الفصل السابع

الوقاية من الإشعاع

7 – 1 فلسفة الوقاية من الاشعاع

لم تكن هناك معايير للوقاية من الإشعاع في الفترة الأولى من استخدام الأشعة السينية والعناصر المشعة بالرغم من بعض الاهتمام في هذا المجال .

وفي أثناء الحرب العالمية الأولى ازداد استعمال الأشعة السينية في التشخيص الطبي لتغطية آلاف الجنود المتحاربة. ولم تكن هناك مقياس لجرعة الاشعة السينية فكانت تستخدم جرعة احمرار الجلد في تقدير التعرض الإشعاعي، وبعدها بدأ التحول إلى استخدام الكواشف التي تقيس مقدار تأين الهواء بالإشعاع. ولا يزال يصنع إلى الآن الكثير من كواشف الإشعاع ومقاييسه على أساس تأين الغاز.

وفي عام 1928م تم تأسيس اللجنة الدولية للحماية الإشعاية (ICRP) التي قامت بإصدار توصياتها لوضع مواصفات العمل في هذا المجال. واستمرت هذه اللجنة إلى يومنا هذا في تطوير التعليمات والتوصيات الخاصة بكل ما يتعلق بالإشعاع مع غيرها من الهيئات الدولية والوطنية، مثل الهيئة الدولية لوحدات الإشعاع وقياسه (ICRU) والوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA).

تهدف معايير الوقاية من الإشعاع إلى وقاية الإنسان والبيئة من التأثيرات الضارة للإشعاع، الجسدية منها والوراثية مع السماح للاستخدامات المفيدة للإشعاع والمواد المشعة بالاستمرار.

وتتضمن أساليب الوقاية من الإشعاع نوعين مميزين من أنواع التعرض هما التعرض في حالة الحوادث الإشعاعية والتعرض المهني الذي يمكن الحد منه بوساطة السيطرة على مصادر الإشعاع وتطبيق نظام تحديد الجرع.

الاهداف الرئيسية للوقاية من الاشعاع تسند الى ثلاثة أهداف هي :

1- تبرير أي عمل يتضمن التعرض إلى الإشعاع.

2- منع حدوث التأثيرات الحتمية (Deterministic Effects) وهي التأثيرات التي التي يتعرض لها الشخص من ألإشعاع عند جرعة اشعاعية كبيرة نسبيا ويطلق عليها جرعة العتبة. من هذه التأثيرات احمرار الجلد ،الحروق الإشعاعية ،المرض الإشعاعي

الاسهال الحاد، التقيئ ، وفقد المناعة الناتج عن استنزاف كريات الدم البيضاء ... الخ.

3- تخفيض حدوث التأثيرات غير العتبية (Stochastic Effects) وهي التأثيرات التي لا يوجد لها حد للعتبة ، أي ان الجرع الإشعاعية مهما كانت صغيرة فانها من الناحية النظرية أن تحدث تأثيرات جسدية متأخرة مثل مرض السرطان أو تاثيرات وراثية مثل التشوهات التي تظهر في الذرية نتيجة لتلف الجينات داخل الخلايا التناسلية، لهذا لا يمكن اعتبار أي تعرض للإشعاع مهما قل بأنه آمن إلا أن خطورته تتفاوت من شخص إلى آخر، ويزداد احتمال ظهور تلك التأثيرات مع ازدياد جرعة الإشعاع.

طورت الهيئة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP) مفاهيم الوقاية من الإشعاع واستخدام المعايير الأساسية في الوقاية من الإشعاع وهذه المفاهيم هي:

أ- تبرير الممارسة (justification):

يعني التبرير " لا يتم تخويل أي ممارسة إشعاعية إلا إذا كانت لتلك الممارسة فائدة للشخص المعرض أو الجمهور مع الأخذ بنظر الاعتبار العوامل الاجتماعية والاقتصادية والعوامل ذات العلاقة ". إن جميع حالات التعرض للإشعاع يجب خفضها إلى أقل قدر ممكن، والتحقق من خفض التعرض الإشعاعي والأخذ في الحسبان الموازنة بين زيادة الفائدة من هذا الخفض وزيادة التكاليف. ولزيادة الفائدة الصافية إلى أقصى قدر ممكن يؤخذ تفاضل معادلة التكلفة والفائدة بالنسبة لمتغير غير معتمد يعرف بالجرع المكافئة المتجمعة.

عند ترخيص اي ممارسة اشعاعية ينتغي النظر الى النقاط التالية:

1 - لا يجوز تطبيق أية ممارسة من الممارسات الاشعاعية ما لم تؤد هذه الممارسة إلى نفع كاف للأشخاص المتعرضين للإشعاع أو للمجتمع ككل يبرر الضرر الإشعاعي المتوقع الذي قد ينجم عن هذه الممارسة.

2- عند تبرير الممارسة يجب أن يؤخذ في الحسبان جميع الأضرار الآنية والمتاخرة ، بحيث تتضمن الأضرار الإشعاعية المتوقعة لجميع التعرضات الإشعاعية المباشرة والكامنة والتكاليف الأخرى للممارسة.

3- تعتبر الممارسات التي ينتج عن تنفيذها زيادة كمية المادة المشعة (سواء بالإضافة أو التنشيط) في السلع أو المنتجات من الممارسات غير المبررة.

وعلى هذا الاساس فان الجرعة الناتجة عن التشخيص والعلاج الطبي تعتبر مبررة وتعتبر الممارسة التي تدخل فيها المواد الغذائية والمشروبات ومستحضرات الجميل غير مبررة وكذلك بعض السلع والمنتجات مثل العاب الأطفال.

يمكن تبريد العمل المتضمن التعرض للإشعاع بدراسة مزاياه ومساوئه للتأكد من أن الضرر الكلي الذي ينتج عن العمل المقترح يكون أقل بصورة ملموسة من الفوائد المتوخاة، ومن الممكن استخدام تحليل التكلفة والفائدة لغرض الوصول إلى قرار بقبول التعرض ام لا .

ب- الامثلية (optimization):

إن مستوى الوقاية و الأمان في الممارسة الإشعاعية يكون مثاليا لغرض أن يكون مقدار جرعة الأفراد وعدد الأفراد المعرضين باستثناء التعرض الطبي التشخيصي والعلاجي أقل ما يمكن التوصل إلية. يسمى هذا المفهوم بمفهوم اقل مايمكن التوصل له عمليا (ALARA) **As Low As Reasonably Achievable** . تكون أهداف الامثلية ملائمة لوقاية المرضى مع بلوغ النتيجة المرجوة من التشخيص و العلاج، مع الأخذ بالاعتبار العوامل الاجتماعية والاقتصادية. وتعني الامثلية المحافظة على قيم الجرعات الشخصية للتعرض وعدد المتعرضين، واحتمالات التعرض، عند أقل حد يعقل إنجازه، مع أخذ العوامل الاقتصادية والاجتماعية في الحسبان.

