برنامج الأمم المتحدة للبيئة

الإشعاع
الآثار والمصادر

ما هو الإشعاع؟
ما هي آثار الإشعاع علينا؟
ما هي مصادر الإشعاع؟

برنامج الأمم المتحدة للبيئة

برنامج الأمم
المتحدة للبيئة

الإشعاع
الآثار والمصادر

ما هو الإشعاع؟
ما هي آثار الإشعاع علينا؟
ما هي مصادر الإشعاع؟

برنامج الأمم المتحدة للبيئة

إخلاء المسؤولية

يعتمد هذا المنشور إلى حدٍ كبير على النتائج التي توصلت إليها اللجنة العلمية للأمم المتحدة المعنية بآثار الإشعاع الذرِّي (UNSCEAR)، وهي هيئة فرعية تابعة للجمعية العامة للأمم المتحدة. برنامج الأمم المتحدة للبيئة يوفر لها الأمانة. هذا المنشور لا يمثل بالضرورة وجهة نظر اللجنة العلمية (UNSCEAR) أو برنامج الأمم المتحدة للبيئة.

التسميات المستخدمة وطريقة عرض المواد في هذا المنشور لا تعني التعبير عن أي رأي مهما كان من جانب برنامج الأمم المتحدة للبيئة بشأن الوضع القانوني لأي بلد أو إقليم أو مدينة أو منطقة أو لسلطاتها أو بشأن تعيين حدودها أو تخومها.

يمكن إعادة إنتاج هذا المنشور جزئياً، وبأي شكل من الأشكال لأغراض علمية أو لا تبغى الربح، ومن دون الحصول على إذن خاص من الناشر والطابع، على أن يتم تقديم شكر وعرفان للمرجع. وسوف يقدّر برنامج الأمم المتحدة للبيئة الحصول على نسخة من أي وثيقة تمَّ إعادة إنتاجها تُستخدم كمرجع.

لا يجوز إستخدام هذه المنشور بغرض إعادة البيع أو أي غرض تجاري آخر مهما كان من دون الحصول على إذن خطي مسبق من برنامج الأمم المتحدة للبيئة.

يُشجع برنامج الأمم المتحدة للبيئة الممارسات البيئية السلمية وأنشطتها عالمياً. وقد طُبعت هذه الوثيقة من الورق المُعاد تدويره، والخالي ١٠٠ ٪ من الكلور. تهدف سياسة توزيع برنامج الأمم المتحدة للبيئة للحد من إنبعاثات الكربون.

الفهرسة: الإشعاع: الآثار والمصادر، برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠١٦

ISBN: 978-92-807-3595-6

Job No.: DEW/2031/NA

حق الطبع © برنامج الأمم المتحدة للبيئة، ٢٠١٦

نسخة إلكترونية

برنامج الأمم المتحدة للبيئة

الإشعاع
الآثار والمصادر

ما هو الإشعاع؟
ما هي آثار الإشعاع علينا؟
ما هي مصادر الإشعاع؟

برنامج الأمم المتحدة للبيئة

شكر وتقدير

يَعتمد هذا الكُتيب بشكلٍ كبير على النتائج التي توصلت إليها اللجنة العلمية للأمم المتحدة المعنية بآثار الإشعاع الذرِّي، وعلى منشور برنامج الأمم المتحدة للبيئة بعنوان الإشعاع: الجرعات والآثار والمخاطر. حُرر بدايةً في عامي ١٩٨٥و١٩٩١ بواسطة **جيفري لين**.

نُشرت النسخة الأصلية من هذا الكُتيب باللغة الإنجليزية. وتمَّت الترجمة الى اللغة العربية من قبل **هيئة الطاقة الذرِّية السودانية** و**هيئة الطاقة الذرِّية المصرية**. في حال وجود أية تناقضات يتم الرجوع الى اللغة الأصلية.

التحرير التقني: **مالكولم كريك** و**فريد شنون**

التحرير النصي: **سوزان كوهين-أنجر** و**أيهان إفرنسيل**

الرسومات والتخطيطات: **ألكسندرا ديسنر-كوبفر**

وعلاوة على ذلك، قام الأشخاص الآتي ذكرهم بتقديم مساهمة وتعليقات قيِّمة على هذا الكُتيب:

لورا أندرسون، جون كوبر، سوزان كويتو-هابرساك، إيميلي فان ديفينتر، جيليان هيرت، ديفيد كينلي، فلاديسلاف كيلنر، كريستين لوسين، كاترينا نافراتيلوفا- روفينسكا، جايا موهان، فولفجانج أولريخ مولر، ماريا بيريز، شين سايجوسا، برتراند ثيرياولت، هيروشي ياسودا وأنتوني ريكسون.

تمهيد

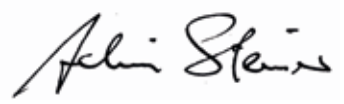
هيروشيما، ناكازاكي، ثري مايل آيلاند، تشيرنوبيل، فوكوشيما-دايتشي: أصبحت هذه الأسماء تساهم في إرتياب الجمهور من الإشعاع، سواء من إستخدام الأسلحة النووية أو الحوادث في محطات الطاقة النووية. في الواقع، يتعرض الناس بشكل يومي الى كميات كبيرة من الإشعاع من عدة مصادر أخرى، ضمنها الغلاف الجوي والأرض، بالإضافة الى التعرُّض من التطبيقات المستخدمة في الطب والصناعة.

في عام ١٩٥٥، أدت التجارب الخاصة بالأسلحة النووية الى إزدياد قلق الجمهور من تأثير الإشعاع الذرِّي على الهواء والماء والطعام. وإستجابة لذلك، عمدت الأمم المتحدة الى تأسيس اللجنة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذرِّي (UNSCEAR)، وذلك لجمع وتقييم المعلومات عن المستويات وآثار التعرُّض للإشعاع. أرسى التقرير الأول للجنة العلمية الأسس العلمية للتفاوض على معاهدة الحظر الجزئي في عام ١٩٦٣، والتي تحظر تجارب الأسلحة النووية في الغلاف الجوي. ومنذ ذلك الحين، إستمرت اللجنة العلمية في إصدار تقارير عالية المستوى عن التعرُّض للإشعاع، بما في ذلك الحوادث في محطات الطاقة النووية في تشيرنوبيل وفوكوشيما-دايتشي. وقد قدمت اللجنة بإستمرار عملاً ذا قيمة لكل من المجتمع العلمي ولصانعي القرار السياسي.

