الهيئة تقريراً جديداً (منشور ICRP رقم 89 بعنوان: معلومات أساسية لتشريح الأعضاء ووظائفها، للاستخدام في الحماية الإشعاعية: قيم قياسية) توسع وتحدث المعلومات المنشورة في 23. وتنتقل من التأكيد الماضي على الرجل المرجع إلى توفير سلسلة قيم قياسية للجنسين الذكر والأنثى، مقسمة إلى ستة أصناف عمرية هم: حديثو الولادة، وسنة واحدة، وخمس سنين، وعشر سنين، وخمس عشرة سنة. والبالغون. ومن أراد هذا المستوى من التفصيل ينبغي له مراجعة النشرة 89.

لقد أُشير آنفاً إلى أن قَدَر أي نويدة مشعة داخل الجسم يعتمد على صفاتها الكيميائية والفيزيائية، فمثلاً تتوزع بعض العناصر بالتساوي إلى حد ما، فيتشعع كل الجسم بالمعدل نفسه تقريباً. أما معظم العناصر فتميل إلى التركز في عضو معين ما يؤدي

(1) الأيض: مجموعة العمليات المتصلة ببناء البروتوبلازم ودثورها، وبخاصة التغيرات الكيميائية في الخلية الحية التي تؤمن الطاقة الضرورية للعمليات والأنشطة الحيوية، التي تمثل المواد الجديدة للتعويض عن المندثر منها.

إلى تباين معدلات الجرعات للأعضاء المختلفة في الجسم، وأمثلة ذلك عنصر اليود الذي يتركز في الغدة الدرقية، والبلوتونيوم الذي يتركز في الرئة أو العظم.

جدول (9-1) بعض صفات الرجل المرجع.

(أ) أعضاء الرجل المرجع:

العضو	الكتلة (كغم)	نسبته المؤوية لسائر الجسم
سائر الجسم	70	100
هيكل عظمي	10	14
عضل	28	40
شحم	13.3	19
دم	5.5	7.9
القناة الهضمية (مع محتوياتها)	0.2	3.1
الغدة الدرقية	0.02	0.029

(ب) توازن الهواء والماء:

المقدار المتناول من الماء	لتر/ يوم	المطروح	لتر/ يوم
في الغذاء	0.7	بول	1.4
في السوائل	1.95	عرق	0.65
في الأكسدة	0.35	غير مدركة (لا شعورية)	0.85
		براز	0.1
المجموع	3.0	المجموع	3.0

موازنة الهواء:

السعة الحيوية للرئتين 4.3 لتر	
الهواء المستنشق خلال ساعات العمل الثمانية	9.6 م^3
الهواء المستنشق خلال 16 ساعة في غير العمل	13.2 م^3
المجموع	23 م^3 يوميًّا

إن هذه القيم هي للذكر البالغ، أما القيم للأنثى البالغة فهي أقل من ذلك في معظم الأحيان. وللحصول على المعلومات الكاملة عن مواصفات الرجل المرجع؛ انظر المنشور الثالث والعشرين، الصادر عن الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية.

يتناسب معدل الجرعة لأي عضو مع كمية المادة المشعة في ذلك العضو، ويقل باضمحلال أو بطرح النظير المشع. فاضمحلال النويدة يتناقص أسِّيًّا مع الزمن، وإن معدل طرح معظم المواد من الجسم هو أيضاً أسِّي تقريباً، وهذا يعني أنه يمكن استخدام **ثابت الاضمحلال المؤثر** الآتي لتوضيح معدل إزالة المادة المشعة من الجسم (انظر الشكل 9-1):

$$\lambda_{eff} = \lambda_r + \lambda_b$$

حيث:

λ_r : ثابت الاضمحلال الإشعاعي.

λ_b : ثابت الاضمحلال الإحيائي.

ولأن ثابت الاضمحلال = $\frac{Log\ 2}{\text{عمر النصف}}$ ، فيمكن كتابة المعادلة السابقة كالآتي:

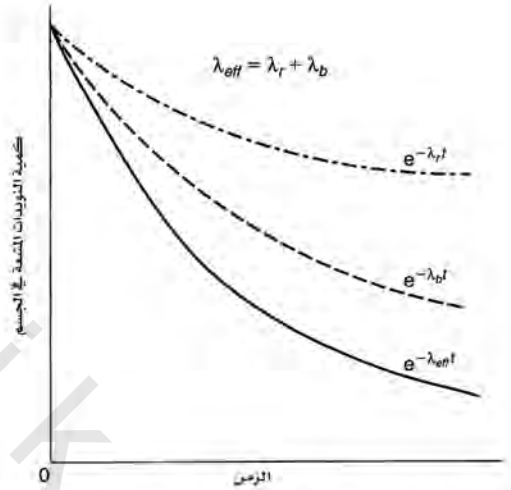
$$\frac{1}{T_{eff}} = \frac{1}{T_r} + \frac{1}{T_b}$$

حيث:

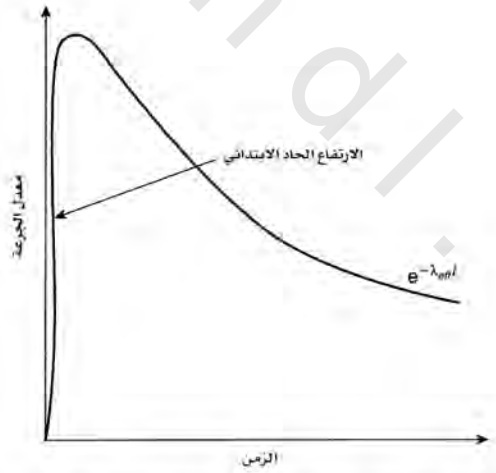
T_{eff} = عمر النصف المؤثر للمادة المشعة في الجسم.

T_r = عمر النصف الإشعاعي للمادة.

T_b = عمر النصف الإحيائي للمادة.



شكل (9-1) منحنى مثالي لتخلص الجسم من نويدة مشعة



شكل (9-2) تغير معدل الجرعة مع الزمن بعد أخذ نويدة مشعة

يوضح الشكل (9-2) تغير معدل الجرعة مع الزمن بعد أخذ نظير مشع، حيث يغطي الارتفاع الحاد الابتدائي في المنحنى المدة التي يتم خلالها انتقال النويدات إلى العضو قيد المعاينة. أما القمة فتحصل عندما تصل معظم النويدات إلى هذا العضو، حيث

يتعرض إلى أعلى معدل للجرعة، ويتناقص بعدها معدل الجرعة أسّيًّا بتحلل النويدات المشعة وبطرحها. ويمكن إيجاد الجرعة الكلية التي يتعرض لها العضو بحساب المساحة التي تحت المنحنى، ولهذا فإن أخذ مقدار معين من نويدة مشعة سيعرض العضو (أو الأعضاء) إلى خطر مواجهة جرعة معينة تعرف **بالجرعة المكافئة الملزمة** (المتعهدة). وتعتمد هذه الجرعة على معدل الجرعة الابتدائية وعلى معدل الإزالة. ومما يفترض عادة أن أخذ كمية محددة من نويدة معينة يؤدي إلى الجرعة المودعة نفسها إذا ما أخذت تلك الكمية بوصفها جرعة واحدة كبيرة، أو أخذت على شكل جرعات صغيرة متعددة، وباستخدام معامل النسيج النوعي يمكن التعبير عن الجرعة المكافئة الملزمة بدلالة الجرعة المؤثرة الملزمة.

