الفصل السابع

1 ـ تأثير الانفجار النووي:

(أ) مدخل:

طوّر الإنسان خلال العقود القليلة المنصرمة تكنولوجيا تستطيع التدمير الذاتي على مستوى الكرة الأرضية بشكل لا سابقة له. فقد أذهل العالم تطوير الأسلحة النووية واستخدامها المثير في نهاية الحرب العالمية الثانية. حيث تم إثبات أن سلاحاً واحداً، تحمله وسيلة نقل واحدة، يمكن أن يبيد معظم سكان منطقة أو مدينة بكاملها، فمثلاً تسببت القنبلة النووية التي ألقيت على هيروشيما بقتل 78 ألف نسمة، وأحدثت دماراً كلياً في نطاق مساحة قدرها 3 أميال مربعة[106]. والتقديرات لعدد الرؤوس النووية الموجودة في العالم تبلغ 50 ألف رأس نووي معدل ما يقتله كل رأس نووي يبلغ ربع مليون نسمة.

ويختلف الشكل الذي يتخذه السلاح النووي، فقد يكون مقذوفاً يرميه مدفع، أو قنبلة تلقيها طائرة، أو صاروخاً موجهاً أرض ـ أرض، أو بحر ـ أرض، أو قمراً اصطناعياً مزوّداً بجهاز لإطلاق مقذوف نووي من

---

(106) استراتيجيا، ص 49، يوليو/أغسطس، عدد 101، سنة 1990 ـ اللواء ممدوح حامد عطية «سباق التسلح النووي هل يتوقف».

مداره حول الأرض، أو غير ذلك من الأجهزة الاستراتيجية لإيصال المتفجرات النووية إلى أهدافها[107].

والحرب النووية (Nuclear Warefare) وتسمّى أيضاً الحرب الذرّيّة (Atomic Warfare) تعني استخدام الأسلحة النووية استخداماً استراتيجياً أو تكتيكياً بصورة مستقلة أو بالتنسيق مع الأسلحة التقليدية الأخرى، بغية إنزال الخسائر والخراب في صفوف العدو، بغرض سحقه والقضاء على قدراته القتالية وتحطيم معنوياته وإجباره على الاستسلام.

(ب) الانفجار النووي:

تتحرر كميات كبيرة من الطاقة نتيجة الانشطار النووي ضمن حجم صغير، وخلال فترة وجيزة من الزمن، حيث يؤدي ذلك إلى ارتفاع شديد في درجة الحرارة (تصل إلى عشرات الملايين من الدرجات المئوية). وكذلك ضغط غاية في الشدة يصل إلى أضعاف الضغط الجوي. ويتم التفاعل النووي المتسلسل في أقل من 10^{-6} من الثانية (أي أقل من جزء من مليون من الثانية).

وفي البدء، يؤدي الارتفاع الشديد في درجة الحرارة إلى إحداث طاقة إشعاعية تطلق على شكل أشعّة سينية حرارية. يمتصها الجو المحيط بسرعة. وهذا يؤدي بدوره إلى ارتفاع درجة حرارة الجو المحيط، الذي يؤدي إلى تمدد سريع في الكتلة الهوائية الموجودة في هذا الجو، وهذا التمدد يؤدي إلى إحداث موجة ضغط شديدة تعرف بموجة الصدمة الهوائية (Air shock wave) والتي تشكل بما يشبه الحائط المتحرك من الهواء المضغوط والذي يتحرك بسرعة عالية جداً محدثاً رياح شديدة وعنيفة[108] وموجة الضغط قوية

---

(107) الموسوعة العسكرية، الجزء الأول، مقدم هيثم الأيوبي، المؤسسة العربية للدراسات والنشر، بيروت، 1990، ص 26.

(108) الإشعاع النووي، قصة تشيرنوبل ومستقبل البشرية، سعود رعد، جروس برس، طرابلس ـ لبنان، ص 27.

تحدث بسبب أن الهواء الخارجي الأقل حرارة من الهواء الساخن داخل منطقة الانفجار يُطرد من مكانه، وتنتقل موجة الضغط هذه بسرعة فوق صوتية أول الأمر. وتشعّ في جميع الاتجاهات. وعندما تلامس الأرض، تنعكس في موجة أخرى، وتسير بأسرع مما كانت عليه أولاً بسبب أنها ستسير في الهواء الذي ضغطته وسخنته الموجة الأولى وهكذا تصطدم الموجة المنعكسة مع الموجة الساقطة، وهذا يؤدي إلى تضاعف قوة الصدمة، وهذا ما يعرف بتأثير «ماخ» وينتج عن اندماج الموجتين، موجة جديدة تدعى (ساق ماخ) عمودية الاتجاه تصنع رياحاً موازية لسطح الأرض فتزيد من فعالية القدرة التدميرية لموجة الانفجار[109] وضغط الموجة يقاس بالرطل في كل إنش مربع (Pounds per square inch) ويرمز له بـ (Psi) والرطل يساوي 453,6 غرام. وتنضم إلى الضغوط المرتفعة لموجة الانفجار ضغوط أخرى ديناميكية، تثير رياحاً شديدة.

2 ـ تأثير الانفجار على البشر:

إن ضغط الانفجار النووي القادر على تدمير بنايات قد لا يشكل تأثيراً قاتلاً بالنسبة للبشر. لأن جسم الإنسان مرن وصغير نسبياً، فعند ازدياد الضغط الخارجي فإن جسم الإنسان يكيّف نفسه بحيث يزيد من الضغط الداخلي لمساواة الضغط الخارجي[110].

ويستطيع جسد الإنسان أن يقاوم تأثير الضغوطات المرتفعة حتى ولو كان بدون وقاية. فبعض الناس تتحمل ضغط مرتفع يصل إلى معدل 30

---

(109) الشتاء النووي، تأثيرات الحرب النووية على الإنسانية وعلى البيئة، دار الرقي ـ بيروت ـ 1986، ص 57. دكتور مارك. أ. هارول / مترجم /.

(110) حقائق عن الحرب النووية، بيتر كودوين / مترجم / وزارة الثقافة والإعلام ـ دائرة الرقابة العامة ـ بغداد 1985، ص 37.

ضغط جوي (Psi) ومستوى الضغط القاتل بنسبة 50 % من السكان المعرّضين للانفجار النووي هو 12 (Psi). بينما تكفي البنايات المحصّنة 10 ضغوط جوية لتنهار. وبهذا فإن معظم الإصابات البشرية تقريباً الناتجة عن الانفجار النووي يعود مرجعها إلى تهدّم الأبنية وتناثر حطامها بشدة.

ويؤكد الدكتور مارك أ. هارول[111] (Harwel M.A.) أن نسبة الوفيات في المدن والتي تتعرض إلى صدمة بقوة خمسة (Psi) تبلغ 75 % وتعتبر المنطقة المحيطة بالانفجار منطقة مميتة. وتعرف المنطقة المميتة بكون عدد الناجيين منها مساوياً لعدد الوفيات خارجها.