في حين أن المجتمع العلمي قد نشر معلومات كثيرة عن مصادر الإشعاع وآثاره، وتميل إلى أن تكون تقنية، وربما يصعب على عامة الناس فهمها، والتي كثيرا ما تُربك أكثر من أن تُعْلِم الجمهور، هذا يعني أن الخوف والارتباك وُلدا ويسودان منذ عقود. ويتناول هذا المنشور بالتفصيل المعلومات العلمية الحديثة للجنة العلمية (UNSCEAR) –أنواع الإشعاع ومصادره وآثاره على الانسان والبيئة– وتجعلها في متناول القارئ العام.

حالياً، تعمل أمانة اللجنة العلمية (UNSCEAR) تحت رعاية برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، والتي تساعد البلدان على تنفيذ السياسات والممارسات السليمة بيئياً. إن مساعدة الجمهور على فهم الإشعاع، وكيفية تأثيره على الحياة على هذا الكوكب، تقع ضمن الولاية الأساسية لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة.

يسرني جداً أن أهنئ جميع الذين ساهموا في هذا المنشور. بالإضافة الى أعضاء اللجنة والوفود الذين عملوا بجد على مدى العقود الستة الماضية على هذه القضايا الحَرجة.



أكيم شتاينر
المدير التنفيذي لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة

وكيل الأمين العام للأمم المتحدة

المحتويات

مقدمة ١

أولاً – ما هو الإشعاع؟ ٣

١- لمحة تاريخية ٣

٢- بعض الأساسيات ٤
التحلل الإشعاعي وأعمار النصف ٦
الوحدات الإشعاعية ٧

٣- قوة الإختراق للإشعاع ٩

ثانياً – ما هي آثار الإشعاع علينا؟ ١١

١- الآثار على البشر ١٣
الآثار الصحية المبكرة ١٤
الآثار الصحية المتأخرة ١٥
الآثار على النسل ١٨

٢- الآثار على الحيوانات والنباتات ٢٢

٣- العلاقة بين الجرعات الإشعاعية والآثار الصحية ٢٤

ثالثاً – ما هي مصادر الإشعاع؟ ٢٧

١- المصادر الطبيعية ٢٨
المصادر الكونية ٢٨
المصادر الأرضية ٢٩
المصادر من الطعام والشراب ٣٢

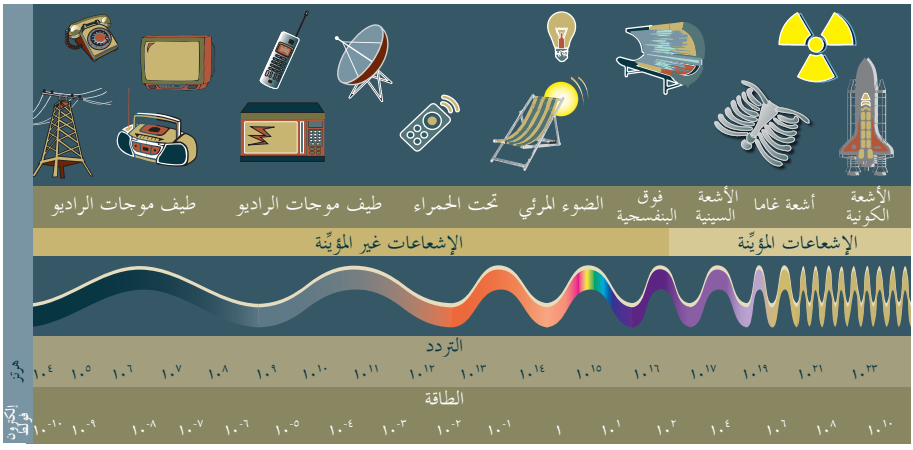
٢- المصادر الإصطناعية ٣٢
التطبيقات الطبية ٣٣
الأسلحة النووية ٣٧
المفاعلات النووية ٣٩
التطبيقات الصناعية وغيرها ٤٨

٣- متوسط تعرُّض الجمهور والعاملين للإشعاع ٥٤

مقدمة

في البداية، نحتاج لأن نفرّق بين الإشعاع المؤيِّن والإشعاع غير المؤيِّن. الإشعاع المؤيِّن يمتلك الطاقة الكافية لتحرير الإلكترونات من الذرة مما يسمح بترك الذرة مشحونة، بينما الإشعاع غير المؤيِّن مثل موجات الراديو والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية، لا يمتلك هذه الطاقة الكافية. يتناول هذا المنشور الآثار الناجمة عن التعرُّض الإشعاعي من كِلا المصادر الطبيعية والإصطناعية، وتشير كلمة الإشعاع في هذا المنشور الى الإشعاع المؤيِّن فقط.

أمثلة على تطبيقات مختلفة تستخدم الإشعاع



الإشعاعات غير المويِّنة ليس لديها ما يكفي من الطاقة–مقاسة بالإلكترون فولط–لإحداث تغييرات في الذرات او الجزيئات.

في الوقت الحاضر، نعرف الكثير عن المصادر وآثار التعرُّض للإشعاع أكثر من أي عامل خطير أخر تقريباً، ويعمل المجتمع العلمي بشكل ثابت على تحديث وتحليل معرفته. معظم الناس هم على بيِّنة من إستخدام الإشعاع في إنتاج الكهرباء من الطاقة النووية أو في التطبيقات الطبية. بالإضافة الى ذلك، هناك العديد من الإستخدامات الأخرى للتكنولوجيا النووية في الصناعة والزراعة والبناء والبحوث وغيرها من المجالات التي لا تكاد تُعرف على الإطلاق. بالنسبة للشخص الذي يقرأ عن الموضوع للمرة الأولى، قد يأتي ذلك بمثابة مفاجأة له من أن مصادر الإشعاع التي تسبب في أكبر تعرُّض للجمهور العام، ليست بالضرورة تلك التي تجذب أكبر قدر من الإهتمام. ففي الواقع، التعرُّض الأكبر يحدث بسبب المصادر الطبيعية الموجودة في البيئة، والنصيب الأكبر من التعرُّض من المصادر

الإصطناعية عالمياً هو بسبب إستخدام الإشعاع في الطب. علاوة على ذلك، ومن الخبرة اليومية كالسفر جواً، والعيش في بيوت معزولة بشكل جيد في أجزاء معينة من العالم يمكن أن تزيد نسبة التعرُّض للإشعاع بشكل كبير.