إن الجرعة التي يتعرض لها الإنسان نتيجة أخذ معظم النظائر المشعة، تحدث خلال مدة قصيرة تتراوح عادة بين أشهر عدة إلى سنوات عدة؛ لأن النشاط الإشعاعي لهذه النظائر يضمحل بعد هذه المدة أو تطرح، أما بالنسبة إلى بعض النظائر المشعة ذات أعمار الأنصاف الطويلة –مثل نظائر البلوتونيوم– فإنها تطرح من قبل الجسم بشكل بطيء جدًّا؛ لهذا فإنها تعرض الجسم لجرعة مدة طويلة جدًّا، وفي هذه الحالة فإن الجرعة المكافئة الملزمة تعرف على أنها الجرعة المحصلة في مدة بعد الأخذ مقدارها 50 سنة للبالغين و70سنة للأطفال، حيث إن هذه المدد تمثل أكبر مدة محتملة لعيش الأفراد بعد الأخذ.

9-3 الجرعة في وحدة الأخذ:

لقد قامت اللجنة الثانية للهيئة الدولية للحماية الإشعاعية المسؤولة عن التلوث الداخلي بحساب الجرعة المؤثرة الملزمة لأخذ واحد بيكريل لكل النويدات المشعة عمليًّا، التي قد تكون ذات أهمية في الحماية الإشعاعية، وهذه يشار إليها بمعاملات الجرعة المؤثرة للأخذ، وهناك قيم أخرى معطاة للأخذ بواسطة التنفس والهضم، إن القيم الأساسية للعاملين البالغين معطاة في نشرة الهيئة 68، ومبنية على صفات الإنسان المرجع للهيئة من النشرة 23.

ويمكن أن تحدث بعض الحالات التي تتطلب تقويم الجرعة لعدد من العامة ومنهم الرضَّع والأطفال، فمثلاً عندما يكون هناك تعرض لمستويات منخفضة من الإشعاعية في البيئة، فإن القيم لعموم الناس مجدولة في نشرة الهيئة 72.

الجدول (9-2) يصور مثال معاملات الجرع لبعض النويدات المهمة للتنفس والهضم، وحيث إن انتقال أي مادة من الرئة أو من القناة الهضمية يتأثر بتركيبة الكيماوي، وبخاصة ذوبانه، فإن ذلك يستدعي قيمًا مختلفة للتركيبات الكيماوية المختلفة لمعظم النويدات المشعة، ويلاحظ أن الجرعة المؤثرة الملزمة من واحد بيكريل تتفاوت بشكل واسع للنويدات المختلفة، ما يعكس الأنواع المختلفة للإطلاق (α أو β) ونصف العمر وسلوك كل نوع من التركيب الكيماوي للنويدة في الجسم. إن النويدات ذات المعامل المرتفع للجرعة ذات سمية إشعاعية مرتفعة، وذات القيم المنخفضة ذات سمية إشعاعية منخفضة للتحرر.

جدول (9-2) بعض قيم معاملات الجرعة المؤثرة للعاملين (سيفرت/ بيكريل).

النويدة	المركب	تنفس	هضم
تريتيوم	ماء تريتيومي (محتوٍ على التريتيوم)	1.8×10^{-11}	1.8×10^{-11}
	مرتبط عضويًّا	4.1×10^{-11}	4.2×10^{-11}
	غاز الهيدروجين	1.8×10^{-15}	——
صوديوم-22	كل المركبات	2.0×10^{-9}	2.3×10^{-9}
اليود-131	كل المركبات	1.1×10^{-8}	2.8×10^{-9}
سيزيوم-137	كل المركبات	6.7×10^{-9}	1.3×10^{-8}
بلوتونيوم-239	ثاني أكسيد وهيدروكسيد	3.2×10^{-5}	2.5×10^{-7}
	بقية المركبات	8.3×10^{-6}	9.0×10^{-9}

هذه القيم لجسيمات ذات حجم 1 مايكروميتر، وقد استقيت من نشرة الهيئة 68 الموسومة: معامل جرع أخذ النويدات للعاملين، حولية الهيئة 24 (4)، 1994م. والمعلومات المرادفة لعموم الناس معطاة في نشرة 72 الموسومة: اعتماد الجرع لعموم الناس على العمر من أخذ النويدات: الجزء 5- تجميع معاملات الجرع للهضم والاستنشاق، حولية الهيئة 26 (1)، 1996م.

وينبغي ملاحظة أن القيم الموصى بها من قبل الهيئة تراجع بشكل دوري على ضوء المعلومات العلمية الجديدة، ولهذا ينبغي دائماً استخدام المعلومات من المصادر الحالية لأغراض الحماية الإشعاعية.

ينبغي التأكد ثانية أن المتطلب الرئيس في الحماية الإشعاعية ليس هو فقط الحفاظ على ألا تتجاوز الجرع حدودها ولكن التأكد من أن الجرع أقل ما يمكن الوصول إليه بشكل مقبول وبحدود الجرعة، وهذا مهم بصورة خاصة في حالة التعرض الداخلي للصعوبة الكبيرة في التحكم في التعرض وفي تقويم جرع الأفراد من أخذ الإشعاعية.

وينبغي في تقويم الجرعة الكلية السنوية لشخص ما أخذ كلا الجرعتين الخارجية والداخلية للتأكد من عدم زيادة الجرعة عن الحد الموصي به.

مثال 9-1:

لقد تم تخمين تعرض أحد العاملين في سنة من السنين إلى أخذ 1.5×10^{5} بيكريل من الصوديوم-22 (عن طريق القناة الهضمية) و50 بيكريل من البلوتونيوم -239 على شكل أوكسيد (عن طريق الجهاز التنفسي)، معامل الجرعة للهضم للصوديوم-22 هو 3.2×10^{9} سيفرت/ بيكريل (انظر جدول 9-2) وللبلوتونيوم -239 على شكل أوكسيد أخذ عن طريق التنفس هو 3.2×10^{-5} سيفرت/ بيكريل فإن الجرعة الكلية المؤثرة الملزمة لأخذ هي:

للـ Na-22: $1.5\times10^{5}\ Bq \times 3.2\times10^{9}\ Sv / Bq \times 4.8\times10^{-4}\ Bq = 0.48\ mSv$

للـ Pu-239: $5.0\times10^{1}\ Bq \times 3.2\times10^{5}\ Sv / Bq \times 1.6\times10^{-3}\ Bq = 1.6\ mSv$

لهذا فإن الجرعة الكلية هي 2.08 mSv.

