 # حدود التعرض المسموحة: Exposure Limitations

قد يؤدي التعرّض المفرط للإشعاع إلى تلف الأنسجة والأعضاء الحية، وفقاً لكمية الإشعاع التي تم التعرّض لها (أي الجرعة). ويتوقف مدى الضرر المحتمل على عوامل عديدة تشمل ما يلي:

- نوع الإشعاع
- مدى حساسية الأنسجة والأعضاء المتأثرة
- السمات الفردية للشخص المتعرض للإشعاع (من قبيل السن والجنس والحالة الصحية)

ويتوقف خطر الآثار الصحية الضارة على جرعة الإشعاع فكلما كانت الجرعة أعلى تفاقم هذا الخطر، وكلما كانت الجرعة أقل أو كان التعرّض على مدى فترة زمنية أطول، تدّنى مستوى الخطر لأن الجسم كفيل بإصلاح الضرر الذي يلحق بالخلايا والجزيئات.

أقصى جرعات مسموح بها من الإشعاع Maximum Permissible Dose

Organ / Tissue	*ARW	Any other person
	mSv per year	mSv per year
Whole body	50	5
Bone, Skin	300	30
Hands, feet	750	75
Lungs, single organ or tissues	150	15

*ARW = Atomic Radiation Workers Rem = 10 mSv.

الأطفال أكثر عرضة للإصابة بالآثار الضارة الناجمة عن التعرض للإشعاع. فأجسام الصغار ما زالت في طور النمو. ولديهم، مقارنةً بالكبار، عددٌ أكبر من الخلايا السريعة الانقسام، والخلايا المنقسمة أكثر تحسساً للإشعاع وعرضةً للتلف، مما قد يؤدي إلى الإصابة بالسرطان في المستقبل. كما أن الحياة أمام الأطفال ما زالت طويلة، مما يزيد ذلك من فرص تطور وتمظهر أنواع السرطان. لذلك، فمن المهم بشكل خاص أن يتبع الأطفال الإرشادات بشأن تدابير الوقاية والتماس العناية الطبية بعد أي حالة طوارئ إشعاعية حالما يصرّح مسؤولو الطوارئ بأن من المأمون القيام بذلك.

 # التعامل مع تسرب المواد المشعة:

1. إعلام الجميع لإخلاء المكان الذي حدث به التسرب.
2. إبلاغ المسئول عن السلامة الخاصة بالإشعاعات Radiation Safety Officer
3. إغلاق جميع الأجهزة التي تنتج المواد المشعة.
4. إغلاق جميع شفاطات التهوية و Fume Hoods.
5. إجراء الفحص اللازم إذا حدث التسرب علي ملابس العاملين.
6. استخدام المعدات والأدوات الماصة Absorbent Materials لاحتواء التسرب.

 # الوقاية من الإشعاعات:

توجد ثلاث طرق للحماية من خطر الإشعاعات هي:

1- الزمن Time

2- المسافة Distance
3- الحواجز Shields

الزمن: **Time**

للسيطرة على مخاطر الاشعاع من الضروري معرفة المعدل الزمني الذي تستلم فيه الجرعة الاشعاعية. في حالة تقليل زمن التعرض (الزمن الذي يقضيه الشخص بجوار مصدر الإشعاع) ستقل كميات الإشعاع التي يتعرض لها الشخص.
الجرعة=معدل الجرعة x الزمن

$$Dose = Dose\ rate \times Time$$

$$D = \dot{D} \times t$$

مثلا اذا سمح لشخص ان يستلم مكافئ جرعة مقداره **1mSv** في الاسبوع ، في منطقة يكون فيها معدل مكافئ الجرعة **50μSv/hr** فان مدة العمل المسموح بها له ستكون:

$$Dose = Dose\ rate \times Time$$

$$Time = \frac{Dose}{Dose\ rate} = \frac{1mSv/week}{50\mu Sv/hr} = \frac{1000\mu Sv/week}{50\mu Sv/hr} = 20hr/week$$