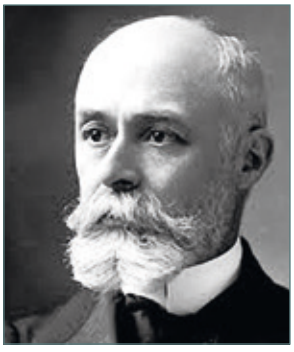
هذا المنشور هو محاولة من خلال برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) وأمانة اللجنة العلمية (UNSCEAR) للمساعدة في رفع الوعي وتعميق مفهوم المصادر والمستويات وآثار التعرُّض للإشعاع المؤيِّن. فقد تمَّ جذب علماء رائدين من ٢٧ دولةً عضو في الأمم المتحدة، وتمَّ تعيين اللجنة العلمية (UNSCEAR) من قبل الجمعية العامة للأمم المتحدة في عام ١٩٥٥، لتقييم التعرُّض للإشعاع، آثاره ومخاطره على نطاق عالمي. ولكنها لم تضع او توصي بمعايير السلامة، بل توفّر المعلومات العلمية التي تمكّن السلطات الوطنية وهيئات أخرى من القيام بذلك. كانت التقييمات العلمية للجنة العلمية (UNSCEAR) على مدى الستين عاماً الماضية هي المصدر الرئيسي للمعلومات لهذا المنشور.

أولاً – ما هو الإشعاع؟

لكي نستطيع التحدث عن المستويات والآثار ومخاطر التعرُّض للإشعاع، نحتاج أولاً لتوضيح بعض أساسيات علم الإشعاع. النشاط الإشعاعي والإشعاع الناتج كلاهما كانا موجودين على الأرض قبل فترة طويلة من ظهور الحياة عليها. في الواقع، إن الإشعاع موجود في الفضاء منذ بداية الكون، وكانت المادة المشعة جزء من الأرض وتشكيلها. إكتشفت البشرية للمرة الاولى هذه الظاهرة الكونية في السنوات الأخيرة من القرن التاسع عشر، وما زلنا نتعلم طرق جديدة لإستخدامها.

١- لمحة تاريخية

في عام ١٨٩٥، إكتشف العالم الألماني **ويليام كونراد رونتجن** الإشعاع، وأطلق عليه إسم الأشعة السينية، التي يُمكن إستخدامها للنظر في جسم الإنسان. بشَّر هذا الإكتشاف بالإستخدامات الطبية للإشعاع، والتي آخذة في التوسع منذ ذلك الحين. مُنِح رونتجن جائزة نوبل الأولى للفيزياء في عام ١٩٠١، وذلك تقديراً للخدمات غير العادية التي قدمها للبشرية. وبعد عام من إكتشاف رونتجن، وضع العالم الفرنسي **هنري بكريل** بعض الألواح الفوتوغرافية بعيداً في درج مع بعض الفتات المعدنية التي تحتوي اليورانيوم، وعندما قام بمعالجة هذه الألواح تفاجأ أنها تأثرت بالإشعاع. تُسمى هذه الظاهرة بالنشاط الإشعاعي، وتَحدث عندما تطلق الطاقة من الذرة بشكل تلقائي، وتُقاس اليوم بوحدة البكريل بعد هنري بكريل. وبعد ذلك بوقت قصير، قامت الكيميائية الشابة **ماري سكلودوفسكا-كوري**، بالبحث أبعد من ذلك، وكانت الأولى التي تصك كلمة النشاط الإشعاعي. وفي عام ١٨٩٨، إكتشفت ماري كوري وزجها **بيير كوري** أن اليورانيوم يعطي إشعاع، وفي ظروف غامضة يتحول الى عنصر آخر، وأطلقوا عليه اسم البولونيوم نسبة الى بلدها الأصل، وعنصر آخر أطلقوا عليه اسم العنصر "المُشرق."



هنري بكريل (١٨٥٢-١٩٠٨)

ماري كوري (١٨٦٧-١٩٣٤)

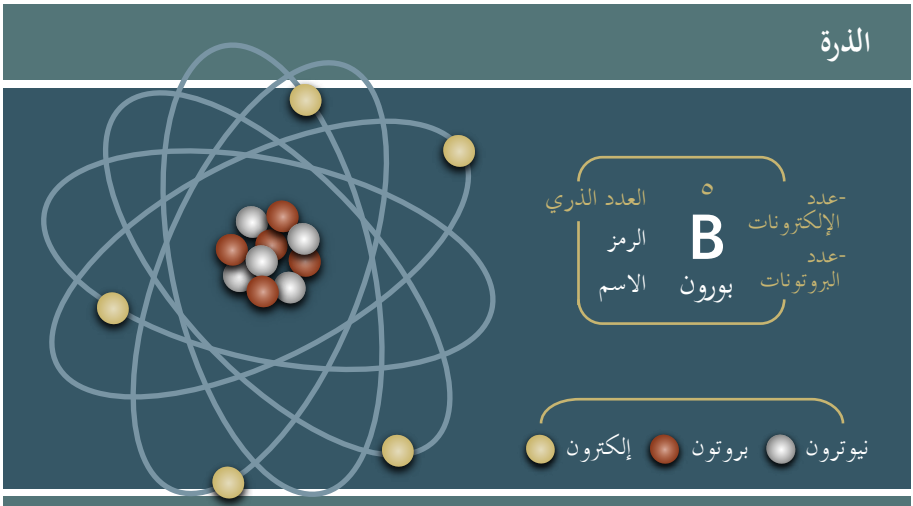
ويليام رونتجن (١٨٤٥-١٩٢٣)

شاركت ماري كوري كِلا من بيير كوري وهنري بكريل جائزة نوبل للفيزياء في عام ١٩٠٣. وكانت أول امرأة تفوز بجائزة نوبل للمرة الثانية، وذلك في عام ١٩١١عن إكتشافاتها في مجال الكيمياء الإشعاعية.

٢- بعض الأساسيات

سعى العلماء لفهم الذرة، وعلى وجه الخصوص بُنيتها. نعلم الآن أن الذرات تمتلك نواة متناهية في الصغر، وذات شحنة موجبة محاطة بسحابة من **الإلكترونات** ذات شحنات سالبة. وتمثل النواة فقط مئة ألف من حجم الذرة ككل، لكنها كثيفة جداً لدرجة أنها تمثل تقريباً معظم كتلة الذرة.