9-4 التحكم في أخطار التلوث:

9-4-1 قواعد عامة:

للتحكم في أخطار التلوث الإشعاعي يركز الاهتمام على تحديد الجرعات لأعضاء الجسم المختلفة بالحدود المسموح بها، كما هي الحال في الإشعاع الخارجي. ولكن الطرق الأساسية للتحكم في التعرض مختلفة تماماً، ففي حالة الإشعاع الخارجي يمكن بسهولة قياس معدل الجرعة في منطقة العمل، ويمكن مراقبة الجرعة التي يتعرض لها العاملون باستمرار والتحكم فيها باستخدام مقاييس الجرع الشخصية. في حين عندما يكون هناك تلوث إشعاعي ملحوظ فإن عدم الدقة تكون أكبر في مستوى الإشعاعية على السطوح وفي الهواء في مكان العمل وخاصة في الكميات التي يحتمل أن يستنشقها أو يهضمها العامل. لهذا فإن طريقة التحكم ينبغي أن تكون في تجنب تلوث مناطق العمل ما أمكن وتنظيف أي تحرر يحدث، ومع هذا فإن بعض التعرض للتلوث أمر لا مفر منه في كثير من المنشآت النووية، ومثال على ذلك عندما يكون من الضروري الدخول على معدات ملوثة لغرض التصليح أو الصيانة، ففي هذه الحالات تكون الطريقة هنا هي حماية العامل باستخدام الملابس المناسبة وحماية الجهاز التنفسي.

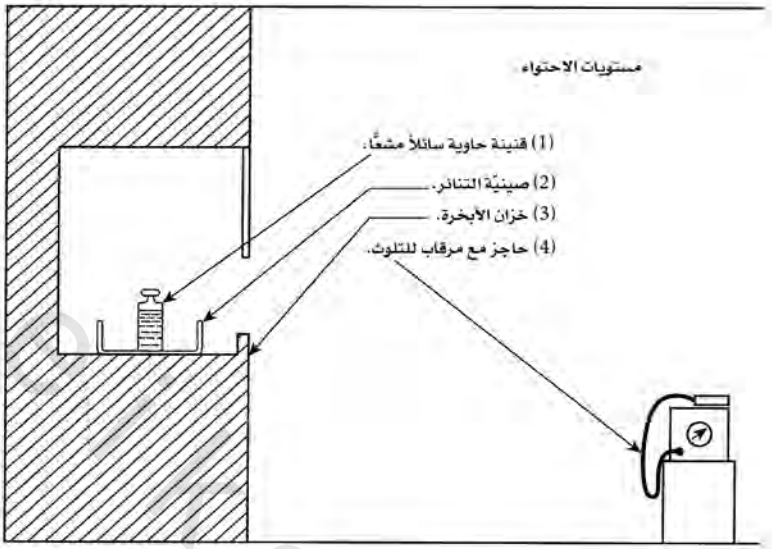
هناك ثلاث قواعد عامة تطبق للتحكم في التلوث الإشعاعي هي:

(1) التقليل -ما أمكن- من كمية المواد المشعة المتداولة.

(2) احتواء المادة المشعة، ويوفر لذلك عادة مستويان من الاحتواء على الأقل.

(3) اتباع الإجراءات الصحيحة بخصوص الملابس الواقية، وبخصوص تجهيزات التنظيف والمراقبة... إلخ.

يصور الشكل (9-3) جهاز احتواء معتاد يمكن تطبيقه في حالة بسيطة لمختبر كيميائي للإشعاع، وفيه أربعة مستويات للاحتواء هي: القنينة التي تحوي المحلول، وصينية احتواء التناثر، وخزان الأبخرة، وأخيراً الحاجز في مدخل المختبر.



شكل (9-3) رسم تخطيطي يصور أربعة مستويات للاحتواء

9-4-2 تصنيف المناطق:

يتم التحكم الرتيب في التلوث ـ كما هي الحال في أخطار الإشعاع الخارجي ـ بوضع نظام لتصنيف المناطق. ويظهر الجدول (9-3) الأسس التي على ضوئها ينبغي **تصنيف المناطق**.

وكما هو ملاحظ أن **المناطق المراقبة** هي التي لا يتوقع عادة حدوث التلوث فيها، ولكن ممكن أن يحدث التلوث بسبب عطل في معدة أو في إجراءات، وهي تمثل منطقة فاصلة مفيدة بين **مناطق التحكم**، حيث يحتمل وجود التلوث بمقدار كبير أو قليل والمناطق غير المتحكم فيها، وفي داخل منطقة التحكم ينبغي أن تكون هناك مناطق، حيث تكون خطورة التلوث كبيرة جدًّا وحيث تفرض تحكمات إضافية، والنقطة الأساسية هنا هي: أن يوضع نظام يوفر الأمان، ويكون عمليًّا في الظروف المعينة.

جدول (9-3) مستويات التحكم لأصناف المناطق

نوع المنطقة	الظروف الإشعاعية
غير متحكم فيها (غير مشعة)	لا يحتمل حدوث تلوث إشعاعي.
مراقبة (تلوث)	الاحتمال ضعيف في حصول تلوث ولكن تتطلب أن تكون تحت المراجعة.
متحكم فيها (تلوث)	ملوثة بمقدار كبير أو قليل وتتطلب احتياطات خاصة وإجراءات حماية.

يجب ما أمكن تنظيف التلوث حال حدوثه؛ لأن هذا يمنع زيادة انتشاره، والانتشار يجعل إزالة التلوث النهائي أكثر صعوبة.

ينبغي عمل مسح منتظم في المناطق المراقبة والمتحكم فيها، كذلك في المناطق المجاورة غير المتحكم فيها؛ للتأكد من أن التلوث لم ينتشر خارج الحدود.

9-4-3 الملابس الواقية:

تعتمد متطلبات الملابس الواقية في أي منطقة، ملوثة على طبيعة التلوث وكميته، ففي مناطق المراقبة حيث الاحتمال منخفض لتلوث السطوح، قد يكون عادةً كافياً ارتداء صدرية مختبر اعتيادية وأحذية وقفازات واقية. أما في المناطق المتحكم فيها فإن مستوى ملابس التلوث والمعدات يعتمد كليًّا على الظروف، فعندما تكون هناك مستويات تلوث الهواء، فمن المعتاد استخدام نوع من حماية الجهاز التنفسي مثل مرشح أو قناع مرتبط بمصدر للهواء. وعندما يكون التلوث على هيئة محلول فمن المعتاد ارتداء العامل بزة (بذلة) مصنعة من مادة PVC ساترة تماماً مع قناع ذي مرشح، أو أن يكون القناع مرتبطًا بمصدر للهواء النقي. والشكل (9-4) يصور بعض الملابس الواقية.

مهما كانت معايير الملابس الواقية؛ يجب أن تكون غرفة تغيير الملابس وترتيبات الحجز ذات كفاية، ويجب أن تتوافر فيها التجهيزات الآتية:

(1) مغسلة رشاش ماء -إن أمكن-، وأجهزة مراقبة (مثل مرقاب لليدين وآخر للملابس).