ولحساب تأثير الانفجار النووي على مسافة معينة لا بد من الأخذ بعين الاعتبار قوة الرأس النووي وارتفاع الانفجار عن سطح الأرض. ويؤكد غلاستون و أولان (Glasstone S. and Olan P.D.) في تقريرهم تأثيرات الأسلحة النووية (الصادر سنة 1977) أن ضغط الانفجار النووي على مسافة معينة يتناسب مع الجزر التكعيبي لقوة الانفجار أو ما يسمّى بالناتج الانفجاري (Yield) ويعتمد الناتج الانفجاري للأسلحة النووية على كمية البلوتونيوم المستخدمة في كل وحدة وكذلك على كفاءة مصمّمي القنبلة النووية. ويقول صامويل غلاستون (Glasstone S.) في تأثيرات الأسلحة النووية[112]: إن الانشطار الكامل لرطل واحد من اليورانيوم أو البلوتونيوم يطلق من الطاقة ما يعادل انفجار ثمانية آلاف طن (8 كيلو طن) من مادة ثلاثي نتروطولوين (T.N.T.) لذلك إذا كانت القنبلة النووية تحتوي من (5) إلى (8) كلغ فهذا ما يعادل من (11 ــ 18) رطل تقريباً من البلوتونيوم. وكان تصميم القنبلة محكماً إلى درجة تسمح بأن يتم التفاعل الانشطاري

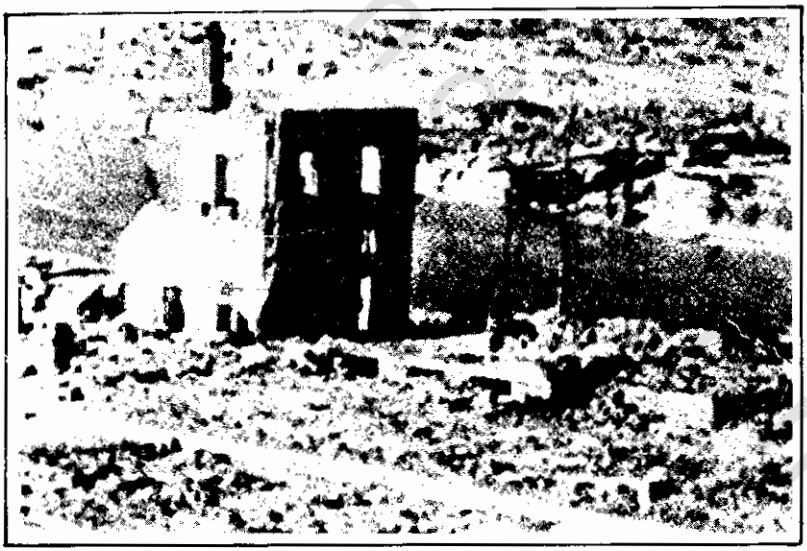
---

(111) الشتاء النووي، ص 58.

(112) The Effects of Nuclear Weapons, Samuel Glasstone — Washington. DC.: GPO Department of Defense & U.S. Atomic Energy Commission, 1962, p. 5.

في كل هذه الكمية من البلوتونيوم (وهذا مستحيل عملياً) فإن الناتج الانفجاري للقنبلة سيبلغ (88) إلى (144) كيلوطن، لكن الحد النظري للتفاعل الانشطاري المحسوب لا يتعدى 30 % من كمية الوقود الانشطاري الذي تحتويه القنابل النووية.

فمثلاً فإن القنبلة التي ألقتها الولايات المتحدة الأمريكية على هيروشيما سنة 1945 لم ينشطر من مادتها سوى (0,7) كيلوغرام أي (1,5) رطل من مجموع 60 كلغ (132 رطل) من اليورانيوم ـ 235 التي كانت تحتويها. فلذلك لم يتعد ناتجها الانفجاري 12,5 كيلوطن. وكذلك فإن القنبلة التي ألقيت على ناغازاكي كانت تحتوي على (7) كلغ من البلوتونيوم لم ينشطر من هذه الكمية سوى 1,3 كلغ (2,86 رطل)[113] (الصورة رقم 4).



صورة رقم (4)

(113) بيتر براي، ترسانة إسرائيل النووية، مترجم، مؤسسة الأبحاث العربية، بيروت ـ دار البيادر للنشر والتوزيع، مصر 1989، ص 153.

هذا وكان غلاستون قد وضع معادلته التي تحدد هذه العلاقة بالآتي:

$$\frac{D}{D_{ref}} = \left[\frac{W}{W_{ref}}\right]^{1/3}$$

حيث: D ـ الضغط الحاصل على مسافة ما من الانفجار.

W ـ قوة الانفجار (بالكيلوطن).

Ref ـ معطيات الرأس النووي.

وباختيار Wref = 1 كيلوطن (K.T) فإننا نحصل على:

$$D = D_{(1KT)} \times W^{1/3}$$

وتنطبق هذه المعادلة على الانفجارات بارتفاعات قياسية موحّدة وتصبح المعادلة بالشكل التالي:

$$h_s = h_{ref} \cdot w^{1/3}$$

حيث h_s ـ الارتفاع قياسي.

h_{ref} ـ الارتفاع الواقعي.

يضاف إلى هذا أنه على ارتفاع 1500 متر عن سطح البحر لا يمكن اعتبار طبقات الجو متجانسة، ولا بد من تصحيح معطيات الرأس النووي، بالنسبة إلى اختلاف الحرارة والضغط. واعتماداً على هذه المعادلات تم وضع علامة تمثّل مختلف نماذج أحجام المدن، بالنسبة إلى انفجارات سطحية حيث تم وضع أدنى حد من تأثير الضغط وأقصى حد من تأثير الغبار الذرّي.

قمة الضغط المرتفع 5 Psi				
حجم المدينة (بالألوف)	المساحة (كلم²)		الشعاع (كلم)	
	تفجير في الهواء الارتفاع الأمثل	تفجير سطحي	تفجير في الهواء	تفجير سطحي
100	243,8	101	8,81	5,67
250 ـ 100	243,8	101	8,81	5,67
500 ـ 250	243,8	101	8,81	5,67
1,000 ـ 500	243,8	101	8,81	5,67
1000000	425,7	195,9	11,64	7,89

جدول رقم (4)

وإذا تم تطبيق هذه الأرقام على مدن مثل الولايات المتحدة الأمريكية نستطيع أن نضع علاقة جديدة تحدد عدد التفجيرات النووية بالنسبة لعدد السكان.

وبحسابات بسيطة نجد أن معدّل تأثير انفجار كيلوطن واحد من الأسلحة النووية على مدن الولايات المتحدة الأمريكية هو 610 نسمة، وبالنسبة لدول العالم فإنها تعتمد على كثافة السكان. فمثلاً في تل أبيب يؤثر 1 كيلو طن على 90000 نسمة، أما في القاهرة فإنه يؤثر على 370 ألف نسمة[114]. هذا وقد تم وضع معادلة لحساب الوفيات مستنتجة من حساب قوة التفجير وهي:

$$Y = a\, e^{1/bx}$$

(114) الخيار النووي الإسرائيلي ـ مترجم ـ شاي فيلدمان ـ دار الجليل للنشر ـ عمان ـ 1984 ـ ص 182.

المدينة	السكان	عدد التفجيرات النووية م/طن	تأثير كيلوطن واحد على
بوسطن	3,667,900	6 ميغاطن	611 نسمة
شيكاغو	7,806,600	13	600 نسمة
دالاس	2,772,700	4	693 نسمة
ديترويت	4,429,900	7	632 نسمة
هوستن	2,868,400	5	573 نسمة
لوس انجلس	11,318,800	19	595 نسمة
نيويورك	11,511,400	19	605
واشنطن	2,826,300	5	565

جدول رقم (5)

(م/طن ـ ميغا طن)

حيث أن y ـ عدد السكان في وحدة مساحة كدالة على مسافة (x).

a ـ الكثافة المركزية (أو عدد الأفراد في الوحدة المساحية).

b ـ معامل (معدل) التضاؤل.

ويمكن حساب (a) و (b) لأي مدينة منطلقين من معطيات ديمغرافية.