بشكلٍ عام، النواة هي تركيبة عنقودية من جسيمات **البروتونات والنيوترونات** تتعلق بإحكام ببعضها البعض. تمتلك البروتونات شحنة كهربائية موجبة بينما النيوترونات متعادلة الشحنة. ويتم تحديد العناصر الكيميائية من قبل عدد من البروتونات في ذراتها (على سبيل المثال، يمتلك البورون ذرة ذو ٥ بروتونات واليورانيوم يمتلك ذرة ذو ٩٢ بروتون). والعناصر التي لديها نفس العدد من البروتونات، ولكنها مختلفة في عدد النيوترونات تسمى نظائر (على سبيل المثال، يختلف كلا من اليورانيوم-٢٣٥ واليورانيوم-٢٣٨ في ثلاثة نيوترونات في نواة كلا منهما). الذرة ككل هي عادة لا موجبة ولا سالبة لأنها تحتوي على نفس العدد من الإلكترونات السالبة والبروتونات موجبة الشحنة.

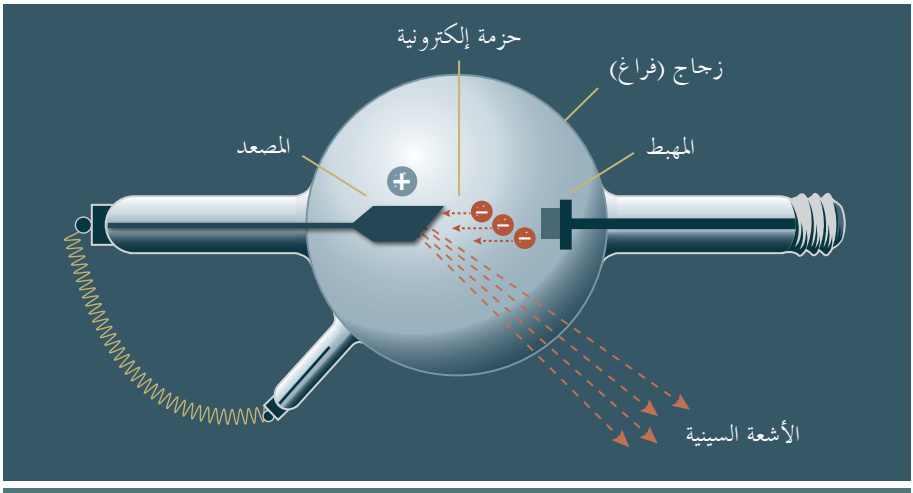


تتكون الذرة من نواة تحتوي على نيوترونات غيرمشحونة، وبروتونات موجبة الشحنة، محاطة بسحابة من الإلكترونات السالبة الشحنة. وفي الذرات غير المشحونة، يتساوى عدد الإلكترونات مع عدد البروتونات، وهذا العدد يمثل العدد الذري للعنصر.

بعض الذرات مستقرة طبيعياً، بينما البعض الاخر غير مستقر. والذرات التي لديها نواة غير مستقرة – والتي تتحول بشكل تلقائي باعثة طاقة في شكل إشعاع – تُعرف **بالنويدات المُشعة**. حيث تستطيع هذه الطاقة أن تتفاعل مع ذرات أخرى، وتقوم بتأيينها. إن **التأين** هو العملية التي من خلالها تصبح الذرات مشحونة إيجاباً أو سلباً عن طريق إكتساب او فقد الإلكترونات. ويمتلك الإشعاع المؤيِّن الطاقة الكافية لكي يقتلع الإلكترونات من مداراتها مما يؤدي الى خلق ذرات مشحونة تسمى بالأيونات. إنبعاث بروتونين ونيوترونين يشار إليه على أنه **تحلل ألفا**، وإنبعاث الإلكترونات يشار إليه على أنه **تحلل بيتا**. وبصورة متكررة، تُشحَن النواة غير المستقرة لدرجة أن إنبعاث الجزئيات غير كافية لكي تهدأ. حينئذ، تعطي طاقة هائلة في شكل موجات كهرومغناطيسية، مثل الفوتونات تسمى **أشعة غاما**.

تُعتبر **الأشعة السينية** أيضاً أشعة كهرومغناطيسية مثل أشعة غاما، ولكن بطاقة أقل. وينتج طيف الأشعة السينية بطاقات مختلفة في أنبوب مُفرغ مصنوع من الزجاج، عندما تنبعث حزمة الإلكترونات بواسطة **المهبط** مُطْلقة على مادة الهدف التي تسمى **المصعد**. وبالتالي، إن الأشعة السينية تُنتج بشكل مُصطنع وتحديداً عندما تتطلب الحاجة الى ذلك، وهذا أمر مفيد جداً في التطبيقات الصناعية والطبية.