ت- تحديد الجرع الاشعاعية (Dose limitation):

إن معظم القرارات التي يتم اتخاذها في الممارسات الاشعاعية تستند إلى الموازنة بين التكلفة والمنفعة، فإذا كانت الفائدة من اللممارسة اكبر من الضرر الاشعاعي فالممارسة الاشعاعية نافعة ، وعكس ذلك فان الممارسة لا ينبغي تطبيقها ، بالإضافة إلى أن الفعالية يجب أن تتم بصورة يحصل فيها الفرد والمجتمع على أقصى فائدة ممكنة. ولتحقيق هذه الأهداف قامت اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع عام 1977م بإصدار توصياتها بوضع نظام لتحديد الجرعات الإشعاعية للإنسان.

يتضمن منع التأثيرات الحتمية وضع حدود لمكافيء الجرعة الإشعاعية وهو مقياس ياخذ في الاعتبار نوع الاشعاع ولعضو المتاثر من للإشعاع، ووحدته الحديثة سيفرت. ويجب تحديد التعرض الإشعاعي بعد تجاوز حدود مكافيء الجرعة، أما الحد من التأثيرات غير العتبية فيتم بالمحافظة على التعرض الإشعاعي إلى أقل ما يمكن مع الأخذ في الحسبان العوامل الاقتصادية والاجتماعية حسب ظروف كل مجتمع.تم أوصت الهيئة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP) عام 1995 بتحديد الجرعة للعاملين في الإشعاع (التعرض المهني) وتعرض الجمهور وقد استند إلى معلومات التأثيرات البيولوجية للإشعاع.وضعت هذه المحددات لمنع حدوث التأثيرات الحتمية وجعل حدوث التأثيرات العشوائية اقل احتمالا.

تحقيق التوازن بين هذه المفاهيم يمكن تمثيلة بين موازنة السيارة (والتي تمثل الاشعاع) والكرة (والتي تمثل اقل ضرر من الاشعاع) شكل (7 - 1) . "التبرير" يتأكد من تحقق الفائدة الايجابية الصافية ، اما الامثلية فتتحقق بان الجرعات منخفضة بأقل ما يمكن التوصل إلية مع الاخذ بنظر الاعتبار العوامل، الاقتصادية والاجتماعية والسياسية ، اما "الحد من جرعة" فهو ان الجرعة للأفراد يجب ألا تتجاوز الحدود الموصى بها. عندما لا يتحقق التوازن بين هذه المفاهيم فان الضرر الاشعاعي يكون مؤثرا ويمكن أن يكون مدمرا لبرنامج.

شكل (7 - 1) الموازنة بين الفائدة والضرر

حدود جرعات للتعرض المهني هي:

أ- جرعة فعالة مقدارها 20 مللي سيفرت سنوياً، ويجوز زيادة هذه الجرعة في سنة واحدة إلى 50 مللي سيفرت بشرط ألا تتجاوز الجرعة الفعالة للفرد خلال أي خمس سنوات متعاقبة 100 مللي سيفرت.

ب- جرعة مكافئة لعدسة العين مقدارها 150 مللي سيفرت في السنة.

ت- جرعة مكافئة للأطراف (الأيدي والأرجل) أو الجلد مقدارها 500 مللي سيفرت في السنة.

ث- حد التعرض بالنسبة للمرأة الحامل هو 2 مللي سيفرت طوال فترة الحمل إذا كان التعرض خارجياً أو 1 مللي سيفرت طوال فترة الحمل إذا كان تعرضها داخلياً .

ح- لا يجوز السماح لمن يقل عمره عن ستة عشر عاماً القيام بعمل يتضمن تعرضاً مهنياً، كما لا يجوز السماح لأي فرد، يقل عمره عن ثمانية عشر عاماً بالعمل في المناطق المراقبة ما لم يخضع لإشراف مباشر ولأغراض التدريب فقط.

ج- بالنسبة للمتدربين الذين تتراوح أعمارهم بين السادسة عشر والثامنة عشر الذين يقتضي تدريبهم استخدام مصادر مشعة يجب ألا يتجاوز تعرضهم المهني الحدود التالية:

(١) جرعة فعالة مقدارها 6 مللي سيفرت في السنة.

(٢) جرعة مكافئة لعدسة العين مقدارها 50 مللي سيفرت في السنة.

(٣) جرعة مكافئة للأطراف أو الجلد مقدارها 150 مللي سيفرت في السنة.

اما حدود الجرعة لعامة الجمهور فهي:

أ- الحد السنوي للجرعة الفعالة لعامة الجمهور هو 1 مللي سيفرت/سنة. ويجوز أن يزيد الحد لسنة ما عن ١مللي سيفرت/سنة إلا أنه يجب، عندئذ ألا تتجاوز الجرعة الفعالة لأي خمس سنوات متتالية 5 مللي سيفرت.

ب- الحد السنوي للجرعة المكافئة لعدسة العين هو15 مللي سيفرت/سنة.

ت- الحد السنوي للجرعة المكافئة للجلد هو 150 مللي سيفرت/سنة.

نلاحظ ان حدود الجرع لعموم الجمهور تقل عشرين مرة عن حدود العاملين الذين يتعرضون له بحكم عملهم ويعوضون لقاء ذلك، ولهم الحرية في البحث عن عمل آخر إذا لم يرتضوا ذلك. أما أفراد الجمهور فهم لا يتعرضون للإشعاع بمحض اختيارهم، كما أن فيهم مجموعات أكثر تأثراً بالإشعاع من غيرها وهم الأطفال والأجنة. وهذه المحددات موضحة في الشكلين (7 - 2 و7 - 3)

ويمكن التقليل من الأخطار البيولوجية على جسم الإنسان بتطبيق القواعد الثلاث وهي:

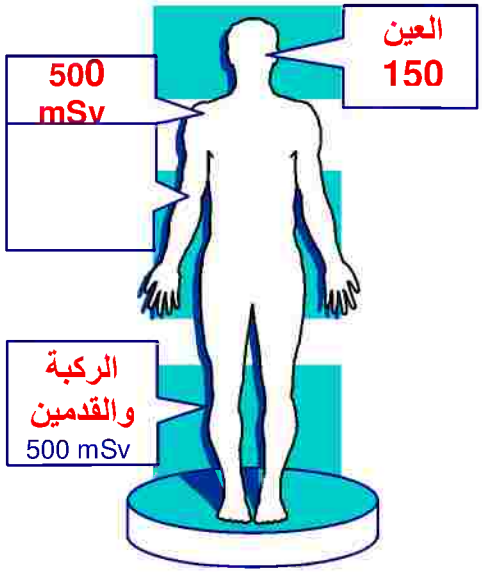
1 – الزمن : ان مقدار الجرعة المتراكمة لأي فرد يعمل في منطقة إشعاع ذات معدل جرعة معين يتناسب طردياً مع زمن بقائه في تلك المنطقة.

الجرعة الكلية = معدل الجرعة × الزمن

2- المسافة

شدة الإشعاع أو الجرعة الإشعاعية على مسافة من مصدر صغير الحجم يتناسب عكسيا مع مربع المسافة شدة الإشعاع أو الجرعة الإشعاعية على مسافة من مصدر صغير الحجم يتناسب عكسياً مع مربع المسافة.