(2) مستودع مناسب في الجهة غير المشعة من الفاصل لحفظ الملابس الشخصية للعاملين.

(3) ملابس واقية جاهزة للاستخدام موضوعة في مكان مناسب.

(4) حاويات لوضع الملابس المستخدمة والمخلفات المشعة.

(5) لوحات إعلانات موضوعة على الفاصل يكتب عليها (لا يسمح لغير المصرح لهم)، ويكتب عليها أخطار المنطقة، وما ينبغي ارتداؤه (من الملابس)، وأي تحذيرات أخرى ينبغي اتخاذها.

(6) تعليمات للطوارئ: تفصّل ما ينبغي اتخاذه في حالة وقوع حوادث محتملة مثل حصول الكتلة الحرجة، أو حريق، أو تلوث شخصي خطير، وتعلق كل هذه التعليمات في المنطقة، وينبغي الاهتمام بإشارات مخارج الطوارئ.

تعد ترتيبات خاصة لغسل الملابس المستعملة في المناطق الملوثة، ويعامل الدفق الخارج من تجهيزات التنظيف بوصفه مخلفات مشعة سائلة.

9-4-4 القواعد المخبرية وتدريب الموظفين:

إن التحكم في التلوث يعتمد على كل شخص يدخل منطقة متحكمًا فيها أو منطقة مقيدة، ولهذا يجب أن يتلقى الموظفون العاملون في مثل هذه المناطق تدريبات أولية تتبعها تدريبات دورية عن الأخطار التي يشتمل عليها عملهم وعلى القواعد المخبرية، ومن هذه القواعد المعتادة للمناطق المتحكم فيها والمقيدة ما يلي:

(1) لا يسمح بالأكل أو الشرب أو التدخين.

شكل (9-4) ملابس حماية ومعدات:

(أ) بذلة مع قفازات وغطاء للأحذية. ويمكن لبس قبعة الملابس عند الضرورة.

(ب) ملابس صمَّاء، غير مُنفذة مع مرشح للهواء.

(ج) بذلة مهوَّاة بالكامل وهي مريحة وكفأة أكثر من (ب).

(د) بذلة ارتطام، للاستخدام في الطوارئ تحوي معدات تهوية.

(2) لا يسمح بالعمليات التي تتطلب استخدام الفم (مثل استخدام الممصة).

(3) يجب تغطية أي جرح بغطاء مانع للماء، وذلك قبل دخول المناطق المشعة، هذا مهم جدًّا حيث إن الجروح المكشوفة توفر ممر تلوث مباشر إلى مجرى الدم.

(4) يجب أن يبلغ عن الجروح التي تحدث في المنطقة إلى الشخص المسؤول عنها، وأن تعالج حال حدوثها.

(5) يجب عدم استعمال المناديل الاعتيادية في المناطق ذات الإشعاع، بل ينبغي أن توفر دائماً مناديل ورقية يمكن التخلص منها بعد الاستعمال.

(6) لا يسمح بنقل الحاجيات من منطقة الإشعاع إلا بعد إذن من مسؤول الفيزياء الصحية. وينبغي -ما أمكن- أن تكون مجموعة العدة وجهاز التنظيف مخصصة للمناطق ذات الإشعاع فقط، ويؤشر بوضوح على أنها مشعة.

9-4-5 الرمز العالمي للإشعاع:

الرمز العالمي المتفق عليه للإشعاعات المؤينة هو **رمز الوريقات الثلاث** المصور في الشكل (9-5) الذي يشاهد على الحزم الحاوية لمصادر مشعة، وفي مداخل المناطق التي تشتمل على أخطار إشعاعية ملحوظة.. إلخ.

شكل (9-5) رمز الوريقات الثلاث

9-5 السمية الإشعاعية وتصنيف المختبرات:

لقد أوصت الوكالة الدولية للطاقة الذرية (في تقريرها الفني رقم 15) بتصنيف سمية النويدات المشعة ليكون ذلك دليلاً للإجراءات والتجهيزات المتطلبة في تداول المواد المشعة غير المغلقة. وقد استخدم التصنيف نفسه في توجيهات المنظمة الذرية الأوروبية المتعلقة بالحماية الإشعاعية.

لقد قسمت النويدات المشعة إلى أربع مجموعات بحسب سميتها الإشعاعية:

المجموعة الأولى: مرتفعة السمية (مثل البلوتونيوم-239 والأمريسيوم-241).

المجموعة الثانية: سمية فوق المتوسط (مثل السترونتيوم-90 واليود-131).

المجموعة الثالثة: متوسطة السمية أو أقل (مثل الفوسفور-32 والخارصين- 65).

المجموعة الرابعة: منخفضة السمية (مثل اليود-129 واليورانيوم الطبيعي).

ويلاحظ أن هناك كثيرًا من النويدات في كل مجموعة، والنويدات المذكورة من الأمثلة الشائعة.

لقد عرفت الوكالة الدولية للطاقة الذرية إضافة إلى ذلك ثلاثة أنواع من المختبرات أسمتهم بالأنواع 1 و 2 و 3.

- **فالنوع الأول من المختبرات:** هو عبارة عن تجهيزات مصممة خصيصًا، وتتضمن معدات معقدة تمكن من المداولة الآمنة للمستويات المرتفعة من السمية الإشعاعية.
- **أما النوع الثاني من المختبرات:** فهو يماثل أي مختبر كيميائي رفيع المستوى.
- **والنوع الثالث من المختبرات:** يشمل المختبرات الاعتيادية التي لم تصمم أصلاً لتداول مواد سامة.

والجدول (9-4) يبين كميات النويدات المشعة التي يمكن تداولها بأمان مقبول في الأنواع الثلاثة من المختبرات.

جدول (9-4)

دليل لكميات النويدات التي يمكن تداولها في الأصناف الثلاثة من المختبرات

المشعة	صنف المختبر		
	الأول (1)	الثاني (2)	الثالث (3)
مجموعة 1	فوق 370 ميجا بيكريل	حتى 370 ميجا بيكريل	حتى 370 كيلو بيكريل
مجموعة 2	فوق 3.7 جيجا بيكريل	حتى 3.7 جيجا بيكريل	حتى 3.7 جيجا بيكريل
مجموعة 3	فوق 37 جيجا بيكريل	حتى 37 جيجا بيكريل	حتى 37 ميجا بيكريل
مجموعة 4	فوق 370 جيجا بيكريل	حتى 370 جيجا بيكريل	حتى 370 ميجا بيكريل

ملحوظة: هذه القيم للعمليات الكيميائية الرطبة الاعتيادية، ويمكن استخدام عوامل تحويل في الحالات الأخرى كما يلي:

العمل	عامل التحويل
خزن في حاويات مغلقة ومهواة	× 100
كيمياء رطبة بسيطة منخفضة الإشعاعية النوعية	× 10
عمليات معقدة الرطوبة، أو بسيطة جافة	× 0.1
عمليات جافة ومغبرة	× 0.01

9-6 تصميم مناطق العمل الإشعاعي:

يجب اتخاذ القدر المناسب من التخطيط المسبق قبل بناء المنطقة الإشعاعية أو المعمل الإشعاعي. إضافة إلى المواصفات العامة للتصميم والمتوقع اتخاذها في أي تجهيزات جيدة، لا بد من إعطاء اهتمام خاص للتهوية وللّمسات الأخيرة للسطوح، فأجهزة التهوية تتطلب وحدات ترشيح جيدة لإزالة الجسيمات الإشعاعية قبل التفريغ، وفي حالة النشاط الإشعاعي

الغازي ـ الذي لا يزال بواسطة الترشيح ـ لا بد من ممارسة العناية الفائقة في تحديد مواضع مخارج التهوية للتأكد من التخلص الملائم لأي إشعاعية مطروحة.