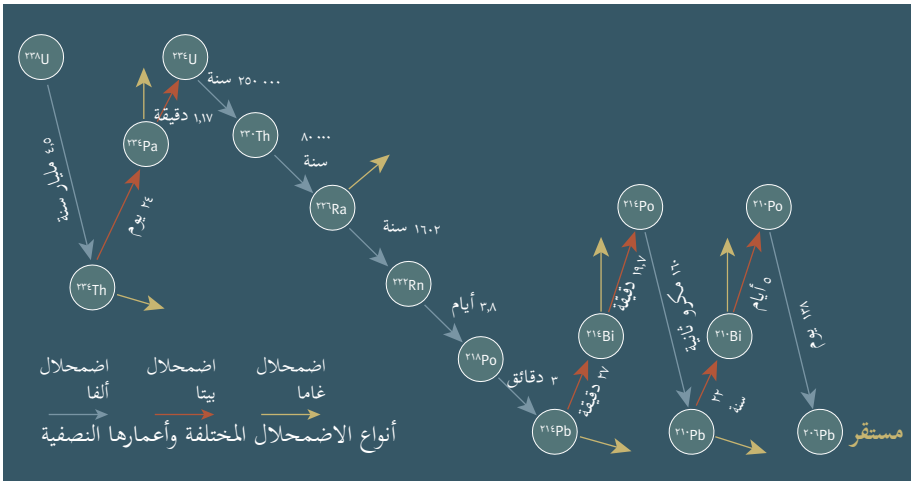
أنبوب الأشعة السينية



التحلل الإشعاعي وأعمار النصف

في حين أن جميع النويدات المُشعة هي نويدات غير مستقرة، إلا أن البعض منها غير مستقر أكثر من الاخرين. على سبيل المثال، الجسيمات في نواة ذرة اليورانيوم-٢٣٨ (ذو ٩٢ بروتون و١٤٦ نيوترون) قادرة على التجمع فقط مع بعضها البعض. وفي نهاية المطاف حزمة من بروتونين ونيترونين سوف تنفصل وتترك الذرة على أنها جسيمات ألفا، ومن ثم يتحول اليورانيوم-٢٣٨ الى ثوريوم-٢٣٤ (ذو٩٠ بروتون و١٤٤نيوترون). لكن الثوريوم-٢٣٤ هو أيضاً غير ثابت، ويتحول بطريقة مختلفة باعثاً إلكترونات بطاقة عالية في صورة جسيمات بيتا، ومحولاً النيوترون الى بروتون، ليصبح بروتكتينيو-٢٣٤ (ذو ٩١ بروتون و١٤٣ نيوترون)، وهو بدوره غير مستقر للغاية وسرعان ما يصبح يورانيوم-٢٣٤. وهكذا، تستمر الذرة في ذرف الجسيمات مُحوّلة نفسها حتى ينتهي بها المطاف الى الرصاص-٢٠٦ ذو ٨٢ بروتون و١٢٤ نيوترون، والذي هو مستقر. وهناك العديد مثل هذه التسلسلات من التحول أو التحلل الإشعاعي كما يطلق عليه.

سلسلة الاضمحلال الإشعاعي لليورانيوم–٢٣٨



إن الفترة التي يستغرقها أي عنصر في تحلل نصف كميته تسمى بفترة **عمر النصف**. بعد فترة عمر نصف واحدة من أصل مليون ذرة في المتوسط، نصف مليون سوف تتحلل الى شيء آخر. وأثناء فترة عمر النصف القادمة، حوالي ربع مليون ذرة سوف تتحلل، وهكذا حتى يتم تحلل كل الذرات. وبعد عشر فترات عمر النصف، سوف يظل فقط حوالي ألف ذرة من أصل المليون (ما يعني ٠,١

في المئة). في المثل أعلاه، يستغرق الأمر ما يزيد قليلاً عن دقيقة واحدة لكي تتحلل نصف ذرات البروتكتينيوم-٢٣٤ إلى يورانيوم-٢٣٤. وعلى العكس من ذلك، سوف يستغرق اليورانيوم-٢٣٨ أربعة ونصف مليار سنة لكي تتحلل نصف الذرات الى الثوريوم-٢٣٤. بناءً على ما ذكرناه، عدد قليل نسبياً من النويدات المشعة موجودة بشكل طبيعي في البيئة.

الوحدات الإشعاعية

نُدرك حالياً، أن طاقة الإشعاع يمكنها أن تتلف الأنسجة الحية، وكمية الطاقة المودعة في الأنسجة الحية يُعبَّر عنها بكمية تُسمى **الجرعة**. تأتي الجرعة الإشعاعية من أي نويدة مشعة أو من عدد من النويدات المشعة، سواء ظلت خارج الجسم أو تُشَعِع الجسم من الداخل، على سبيل المثال بعد الإستنشاق أو البلع. ويُعبَّر عن كميات الجرعة بطرق مختلفة، إعتماداً على كمية ما تمَّ تشعُعه من الجسم وأي جزء منه، سواء تعرض شخص واحد أو عدة أشخاص، وطول مدة التعرُّض (مثال التعرُّض الحاد).

تسمى كمية الطاقة الإشعاعية الممتصة في واحد كيلوغرام من النسيج **بالجرعة الممتصة**، ويعبَّر عنها بوحدة الغراي، التي سميت على إسم الفيزيائي الإنجليزي ورائد البيولوجيا الإشعاعية **هارولد غراي**. لكن هذا لا يعطي صورة كاملة، لأنَّ نفس الجرعة من جسيمات ألفا يمكن أن تفعل ضرراً أكثر بكثير من جسيمات بيتا أو أشعة غاما. ولمقارنة الجرعات الممتصة من أنواع مختلفة من الإشعاع، تحتاج الى ترجيح لمعرفة قدرتها على إنتاج أنواع معينة من الضرر البيولوجي. وهذه الجرعة المرجَّحة تسمى **الجرعة المكافئة**، والتي تقدَّر بوحدة تسمى السيفرت، نسبة للعالِم السويدي **رولف سيفرت**. فواحد سيفرت يكافئ ١٠٠٠ ملليسيفرت، تماماً كما هو الحال للتر واحد يكافئ ١٠٠٠ ملليلتر أو متر واحد يكافئ ١٠٠٠ ملليمتر.

وهناك إعتبار آخر هو أن بعض أجزاء الجسم أكثر عرضة من غيرها. على سبيل المثال، الجرعة المكافئة المعطاة من الإشعاع من المرجّح أن تُسبب سرطان في الرئة أكثر منه في الكبد، بالاضافة الى ذلك، الأعضاء التناسلية هي ذات شأن

هارولد غراي (١٩٠٨-١٩٦٥)
رولف سيفرت (١٨٩٦-١٩٦٦)

خاص لإحتمال الإصابة بمخاطر الآثار الوراثية، لذا، لكي نقارن الجرعات عندما تشعع الأنسجة والأعضاء المختلفة، يتم وزن الجرعات المكافئة لأجزاء مختلفة من الجسم، والنتيجة تسمى **بالجرعة الفعالة**، ويعبَّر عنها ايضاً بالسيفرت. وتعتبر الجرعة الفعالة مؤشر الى حدوث السرطان او الآثار الجينة التي تتبع الجرعات الصغيرة، ولكنها ليست مؤشر لقياس شدة الآثار في الجرعات العالية.

هذا النظام المعَّقد للتعبير عن كميات الإشعاع ضروري لبناء هيكل مُحكم، مما يسمح لخبراء الوقاية الإشعاعية بتسجيل الجرعات الفردية بإستمرار وبشكل نسبي، والتي هي ذات أهمية كبيرة للأشخاص الذين يعملون في الإشعاع **والمعرَّضين له مهنياً**.