الشكل رقم (7 - 2) محددات الجرع الإشعاعية للعاملين



الجرعة الإشعاعية للعاملين 20 mSV\ year

$$D \alpha 1/r^2$$

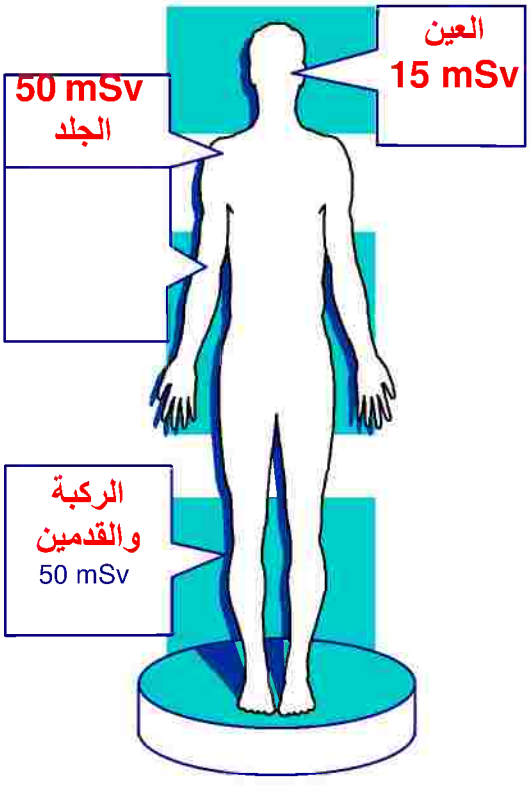
$$D = K/r^2$$

وحيث أن (K) ثابت لمصدر معين $Dr^2 = K$

$$D_1r_1^2 = D_2r_2^2$$

حيث D_1 معدل الجرعة على مسافة r_1 من المصدر، و D_2 هي معدل الجرعة على مسافة r_2 من المصدر. اي انة كلما زاد بُعد الشخص عن مصدر الإشعاع كلما قلت الجرعة الاشعاعية المأخودة .

الشكل (7- 3) محددات الجرع الإشعاعية للجمهور



الجرعة الإشعاعية للجمهور 1 mSV\ year

3 - التدريع

تعتمد كمية الدرع حول أي مصدر مشع على نوع الإشعاع المراد تقليلة، وعلى شدة المصدر المشع، وكذلك على معدل الجرعة المسموح بها خارج الحواجز الواقية. ويمكن حساب سمك الدرع من المعادلة التالية :

$$I_t = I_o e^{-\mu x}$$

وحيث أن:

I_t شدة الإشعاع النافذ من الدرع.

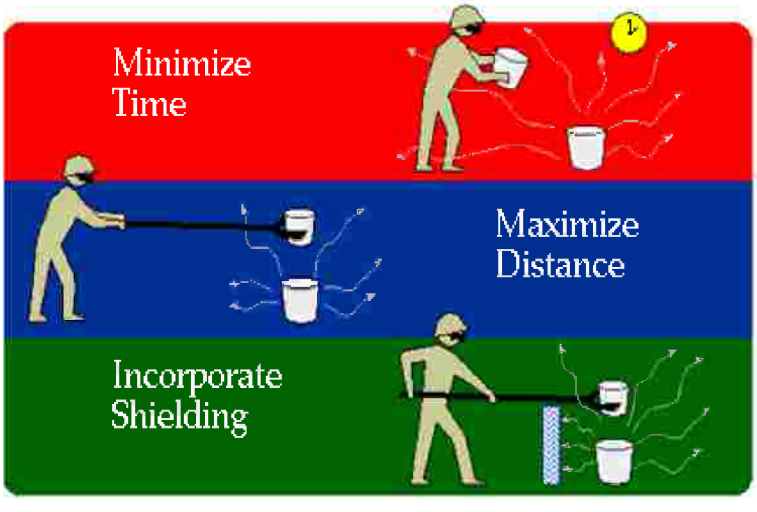
I_o شدة الإشعاع الساقط (الأصلي).

μ معامل التوهين الخطي الذي يعتمد على مادة الدرع .

x سمك الدرع.

كما موضح في الشكل (7 - 4)

الشكل (7- 4) اعتماد الجرعة الاشعاعية على الزمن.المسافة.التدريع



تصنيف أماكن العمل

يجب على المرخّص له تصنيف أماكن العمل، من حيث التعرض المهني إلى مناطق مراقبة ومناطق خاضعة للإشراف.

1 - منطقة المراقبة Conterol Area

وهي المنطقة التي تتم فيها مراقبة التعرض الاشعاعي ومنع التعرض وانتشار الملوثات المشعة خلال العمل الاعتيادي مثل مخزن حفظ المصادر المشعة ومواقع التصوير الصناعي الاشعاعي. وتنشا هذة المناطق في الاماكن التي يكون فيها التعرض المهني الى جرعات قد تزيد على 10/3 من حدود الجرعات المكافئة الفعالة المهنية . وينبغي ان تخضع هذه المنطقة الى :

أ- إحاطة المنطقة بجدران أو بوسائل حاجزة ثابتة (مخازن من الطابوق او حاويات حديدية)عند استخدام المصدر بشكل مستمر. أما في المنطقة التي يستخدم فيها المصدر بشكل متقطع أو ينقل فيها المصدر من مكان لآخر، فإنه يجب تحديد المنطقة المراقبة وإحاطتها بحواجز ملائمة وتحديد أوقات وفترات التعرض.

ب- تثبيت إشارات التحذير من الإشعاع عند نقاط الاقتراب المحتملة للمنطقة وفي مواقع مناسبة داخلها شكل (7 - 5).

ت- حظر الاقتراب للمنطقة بالوسائل الإدارية كاستعمال تصاريح الدخول والعمل ووضع الأقفال. ويجب أن تتناسب شدة المراقبة مع طبيعة المخاطر المحتملة.

ث - توفير المعدات الواقية ووسائل الرصد المناسبة عند جميع مداخل المنطقة وتوفير وسائل لتخزين المعدات.

و- توفير الاحتياجات التالية عند جميع مخارج المناطق المراقبة التي تتضمن مواد مشعة غير محكمة الإغلاق:

(1) معدات رصد تلوث الاشخاص او المعدات .

(2) توفر حمامات للغسل بعد مغادرة المنطقة

(3) ترك الملابس والمعدات الواقية الملوثة في حوية مخصصة لذلك ومعلمة.

2 - منطقة الإشراف Supervised Area:

المنطقة التي يبقى فيها التعرض المهني تحت المراقبة بالرغم من عدم استخدام تحوطات للوقاية من الاشعاع في الحالات الاعتيادية. ويتعرض العاملون في هذة

المنطقة الى جرعة1/10 من حدود الجرعة المكافئة الفعالة.ويقوم المرخص له مع بمراعاة طبيعة وحجم المخاطرالاشعاعية في هذة المنطقة بما يلي

أ- إحاطة المنطقة بوسيلة حجز ملائمة.

ب- تثبيت إشارات التحذير المعتمدة من هيئة الحماية من الإشعاع عند نقاط الاقتراب من المنطقة.