لا بد أن تكون السطوح في مناطق العمل الإشعاعي ناعمة وخالية من الخدوش، ولا بد من صناعتها من المواد الخاملة كيميائيًّا، وغير القابلة للامتصاص، والمانعة للماء، كما يجب الأخذ في الحسبان أيضاً وجود مشكلات عند إزالة التلوث ـ التي ربما تظهر ـ لذا لا بد من اختيار المواد التي يمكن تطهيرها بسهولة، أو يمكن رفعها بشكل ملائم واستبدالها.

9-6-1 الجدران والأرضيات والسقوف:

المتطلب الأساسي هنا هو أن تكون اللمسات الأخيرة للجدران والأرضيات والسقوف نظيفة، وخالية من أي شروخ، حيث يمكن أن يتجمع التلوث. ومن أجل النظافة وسهولة التنظيف فمن المرغوب فيه تقويس جميع زوايا الجدران مع بعضها بعضًا ومع كل من السقوف، والأرضيات.

ويمكن جعل الجدران والسقوف المخصصة ناعمة وغير مسامية باستعمال الطلاء الصقيل، أو كساء الجدران بمواد لاصقة ملائمة، ومثال على ذلك استعمال صفائح الميلامين الملتصقة خلفيتها برقائق خشبية مصمغة، وذات الوصل التناكبي والنهايات المترابطة. أما اللمسات النهائية الأخرى المستعملة للجدران والسقوف فإنها تتضمن الطلاء المطاطي المطهر بالكلور، والطلاء الصمغي المؤكسد وكذلك المواد اللاصقة الأخرى.

وأفضل أغطية أرضية تلك التي تحتوي على قطع من PVC، ترصف على الأرض وتلحم نهاياتها، ويجب أن يكون لأغطية الأرضية أطراف مقوسة متكاملة. أما البديل لهذه الأغطية فهو قطع الورق المشمع المعامل بالشمع المذاب بعد معاملته بالشمع الصلب، وذلك لجعله مانعاً للماء. وفي حالة استعمال الورق المشمع لا بد من استعمال نهايات مقوسة مسبقة الإعداد بشكل منفصل، ولا بد من ربط النهايات.

ولا يوصى بأي من رقائق الـPVC والورق المشمع عادة؛ لأن أطراف الاتصال الكثيرة في الأرضية تجعل التنظيف بعد التلوث عملية صعبة. أما الأسمنت والخشب فهما مواد أرضية سيئة، ولكن لا مانع من استعمالهما أحياناً، ولكنهما عندما يستعملان يعاملان بطلاء مطاطي لجعلهما مواد مانعة للماء.

9-6-2 سطوح العمل:

يجب أن يتم طلاء سطوح العمل بمواد قوية غير مسامية تملك الخصائص الحرارية الضرورية وخصائص المقاومة الكيميائية. وأكثر المواد المستعملة شيوعاً تتضمن:

(1) الصفائح البلاستيكية المصمغة بالميلامين مثل (الفورمايكا)، التي يجب أن تلتصق خلفيتها بالصمغ (الراتنجي) لمنحها المقاومة اللازمة للحرارة.

(2) رقائق كلوريد البوليفينول مثل (الدارفك) القابل للالتحام والمقاوم للحريق.

(3) الفولاذ مادة جيدة، ولكن له القابلية على الارتباط الفيزيائي بينه وبين نواتج التآكل، وإنه عرضة لهجوم بعض المواد الكيميائية، كحامض الهيدروكلوريد مثلاً.

(4) الصمغ المسلح بالألياف الزجاجية الذي يمكن تطبيعه حسب الشكل، ويمكن معالجته لجعله مقاوماً للنار، ولكنه قد يحترق فيها.

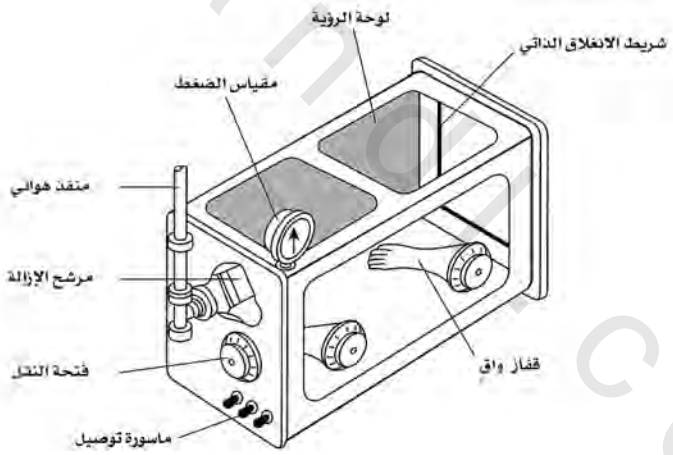
(5) البوليبروبيلين الذي يمكن لحامه وتشكيله بالحرارة. وهذه المادة شديدة المقاومة الكيميائية إلى حد يجعل من الصعب إيجاد مواد لاصقة لها، وإنها ليست مقاومة للنار، فبمجرد اشتعالها فإنها تستمر في الاحتراق.

9-6-3 صناديق القفازات:

وهي مما تجهز به المعامل الإشعاعية، وذلك لتداول المواد الخطرة، فهي تحتوي على وعاء مانع للتسرب، حيث يمكن تداول الأجسام والمواد المشعة خلال قفازات واقية مربوطة

بفتحات في جدران الصندوق (انظر الشكل 9-6)، وهدفه توافر حاوٍ للمواد المشعة أو السامة أو كليهما. وفي العادة، إنّ هذه الأوعية لا تشكل درعاً يمنع اختراق الإشعاع، ولهذا فهي تستعمل لمشعات ألفا وبيتا فقط، وعندما ينبغي تداول النظائر الباعثة لأشعة جاما، تبنى عادة جدران من قوالب الرصاص بين المشغل وبين صندوق القفاز.