وقد وضع آدم نستون (Adams CE) سنة 1975 (115) الشكل التكاملي لهذه المعادلة كالآتي:

$$N_x = (a \cdot \frac{0}{b^2})\,(1 - (1 + b_x)\, e^{1/bx})$$

(115) الشتاء النووي، ص 67.

حيث أن

$N_{(x)}$ ـ عدد السكان على مسافة من المركز.

O ـ القسم الدائري من المدينة.

وهكذا لتحديد مجموع الوفيات نضع المعادلة النهائية التالية:

$$F_r = N_{(x)} + D\,(A_r - A_X)$$

حيث أن

Fr ـ الوفيات من ضغط الانفجار على شعاع (r).

Nx ـ عدد السكان التراكمي حتى مسافة معينة.

D ـ كثافة السكان بمنطقة الإصابة.

Ar ـ المساحة على مسافة الشعاع.

Ax ـ المساحة الخارجية حتى الكثافة العظمى.

وقد أكدت الأبحاث بالنسبة للوفيات من جراء ضغط (Psi–O) أن الإصابات من جراء ضغط الانفجار لم تدرس بشكل ثابت. ومن المؤكد أن الإصابات ناتجة عن الزجاج المتطاير والحطام وعن انهيار المباني، أكثر منها عن تأثير ضغط الانفجار على الجسم البشري وحده، هذا يقودنا إلى التأكيد أن الضغط (Psi–2) كافية لإيقاع الإصابات في جميع السكان المعرضين لهذا الضغط. ولكن لا إصابات تقع في مناطق أبعد من هذا المستوى. ومن الواضح أنه قد ينجو أناس من الإصابة وهم داخل منطقة الضغط (Psi–2) كما قد يصاب أناس في منطقة ضغط (Psi–1) وبذلك فإن منطقة (Psi–2) تشكل «منطقة إصابات» على غرار المنطقة المميتة[116].

(116) مرجع سابق ـ مارك. أ. هارول، ص 75.

3 ـ تأثيرات الإشعاع الحراري:

كل الطاقة الناتجة عن الانفجار النووي تتحول إلى حرارة وفقاً للقانون الثيرموديناميكي الثاني[117]. وحسب مبدأ كارنو. بمعنى أن نزوع الطاقة الحركية إلى التحول إلى حرارة أكبر من نزوع الحرارة إلى التحول إلى حركة وهذا ما يعرف بقانون تزايد الانتروبي (Entropy) كذلك تتحول إلى حرارة الطاقة المتمثلة في موجة الضغط وفي تطاير حطام السلاح. والطاقة المتولدة مع النظائر المشعّة والطاقة الناتجة على شكل إشعاعات كهرومغناطيسية حيث تمثل ثلاث أرباع مجموع طاقة الانفجار.

ويصاحب الانفجار النووي تشكل سحب من الغاز والبخار تعرف بكرة النار (Fire ball) والتي تكون مضيئة، عالية الحرارة حيث تكون جميع المواد بداخلها في حالتها البخارية نظراً لارتفاع درجة الحرارة، والتي تبدأ بالتوسع والصعود بسرعة (260) ميل في الساعة في الدقيقة الأولى من الانفجار، وتصل هذه السحابة إلى أقصى ارتفاع لها بعد عشر دقائق تقريباً من حدوث الانفجار[118].

وتستأثر الحرارة والضوء على نسبة 35 % من الطاقة الكلية الناتجة عن الانفجار. وتصل الحرارة الناتجة في اللحظات الأولى للانفجار إلى عدة ملايين من الدرجات الحرارية لذلك فإن التأثير العام للأشعة الحرارية (Thermal radiation) شديد الدمار وهذا ما يعرف باللفح الحراري، وهذه القدرة الهائلة من الحرارة تحدث حريق واسع المدى.

وتشكل كرة النار خلال بضع أجزاء من مليون جزء من الثانية. حيث

---

(117) الثيرموديناميكا الهندسية والنقل الحراري / مترجم /

(118) الموسوعة العسكرية، الجزء الأول، ص 26.

فلاديمير ناشوكين ـ دار مير للطباعة والنشر ـ 1980 ـ ص 154.

يتكون غاز كروي مضغوط شديد الحرارة يشكل كرة نارية يرى لمعانها بعد حوالي جزء من عشرة من الثانية من مسافة 10 أميال، وتعادل قوة الضوء المنبعثة منها ما يعادل ثلاثين ضعفاً ضوء الشمس في الظهيرة ويرى بريق في السماء من مسافة 400 ميل وعندما تبرد الكرة النارية يتضاعف حجمها، فلذلك تقل كثافتها وترتفع في الجو، وتصل إلى حجمها الأقصى بعد ثانية واحدة من وقوع الانفجار حيث يصبح عرضها 300 ياردة وترتفع بمعدل 150 إلى 300 قدم كل ثانية. وتبرد وتتسع بعد عشر ثوان حيث تصبح غير مرئية، وترتفع إلى ثلث ميل من نقطة الانفجار. حين ترتفع درجة الحرارة في داخل الكرة النارية وتتحول كل المواد التي تحتوي نتاج الانشطارات النووية إلى بخار هذه المواد، وهذا ما يؤدي إلى تكون رياح شديدة ترتفع إلى أعلى، وأخرى تنساب إلى الداخل منطقة الانفجار. حيث يتكون عمود دخاني يحتوي على أجزاء صغيرة جداً من مكوّنات الانشطار النووي والرماد والغبار. ويرتبط ارتفاع العمود بطاقة انفجار القنبلة ودرجات الحرارة الجوية وكثافة الهواء المحيط بمنطقة الانفجار.

تبدأ كرة النار بإرسال الأشعة الحرارية بكل الاتجاهات بمجموعتين الأولى تبقى لمدة (0,01) ثانية وتحتوي على جزء كبير من الأشعة فوق البنفسجية، وتكون أشعة المجموعة الثانية مرئية أو ما تحت الحمراء. وتستمر حوالي 10 ثوان. وعندما تقارب حرارة الكرة النارية درجة عشرة ملايين درجة مئوية تكون هذه الحرارة مشعّة فهي إما تنتشر أو أن تمتص بالتلامس مع المادة، وبالتالي تسخن جزيئات أخرى وفي سيرها عبر سلسلة من مراحل الامتصاص وإعادة الإشعاع، تصل إلى الأشعة دون الحمراء (IR) وهي أشعة لا تمتصها جزيئات الهواء كلياً، لذلك هي تنقل الحرارة إلى الأجسام التي تلامسها. وهذه العملية هي مصدر تأثيرات الإشعاع الحراري خلال الثواني القليلة الأولى بعد الانفجار النووي. ويتفاوت عمر الكرة النارية مع قوة السلاح وفقاً للمعادلة التالية $t_{max} = 4.17X10^{-2}W$، (حيث

W – قوة السلاح بالكيلوطن t_{max}ـفترة إنتاج الحد الأقصى من الطاقة الحرارية (ثواني).

تنبعث الطاقة الحرارية بشكل منتظم في جميع الاتجاهات انطلاقاً من نقطة الانفجار. لذلك، فإن قيمة الطاقة في وحدة المساحة تتناسب عكسياً مع $(4\ \pi r^2)$ حيث (r) هو البعد عن نقطة الانفجار.

تطلق الانفجارات السطحية مستويات منخفضة جداً من الإشعاع الحراري بالمقارنة مع الانفجارات في الهواء بسبب الحاجز الأرضي وبعض المؤثرات الموجودة على سطح الأرض.