المسافة: **Distance**

كلما زادت المسافة بين الشخص وبين المصدر المشع قلت كمية التعرض ووفقا لقانون التربيع العكسي

$$D \propto \frac{1}{r^2}$$

$$D_1 r_1^2 = D_2 r_2^2$$

الحواجز: **Shields**

بزيادة الحواجز حول المصدر المشع سوف تقلل التعرض. وكل نوع من أنواع الإشعاعات يتم وضع الحواجز المناسبة لعزله حسب قدرته على الاختراق.

$$D = D_o e^{-\mu x}$$

حيث x سمك الحاجز او المادة المعترضة و μ معامل الامتصاص او التوهين

 # وحدات قياس الإشعاع

عنيت المنظمات الدولية، كاللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية ICRP، واللجنة الدولية للوحدات الإشعاعية والقياسات ICRU، بأمور الوقاية من الإشعاعات المؤينة؛ ووضعت تعاريف محددة للكميات الفيزيائية المستخدمة للتعبير عن التعرض للإشعاعات المؤينة وللجرع الإشعاعية الناتجة عنها، وكذلك الوحدات المستعملة لقياس هذه الكميات، وهي تقوم على أساس العدد الإجمالي للإشعاعات التي تسقط على الوسط المادي المعين، وما تحدثه من تأينات في هذا الوسط، أو بعبارة أخرى، تقوم على أساس كمية الطاقة التي تودعها الإشعاعات في كتلة مادية معينة، وعلى نوع هذه الإشعاعات.

وفي الوقت الحالي يستخدم النظام العالمي(الدولي) System International (SI) للوحدات للتعبير عن الكميات الإشعاعية، وإن كانت الوحدات القديمة ما زالت مستعملة في كثير من المجالات.

فوحدات قياس الجرع الإشعاعية هي مقادير فيزيائية تعبرعن كمية الطاقة المستلمة (المترسبة) في كتلة معينة من المادة أو النسيج البشري. وتعتمد هذه الكميات عند اشتقاقها، على أسلوب تفاعل النوع المعين من الإشعاعات المؤينة مع المادة وأسلوب انتقال الطاقة من هذه الإشعاعات للمادة، وعلى مدى ضرر النوع المعين من الإشعاعات على الكائن الحي، عند تساوي قيم الطاقة المودعة في واحدة الكتلة من المواد المختلفة.

1. **النشاط الإشعاعي** Activity (A) يمثل عدد الانحلالات الحاصلة في وحدة الزمن ويعطى معدل النشاط الإشعاعي في عينة مشعة بالعلاقة:

$$A_{(t)} = A_o \, Exp.(- \lambda \, t)$$

حيث A_o النشاط الإشعاعي عند بدء الزمن و $A_{(t)}$ النشاط الإشعاعي بعد مضي زمن قدره t . وحدة النشاط الإشعاعي هي البيكرل Becquerel (Bq)، وهو يساوي تفكك واحد في الثانية. كما يقدر النشاط الإشعاعي بالكوري(Curie) الذي كان يُعرَّف سابقاً على أنه النشاط الإشعاعي لغرام واحد من الراديوم ـ 226 و لكنه معرف الآن على أنه يعادل $3.7X\ 10^{10}$ تفكك في الثانية .

$$1Ci=3.7x10^{10}\ dis/sec$$

$$1Bq= 1dis/sec$$

2. **التعرض** The exposure (*X*)

للتعرض في الوقاية الإشعاعية معنيين مختلفين. الأول ذو طابع عام، ويقصد به التعرض للإشعاعات المؤينة. أما المعنى الثاني فهو يعبر عن كمية فيزيائية محددة.

التعرض: هو تعرض الهواء الجاف في الظروف المعيارية (أي عند درجة حرارة الصفر المئوي وعند ضغط يساوي 760 ملليمتر زئبق) لكمية من الأشعة السينية أو إشعاعات غاما منخفضة الطاقة حتى 3 ميغا إلكترون فولط). ويقاس

التعرض بكمية الشحنة الكهربائية (الموجبة أو السالبة) الناتجة عن التأين في وحدة الحجوم من الهواء الجوي الجاف في هذه الظروف أي أن:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

حيث: التعرض X ، الشحنة dQ (الموجبة أو السالبة)، حجم من الهواء الجاف كتلته dm في الظروف المعيارية.