وهذا يصف الجرعات للأفراد فقط. فلو أضفنا كل الجرعات الفعالة المتلقاة من قِبل كل فرد من السكان، سوف تسمى النتيجة **الجرعة الجماعية الفعالة** أو ببساطة **الجرعة الجماعية**، ويعبّر

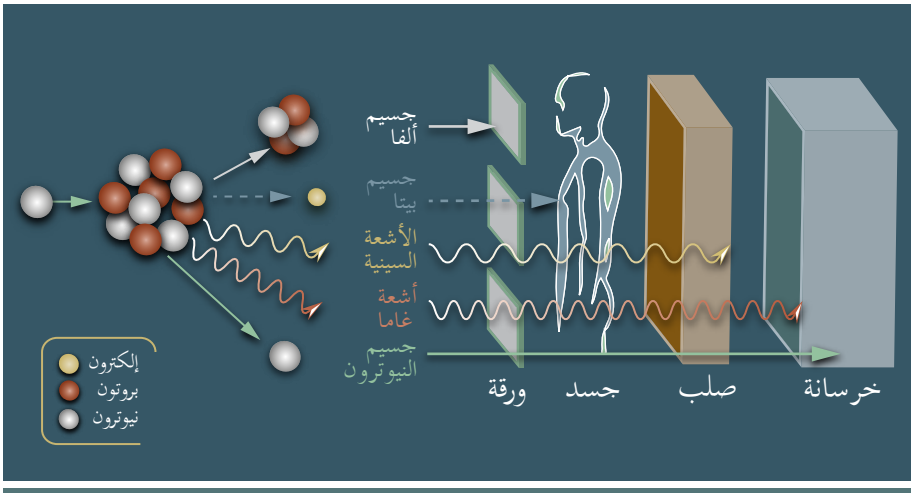
كميات الإشعاع	
كمية مقاسة	
النشاط	هو عدد تحويلات الطاقة التي تطرأ على النَوَيات في وحدة الزمن. وتقاس بعدد المرّات التي يحدث فيها اضمحلال في الثانية، ويُعبَّر عنه بالبكريل.
الجرعة الممتصة	هي كمية الطاقة المودعة بواسطة الإشعاع في كتلة وحدة من المواد، مثل نسيج أو عضو. ويُعبَّر عنها بالغراي، الذي يناظر جول لكل كيلوغرام.
كمية محسوبة	
الجرعة المكافئة	هي الجرعة الممتصة مضروبة في عامل إشعاعي، يأخذ في الحسبان الطريقة التي تُسبب بها مختلف أنواع الإشعاع ضرراً بيولوجياً في نسيج أو عضو. ويُعبَّر عنها بالسيفرت، الذي يناظر جول لكل كيلوغرام.
الجرعة الفعالة	هي الجرعة المكافئة مضروبة في عوامل خاصة بالأعضاء تأخذ في الحسبان مدى قابلية مختلف الأنسجة والأعضاء للإصابة بالضرر. ويعبَّر عنها بالسيفرت، الذي يناظر جول لكل كيلوغرام.
الجرعة الفعالة الجماعية	هي مجموع جميع الجرعات الفعالة التي تتلقاها مجموعة سكانية أو مجموعة من الناس تعرضت للإشعاع. ويعبَّر عنها بالشخص-سيفرت.

عنها بوحدة شخص-سيفرت. على سبيل المثال، الجرعة الجماعية السنوية لسكان العالم هي أكثر من ١٩ مليون شخص-سيفرت، اي ما يماثل ٣ ملليسيفرت معدل الجرعة السنوية للشخص الواحد.

٣- قوة الإختراق للإشعاع

بإختصار، يمكن للإشعاع أن يأخذ شكل الجسيمات (متضمناً ألفا وبيتا والنيوترونات) أو موجات كهرومغناطيسية (أشعة غاما والأشعة السينية) بكميات مختلفة من الطاقة. تمتلك الأنواع المختلفة من الطاقات المنبعثة والجسيمات قدرة إختراق وتأثيرات مختلفة على المادة الحية. وبما إن جسيمات ألفا تتكون من بروتونين ذو شحنة موجبة ونيوترونين، إذاً فهم يحملون القدر الأكبر من الشحنة من كل أنواع الإشعاع، فزيادة الشحنة تعني أنهم يتفاعلون الى حد كبير مع الذرات المجاورة، وهذا التفاعل يقلل بسرعة من طاقة الجسيمات، وبالتالي، يقلل قوة الإختراق. ويمكن إيقاف جسيمات الفا على سبيل المثال بواسطة شريحة من الورق. تتكون جسيمات بيتا من إلكترونات سالبة الشحنة، تحمل شحنة أقل، وقوة إختراق أعلى من جسيمات ألفا، وبالتالي، يمكنها أن تسير لسنتيمتر أو اثنين في الأنسجة الحية.

قوة الإختراق لمختلف أنواع الإشعاع



تخترق أشعة غاما والأشعة السينية الى حد كبير من خلال أي شيء أقل كثافة من لوح سميك من الصلب. والنيوترونات المنتجة إصطناعياً تنبعث من النويدة غير المستقرة كنتيجة للإنشطار الذرِّي

أو الإندماج النووي. كما يمكن للنيوترونات أن تحدث بشكل طبيعي كأحد مكونات الإشعاع الكوني، ولأنها جسيمات محايدة كهربائياً، فلها قدرة إختراق عالية عندما تتفاعل مع المادة او النسيج.

ثانياً – ما هي آثار الإشعاع علينا؟

قبل الخوض في المزيد من التفاصيل حول آثار التعرُّض للإشعاع، ينبغي أن نذكّر بالرواد في علم الإشعاع، والذين تمَّ تقديمهم سابقاً. بعد فترة وجيزة من إكتشاف **هنري بكريل**، الذي شهد بنفسه العيب الأكثر إضطراباً من الإشعاع – وهو الأثر الذي يمكن أن يكون على الأنسجة الحية. مثال على ذلك، قارورة الراديوم التي وضعها في جيبه والتي تلفت جلده.