ولكي نحسب مجموع التعرض الإشعاعي لمادة ما، على مسافة معينة من الانفجار، نكتب معادلة الطاقة التراكمية الموزعة على مساحة كروية كالآتي[119]:

$$Q = \frac{E}{a\pi r_s^2}$$

حيث

Q ـ التعرض الإشعاعي (حريرة/سم^2)

r_s ـ البعد التناقصي عن الانفجار (كلم)

E ـ مجموع قوة السلاح (ك. طن)

لكن تناقص النور بسبب الامتصاص الجوي يخفض هذه المعادلة بمعدل تناقصي دليلي.

فتصبح

$$Q = \frac{E}{4\Pi r_s^2}(\exp(-k\, r_s))$$

(119) الشتاء النووي، دكتور مارك. أ. هارول ـ مترجم، ص 80.

حيث k ــ معامل الامتصاص الجوي (متعلق بطول الموجة) ويضع غلاستون ودولان معادلتهم في حال وجود تبعثر للأشعة بالشكل التالي:

$$Q = \frac{E.T}{4\pi r_s^2}$$

حيث T ــ الانتقالية (وهي الجزء من مجموع الإشعاع الذي ينتقل بعد الامتصاص والتبعثر والمتعلق بالمسافة).

ويختصر غلاستون هذه المعادلة بالشكل التالي:

$$Q = \frac{85.6\ f.W}{r_s^2}$$

حيث: F ــ الجزء من الطاقة المشعّة (بدون وحدة).

W ــ قوة الانفجار (ك/طن).

Q ــ التعرّض الشعاعي (حريرة/سم^2).

r_s ــ البعد التناقصي (بآلاف الأقدام).

وهذه الطاقة تؤدي إلى آثار مباشرة على الإنسان منها:

(أ) حروق من الوهج.

(ب) أضرار تصيب العيون.

(ج) عمى مؤقت من الوهج الساطع.

إن حروق الوهج هي الأهم بالنسبة إلى عدد الوفيات والإصابات البالغة، والتي تشمل 30 % من الجسم إذا كانت من الدرجة الثانية و 20 % إذا كانت من الدرجة الثالثة. وهي عادة ما تسبب الوفاة في غياب العناية الصحية الفعّالة التي تفرضها شروط الحرب النووية الفعلية.

وأكدت التجارب أن أصحاب البشرة القاتمة أكثر تأثراً بالتعرّض للحروق من ذوي البشرة الناصعة، بسبب امتصاصهم مقداراً أكبر من الطاقة. وأن الأشخاص الغير محميين أكثر الناس تعرّضاً للإشعاع الحراري. وإن الأشخاص الذين هم في الداخل أو البعيدين عن النوافذ لا يتأثرون بأي طاقة إشعاع حراري. كما أن توقيت الانفجار في ساعة معينة من ساعات النهار يؤثر على عدد السكان المعرّضين إلى حد كبير. فمثلاً وقوع الانفجار فجراً لا يصادف سوى عدد ضئيل من الناس، لكن وقوع الانفجار في ساعات النهار التي يتصادف وجود كمية كبيرة من المارة في الشوارع، فهذا يؤدي إلى عدداً كبيراً من الإصابات.

وبالنسبة إلى الأضرار التي تصيب العيون تحدث بسبب انبعاث الأشعة الفوق بنفسجية من الانفجار والتي تؤثر على الذين شاهدوا الانفجار مباشرة، وهذه الأشعة كافية لإلحاق الضرر الدائم بالعين، أما الحروق في القرنية التي تحدث فإنها لا تسبب الكفاف بشكل تام.

أما بالنسبة إلى العمى الوهجي وهو فقدان البصر مؤقتاً بسبب قوة الوهج الخارقة أو الذي ينتج من تأثير الضوء المبعثر، أو من النظر المباشر إلى مصدر شدة الضوء. كل هذه الأشياء تؤدي إلى العمى الوهجي بعد الانفجار، والتي تبقي الرؤية مفقودة، مما يشل حركة المصاب، ويقلل من قدرته على اتقاء الأخطار، مثل انهيارات الأبنية والحرائق.

4 ـ الحرائق:

إن التأثيرات الغير مباشرة من الإشعاع الحراري هو إحداث الحرائق (بالاشتراك مع ضغط الانفجار) وتتوقف هذه التأثيرات على قوة الرأس النووي، وعلى الظروف الجوية المحيطة بمنطقة الانفجار. إن ما يساعد على انتشار الحرائق هو أوضاع المناطق المدنية، كالأبنية العالية الكثيفة ومعها

الـوقود، وتفجـر خطوط التغـذية بـالوقـود، وتعطل الخـطوط الكهربـائية، فالصحف مثلاً يمكن أن تشتعل بالتوهـج تحت إشعاع حـراري بمستوى 5 حريرات/سم^2. وغالباً ما تقرن الأرجحيـة العاليـة لاشتعال الحـرائق في المدن، بمناطق الضغط (1–3 Psi).

إن الأضرار الناتجة عن التأثير المشترك للإشعاع الحـراري وضغط الانفجـار في معظم الأبنيـة السكنية والمكـاتب تؤخـذ مسـاحـة في حيـز (1 ــ 3) كلم عن المركز السطحي للانفجار، لذلك فإن الوقود الذي يشعل الحرائق مؤلف من الأنقاض والحطام وأنابيب الغاز وغيرها من المصادر، وقد أثبتت التجارب أنه يمكن توقـع ستة حرائق ثانوية في كل (0,1) كلم^2 من مساحة الأبنية، هذا وتنتشر الحرائق بين الأبنية بواسـطة الجمار التي تحملها الريـح، أو بواسطة التعرّض الإشعاعي أو الاشتعال المباشر، وتبيّن في هيروشيما مثلاً، أن من أصل 130 بناية احترقت 20 % منهم احترقت في ظرف 30 دقيقة بعد الانفجار، بينما لم يشتعل بعض منها إلا بعد انقضاء 15 ساعة عن طريق الجمار.

إن منطقة الضغط (2–Psi) تشكل منطقة خصبة لاشتعال الحرائق من جراء التأثير المتبادل للإشعاع الحراري وضغط الانفجار.

5 ــ الإشعاعات المؤينة:

عنـد حدوث انفجـار نووي، تنـطلق كمية من الـطاقة على شكـل إشعـاعات مؤينـة وكهـرومغنـاطيسيـة. والإشعـاع المؤين لـه من الأضـرار البيولوجية ما يجعل باستطاعته إحداث عواقب وخيمة برغم من حجم الطاقة القليل الذي يستأثر بها حوالي 15 % من طاقة الانفجار[120] وتتحول هذه الطاقة إلى الأنواع التالية من الإشعاع:

---

(120) الإشعاع النووي، سعود رعد، ص 28.

1 ـ الإشعاع النووي الابتدائي Initial Nuclear Radiation إن انفجار قنبلة نووية يسبب الكثير من الإشعاعات النووية التي تتألف من نيوترونات وأشعّة جاما، وجسيمات ألفا وبيتا والأشعة السينية، وترسل هذه الاشعاعات من الكرة النارية والغيوم المشعّة خلال الدقيقة الأولى بعد الانفجار[121].

وقد تم اختيار هذه الفترة على أساس أن المدى الفعّال لأشعة جاما الناتجة على الانشطار النووي بقوة 20 كيلو/طن هو حوالي 3,2 كلم، لأن أشعة جاما الناتجة عن انفجار أعلى من ذلك فوق الأرض سوف يمتص في طبقات الجو.