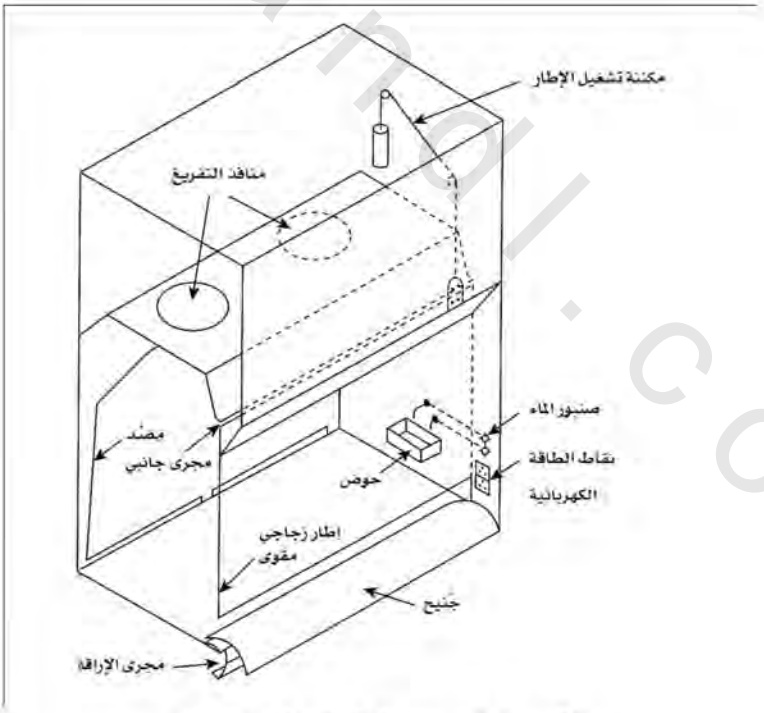
تتم المحافظة على جعل الضغط داخل صناديق القفازات أقل من ضغط المعمل، فإذا ما وقع تسرب فإن الهواء سيندفع داخل الصندوق من خلال مناطق التسرب، وهذا من ثم يمنع هروب التلوث إلى الخارج. يستعمل في نظام التهوية في العادة مرشحان: أحدهما لإزالة الغبار من الهواء المسحوب إلى الصندوق، والثاني لإزالة الدقائق الإشعاعية من الهواء الذي يسحب من الصندوق إلى الخارج.



شكل (9-6) رسم تخطيطي لصندوق القفاز

9-6-4 خزانات الأبخرة:

تستعمل خزانة الأبخرة عند تداول مواد ذات مستوى إشعاعي منخفض (بحدود ميجابيكريل). ويتم تداول المواد عبر فتحة في الأمام، حيث يدخل الهواء من المعمل إلى خزانة الأبخرة (انظر الشكل 9-7). وهذا يحمي المستعمل للمواد من أي تسرب للتلوث خلال وجود أي ثغرة في المعمل العام. وخدمات الخزانة تتطلب -في العادة- وجود الماء والغاز وأجهزة التفريغ والكهرباء، ويجب السيطرة على هذه الخدمات خارج الصندوق؛ للتقليل من التحرك عبر الفتحة الأمامية. ومن الأفضل التعود على خفض عدد الفتحات في الواجهة الأمامية للصندوق إلى أقل حد؛ لتقليل احتمالية حصول تلوث إشعاعي يدخل جو المختبر العام.



شكل (9-7) رسم تخطيطي لخزانة الأبخرة

7.9 معاملة الأشخاص الملوثين:

لا توجد وسيلة سريعة للتخلّص من النظير المشع عندما يستقر في الجسم (أي خفض عمر نصفه الإحيائي)، ومن ذلك تتبين أهمية بذل كل الجهود لمنع دخول المواد المشعة (التلوث) إلى الجسم. ومن الضروري أن يتبع كل الموظفين القواعد المخبرية، وأن يلبسوا ملابس الحماية المناسبة. ومع هذا، فمن المحتمل أن تقع حوادث تلوث؛ لذا فمن الضروري معرفة المعالجة الصحيحة.

إن الإجراء الأول الذي يجب اتخاذه عند التعامل مع شخص ملوث، هو التأكد من كونه مجروحاً أم لا، فإذا كانت هناك جروح شديدة يجب أن تجرى له الإسعافات الأولية في أسرع وقت ممكن. والشيء الثاني الذي ينبغي عمله بعد العلاج الطبي الضروري: هو إزالة التلوث قبل أن يُمتص ويستقر في الجسم، ولكن قبل البدء في إزالة التلوث يجب أن يجرى له ـ بعناية ـ مسح إشعاعي حول الجسم كلّه باستخدام مرقاب تلوث مناسب لتعيين موضع التلوث، ففي حالة التلوث الجزئي يصبح من الضروري إزالة التلوث من المناطق الملوثة فقط، فمثلاً إذا ما تعرض شخص لتلوث في يديه أو في وجهه، فتغسل هذه المناطق بالماء والصابون باستفاضة قبل مراقبتها ثانية؛ للتأكد من سلامته تماماً، وإلا فلا بدّ من إعادة الغسل.

أما في حالة تلوث كل الجسم فإن الإجراء الأول الذي يجب اتخاذه بعد خلع الملابس الواقية، هو عادة غسل شعر الشخص فوق مغسل لليدين؛ لكي لا يدخل الماء الملوث في فمه عند الاستحمام التام، وبعدها يقوم بالاغتسال تحت رشاش الماء، باستعمال صابون أو عوامل تنظيف أخرى ذات قدرة أشد. وبعد هذا الاستحمام يفحص بعناية، فقد يحتاج إلى الاغتسال مرات أخرى لإزالة التلوث تماماً. إضافة إلى ذلك، عندما يكون الشخص قد تعرض إلى تلوث زائد عن طريق الهواء (بالتنفس) فقد يستلزم ذلك إجراءات أخرى كأن ينف (يمخط) ما في أنفه ويغسله لإزالة التلوث تماماً من داخله. وإذا ما بقي جرح ثانوي في منطقة ملوثة يجب أن يسمح له بالنزف بحرية

ويغسل بالماء بغزارة لتقوية إزالة التلوث. وإذا لم يكن بالإمكان إزالة التلوث تماماً ومباشرة من الشخص، أو إذا كانت جراحه خطيرة فيجب الحصول على المساعدة الطبية بأسرع ما يمكن. وعندما يبتلع مادة مشعة فقد يعطى الشخص مواد مضادة الغرض منها منع أو تقليل الامتصاص من قبل القناة الهضمية مثل مضادات الحموضة أو رزنات التبادل الأيوني، وذلك بعد ابتلاع المواد المشعة مباشرة. أما إذا امتصت نويدات مشعة ذات سمية عالية مثل البلوتونيوم - 239 عن طريق جرح أو استنشاق، وكان بشكل قابل للذوبان، فقد يعطى الشخص كيميائيات معينة تدعى المواد المخلصة (مثل DTPA) لتحفيز الجسم على التبرز. ولسوء الطالع، فإن هذه الكيميائيات نفسها تميل إلى كونها سامة كيميائيًا. إن امتصاص بعض النظائر المشعة يمكن إيقافه بالتناول المسبق لكميات كبيرة من النظير المستقر للعنصر نفسه، فمثلاً إن أخذ اليود المشع إلى الغدة الدرقية يمكن تقليله إلى درجة كبيرة جدًا بالتناول المسبق لكبسولة زنة 200 ملي غرام من يود البوتاسيوم. إن لهذا تطبيقات مهمة في حالة وقوع حادث في مفاعل.