ج- مراجعة الظروف داخل المنطقة بصفة دورية لتحديد مدى الحاجة لاتخاذ إجراءات أشد للحماية والأمان، أو لتغيير امتداد هذه المنطقة.

شكل (7 - 5) منطقة المراقبة

من أهم الأمور المطلوبة لوقاية العاملين وعموم الناس والبيئة من مخاطر التعرض للأشعة المؤينة إتباع الإطار العام للوقاية الإشعاعية والذي يقوم على المبادئ الأساسية الثلاث المذكورة في اعلاه وعدم تجاوز حدود التعرض سواء للمهنيين أو لعموم الناس (الجمهور). ولتحقيق هذا الهدف يجب وضع برنامج تشغيلي عام للوقاية من الإشعاع بالنسبة للممارسات المبررة وللمصادر المشعة المستخدمة. ويتفاوت حجم البرنامج المطلوب تفاوتا واسعا حسب حجم الممارسة ونوع المصادر المشعة والمعدات والأجهزة والتقانات المستخدمة.يتكون أي برنامج فعال للوقاية من الإشعاع من العناصر الرئيسية التالية:

7 - 2 متطلبات الممارسة الإدارية:

من المعايير الأساسية للامان الإشعاعي المتطلبات الإدارية والتي تستند إلى نظام عالمي مقبول يتضمن الإبلاغ (notification) ، الترخيص (License) و الإعفاء (exemption) و رفع الرقابة (clearance). هذا النظام يجعل السلطات الرقابية قادرة على تحديد السيطرة الإدارية المطلوبة لتنفيذ الممارسة المحددة، مع الأخذ بنظر الاعتبار مخاطر التعرض من هذه الممارسة، ومن أهم مفردات هذا النظام:

ا- الإبلاغ :

أي شخص طبيعي او اعتباري أو جهة يسعى للقيام بالممارسة الاشعاعية غير المستثناة ان يبلغ السلطة الرقابية عن ذلك، وهذا الإبلاغ يجعل السلطة الرقابية قادرة على تحديد عدد المستخدمين للإشعاع في البلد ، حيث تتقدم الجهة التي ترغب ممارسة أي نشاط مع المواد المشعة بطلب إلى الجهات المختصة عن كافة المعلومات بنوع الممارسة وترفق تلك الجهة مع طلب الإبلاغ كافة الوثائق المطلوبة لمنحها الترخيص.

ب- التسجيل او الترخيص :

الشخص او المؤسسة المالكة لأي مصدر وجهاز مولد للإشعاع يجب أن يحصل على موافقة السلطات الرقابية للحصول الرخصة للقيام بهذا العمل حيث تقوم السلطة الرقابية بتسجيل الشخص أو منحه الترخيص لهذه الممارسة .

التسجيل نوع من التخويل للممارسة من المخاطر الإشعاعية الواطئة والمتوسطة والتي تتطلب مسح أو تفتيش قليل من قبل السلطة الرقابية. ويعتبر التسجيل شكل من أشكال التخويل لممارسة العمل مع المواد المشعة ذات المخاطر المتوسطة والقليلة.

سياقات العمل مع المصادر المشعة سهلة و مفهومة وخاصة لمصادر المقاييس النووية المحمولة المستخدمة في تحليل المواد وتحتوي مصادر ذات نشاط اشعاعي واطئ وكذلك أجهزة الأشعة السينية لفحص المسافرين.لذلك فان التسجيل كافيا للممارسة.

أما منح الاجازه فيحصل للممارسات ذات المخاطر الإشعاعية العالية مثل المنشآت النووية،إدارة النفايات المشعة ومصادر التشعيع أو التصوير الشعاعي. و الترخيص وثيقة تخول الجهة الحاصلة عليها الحق

القانوني لممارسة كافة النشاطات المتعلقة بالإشعاع المؤين ومن أهم أنواع التراخيص هي:-

1- **الترخيص المؤسسي:** ويضمن ترخيص الموقع ،المنشأة،و ترخيص المصدر المشع و مزاولة التعامل مع المصادر الإشعاعية مثل الاستيراد والتصدير والنقل.

2 - **ترخيص الاشخاص:** يجب على العاملين في المجال الطبي ،الصناعي ،البحثي للتعامل مع المواد المشعة الحصول على ترخيص العمل مع المواد المشعة ويتضمن ضابط الوقاية الاشعاعية والفنين المتعاملين مع الاشعاع والمصورين الشعاعين.

ت- الإعفاء (الاستثناء):

يمنح الاعفاء من متطلبات الممارسة الإشعاعية (الترخيص،التسجيل،التفتيش والمراقبة) بعض الممارسات لاستخدام المصادر المشعة ذات النشاط الإشعاعي الواطئ والتي لا تكون لها مخاطر أشعاعيه كبيرة يمكن إعفائها من متطلبات معايير الممارسة ومن أهم متطلبات الإعفاء:

1- المخاطر الإشعاعية الناتجة عن المصدر المعفى يمكن إهمالها لأنها قليلة جدا.

2- مجموع التأثيرات الإشعاعية الناتجة عن المصدر المعفى لا تجعل السلطات الرقابية قلقة من هذه التأثيرات.

3- المصدر المستثنى يكون امن.

4- الجرعة المكافئة التي يتعرض لها الجمهور من المجموعة الحرجة من المصدر المعفى اقل من 10 مايكروسيفرت/ سنة أو اقل للممارسة للممارسة الواحدة ، شريطة ان لايتعدى ذلك عن 100 مايكروسيفرت/ سنة لمجموعة الممارسات المعفاة إلا اذا قررت السلطة الرقابية غير ذلك .

5- مكافئ الجرعة المستودعة الكلية (collective effective dose committed) خلال سنة واحدة لا تكون اكبر من 1 فرد – سيفرت . وان لا تتجاوز أقصى طاقة للإشعاع 5 kV ويجوز للسلطة الرقابية منح إعفاء مشروط.

6- المواد المشعة طبيعيا بدون تنشيطها وتركيزها ،

7 - المواد المشعة الصلبة المستخدمة في المختبرات التي يقل نشاطها الاشعاعي النوعي عن 100 Bq\gm

8 - المنتجات الاستهلاكية التي يستخدمها الافراد (لاتاكل ولا تشرب) والتي تحتوي على مواد مشعة والتي يقل نشاطها الاشعاعي النوعي عن Bq\gm100 .

ث- رفع الرقابة (Clearance):-

المصادر المشعة في الممارسات المخولة قد لا تطبق عليها معايير الممارسة الإشعاعية نهائيا بما في ذلك نظام الإبلاغ والتسجيل والترخيص والتي يقل نشاطها الإشعاعي عن مستويات الإعفاء الإرشادية التي تحدد السلطة الرقابية.

ح - المسؤوليات

أ- يتحمل المرخّص له كافة المسؤوليات نحو حماية عامة البشر الذين قد يتعرضون للإشعاع أو للنويدات المشعة، نتيجة للممارسات المرخّص بها. وتتضمن هذه المسؤوليات جميع الأمور المرتبطة بتعرضات أجيال المستقبل أو تلوث البيئة.