ويقاس التعرض بوحدة عرفت باسم "رونتجن" Rontgen. وقد تم تعريف الرونتجن، في أول الأمر على أنه كمية الإشعاعات السينية التي تؤدي إلى إنتاج شحنة كهربائية (سالبة أو موجبة) مقدارها وحدة كهرساكنة (1 esu) في سنتيمتر مكعب واحد من الهواء الجاف، عند الظروف المعيارية، أي أن:

$$1R = \frac{1(esu)}{1\,\mathrm{cm}^3(air)}$$

وبالتحويل من نظام الوحدات العملية (سم. غرام .ثانية) ، إلى النظام الدولي للوحدات نجد أن الرونتجن هو: تعرض لكمية من الأشعة السينية أو إشعاعات غاما منخفضة الطاقة، تؤدي إلى توليد شحنة كهربائية (سالبة أو موجبة) مقدارها 2.58×10^{-4} كولوم في كغم واحد من الهواء الجاف، عند الظروف المعيارية .أي أن:

$$I\,R = 2.58 \text{ x } 10^{-4} \quad \text{Coulomb/kg air}$$

3. الجرعة الممتصة Absorbed dose (D) : تمثل نسبة متوسط الطاقة المستلمة من قبل الكائن الحي بواسطة الاشعاع المؤين $d\bar{E}$، في جزء من المادة تبلغ كتلته dm. أي أن الجرعة الممتصة D هي:

$$D = \frac{d\bar{E}}{dm}$$

وتجدر الإشارة إلى أن الجرعة الممتصة تستخدم لجميع أنواع الإشعاعات المؤينة، سواء كانت مشحونة أو غير مشحونة، ولجميع الطاقات وكذلك لجميع المواد التي تسقط عليها الإشعاعات.

ووحدة قياس الجرعة الممتصة في النظام الدولي هي كري Gray (Gy) ، ومازالت الوحدة التقليدية للجرعة الممتصة وهي راد "rad" مستخدمة في بعض المراجع والأجهزة.

$$1\text{Gy} = 100 \text{ rad}$$

يمكن تلخيص وحدات قياس الإشعاع كما يلي:

الرونتجن Roentgen (R) : وحدة قياس الأشعة الصادرة (*) ويستخدم أساسا للأشعة السينية.

الكيوري Curie (Ci): يعتبر قياس للنشاط الاشعاعي للمصدر المشع والكيوري الواحد يساوي $3{,}7 \times 10^{10}$ انحلال في الثانية.

الراد (Rad) : وحدة قياس كمية الطاقة الإشعاعية الممتصة (جرعة الامتصاص) سابقا.

كري Gray (Gy) : وحدة قياس الجرعة الممتصة في النظام الدولي حاليا.

الريم (REM) : وحدة قياس الجرعة المكافئة سابقا، وتستخدم لقياس التأثير البيولوجي للإشعاع الممتص عنما تكون الجرعة الممتصة مقاسة بوحدات Rad.

السيفرت Sievert (Sv): وحدات قياس التأثير الناتج عن امتصاص الأشعة في النظام الدولي (عندما تكون الجرعة الممتصة مقاسة بوحدات Gy فان الجرعة المكافئة تكون مقاسة بوحدات Sv).

One Sievert = 100 REM

(*) يستخدم مصطلح الأشعة الصادرة من المصدر المشع للتمييز عن كمية الاشعة المستلمة من قبل الكائن الحي

التأثير البيولوجي النسبي للإشعاع Relative biological effectiveness (RBE)

يختلف التأثير البيولوجي للإشعاع على أعضاء وأنسجة الجسم البشري، باختلاف نوع الأشعة، حتى عندما تتساوى الجرعة الممتصة من هذه الإشعاعات، في هذا العضو. فمثلاً عند تساوي الجرعة الممتصة من كل من الأشعة السينية والنيوترونات، يكون الضرر في حالة النيوترونات، يزيد نحو عشرين ضعفا عن الضرر الناتج عن الأشعة السينية في نفس العضو أو النسيج. ولأخذ هذا الاختلاف بالحسبان أدخل مفهوم (المعامل الوزني للإشعاع).