إن الكرة النارية لانفجار في الهواء، ترتفع بسرعة في الهواء البارد المجاور، فتصل إلى مستوى 3,2 كلم في حوالي دقيقة، وذلك من انفجار رأس نووي بقوة 20 كيلوطن فلذلك فإن اختيار فترة دقيقة هو اختياراً صائباً.

وكما سبق الذكر يوجد خمسة أنواع من الاشعاع تنطلق من الانفجار النووي:

(أ) **أشعة ألفا**: تأتي من النظائر الثقيلة المشعّة التي ترافق الانشطار مثل[122]:

$$_{88}Ra^{226} \longrightarrow {}_{86}Rn^{222} + \alpha$$

لجزيئات ألفا مدى قصير، حيث تمتص في الهواء، لذلك فإن إشعاع ألفا الأولي ليس له تأثير يذكر، إلا على مقربة من الكرة النارية نفسها. لأن أشعة ألفا هي أشعة ثقيلة، وتحمل شحنة كهربائية، وتستطيع التغلغل إلى

(121) استراتيجيا، عدد 97، مارس 1990، ص 66.

(122) تكنولوجيا الطاقة النووية، د. نبيل محمود عبد المنعم، ص 16، مركز الكتب الثقافية.

مسافة 1 مليمتر في أنسجة الجسم، وتسبب أضراراً كبيرة على الأعضاء الداخلية في حالة استنشاق هذه الدقائق مع الغبار النووي فقط[123].

(ب) **أشعة بيتا**: هي عبارة عن إلكترونات تحررت من نويات الذرّات كما هو في التحول التالي:

$$_{92}U^{239} \xrightarrow[\beta \text{ decay}]{} {}_{93}Np^{239} \xrightarrow[\beta \text{ decay}]{} {}_{94}Pu^{239}$$

وهذه الأشعة قادرة على التغلغل إلى بعض المليمترات في الجسم البشري، وخطرها الرئيسي يحدث في حالة استنشاق الغبار الذرّي المتساقط وبهذا فإن كمية الإشعاع سوف تتسرب إلى الأعضاء الداخلية الحساسة بدلاً من الجلد الذي لا يكون حساساً بشكل مؤثر لهذه الأشعة[124].

(ج) **الأشعة السينية**: تنطلق الأشعة السينية من الكرة النارية والتي تعمل بنظام شبيه بعمل الصندوق الأسود في الكشافة السينية، إلى أن هذه الأشعة سرعان ما يمتصها الجو المحيط، ويكون مصدر الأشعة السينية من خارج نواة الذرّة[125].

(د) **النيوترونات**: إن النيوترونات هي إحدى التراكيب الرئيسية في بناء الذرّة وهي لا تحمل أية شحنة كهربائية، وهذا يساعدها على التغلغل بعمق داخل أنسجة الجسم وفي حال امتصاصها من قبل نواة ذرّة أخرى داخل

---

(123) التلوث وحماية البيئة، دكتور محمد العودات، الأهالي للطباعة والنشر والتوزيع، دمشق 1988، ص 108.

(124) SNB Atomic Physics, Hans Frauen Felder. Ernest M. Henley, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1984, p. 453.

(125) علم السموم الحديث، دكتور عبد العظيم سمور سلهب، ماضي توفيق الجغبير، منير ناصر غرايبه، منيب موسى الساكت، دار المستقبل للنشر والتوزيع ـ عمان، 1990، ص 86.

الجسم، فإنها تجعل تلك الذرّة في وضع متهيّج وغير مستقر وإشعاعية النشاط والفعالية وبذلك تشكل خطراً إشعاعياً إضافياً.

إن حوالي 99 % من النيوترونات تنطلق من عملية الانشطار، في غضون جزء من مليون من الثانية وهي تشكل النيوترونات الفورية. أما نسبة 1 % من النيوترونات ينطلق مؤخراً (معظمه خلال الدقيقة الأولى التي تلي الانفجار). والتي لا تأخذ دورها في العملية الانشطارية، فتستأثر بمعظم النيوترونات المنطلقة أثناء الانفجار مواد غلاف المتفجرة النووية لتصبح هذه المواد بالتالي ذات نشاط إشعاعي، ويتناسب مجموع الكمية من النيوترونات الفورية المنطلقة، مع قوة الرأس النووي.

يتناقص دفق النيوترونات مع مربع المسافة عن المصدر، على أساس وحدة المساحة، ولكن النيوترونات تتضاءل كذلك بسبب امتصاص الهواء لها. وأكدت التجارب أن نسبة 90 % من النيوترونات تمتص على مسافة 600 متر تقريباً[126]، ويمكن أن تختلف هذه النسب تحت تأثير كثافة الهواء وقوة الرأس المتفجّر. وتعطي الانفجارات الهوائية كمية من النيوترونات ضعف ما تعطيه الانفجارات السطحية (لأن الأرض تمتص 50 % من النيوترونات) في الانفجارات السطحية.

ونستطيع القول إن نسبة تأثير النيوترونات تتناقص مع المسافة بأسرع من تناقص آثار الضغط الانفجاري وآثار الإشعاع الحراري.

(هـ) أشعة جاما: لها قوة اختراق شديدة فهي بذلك تشكل أخطر الإشعاعات على جسم الإنسان. وتصدر أشعة جاما عن عدد من المنابع بعد الانفجار وأثناءه وهي:

---

(126) الشتاء النووي، ص 100.

ـ تصدر أشعة جاما الفورية عن عملية الانشطار نفسها، وتكون في أوج قوتها، ولكن معظمها يمتص داخل القنبلة.

ـ تصدر من الطاقة الفائضة المتحولة من اصطدام النيوترونات السريعة مع النوى في حطام القنبلة في الهواء والذي يتحول جزء من الطاقة الحركية لزيادة مستوى طاقة النوى حيث تصدر هذه الطاقة كمية فائضة تتحول على شكل أشعة جاما.

ـ تصدر من النواة التي أصيبت بالنيوترون وأصبحت غير مستقرة وحيث أن النيوترون بطيىء وحيث أن طاقته غير كافية لشطر النواة، فلذلك تطلق الأشعة الزائدة على شكل أشعة جاما، وتشكل هذه النسبة العالية من أشعة جاما التي تنطلق من الانفجار النووي وبجميع الاتجاهات.

ـ تصدر أشعة جاما عن المواد الانشطارية باستمرار، وهي تشكل المصدر الرئيسي للنشاط الإشعاعي الأولي والمتأخر الصادر عن الغبار الذرّي. وخطورة هذه المجموعة من أشعة جاما بأنها تطلق على بعد معين من الانفجار بعد مرور موجة الضغط التي تنتقص من الضغط الهوائي. وبالتالي تقلّل كثيراً من امتصاص الجو لأشعة جاما، وهذا ما يؤدي إلى زيادة تأثير أشعة جاما الصادر عن المواد الانشطارية، ويكون عامل الزيادة 2 ـ 5 % في المئة كيلو طن.

تتضاءل أشعة جاما في الهواء كلما ابتعدنا عن مصدر الانفجار، ولكنها ليست بنفس سهولة النيوترونات. ويعتقد الباحثون أن مقادير أشعة جاما من الانفجار في الهواء، هي 400 راد على مسافة 1,8/كلم بالنسبة لقوة 100 كيلو طن. ومصدر أشعة جاما هو نواة غير مستقرة، تطلق طاقتها لتصل إلى حالة الاستقرار[127].

(127) علم السموم الحديث، ص 86.