ب- يتكفل المرخّص له بصفة خاصة بالآتي:

(1) وضع السياسات والترتيبات التي تحقق تنفيذ المتطلبات والمعايير الخاصة بتعرض عامة البشر.

(2) وضع الاحتياطات وخطط الطوارئ وترتيبات الرصد الإشعاعي التي تتناسب مع طبيعة وحجم المخاطر الإشعاعية عند وقوع الحوادث.

(3) توفير القوى البشرية الكافية والمناسبة وتدريب الأفراد تدريباً ملائماً.

(4) الاحتفاظ بالسجلات الكافية المحددة في هذه التعليمات.

ج- يجب على المرخّص له:

(1) توفير المعلومات والتعليمات الكافية للزوار، لضمان تقييد تعرضهم وتعرض الأفراد الآخرين الذين قد يتأثرون بأعمال هؤلاء الزوار.

(2) توفير مرافقين للزوار، عند دخولهم أي من المناطق المراقبة أو الخاضعة للإشراف من الأشخاص الملمين بقواعد وإجراءات الحماية والأمان في هذه المناطق.

7 - 3 المراقبة الإشعاعية:

احد العناصر الرئيسية لبرنامج الوقاية من الإشعاع هو المراقبة الاشعاعية والتي تشمل قياس الجرعات الشخصية للعاملين باستخدام احد مقاييس التعرض الشخصي (الفلم باج ،مقياس الوميض الحراري (TLD الوضحات - - - الخ. والموضحة في شكل (7 - 6).

1 - الفلم باج :

يستخدم في هذا النوع من مقاييس الجرع الشخصية نوع من افلام التصوير والتي تقوم بقياس الطاقة المتراكمة خلال فترة التعرض . تستخدم هذه الأفلام لقياس جرع جسيمات بيتا ، اشعة جاما ، والنيوترونات.وتمتاز هذه المقاييس بأنها رخيصة الثمن وسجل دائمي للجرع ومساوئها عدم الدقة وتأثرها بالعوامل المحيطة مثل الرطوبة الحرارة والضوء.

2- مقياس جرع القلم الجيبي.

مقياس جرع بشكل قلم يشحن في البداية من جهاز خارجي لجعل المؤشر يقف على تدريج الصفر. يقوم الجهاز بقياس الجرعة المتراكمة ويمكن معرفتها من خلال النظر من العدسة الشيئية للجهاز.والمؤشر يوضح معدل الجرعة مقاسه بالملي راد\ساعة هذه الاجهزة تتغير قراءتها وتسجل قراءات خاطئة عند تحريكها بشدة .

3- المقياس ألوميضي الحراري (TLD):

تستخدم اقراص من فلوريد الليثيوم المشوبة ببعض الشوائب تحتوي الشوائب على مراكز بشكل مصائد (traps) في حزمة الطاقة المحظورة (forbidden energy gap). عند تعرض المقياس للإشعاع تنتقل الالكترونات من حزمة التكافؤ لتستقر داخل المصائد. وعند قراءة المقياس في قارئ الجهاز تسلط علية الحرارة فتتحرر الالكترونات من المصائد وعند عودتها الى حالة الاستقرار تبعث ضوء كميتة تتناسب مع الجرعة الممتصة .توجد اشكال عديدة من هذه المقاييس منها الاقراص ، قضبان، سوار وخاتم.

4 - المقاييس المحفزة بالضوء (Optical Stimulated Light)

اساس عمل هذه المقاييس مشابه لأقراص الوميض الحراري حيث تستخدم اقراص من اوكسيد الالمنيوم المشوبة. ونتيجة لسقوط الاشعاع على هذه الاقراص ترتفع الالكترونات الى مراكز المصائد والتي تعود الى الاستقرار بعد تعريضها الى اشعة الليزر.

5 - مقاييس التعرض الالكتروني

جهاز يحتوي على دوائر الكترونية تستمد طاقتها من بطاريات صغيرة .تستخدم لقياس الجرعة المتراكمة تحوي على منظومة تحذير صوتية تعمل عندما تتجاوز جرعة محددة مسبقا. تستخدم هذه المقاييس في التطبيقات الطبية والصناعية .

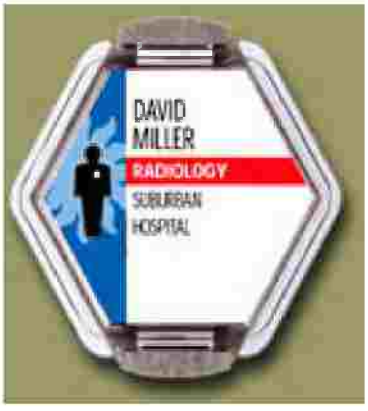
تتضمن المراقبة الإشعاعية كذلك المسح الاشعاعي لاماكن العمل ورسم الخارطة الاشعاعية بشكل مستمر وجمع النتائج وتقيمها ومقارنتها بالقراءات السابقة مع حدود الجرع . يقوم المرخص بوضع برنامج لرصد اماكن العمل بحيث يحقق درجة ملائمة وكافية من الوقاية والأمان للعاملين والجمهور والبيئة. وان يحتفظ بسجلات تعرض العاملين التي تتضمن الجرعات والتعرض والكميات التي تدخل الجسم . عند انتقال العامل الى منشأة اخرى يجب عليه نقل سجلات الجرع الخاصة به الى المنشأة الجديدة . ويجب ان يتمكن العاملين من الاطلاع على سجلات الجرع الخاصة بهم ، تحفظ هذه السجلات لفترة لا تقل عن ثلاثون عاما بعد انقضاء العمل الذي ينطوي على تعرض مهني . ويجب الالتزام الدقيق بالمعايير وتطبيق المتطلبات الفنية اللازمة لأمن وسلامة المصدر المشع وتطبيق البرنامج المناسب لمعالجة النفايات والتخلص منها.

وتجنب إخطار التلوث الناتجة عن استخدام المصادر والمواد المشعة في الصناعة والالتزام ببرنامج فعال للوقاية الإشعاعية يجعل التطبيقات الصناعية للمصادر والمواد المشعة لاتودي الى أخطار إشعاعية جدية ومحسوسة على الناس والبيئة . ولكي تتحقق وقاية الناس تم وضع المعايير واشتقاق الحدود المناسبة لتعرض الجمهور بحيث تغطى مراقبة جرعات الجمهور من المصادر المستهلكة والنفايات المشعة ، نقل المواد المشعة، الحوادث والاستخدام الاعتيادي.

شكل (7 - 6) مقاييس التعرض الشخصي

المقياس الوميضي الحراري (TLD)

المقاييس ا لمحفزة بالضوء



مقاييس التعرض الالكتروني

مقياس جرع القلم الجيبي

7 – 4 التدريب

رفع كفاءة الأداء لدى جميع العالمين من خلال تدريب الأفراد المعنيين تدريبا يتناسب مع طبيعة العمل ومع حجم المخاطر التي قد يتعرضون لها أو التي تهدد عموم الناس والبيئة. يشمل برنامج التدريب كافة مجالات الوقاية من الإشعاع ، و من الضروري أن يتضمن التدريب النواحي النظرية والعملية بحيث تشمل المواضيع الأساسية للوقاية الإشعاعية مع المتابعة المستمرة من أجل تحديث وتنشيط التدريب خلال فترات زمنية متقاربة و اختيار الأفراد اللائقين للعمل الإشعاعي وتدريبهم تدريبا مناسبا.من أجل التحقق من نجاح العملية التدريبية لابد من إجراء الاختيار المناسب للأفراد من حيث المستوى التعليمي والثقافي وتقيم التدريب .