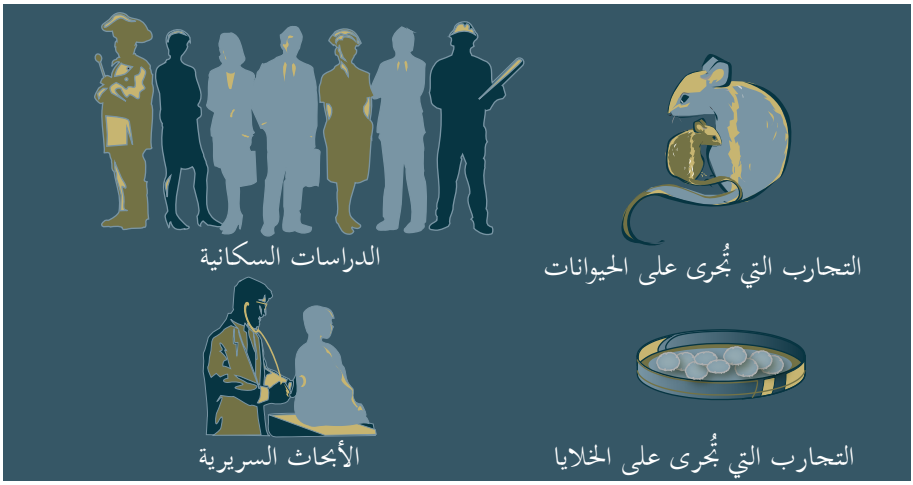
وليام كونراد رونتجن، الذي إكتشف الأشعة السينية في عام ١٨٩٥، توفي بسبب سرطان الأمعاء في عام ١٩٢٣. **ماري كوري** تعرضت للإشعاع خلال فترة حياتها، وتوفيت نتيجة مرض فقر الدم اللاتنسجي في عام ١٩٣٤.

وتفيد التقارير، أنه بحلول نهاية عام ١٩٥٠، توفي على أقل تقدير ٣٥٩ من العاملين بمجال الإشعاع (بالأخص من الأطباء والعلماء) نتيجة تعرضهم للإشعاع، غير مُدركين مدى الحاجة للوقاية منه.

ليس مفاجئاً أن كل الذين شاركوا بتطبيق الإشعاع على المرضى كانوا أول من وضعوا توصيات الوقاية منه للعاملين بمجاله. وبحلول عام ١٩٢٨، تمَّ إنشاء اللجنة الدولية للوقاية من الراديوم والأشعة السينية أثناء المؤتمر الدولي لعلم الأشعة في ستوكهولم، وكان **رولف سيفرت** أول من جرى إنتخابه لرئاستها. بعد الحرب العالمية الثانية – للأخذ بعين الإعتبار بعض الإستخدامات الاخرى للإشعاع غير الطبية – تمَّ إعادة تنظيم هيكل اللجنة وتسميتها باللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع. لاحقاً ما بين عامي ١٩٥٨ و١٩٦٠، كان رولف سيفرت هو رابع رئيس للجنة العلمية (UNSCEAR) في الوقت الذي كان هناك قلق خاص بشأن الآثار الجينية على البشر من جراء إختبار السلاح النووي.

ومع تزايد الوعي عن المخاطر المرتبطة بالتعرُّض للإشعاع، شهد القرن العشرين تطور البحث المكثَّف عن الآثار الناجمة عن الإشعاع على البشر والبيئة. وأهم تقييم على الإطلاق هو لمجموعات سكانية تعرضت للإشعاع، حيث تمَّ دراسة ما يقارب ٨٦٥٠٠ من **الناجين من القصف الذرِّي** على هيروشيما وناكازاكي في نهاية الحرب العالمية الثانية في عام ١٩٤٥ (المشار إليهم فيما بعد بالناجين من القصف الذرِّي). بالإضافة الى ذلك، تأتي البيانات الموثوقة في هذا الموضوع من خبرة المرضى الذين تعرضوا للإشعاع، ومن العاملين بعد التعرُّض بسبب الحوادث (على سبيل المثال، حادثة محطة الطاقة النووية بتشيرنوبيل)، ومن التجارب على الحيوانات والخلايا في المختبرات.

مصادر المعلومات عن آثار الإشعاع



تُقيِّم اللجنة العلمية (UNSCEAR) المعلومات العلمية للآثار الناجمة عن التعرُّض للإشعاع على الإنسان والبيئة، وتحاول قدر المستطاع أن تعمل على النتائج الأكثر ثقة حول الآثار التي يمكن أن تترافق مع مستويات مختلفة من التعرُّض للإشعاع. وكما أشرنا سابقاً، التعرُّض الإشعاعي يعتمد على نوع الإشعاع ومدة التعرُّض ومقدار الطاقة المودعة في المادة. وتَستخدم اللجنة العلمية حالياً في تقييماتها مصطلح **جرعة منخفضة** يعني مستوى أقل من ١٠٠ ميلليغراي ولكن أعلى من ١٠ميلليغراي، ومصطلح **جرعة منخفضة جداً** لأية مستوى أقل من ١٠ ميلليغراي.

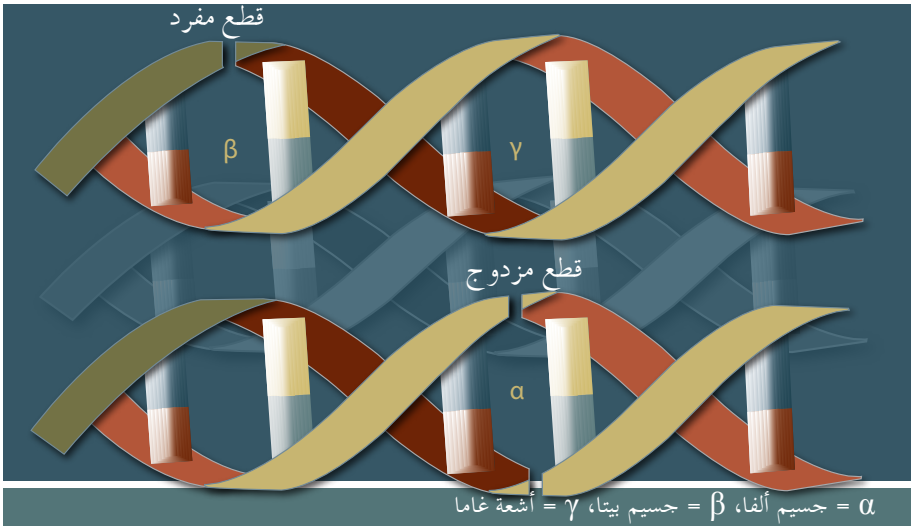
نطاقات الجرعة المستخدمة من قبل اللجنة العلمية (UNSCEAR)