6 ـ وحدات قياس الإشعاع

يوجد فوضى في مجال استعمال الوحدات القياسية للإشعاع، فليس هناك نظام عالمي متفق عليه ومطبق في جميع بلدان العالم. وتعتمد وحدات الإشعاع على مقدار الطاقة الناتجة، ويعبر عنها بالإلكترون ڤولت. والإلكترون ڤولت هو مقدار الطاقة التي يكتسبها إلكترون بفعل تسارعه تحت جهد كهربائي مقداره ڤولت واحد (1.e.v.) وعادة تكون وحدة القياس هي كيلو إلكترون ڤولت (Kev) أو ميغا إلكترون ڤولت (Mev). هذا وتستخدم عدة وحدات لقياس مدى التعرّض للإشعاعات ولكل من هذه الوحدات دلالتها الخاصة.

ويعرف التعرّض للإشعاع بكونه قابلية مقدار معين من الإشعاع، لإيجاد أزواج من الأيونات في الهواء.

أما وحدات القياس فهي:

(أ) الكوري (**Curie**): هي وحدة قياس تستخدم لقياس النشاط الإشعاعي بعد الانحلالات (Disintegration) في الثانية في مصدر مشعّ.

1 كوري = 37 مليار انحلال في الثانية ويساوي نشاط غرام واحد من الراديوم 226.

(ب) البيكريل (**Becquerel**): وهو يوازي انحلال واحد في الثانية.

1 كوري = $3,7 \times 10^{10}$ بكريل.

(ج) الراد (**Rad**): يقيس الجرعة المتناولة، أي كمية الطاقة الممتصة من قبل وحدة كتلوية من المادة. وتحدد وحدة راد بامتصاص 100 إرغ في كل غرام من المادة المشعّة في الثانية، إن مستوى وحدات راد يتوقف على الوسط الماص كما على الإشعاع. ولا تكفي وحدة راد لوحدها تحديد

التأثيرات البيولوجية التي تتعلق بنوعية الإشعاع (α؛ β؛ α) أو نيوترونات. ونستطيع القول أن الراد تصف ما يحدث عند امتصاص الأشعة من قبل مادة معينة، وهو ما يسمى **بالجرعة الممتصة من الأشعة**.

(د) الرونتجين (Rontgen): هو الكمية من أشعة جاما أو الأشعة السينية التي تنتج شحنة مجموعها كولومب واحد في كيلوغرام واحد من الهواء تحت حرارة وضغط عاديين (2×10^9 من أزواج الأيونات في كل سم^3 من الهواء). والكولومب هو وحدة الشحنة الكهربائية التي تساوي واحد أمبير/الثانية.

إن وحدة رونتجين تقيس مدى التأين الناتج عن مرور الأشعة خلال وسط ما، ويطلق على عدد الرونتجات **كمية التعرض للأشعة**.

(هـ) الرم (Rem): وهي وحدة قياس مدى التلف **البيولوجي الناتج عن التعرّض للأشعة**، وتدعى الكمية المقاسة بالجرعة المكافئة أو الجرعة الإشعاعية.

إن مقدار راد واحد من الأشعة السينية أو أشعة جاما ومعظم أشعة بيتا، يعادل جرعة مكافئة مساوية لرم واحد. أما بالنسبة للأنواع الأخرى من الأشعة، يمكن استعمال عامل التأثير البيولوجي ويسمى أيضاً الفعالية البيولوجية النسبية (RBE) وتبلغ قيمة هذا العامل (10) لجزيئات ألفا والنيوترونات ذات الطاقة العالية. وقيمته تبلغ للأنوية المرتدة الثقيلة ما يقرب من (20).

فلذلك فإن مقدار راد واحد من جرعة ألفا يسبب نفس الضرر الذي يسببه (10) راد من أشعة جاما. في حالة الإشعاع الأولي المؤين، يعول على أشعة جاما والنيوترونات أن تحدث الإصابات، وهكذا فإن وحدة راد تساوي وحدة رم[128].

(128) علم السموم، ص 89.

7 ـ جرعة الإشعاع: Dose

ويرمز إليها بحرف (D) ويعبر عنها رياضياً كما يلي:

$$D = \frac{E}{V} \text{ erg/cm}^3$$

حيث أن D: ـ جرعة الإشعاع.

E: ـ كمية الإشعاع الممتص.

V: ـ حجم المادة.

ولقياس معدل الجرعة باعتبار D جرعة الإشعاع المختص يمكن حسابها بالمعادلة التالية:

$$P = \frac{D}{T} \longleftarrow P = \frac{E}{T.V} \text{ erg/cm}^3\text{.sec}$$

أي إن معدل الجرعة $= \frac{\text{كمية الإشعاع الممتص}}{\text{الوقت} \times \text{حجم المادة}}$

حيث أن P ـ معدل جرعة الإشعاع Dose rate.

D ـ جرعة الإشعاع (وحدة حجم للمادة المشعّة).

T ـ الوقت.

8 ـ الآثار البيولوجية للإشعاعات:

عند سقوط كمية من الإشعاعات الضوئية أو الحرارية على المادة تنتقل طاقة هذه الإشعاعات إلى المادة فترفع من درجة حرارتها، ولا يحدث ذلك للإنسان الذي ينظم درجة حرارة جسمه من خلال تبخر المياه من داخل جسمه. أما بالنسبة للإشعاعات المؤينة فلا يحس بها الإنسان بسبب قدرة هذه الأشعة على اختراق الجسم[129] وهذا ما يؤدي إلى إحداث تداخل بين الأشعة والخلية فتحدث أمور مدمرة للخلية حيث يتأين الماء داخلها.

---

(129) التلوث وحماية البيئة، دكتور محمد العودات، الأهالي للطباعة والنشر والتوزيع، 1988، ص 114 ـ 115.

حسب المعادلات التالية:

$$\text{Ionizing Radiation} + H_2O \rightarrow (H_2O)^+ e^-$$

$$e^- + H_2O \longrightarrow (H_2O)^-$$

وبعد ذلك يتحلل كل من $(H_2O)^+$ و$(H_2O)^-$ إلى جزور حرة (Free Radicals) كما في المعادلات التالية:

$$(H_2O)^+ \longrightarrow H^+ + OH$$

$$(H_2O)^- \longrightarrow H + OH^-$$

وتعيش الجزور $(H^+، OH^-)$ لفترة قصيرة قبل أن تدخل في تفاعلات كيميائية مع البروتونات والأنزيمات، والأحماض النووية، والدهون. وهذا يؤدي إلى إحداث تغييرات كيميائية، تؤدي بدورها إلى إحداث تغيير في تركيب ووظيفة الخلية، خلال ثواني قليلة، ويمكن أن ينتج عن هذا موت الخلية أو منع انقسامها أو تأخيرة أو زيادة معدل نموها وانقسامها أو حدوث تغييرات مستديمة في الخلية تنتقل وراثياً عند انقسام الخلية. ويوجد في جسم الإنسان ثلاثة أجهزة رئيسية تتأثر بشكل عام من التغيير المحدث على الخلية وهي: الجلد، والجهاز الهضمي والدم وتختلف هذه الأجهزة في مدى حساسيتها للأشعة، وعند التعرض لجرعة 300 راد يحدث انخفاض سريع في مكونات الدم، وتبدأ الخلايا اللمفاوية بالاختفاء (إن وصول كميات قليلة من الأشعة (1) راد فقط قادر على إيذاء الخلايا[130] اللمفاوية (Lymphocytes) والمسؤولة عن المناعة لدى الإنسان) وقد تحدث الوفاة من التعرّض للأشعة لأسباب كالنزف (Hemorrhage) والأنتانات (Infection). ومع زيادة جرعة تعرّض الجسم إلى الإشعاع تزداد خطورة

(130) حقائق عن الحرب النووية، ص 49.