بالإضافة إلى العملية التدريبية يجب تخصيص الموارد المالية والبشرية الكافية لتوفير جميع أجهزة ومعدات الوقاية الإشعاعية التي تشمل معدات الوقاية، أجهزة المسح إلا شعاعي المحمولة والثابتة – – الخ ورفد المؤسسة بالخبرات المختصة . ضمان تزويد العاملين بمعدات وقائية شخصية مناسبة كافية عند ممارسة العمل الإشعاعي والتقليل إلى الحد الأدنى في الاعتماد على معدات الوقاية الإشعاعية أثناء عملية التشغيل العادية وذلك بتوفير الضوابط الجيدة لتصميم ظروف عمل ملائمة.من الضروري ان يقوم المرخص بإتباع معايير اختيار مناسبة للأفراد للتأكد من تلبية متطلبات اللياقة الطبية (العضوية والنفسية) ليكونوا مؤهلين للتعامل مع المصادر والمواد المشعة. لذلك على المرخص ان يؤسس برنامجا للمراقبة الصحية للعاملين يقوم على المبادئ العامة للصحة المهنية وتقويم مقدرة العاملين الصحية للمهام التي يقومون بها عند التعيين أو أثناء الخدمة بشكل دوري وعندما تكون قراءة أجهزة التعرض الشخصي عالية نسبيا يمكن التأكد من ذلك بقياس النقص في عدد كريات الدم ثم قياس الشذوذ الكروموسومي ان وجد.

في المنشأة الكبيرة يتم تحديد واضح للمهام والواجبات والمسؤوليات وإسناد مسؤولية الوقاية إلى كيان إداري مؤهل ومدرب .

اما في المنشأة الصناعية الصغيرة وعندما يكون التعامل مع مصادر صغيرة اونشاطها الإشعاعي واطئ فان حجم الأخطار المتوقعة يكون محدود للغاية لذلك لايوجد مبرر لتبني ثقل تنظيمي كبير زائدا عن الحد اللازم.

7 - 5 التخطيط والاستجابة للطوارئ الاشعاعية

يفترض ان تكون الدولة قد قررت مسبقا توزيع المسؤوليات لإدارة التدخل في حالات التعرض الطارئ بين السلطة الرقابية وفرق التدخل الوطنية والمحلية والمسجلين والمرخصين.

يجب على المرخص وضع خطة خاصة بالطوارئ للموقع ويتحمل المرخص له المسؤولية عن تطبيق الخطة داخل الموقع وخارج الموقع ، اما خطة الطوارئ خارج المنطقة فمن واجبات السلطات الوطنية للبلد. يتضمن التخطيط للطوارئ الإشعاعية والاستعداد لمواجهتها النقاط التالية :

ا - إعداد الخطة والموافقة عليها بالنسبة لأي مصدر أو ممارسة قد تحتاج الى تدخل طارئ والمراجعة الدورية لها .

ب - التدريب على الخطة وتهيئة فرق الطوارئ للتأكد من مدى فعالية التدريب ، درجة اسهام منتسبي المنشأة في نجاح الخطة ، وأسلوب تعليمات التبليغ ومدى نجاح وسائل الاتصال بين فرق الطوارئ المشتركة في الممارسة.

ت – عند التدخل في الحالة الطارئة تبذل كل الجهود الممكنة لكي تكون جرع العاملين اقل من ضعف اقصى حد للجرعة في سنة واحدة باستثناء الاجراءات المتخذة لإنقاذ الحياة حيث تبذل كل الجهود الممكنة لكي تكون الجرعة اقل من ١٠اضعاف اقصى حد للجرعة في سنة واحدة تجنبا الفوائد المتحققة اكبر من الخطر التي يتعرض لها العامل .ويعتبر العاملون الذين يقومون باجراءت قد تتجاوز فيها الجرعة المستلمة حدود الجرعة السنوية بمثابة متطوعين على ان تتم توعيتهم مسبقا بالمخاطر المتوقعة نتيجة للتدخل.

ث - تتخذ كافة الخطوات العملية لتنفيذ الوقاية الملائمة اثناء التدخل الطارئ ولتقويم وتسجيل الجرعات التي تلقاها العاملون وبعد انتهاء الطارئ يتم إبلاغ المشاركين بالجرعة الشخصية له.

ح - تسمية شخص معين يقوم بالاتصال بالإعلام المرئي والمكتوب وان تقدم معلومات مسبقة لأفراد الجمهور الذين يحتمل إن يتعرضوا لجرع نتيجة للحادث .ووضع معايير خاصة لإنهاء الحالة الطارئة

ج - تقويم الحادث .من الجدير بالذكر انه لا يمكن وضع سيناريو محدد لوصف حادث معين ، فقد يختلف تتابع الأحداث وبالتالي تختلف عواقبها ، إلا ان المقصود بتخطيط الطوارئ والاستعداد لمواجهتها هو وضع الخطط للحوادث الأكثر احتمالا ووضع السيناريوهات والعواقب التي يحتمل تطورها أكثر من غيرها، وبعد وضع هذه السيناريوهات يجب التدرب عمليا على أسلوب مواجهتها و إعادة التدريب بصفة دورية بحيث يتناسب معدل تكراره مع حجم المخاطر المتضمنة

يقوم المسجلون والمرخص لهم بمسؤولية وضع برنامج توكيد الجودة تتناسب طبيعته ومداه مع مقدار واحتمال الحوادث الناتجة عن المصادر التي تحت مسؤوليتهم. يجب ان تتوفر المعايير التالية في تطبيق برنامج ضمان الجودة:

ا – إجراءات مخططة ومنهجية لأجل الثقة الكافية بالمتطلبات المحددة للتصميم والتشغيل فيما يتعلق بالوقاية والأمان.

ب –دراسة المهام وتطوير الأساليب من خلال ضمان كاف بتدريب جميع العاملين وتأهيلهم بالدرجة الكافية لتطبيق برنامج الحماية والأمان .

ت – توفير كافة المتطلبات المتعلقة بالوقاية والأمان، وطرق التصنيع، والتفتيش، واختبار إجراءات التشغيل، وتوفير آليات وإجراءات توكيد الجودة الخاصة بمراجعة وتقويم فعاليات نظم الوقاية والأمان.

ث - يتوقف نجاح أي برنامج للوقاية من الإشعاع على دقة القياسات والبيانات ، لذلك يجب وضع برنامج متكامل للتحقق من صحة القياسات الإشعاعية ومن توكيد جودتها ، ويجب على المنشآت التي تستخدم مصادر كبيرة للإشعاع أو إعداد كبيرة من المصادر الاشعاعية الصغيرة ان توفر الخدمات اللازمة للمعايرة في

مختبرات التعيير الثانوي (SSDL) الوطنية او الاستعانة بأحد المراكز الوطنية للمعايرة في دول اخرى تعتمدها السلطة الرقابية الوطنية.