يرتبط المعامل الوزني للإشعاع Radiation Weighting Factor (W_R) بنوع الأشعة وبقدرتها على إحداث التأين. أي أنه يرتبط بمقدار التأين الحاصل في واحدة المسافة على مسار الإشعاع (الانتقال الخطي للطاقة LET) فكلما زاد معامل الانتقال الخطي للطاقة، زاد معامل الثقل الإشعاعي لهذه الإشعاعات.

يبين الجدول (1) قيم المعامل الوزني للاشعاع (او معامل الإشعاع المرجح) للإشعاعات ذات الطاقات المختلفة.

جدول - 1: معامل الإشعاع المرجح (المعامل الوزني للاشعاع) Radiation Weighting Factor W_R

نوع الإشعاعات	طاقتها	عامل الإشعاع المرجح
فوتونات اشعة كاما	جميع الطاقات	1
إلكترونات (بيتا الموجبة السالبة) وميزونات	جميع الطاقات	1
thermal neutron	أقل من 10KeV	5
نيوترونات	10-100 KeV	10
	100KeV-2MeV	20
	2 MeV-20 MeV	10
	اعلى من 20 MeV	5
بروتونات	أكبر من 2 MeV	5
جسيمات ألفا		20

الجرعة المكافئة: Equivalent dose

يستعمل مصطلح الجرعة المكافئة H (Equivalent dose) لأغراض الوقاية من الإشعاع للتعبير عن ضرر الجسم البشري الناتج عن التعرض لجرعة ممتصة معينة من نوع معين من الإشعاعات. وهي تساوي حاصل ضرب الجرعة الممتصة D من نوع معين من الإشعاعات في معامل الثقل الإشعاعي W_R لهذه الأشعة عند الطاقة المحددة وعند نقطة ما في النسيج أو العضو البشري. أي أن:

$$\text{Equivelant dose} = \text{Absorbed dose} \times \text{Radiation weighting factor}\,(W_R)$$

$$H_T = D_T \times W_R$$

وعند التعبير عن الجرعة الممتصة في النظام الدولي للوحدات "بالكري"، يكون التعبير عن الجرعة مكافئة بالسيفرت Seivert (Sv) أي أن السيفرت هو وحدة قياس الجرعة المكافئة في النظام الدولي للوحدات. أما عند التعبير عن الجرعة الممتصة بالراد، يعبر عن الجرعة المكافئة بالرِيم rem. (الوحدة التقليدية). حيث أن: 1Sv=100 rem

مثال: يتعرض عامل في سنة واحدة لجرعة ممتصة لكامل الجسم 8.4 mGy من أشعة كاما بالإضافة إلى جرعة ممتصة 1.2 mGy من نيترونات طاقتها 80KeV و 2mGy من نيترونات حرارية فان مكافئ الجرعة الكلية للعامل سيكون:

بالرجوع إلى الجدول1 والتعويض نجد:

$$H_T = \sum_R W_R \times D_T$$

$$H_T = W_\gamma D_T + W_n D_T + W_{n_thermal} D_T$$

$$H_T = (1)(8.4\ mGy) + (10)(1.2\ mGy) + (5)(2mGy) = 30.4\ mSv$$

الجرعة الفعالة: The Effective Dose ($D_{eff.}$)