إصابة الجهاز الهضمي. فالقناة الهضمية في الإنسان هي منطقة ذات خلايا سريعة التوالد والانقسام وعليه فإن أضرار الإشعاع تكون مباشرة في هذه الأجزاء وسرعان ما تظهر أعراض الإصابة، حيث يحدث تلف في الخلايا التي تكون المحيط الضهاري للجهاز الهضمي (Epithelial Lining of Gut) وهذا ما يؤدي إلى إسهالات شديدة وتقرحات ونزف وانتانات. وتشكل طبقات الجلد مجموعة أخرى من الخلايا الحساسة لفعل الأشعة إلا أنها ذات مقاومة نسبية أكثر، وتعيش لفترة أطول، لذلك لا تحدث مشاكل كبيرة في الجلد في حالات التعرّض الحاد.

9 ـ تأثير الأشعة على التناسل:

إن خلايا بذور النطفة (Spermatogonial Cells) في الخصية من الخلايا حساسة لتأثيرات الأشعة فتعرّض الخصيتين لجرعة حادة من الأشعة تبلغ 600 راد يسبب عقماً دائماً (Permanent Sterility) في غالبية المصابين. وعند التعرّض لجرعة أقل تحدث عقم لفترات مؤقتة بين الأشخاص المعرضين.

أما بالنسبة للجهاز التناسلي عند المرأة فهو يقاوم الأشعة أكثر من الجهاز التناسلي عند الرجل، إذ يبلغ درجة تحمله حتى يحدث العقم عند النساء المصابات بالأشعة حتى 3000 راد. وتتناقص هذه الجرعة مع ازدياد العمر عند النساء لتصل إلى 625 راد، وسبب هذه المقاومة النسبية للجهاز التناسلي عند المرأة يعود إلى عدم وجود انقسام لخلايا الجهاز التناسلي للمرأة، مقارنة بالجهاز التناسلي للرجل.

10 ـ تأثير الأشعة على الجنين:

تؤكد جميع البحوث أن الإنسان في مراحل نموّه المبكرة أكثر عرضة للموت تحت تأثير الإشعاع، من أي مرحلة أخرى، أن الجرعة المؤدية إلى

موت الجنين تساوي أقل من ثلث الجرعة اللازمة لموت البالغ من العمر، ويمكن أن تحدث الأشعة تشوّهات خلقية في الأجنة، نظراً لما تشهده الخلايا من الانقسامات السريعة. إن التعرّض للأشعة المؤينة بعد الثلث الأول من الحمل قد يؤدي إلى صغر حجم رأس المولود وإلى تخلّف عقلي حتى لو لم يزيد التعرّض للجرعة عن (25) راد. ولقد أثبتت التجارب أن الخطر النسبي للإصابة بالسرطان قد يصل إلى حوالي 5 % عند الأطفال الذين يتعرّضون لراد واحد أثناء كونهم أجنّة في الثلث الأول من الحمل، وتصل النسبة إلى 1,5 % عند التعرّض بعد الثلث الأول.

11 ـ قدرة الأشعة على السرطنة:

لقد ثبت علمياً، أن الأشعة تستطيع أن تسبب سرطاناً في معظم أنسجة الجسم. والسرطان هو عبارة عن تكاثر الخلايا في العضو المعين بمعدل أكبر من المعدّل الطبيعي ويعتقد البعض أنه ناتج عن تلف جهاز التحكم في الخلية مما يؤدي إلى انقسامها بمعدل سريع، حيث تحمل الخلايا الوليدة نفس الصفة فتنقسم بدورها بنفس هذا المعدّل السريع مما يؤدي إلى تكوين نسيج سرطاني يضر بالأنسجة العادية في العضو المعين[131].

هذا وقد أثبتت التجارب حدوث نسبة من الإصابة بسرطان الدم عند اليابانيين الباقيين على قيد الحياة بعد انفجار قنبلة هيروشيما، وكانت هذه النسبة تعتمد على معدل جرعة الإشعاع، وكانت النتائج كالآتي: انظر جدول رقم ـ 6.

12 ـ المستويات الخطيرة للإشعاع:

نستطيع القول إن الإشعاع مهما صغرت أو كبرت نسبة التعرّض له يكون خطراً أو مضراً للإنسان، ومن المحتمل أن تسبب السرطان خلية جينية

(131) التلوّث وحماية البيئة، ص 120.

المسافة من نقطة الانفجار (متر)	معدل جرعة الإشعاع القصوى (ريم)	عدد الباقيين على قيد الحياة	المصابون منهم	النسبة المئوية
0 ـ 1000	1300	200	18	1,5
1000 ـ 1500	500	10500	39	0,37
1500 ـ 2000	50	18700	9	0,046
2000 وما فوق	أقل من 50	67700	12	0,017

جدول رقم (6)

واحدة لو هوجمت بإحدى الجزيئات المشعّة[132]. فقد تم إثبات أن عدد من إصابات سرطان الغدة الدرقية حدثت بعد التعرض لمستويات متدنية من الإشعاع وصل إلى 6 ريم. كما ارتفعت السرطانات عند الأطفال بعد التعرّض لما بين 1 ـ 5 ريم.

ساد اعتقاد بوجود حد معين من الإشعاع لا تحدث دونه أي أضرار، وفي الثلاثينات من هذا القرن اعتمد المركز الدولي للحماية من الأشعة (CIPR) معدّل 46 ريم في السنة كحد أقصى للجرعة المحمولة لدى الإنسان العادي أو المسموح بالتعرّض لها. وفي سنة 1956 أصبح معدّل 5 ريم يمثل الجرعة القصوى السنوية المسموح بها. أما في سنة 1958، فقد اعتبر المجلس الوطني للحماية من الأشعة (NCPR) في الولايات المتحدة أن نسبة (0,5) ريم تشكل المعدّل السنوي الطبيعي للأشخاص العاديين. بينما خفض المركز الدولي هذه النسبة إلى (0,17) ريم في السنة. في سنة 1977 وضعت وكالة حماية البيئة (Enviromental Protection Agency)

(132) أخطار التسرّب الإشعاعي من المفاعلات النووية على البشر، استراتيجيا عدد 97، 1990، ص 66.

الحد الأقصى للجرعة المقبولة هو (0,25) ريم في السنة. في حين وضعت وكالة البحوث والتطوير للطاقة (ERDA) التابعة لوزارة الطاقة الأمريكية أن مقدار (0,005) ريم من الإشعاع في السنة يمثل المعدّل الطبيعي المقبول للأشخاص المجاورين للأمكنة النووية.

13 ـ المستويات الأمريكية للإشعاع:

تعتمد الولايات المتحدة الأمريكية على نتائج الإصابة من الإشعاعات ذات المدى القريب وعلى افتراض أن كامل الجسم تعرّض لجرعة فجائية من الأشعة. أما النتائج ذات المدى البعيد مثل السرطانات في الغدة الدرقية، والرئة، والصدر، والكبد، والكلى، والعظم، وفقدان المناعة لمقاومة الالتهابات، والتشوّه الجيني والوراثي، وتدمير جدران الإمعاء فهي ليست ذو أهمية في هذه المستويات. ومقادير هذه المستويات في الجدول التالي[133]: انظر جدول رقم 7.