9-8 مراقبة التلوث:

9-8-1 الحسية:

لقد سبق الذكر أن كميات صغيرة تماماً من المواد المشعة التي لا تشكل خطراً خارجيًا ملموساً يمكن أن تؤدي إلى أخطار داخلية ملموسة. وهذا يعني أن مستويات الإشعاع المتولدة من كمية من التلوث الإشعاعي اللازم لإحداث خطر داخلي، هي عادة أقل بكثير من تلك المستويات التي تسبب أخطارًا إشعاعية خارجية. ولهذا ينبغي أن تكون مراقب التلوث بصورة عامة أكثر حساسية من معدلات المسح الإشعاعي.

ولتحقيق هذا المتطلب في زيادة الحسية (الحساسية) تصنع مراقب التلوث من كاشفات تتضمن بداخلها أجهزة مضاعفة (جايجر - ميولر أو عداد وميض)، ويسجل مستوى النشاط الإشعاعي على شكل معدل للعد (عدَّه بالثانية أو بالدقيقة). ويجب

معايرة المرقاب بشكل مناسب قبل التمكن من حساب مستوى التلوث (كأن يكون معايراً على سبيل المثال ـ بالميجابيكريل/م^2).

9-8-2 مراقبة تلوث السطح المباشر:

وهذه الطريقة هي الأسهل والأنسب في مراقبة التلوث، وتجرى للتأكد من وجود التلوث على سطوح الطاولات والأغطية والجلد، وما شابه ذلك.

إن القياس المباشر يسمح بحساب مستوى التلوث بوحدات (الميجابيكريل/م^2) ويمكن أن تربط بحدود العمل القصوى عند تلوث السطح. يتكون مرقاب التلوث المثالي من معدال يعمل على الخط الرئيس أو على بطارية، ويمكن أن توصل به أنواع مختلفة من رؤوس الكشف.

يكشف عن تلوث ألفا باستعمال وامض من سلفات القصدير مرتبط بأنبوب مضاعفة الفوتونات، حيث تغطي شاشة سلفات القصدير بميلانكس (DuPont) وهي عبارة عن مادة بلاستيكية رقيقة جدًّا مغطاة بالألمنيوم لحجز الضوء. إن هذا الغطاء يجب أن يكون رقيقاً بدرجة كافية؛ كي يسمح لجسيمات ألفا باختراقها لتصل إلى شاشة سلفات القصدير. ومن المهم ـ عند القيام بمراقبة مباشرة لسطح ما تحرياً لتلوث ألفا ـ أن يكون المجس في أقرب ما يمكن من السطح حتى يقيس مستوى النشاط الإشعاعي الحقيقي.

وفي مراقب تلوث بيتا تستخدم عادة أنبوبة جايجر- ميولر في حامل مناسب أو مجس، وللمجس مصراع يجب فتحه عند المراقبة. وإذا كان يشك بوجود تلوث بيتا بطاقة منخفضة فتستعمل أنبوبة جايجر ـ ميولر ذات شباك طرفي رقيق. يستخدم فوسفور بلاستيكي في نوع آخر من كاشفات بيتا، ويمكن استخدمها مع شاشة سلفات القصدير لتكوين مجس ثنائي يسمح بمراقبة ألفا وبيتا معًا، ويستعمل أنبوب واحد لمضاعفة الفوتونات، إضافة إلى دائرة كهربائية للتمييز بين نبضات ألفا وبيتا.

إن مجسات بيتا تستجيب لأشعة جاما ما يجعل المراقبة المباشرة لتلوث بيتا صعبة في المناطق المرتفعة الإشعاع الأساسي لجاما، وتحت هذه الظروف يجب استخدام طرق غير مباشرة.

9-8-3 فحوص المسح:

الفحوص بطريقة المسح هي طريقة غير مباشرة لقياس مستويات تلوث السطوح، وهي تستخدم إما للكشف عن مستويات التلوث المنخفضة جدًّا أو لمراقبة التلوث في منطقة مرتفعة الإشعاع الأساسي. تمسح مسافة معلومة بورقة ترشيح مساحتها (في العادة 0.1 م^2) ثم توضع هذه الورقة في مظروف من البولثين لمنع تلوثها من مصادر أخرى، وتؤخذ إلى منطقة منخفضة الإشعاع الأساسي حيث يقاس نشاطها الإشعاعي باستخدام جهاز كشف معلوم الكفاءة. ويمكن حساب مستوى التلوث باستخدام المعادلة الآتية:

مستوى التلوث (بيكريل/ م^2) يساوي:

$$C_C \times \frac{100}{E_C} \times \frac{1}{A} \times \frac{100}{E_F}$$

حيث:

C_C = معدل العد مصححاً بالنسبة إلى العد الأساسي، بوحدات عدّه في الثانية.

E_C = الكفاءة الكلية لجهاز العد.

A = المساحة الممسوحة بالمتر المربع.

E_F = كفاءة التقاط ورقة الترشيح للتلوث.

إن من الصعوبة إيجاد كفاءة التقاط ورقة الترشيح للتلوث (E_F)، وإن قابلية استعادتها غير جيدة، فهذه الكفاءة تعتمد على عوامل متعددة مثل الطبيعة الفيزيائية والكيميائية للتلوث وطبيعة السطح الملوث... إلخ. في بعض الأحيان تؤخذ الكفاءة E_F على أنها مئة في المئة ليصبح ما يحسب في هذه الحالة هو التلوث المزال (لا التلوث الحقيقي)، وغالباً ما تفترض الكفاءة 10٪.

وهناك تقنية نوعية مقيدة تستخدم عادة في داخل المنطقة المشعة، وهي مسح مساحة كبيرة باستخدام منشفة ورقية مبللة ثم تفحص هذه المنشفة. إن لهذه التقنية ميزة في أنها تزيل التلوث من السطح.

9-8-4 مراقبة الهواء:

تجري مراقبة الهواء في المناطق التي يمكن أن يحدث فيها تلوث هوائي. وهناك ـ أساساً ـ ثلاثة سبل يمكن أن يحدث عن طريقها تلوث الهواء.

(1) بإثارة التلوث الذي على السطوح في المنطقة الإشعاعية.

(2) عند جفاف التلوث السائل.

(3) بالعمليات الجافة المغبِّرة مثل القطع الذي يؤدي إلى إطلاق دقائق مشعة.