إن العلاقة بين احتمال حدوث التأثيرات العشوائية للضرر الإشعاعي، كالسرطان وغيره، وبين الجرعة المكافئة، تعتمد على نوع العضو أو النسيج المتعرض للإشعاع. بمعني آخر؛ هناك أعضاء وأنسجة بشرية أكثر استجابةً لحدوث السرطان من غيرها عند تساوي الجرعة المكافئة فيها. وهذا يدفعنا إلى تعيين كمية ترتبط بنوع العضو أو النسيج، وباحتمال إصابته بالتأثيرات العشوائية للإشعاع، وقد أطلقت اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية على هذه الكمية اسم "العامل المرجح للعضو أو النسيج "W_T"، يمثل هذا العامل الإسهام النسبي للعضو أو النسيج المعين، في الضرر الكلي للتأثيرات الإشعاعية الناتجة عن تشعيع كامل الجسم البشري بمجال إشعاعي متجانس. يبين جدول (2) قيم العوامل المرجحة للأنسجة والأعضاء البشرية المختلفة.

وتمثل الجرعة الفعالة Effective dose (Sv) مجموع حاصل ضرب المعامل الوزني للانسجة او الاعضاء W_T في الجرع المكافئة للاشعاع H_T (Sv) في ذلك العضو او النسيج.

$$D_{eff.} \equiv H = \sum_T W_T H_T$$

حيث H_T هي الجرعة المكافئة في العضو أو النسيج T و W_T هو العامل الوزني المرجح لذلك العضو أو النسيج.

ومن تعريف الجرعة المكافئة فإنه يمكن حساب الجرعة الفعالة لكامل الجسم وفق العلاقة التالية:

$$H = \sum_T W_T \sum_R W_R D_T$$

الجدول ـ 2 : العوامل الوزنية للأنسجة والأعضاء البشرية

العضو	العامل الوزني للعضو اوالنسيج W_T
نخاع العظم الأحمر، القولون،	0.12

الرئتين، المعدة ،الصدر وبقية الاعضاء	
الغدد التناسلية	0.08
المثانة ، الكبد، الإثنى عشر، الغدد الدرقية	0.04
الجلد، سطح العظام	0.01
كامل الجسم (المجموع)	1

The **tissue weighting factor (W_T)** is a relative measure of the risk of stochastic effects that might result from irradiation of that specific tissue.

To calculate the effective dose, the individual organ equivalent dose values are multiplied by the respective tissue weighting factor and the products added. The sum of the weighting factors is 1.

In 2007, the **International Commission on Radiological Protection (ICRP)** published a new set of tissue weighting factors as below:

- **W_T = 0.12** (for each of 6): stomach, colon, lung, bone marrow (red), breast & remainder tissues*****
- **W_T = 0.08**: gonads
- **W_T = 0.04**: urinary bladder, esophagus, liver, thyroid
- **W_T = 0.01**: bone surface, skin, brain, salivary glands

***Remaining tissues, collectively (13 organs):** adrenals, extrathoracic region, gallbladder, heart, kidney, lymph nodes, muscle, oral mucosa, pancreas, small intestine, spleen, thymus, uterus, and prostate.

Calculating sum of all weighted tissue factors:

$$(0.12 \times 6) + 0.08 + (0.04 \times 4) + (0.01 \times 4) = 1$$

Note: Changes in respective W_T from last ICRP publication-60 of 1991[3] to ⟶ current ICRP publication-103 of 2007 are:

- gonads: 0.20 ⟶ 0.08
- breast and reminder tissue: 0.05 ⟶ 0.12
- bladder, esophagus, liver, thyroid: 0.05 ⟶ 0.04
- addition of brain and salivary glands to 0.01 category

مثال: الجرعة الفعالة الناتجة عن جرعة مكافئة 1 mSv للرئة تساوي الجرعة الفعالة الناتجة عن جرعة مكافئة للغدة الدرقية مقدارها 3 mSv أي أن لهما الخطورة نفسها على كامل الجسم من الآثار العشوائية للإشعاع.

$$H = \sum_T W_T H_T$$

For lung: H = 0.12 X 1 = 0.12 mSv للرئة

For thyroid: H = 0.04 X 3 = 0.12 mSv للغدة الدرقية

يعني هذا، أن جرعتين مكافئتين مختلفتين لعضوين مختلفين يمكن أن يكون لهما جرع فعالة متساوية عددياً أي لهما نفس الضرر على كامل الجسم.