14 ـ الغبار الذرّي:

يعتبر التساقط (Fallout) النووي كنتيجة من بين النتائج التي تصدر عن الانفجار النووي، وهو على نوعين التساقط المبكر أو المحلي للغبار الذرّي والذي يصل إلى الأرض خلال اليوم الأول، وهو عبارة عن تساقط الجزيئات الملوثة بالمواد المشعّة على الأرض خلال الأربع وعشرين ساعة الأولى من الانفجار. أما الجزيئات الخفيفة الطوافة التي تبقى في الأجواء لأمد بعيد، فهي تسافر مع حركة الرياح وتقطع المسافات الشاسعة، ويطلق عليها بالتساقط العالمي حيث تتحكم بها الظروف الطبيعية والمناخية.

---

(133) مرجع سابق ـ القنبلة النيوترونية ـ ص 139.

كمية الجرعة ـ ريم ـ	المسافة من مركز الانفجار (كلم)	التأثير
0 ـ 100	32	دوخان ـ تقيؤ ـ ليست مميتة.
100 ـ 200	9,6	لا تميت فوراً.
200 ـ 600	6,4	ينقص عدد لكريات البيضاء بشدة ـ تبرقع الجلد بين أربعة إلى ستة أسابيع احتمال الموت 50 ٪.
600 ـ 1000	4 ـ 0,8	ينقص عدد الكريات البيضاء بشدة أكبر ـ تبرقع الجلد ـ عوارض حادة في الأحشاء. بين أربعة أسابيع إلى ستة أسابيع احتمال الموت من 80 ٪ إلى 100 ٪.
1000 ـ 5000	0,8	إسهال ـ حمأة ـ إخلال في توازن كيمياء الدم. احتمال الموت 100 ٪ بين يوم وأربعة عشر يوماً.

جدول رقم (7)

جميع التفجيرات النووية تنتج غبار ذرّي، كما أن الانفجارات التي لا تلامس الأرض تنتج غباراً ذرّياً أقل من التفجيرات النووية السطحية. وينتج معظم الغبار الذرّي عن المواد الانشطارية الناتجة عن الانشطار النووي لليورانيوم أو البلوتونيوم. ومعظم هذه المواد الانشطارية مشعّة، ويتضاءل إشعاعها مع الزمن، فلذلك يكون نشاط الغبار الذرّي الأولي شديداً جداً، ثم ينخفض بسرعة بعد ذلك.

أما أهم المواد الانشطارية فهي: انظر جدول رقم (8).

كما أنه يوجد مصدر آخر للغبار الذرّي ناتج عن تنشيط النيوترونات الصادرة عن الانفجار النووي للمواد الموجودة في الهواء، مثلاً النيتروجين يتحول إلى (كربون ـ 14) وهي مادة مشعّة، كما أن المواد الموجودة في الأرض تتأثر بالنيوترونات وتصبح مشعّة، مثل (الألمنيوم ـ 28)

المادة الانشطارية	قوة الانشطار %	نوع الإشعاع	نصف العمر	الرمز الكيميائي
باريوم ـ 140	5,7	بيتا، جاما، أشعة سينية	12,8 يوم	Ba^{140}
سيزيوم ـ 144	4,9	بيتا، جاما، أشعة سينية	284,3 يوم	
سيزيوم ـ 134	6,6	بيتا، جاما، أشعة سينية	2,06 سنة	
سيزيوم ـ 135	6	بيتا	$2,3 \times 10^6$ سنة	
سيزيوم ـ 137	6,2	بيتا	30,2 سنة	
يود ـ 129	0,9	بيتا، جاما، أشعة سينية	$1,6 \times 10^7$ سنة	
يود ـ 131	3,4	بيتا، جاما، أشعة سينية	8,04 يوم	
بروميثيوم ـ 147	2,4	بيتا	2,62 سنة	
روثينيوم ـ 103	6,6	بيتا، جاما، أشعة سينية	39,4 يوم	
روثينيوم ـ 106	2,7	بيتا	368 يوم	
سترونتيوم ـ 89	2,9	بيتا	50,6 يوم	
سترونتيوم ـ 90	3,2	بيتا	28,6 سنة	
تكنيثيوم	6,3	بيتا	$2,1 \times 10^5$ سنة	
كسينون ـ 133	5,5	بيتا، جاما، أشعة سينية	5,25 يوم	
اينزيوم ـ 91	5,8	بيتا	58,5 يوم	
زركونيوم ـ 93	6,4	بيتا	$1,5 \times 10^6$ سنة	
زركونيوم ـ 95	6,3	بيتا ـ جاما	64 يوم	

جدول رقم (8)

و (المنغانيز ـ 56) و (الصوديوم ـ 24) و (الكلور ـ 38) وكل هذه المواد تطلق أشعة بيتا مع أنصاف أعمار تتراوح بين ساعتين و 15 ساعة.

ويشمل المكوّن الآخر للغبار الذرّي حطام الأسلحة النووية مع المواد اليورانيوم أو البلوتونيوم التي لم تدخل في التفاعل وتنشطر.

15 ـ تأثير الأشعّة على المواد:

للأشعّة تأثير كبير على المواد إذ تحدث تغييرات بخصائصها. وتعتبر هذه التغييرات أحياناً مضرّة وأحياناً مفيدة، مثالاً على ذلك أن بعض المعادن اللدنة (اللينة) يمكن أن تصبح سريعة الانكسار. كما أن مواد البناء في المفاعل النووي تقع تحت تأثير الطاقة المرتفعة الصادرة عن التفاعل النووي المتسلسل مما يتسبب بتآكل هذه المواد وتفسخها، وتؤدي إلى انحلال بعضها. ومما يؤدي إلى الإقلال من المدة العملية المسموح بها لعمل المفاعل النووي.

كما أن الأشعة تؤثر بالموصلات الكهربائية وبالعازلات والمعدات الإلكترونية لشدة حساسيتها. كما أن البلاستيك المستخدم كعازل كهربائي يتلف. لذلك تشكل هذه الأضرار المشاكل الحقيقية أمام المصممين لمفاعلات النووية.

إن أهم الخصائص الهندسية للمواد الإنشائية المستخدمة في المفاعلات النووية أو في ملاجىء الوقاية من الإشعاعات النووية هي مقاومة المرونة (Yeild Strength)، مقاومة الشد أو التوتر (Tensile Strength)، واللدانة (Ductility)، والاتزان البعدي (Dimensional Stability) والزحف (Creep) ومقاومة الصدمة (Impact Resistance) والصلابة (Hardness) والموصلية الحرارية (Thermal Conductivity) وحمل الاجهاد (Stress Load).

إن امتصاص المواد للأشعة وتأثرها بها يمكن أن نبيّنه بالجدول التالي:

نوعية المواد	تأثرها بالإشعاع
1 ــ زجاج	يتلون
2 ــ مياه وسوائل معدنية	تحوّلات غازيّة
3 ــ مطاط طبيعي واصطناعي	تدنّي في المرونة
4 ــ سوبولي اثيلين	تدنّي في مقاومة الشد
5 ــ زيوت هيدروكربونية	ارتفاع في اللزوجة
6 ــ معادن	ارتفاع في مقاومة المرونة
7 ــ الفولاذ الكربوني	تدنّي في مقاومة الصدمة
8 ــ بولستيرين	تدنّي في مقاومة الشد
9 ــ سيراميك	تدنّي في الكثافة والبلورة
10ــ بلاستيك	غير قابل للاستعمال كمواد إنشائية
11ــ الفولاذ الغير قابل للصدأ	ثلاث أضعاف مقاومة المرونة وتدنّي في اللدانة
12ــ الألمنيوم (السبائك)	تدنّي في اللدانة

جدول رقم (9)