7 – 6 المعايير الهندسية :

يجب ان يتم اختيار اماكن المصادر المشعة ،تصميمها ، تجميعها ، تشغيلها ، صيانتها وقف تشغيلها نهائيا وفقا لمعايير هندسية سليمة تتوافر فيها المواصفات التالية حسب الاقتضاء :

1- تراعي التعليمات الهندسية والتقنية والمعايير وغيرها من الوثائق على النحو الملائم وان يتم دعمها بأنظمة ادارية وتنظيمية موثقة تضمن تنفيذ متطلبات الوقاية والامان طيلة عمر المصدر.

2- تشتمل على هوامش امان كافية عند تصميم وتركيب المصادر والممارسات التي تدخل فيها على النحو الذي يضمن تحقيق اداء موثوق اثناء الظروف العادية للتشغيل مع مراعاة الجودة والقابلية للتفتيش والتأكيد على الحيلولة دون وقوع حوادث ، والتخفيف من عواقبها والحد من أي تعرض اشعاعي في المستقبل .

3 – العوامل التي قد تؤثر على التعرض الإشعاعي المهني وللجمهور الناتج عن المصدر بما في ذلك التهوية والتدريع والبعد عن المناطق المأهولة.

4 – عند اختيار موقع لمصادر مشعة يمكن ان تنبعث منها كميات كبيرة من المواد المشعة يجب الأخذ بنظر الاعتبار العوامل التي تؤثر على الامان الإشعاعي للمصدر وتنفيذ خطط الطوارئ.

5 - تراعي التطورات العلمية والتقنية والنتائج التي تسفر عنها البحوث ذات الصلة في مجال الوقاية والأمان اضافة الى الدروس المستنبطة.

7 – 7 - وحدات الاشعاع

وحدات الجرع والتعرض في النظام العالمي والتي يتعرض لها المريض او الجمهور هي :

1 - التعرض Exposure (X) :

التعرض تعبر عن مقدار التأين الحاصل في الهواء الجاف بواسطة الاشعة السينية وأشعة جاما (الفوتونات ذات الطاقة الواطئة نسبيا) عند الظروف القياسية من ضغط

ودرجة حرارة وتقاس بالروتنجن (R) وهي مقياس للشحنة الكلية للالكترونات Q التي تتحرر بواسطة الفوتونات في وحدة الكتلة m من الهواء .

$$X = dQ/dm$$

أي ان الوحدة بالنظام العالمي = كولوم \كغم

حيث ان الرونتجن = 2.58×10^{-4} كولوم \كغم.

او كولوم \كغم = 3876 رونتجن

أي ان عدد الازواج الايونية التي يولدها الروتنجن لكل كغم من الهواء

= الشحنة الكلية \ شحنة الالكترون

$$= 2.58 \times 10^{-4} / 1.6 \times 10^{-19} = 1.6 \times 10^{15}$$

ولان معدل الطاقة اللازمة لإنتاج زوج ايوني واحد في الهواء = 32 الكترون فولط

$$= 1.6 \times 10^{-19} \times 32$$

$$= 5.4 \times 10^{-18} \text{ جول}$$

ان امتصاص الطاقة في الهواء يساوي التعرض الى رونتجن واحد والذي يعادل :

عدد الازواج الايونية x معدل الطاقة الازمة لإنتاج زوج ايوني واحد

= 0.00869 جول \ كغم

اما عند تعرض النسيج الحي الى الفوتونات فان الطاقة التي يكتسبها تعادل 0.0096 جول \ كغم

معدل التعرض (**Exposure rate: X/t**)

هو مقدار التعرض لوحدة الزمن ويقاس (كولوم \كغم)\ ثانية او روتنجن \ ثانية .

اما في المسح الاشعاعي فيقاس بالروتنجن \ ساعة

2 - الجرعة الممتصة **Absorbed dose** (D):

هي مقياس للطاقة المترسبة في الوسط (E) من الاشعاع المؤين(جميع الاشعاع المؤين وليس الفوتونات فقط كما في التعرض) في كتلة معينة من المادة. وتعرف بأنها الطاقة المترسبة لوحدة كتلة الوسط m.

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

لذلك فإنها تقاس بوحدة الجول \ كغم (J/kg) وتسمى الجري.(Gy)= 100 راد ولان التعرض الى رونتجن واحد بسبب تراكم طاقة مقدارها 0.00869 جول \ كغم في الهواء او0.0096 جول \ كغم في النسيج الحي ، فان الرونتجن الواحد يولد جرعة مقدارها:

=0.0096 \ 0.01 = 0. 96 راد في النسيج الحي .

أي ان وحدة التعرض مقاسه بالروتنجن ووحدة الجرعة مقاسه بالراد تمتلكان نفس القيمة تقريبا مع ملاحظة نوع الوسط.

3 - الكيرما (KERMA): (Kkinetic Energy Released in a Material):

الطاقة الحركية المنبعثة من المادة .هي النسبة بين مجموع الطاقة الحركية الابتدائية dE_{trans} لجميع الجسيمات المشحونة والتي تحررت بجسيمات غير مشحونة من الاشعاع المؤين في مادة كتلتها (m)

$$K = dE_{trans}/dm$$

ووحداتها جول \ كغم = جري

وفي التشخيص الطبي فان الجرعة الممتصة تساوي الكيرما .

العلاقة بين التعرض والجرعة :

كما علمنا سابقا فان التعرض هو تعبر عن مقدار التأين الحاصل في الهواء الجاف بواسطة الاشعة السينية وأشعة جاما اما الجرعة فهي مقياس للطاقة المترسبة في الوسط (E) من الاشعاع المؤين بجميع انواعة في كتلة معينة من المادة .لقد تبين من خلال التحويلات لمناسبة ومن الطاقة الازمة لتوليد زوج ايوني واحد في الهواء الجاف فان هناك علاقة بين التعرض والجرعة . اذا علم التعرض يمكن حساب الجرعة الممتصة من العلاقة التالية:

$$D\ [Gy]. = f\ X\ R\ [C\ kg\text{-}1]$$

حيث ان f معامل التحويل ويعتمد على نوع الوسط وطاقة فوتونات الاشعاع .

الجرعة الممتصة في كمية من الهواء يتعرض الى واحد رونتجن من الاشعة السينية يساوي0.869 أي ان

$$f_{(air)} = 0.869$$

اما قيم f قي بقية الاوساط فموضحة في الجدول (10 - 4).