يقاس النشاط الإشعاعي **للأغبرة** العالقة في الهواء بسحب حجم معلوم من الهواء خلال ورقة ترشيح، ثم يعد النشاط الإشعاعي لورقة الترشيح في منطقة منخفضة الإشعاع الأساسي بالطريقة نفسها التي يجرى فيها قياس النشاط الإشعاعي لورقة الفحص بالمسح (السالف الذكر)، ويحسب مستوى النشاط الإشعاعي العالق في الهواء من معرفة معدل العد لورقة الترشيح. وباستخدام المعادلة الآتية:

مستوى تلوث الهواء (بيكريل/ م^3) يساوي:

$$C_C \times \frac{100}{E_C} \times \frac{1}{V}$$

حيث:

C_C = معدل العد المصحح (عدة في الثانية).

E_C = كفاءة جهاز العد الكلية.

V = حجم عينة الهواء بالمتر المكعب.

يحسب النشاط الإشعاعي **الغازي** عادة بسحب حجم معين من الهواء خلال ورقة الترشيح، ومنها إلى غرفة عينات، حيث تغلق بعد ذلك. تقوم ورقة الترشيح بإيقاف

الدقائق العالقة في الهواء، وتدخل الغازات المشعة فقط إلى غرفة العينات، ثم يعد نشاط غاز غرفة العينات في منطقة منخفضة الإشعاع الأساسي، ومن ثم يمكن حساب مستوى النشاط الإشعاعي الغازي.

9-8-5 المراقبة الإحيائية:

تكفي مراقبة تلوث الهواء والسطوح ـ عادة ـ للتأكد من أن ما يدخل أجسام الأشخاص المعرضين للتلوث من مواد مشعة ليس له أثر يذكر، غير أنه ينبغي في بعض الظروف إجراء مراقبة حيوية. فمن هذه الظروف على سبيل المثال:

(1) إذا كان الحد السنوي لأخذ النظير تحت الدرس قليلاً جدًّا (مثل البلوتونيوم).

(2) إذا كان من الصعب الكشف عن النظير بالطرق المعتادة.

(3) إذا ما وقع حادث ما.

يعتمد نوع المراقبة المستخدمة على نوع النظير المشع الذي دخل الجسم.

النظائر المشعة **لجاما** يمكن أن تقاس باستخدام عداد الجسم الكلي، حيث يوضع الشخص في تجهيزات منخفضة الإشعاع الأساسي معزولة، ثم يكشف عن أشعة جاما المنطلقة من جسمه باستخدام عدة عدادات وميض كبيرة من يوديد الصوديوم (NaI).

النظائر الباعثة **لألفا وبيتا** تقاس بمراقبة الخارج من السبيلين، فمثلاً يراقب الغائط، وذلك عند تناول تلوث غير قابل للذوبان، أو مراقبة البول عند التلوث القابل للذوبان. تجرى مراقبة التنفس للكشف عن استنشاق الراديوم؛ لأن الراديوم يضمحل إلى وليده الغازي الرادون الذي يظهر في الزفير.

ومن المؤشرات المفيدة عند الشك في استنشاق مادة مشعة أن تجرى مراقبة مسح الأنف أو المخاط؛ للتعرف على ما إذا كان قد حدث استنشاق ملحوظ للمادة المشعة عن طريق التنفس أم لا.

خلاصة الفصل:

أخطار الإشعاع الداخلي: يسبب مواد مشعة في داخل الجسم.

منافذ الدخول: التنفس والابتلاع والدخول المباشر عن طريق جروح في الجلد.

ثابت الاضمحلال المؤثر: $\lambda_{eff} = \lambda_r + \lambda_b$

الجرعة المكافئة الملزمة للعضو: الجرعة المكافئة التي ألزم بها العضو بعد الأخذ.

الجرعة المؤثرة الملزمة: الجرعة المكافئة الملزمة للعضو مضروبة بمعامل النسيج المناسب.

معامل الجرعة المؤثرة: الجرعة المؤثرة من أخذ 1 بيكريل من نويدة.

ولقد وضعت الهيئة الدولية للحماية الإشعاعية القيم لجميع النويدات ذات الأهمية في جداول لكل من الاستنشاق والهضم.

مراقبة تلوث السطح: مراقبة مباشرة ـ سلفات الخارصين، للكشف عن ألفا، وأنابيب جايجر ـ ميولر للكشف عن بيتا. المراقبة غير المباشرة باستخدام فحوص المسح.

مستوى تلوث السطح (بيكريل/ م^2) $= C_C \times \frac{100 \times 1 \times 100}{E_C \times A \times E_F}$

مستوى تلوث الهواء: يعين مستوى التلوث بالدقائق المشعة بسحب حجم معلوم من الهواء خلال ورقة ترشيح.

مستوى التلوث (بيكريل/ م^3) $= C_C \times \frac{100 \times 1}{E_C \times V}$

يقاس النشاط الإشعاعي الغازي بسحب حجم معلوم من الهواء خلال ورقة ترشيح إلى غرفة العمليات، ثم يعد نشاط الغاز.

المراقبة الإحيائية: (أ) مشعات جاما ـ عداد الجسم الكلي.

(ب) مشعات ألفا أو بيتا ـ البراز أو البول ومراقبة التنفس.

أسئلة للمراجعة:

(1) إذا ما تعرض عامل لأخذ 2×10^5 بيكريل من اليود -131 (عن طريق الاستنشاق) و10^6 بيكريل من السيزيوم -137 (عن طريق الاستنشاق) في السنة، فما الجرعة الخارجية القصوى التي يمكن أن يتعرض لها في السنة بحدود الجرعة السنوية 20 ملي سيفرت ؟ (11.1 ملي سيفرت).

(2) احسب أقصى أخذ لثاني أوكسيد البلوتونيوم - 239 يمكن أن يتعرض له عامل ما عن طريق الاستنشاق في السنة، إذا كانت جرعته من التعرض الخارجي هي 10 ملي سيفرت، (312.5 بيكريل).

(3) ناقش مشكلة مراقبة التلوث المباشر للسطوح؟

(4) احسب مستوى تلوث السطح من المعلومات الآتية:

معدل العد غير المصحح من ورق المسح 3840 عدة في الدقيقة.

معدل عد الخلفية	240 عدة في الدقيقة
كفاءة جهاز العد	15٪
مساحة السطح الممسوح	0.1 م^2
كفاءة الالتقاط في المسح	10٪

(5) احسب مستوى النشاط الإشعاعي للدقائق في الهواء من المعلومات الآتية:

معدل العد غير المصحح من ورق المسح	29832 عدة في أربع دقائق.
معدل العد الأساسي	1032 عدة في أربع دقائق.
كفاءة جهاز العد	12٪
معدل مرور الهواء خلال جامع العينات	0.03 م^3 في الدقيقة.
الوقت الذي شغل فيه جامع العينات	2 دقيقة.

(6) ناقش مشكلة معالجة شخص ملوث ومجروح كذلك؟

(7) ما المقصود (بالسّميّة الإشعاعية) لنظير ما؟ ناقش كيف يؤثر ذلك على تصنيف المختبرات التي تتعامل مع المواد المشعة.