الجدول (10 - 4) قيم عامل تحويل التعرض الى الجرعة

	f values ([Gy] / Ckg-1])		
طاقة الفوتونات	الماء	العظام	العضلات
10 keV	0.91	3.5	0.93
100 keV	0.95	1.5	0.95

4 - الجرعة المكافئة (*H*) Dose equivalent:

الجرعة الممتصة لا تكون مؤشرا جيد للتأثيرات البيولوجية للإشعاع المؤين لان واحد جري من جسيمات ألفا يكون ضررها الإشعاعي اكبر بكثير من واحد جري من الفوتونات . أي ان الجرعة الممتصة المتساوية ولكن من انوا ع مختلفة من الإشعاع لا تحدث نفس الضرر في لنسيج الحي .فالضرر الذي يحدث في النسيج الحي يعتمد مباشرة على مقدار الطاقة الخطية المنتقلة (LET) .لذلك فان الإشعاع الذي تكون فيه LET كبيرة مثل جسيمات ألفا فان ضرره البيولوجي يكون اكبر من الالكترونات ذاتLET القليلة حتى في حالة ترسب نفس الكمية من الطاقة.ولقياس التأثير البيولوجي يستخدم مصطلح الجرعة المكافئة .الضرر الناتج عن التأثيرات العشوائية للإشعاع يمكن تقديرها باستخدام الجرعة المكافئة وهي المقياس الكمي للجرعة المكافئة لكل عضو بيولوجي والذي يعتمد على حساسيته للإشعاع.عندما يستخدم الإشعاع المؤين لعلاج السرطان فان الطبيب سوف يصف المعالجة الإشعاعية بالجري ،أما عند وصف التأثير البيولوجي فتستخدم الجرعة المكافئة (سيفرت) وهي مقياس الجرعة للأنواع المختلفة من الإشعاع والذي يؤدي الى إضرار بيولوجية مختلفة على الأنسجة وهي مهمة من الناحية البيولوجية وتقاس بالسيفرت (= 100 ريم) أي انها تعتمد على نوع الإشعاع .يمكن حساب الجرعة المكافئة من حاصل ضرب

الجرعة الممتصة (D) في العضو او النسيج بالمعامل ألوزني (الترجيح) الإشعاعي W_R - Radiation weighting factor والذي يعتمد على نوع الإشعاع الساقط على الجسم وطاقته

$$(H) = (D) \times w_R$$

w_R تساوي 1 للأشعة السينية وأشعة جاما وجسيمات بيتا، وبذلك فان مكافئ الجرعة يساوي عدديا الجرعة الممتصة لهذه الإشعاعات . أما بقية الإشعاعات فان w_R لجسيمات ألفا وللنيوترونات السريعة ذات الطاقة 20 MeV =20. وللنيوترونات ذات الطاقة الواطئة من 10 keV – النيوترونات الحرارية = 5 ، والنيوترونات ذات الطاقة اقل من 20 MeV = 10 ويتضح من هذه القيم إن الضرر الذي تؤثر بة النيوترونات أو جسيمات ألفا اكبر من ضرر الأشعة السينية وأشعة جاما بمقدار 20 مرة لنفس الجرعة.

5 - الجرعة الفعالة Effective dose: (E)

يعتمد الضرر البيولوجي على نوع النسيج الذي تترسب فيه طاقة الاشعاع حتى في حالة سقوط نفس الاشعاع لان كل نسيج له حساسية مختلفة للإشعاع وخاصة فيما يتعلق بالسرطان والأضرار الوراثية لذلك نستخدم الجرعة المكافئة(الجرعة المكافئة الفعالة) مقارنة الجرعة الاشعاعية على اجزاء مختلفة من الجسم على اساس التأثير المكافئ لان تأثير الاشعاع لا يكون متساوي على الانسجة المختلفة .الجرعة الفعالة (E) الى نسيج معين يمكن حسابها من الجرعة المكافئة (H) للأنسجة المختلفة للجسم مضروبا بمعامل وزن الترجيح (W_T) weighting factors والذي يوضح الاختلاف في الحساسية الاشعاعية radio sensitivities للأنسجة أي ان حساب احتمال التأثير العشوائي على الجسم باجمعة يساوي المجموع الجبري للجرع المكافئة بعد وزنها لكل عضو او نسيج على حدة .

$$E = \sum_i H_i W_{iT}$$

جدول (10 –5 ا) يوضح عامل الترجيح .

جدول (10 – 5 أ) مقدار معامل وزن الترجيح(W_T)

عضو او النسيج	W_T	العضو او النسيج	W_T
نخاع العظم	0.12	الرئتين	0.12
المثانة	0.05	المريء	0.05
سطح العظم	0.01	الجلد	0.01
الثدي	0.05	المعدة	0.12
القولون	0.12	الغدة الدرقية	0.05
الخصيتين	0.20	البقية	0.05
الكبد	0.05		

الجدول(10- 5 ب) يوضح الوحدات الحديثة والقديمة للإشعاع والعلاقة بينهم.

الكمية	الوحدات القديمة	الوحدات العالمية	التحويل
النشاط الاشعاعي	كيوري Ci	بيكرل (Bq)	1Ci=3.7x 10^{10}Bq
الجرعة الممتصة	راد rad	كري (Gy)	1 rad = 0.01 Gy
الجرعة الفعالة	ريم rem	سيفرت(Sv)	1 rem = 0.01 Sv

6 -الجرعة المكافئة الفعالة الملزمة-Committed Effective Equivalent Dose

تعتبر حالة خاصة من الجرعة المكافئة الفعالة وتطبق على العاملين ، وهو مكافئ الجرعة الفعالة الذي يتراكم لمدة 50 سنة والتي تلي دخول مادة مشعة داخل الجسم ، ويعطي بالمعادلة

$$H_{E50} = \int_{t_0}^{t_0+50} H_E(t)dt$$

حيث (t) HE هو معدل مكافئ الجرعة الفعالة الناتج عن دخول المادة المشعة و t_o هو زمن البقاء داخل الجسم.

7- الجرعة المكافئة الفعالة الجماعية Collective Effective Equivalent Dose

الجرعة المكافئة الفعالة الجماعية S_E هي مقياسا للضرر الصحي الكلي لمجموعة من الأفراد من مصدر معين من الإشعاعات المؤينة ، ويعطي باستخدام المعادلة

$$S_E = H_E \times p$$

حيث H_E هو معدل مكافئ الجرعة الفعالة للفرد من سكان حجمهم p يتعرضون لجرعة مكافئة ة فعالة بين H_E و $H_E + dH_E$ من مصدر معين .

المصادر

1 – عُذاب طاهر الكناني ٢٠٠٩ الفيزياء النووية والطبية،دار الفجر للنشر والتوزيع

2 - عُذاب طاهر الكناني و اسعد الخفاجيز١٩٩٠ الكشف عن الاشعاعات المؤينة.هيئة المعاهد الفنية ز وزارة التعليم العالي والبحث العلمي- بغداد – العراق

3 –IAEA, 2001, Cytogenetic analysis for radiation dose assessment , Technical reports series No 405.

4 –IAEA, 2002, Regulatory Inspection of Nuclear Facilities and Enforcement by the Regulatory Body. Safety standards series No. GS-G-1.3.Practical radiation technical Manual

5 – IAEA, 2004, Work place monitoring for radiation and contamination . Practical Radiation Technical Manual

6 – IAEA, 1999 Regulations for the Safe Transport of radioactive Material. Safety Standards Series No. TS-R-1 (ST-1, Revised).