جرعة عالية	~ اكثر من ١ غراي	حوادث اشعاعية وخيمة، على سبيل المثال، رجال الاطفاء في حادث تشيرنوبيل
جرعة متوسطة	~ ١٠٠ ملليغراي الى ١ غراي	عمال عمليات الاصلاح بعد حادث تشيرنوبيل
جرعة منخفضة	~ ١٠ الى ١٠٠ ملليغراي	التصوير المقطعي المتعدد بالحاسوب
جرعة منخفضة جداً	~ اقل من ١٠ ملليغراي	التصوير الإشعاعي التقليدي

١- الآثار على البشر

منذ إكتشاف الإشعاع، وأكثر من قرن من الأبحاث التي حققت معلومات وافرة عن الآليات البيولوجية التي يمكن للإشعاع أن يؤثر بها على الصحة. ومن المعروف، أن الإشعاع يمكن أن يحدث آثار على مستوى الخلايا محدثاً موتها او تعديلها، وعادةً ما يحدث هذا بسبب التلف المباشر لطاق الحمض الخلوي الصبغي (الحمض النووي DNA). وإذا كان عدد الخلايا التالفة او التي قُتلت كبيرة بما فيه الكفاية، فمن الممكن أن يؤدي ذلك الى خلل وظيفي للعضو او حتى قتله. أيضاً، قد يحدث ضرر أخر للحمض النووي دون أن يؤدي الى قتل الخلية. مثل هذا التلف عادة ما يُصلح كلياً، لكن إن لم يتم إصلاحه فسوف يؤدي الى تعديل – يُعرف بطفرة الخلية – والذي ينعكس في شكل إنقسامات خلوية متتابعة، ومن الممكن أن يؤدي بدوره في النهاية الى سرطان. أما إذا كانت الخلايا المعدَّلة هي تلك التي تنقل معلومات وراثية الى الأحفاد، فإن إحتمالية التشوهات الجينية من الممكن أن ترتفع. ويمكن الحصول على المعلومات عن الأليات البيولوجية والآثار الوراثية من التجارب المخبرية.

الضرر الاشعاعي الذي يصيب طاق الحمض النووي



إعتماداً على ملاحظة حدوثها، الآثار الصحية التي تتبع التعرُّض للإشعاع تُعرف إما آثار صحية مبكرة او متأخرة. بشكل عام، الآثار الصحية المبكرة تثبت من خلال تشخيص الأعراض السريرية للأشخاص، والآثار الصحية المتأخرة – مثل السرطان – من خلال الدراسات الوبائية، وذلك عن طريق ملاحظة زيادة حدوث المرض في السكان. علاوة على ذلك، يولى إهتمام خاص هنا للآثار على الأطفال والأجنة وعلى الآثار الوراثية.

الآثار الصحية المبكرة

تحدث الآثار الصحية المبكرة بسبب موت او تلف الخلية بشكل واسع النطاق. ومن الأمثلة على ذلك، حروق الجلد وفقدان الشعر وضعف الخصوبة. تتميز هذه الآثار الصحية بعتبة مرتفعة نسبياً، والتي يتحتم تجاوزها خلال فترة زمنية قصيرة لكي تحدث هذا الأثر. وتزداد حدة هذه الآثار مع زيادة الجرعة وتجاوزها العتبة.

بشكل عام، الجرعات الحادة الأعلى من ٥٠ غراي تتلف الجهاز العصبي المركزي لدرجة أن الموت يحدث في غضون بضعة أيام. وحتى عند جرعات أقل من ٨ غراي، تظهر للناس أعراض مرض إشعاعي تُعرف على أنها **متلازمة إشعاعية حادة**، والتي تسبب الغثيان والتقيؤ والإسهال والتشنجات المعوية واللعاب والجفاف والتعب واللامبالاة والخمول والتعرق والحمى والصداع وإنخفاض ضغط الدم. المصطلح الحاد يُشير الى المشاكل الصحية التي تحدث مباشرة بعد التعرُّض بدلاً من تلك التي تتطور بعد فترة طويلة، فالضحايا قد ينجون في البداية، ومن ثم يموتون بسبب تلف الجهاز الهضمي خلال إسبوع أو إسبوعين. وعلى الرغم من أن الجرعات الصغيرة لا تلحق ضرر بالجهاز الهضمي، لكنها تسبب الوفاة بعد عدة أشهر من تلف النخاع الشوكي. وما زالت الجرعات الصغيرة تؤخر في ظهور المرض وإحداث أعراض أقل حدة. حيث يعاني تقريباً نصف هؤلاء الذين تعرضوا لجرعة ٢ غراي من التقيؤ بعد حوالي ثلاث ساعات، ولكن هذا نادر جداً في حالة الجرعات الأقل من ١غراي.

التعرُّض العرضي في الطب

لحسن الحظ، إذا تعرض النخاع الشوكي وباقي نظام تكوين الدم الى جرعة أقل من ١ غراي، سوف يكون لديهم قدرة فائقة على التجدد ويمكنهم الشفاء التام – على الرغم من أنه سوف يكون هناك خطر الإصابة بسرطان الدم في السنوات اللاحقة. وإذا تمَّ تشعع عضو واحد فقط من الجسم، فسوف يقوم النخاع الشوكي بإنقاذ ما لم يتأثر لكي يحل محل ما تمَّ إتلافه. وتظهر التجارب على الحيوانات أنه حتى لو عشر النخاع الشوكي فقط نجا من التشعع، فإن فرص البقاء على قيد الحياة هي ١٠٠ في المئة.

حقيقة أن الإشعاع يمكن أن يتلف خلايا الحمض النووي مباشرة تُطبَّق لقتل الخلايا الخبيثة بالإشعاع في علاج السرطان، وهو ما يعرف بإسم **العلاج الإشعاعي**. الكمية الكلية للإشعاع المستخدمة في العلاج تتفاوت تبعاً لنوع وحالة السرطان المراد علاجه. فالجرعات النموذجية لعلاج الأورام الصلبة تتراوح من ٢٠ الى ٨٠ غراي للورم، التي من شأنها أن تشكل خطراً على المريض إذا ما تلقاها كجرعة واحدة. ولهذا، لكي نتحكَّم بالعلاج، تؤخذ الجرعات الإشعاعية على أجزاء متكررة كأحد أقصى ٢ غراي. وعملية التجزئة هذه تسمح للخلايا ذو الأنسجة السليمة من أن تتعافى، بينما الخلايا السرطانية تُقتل لأنها بشكل عام أقل كفاءة على التعافي بعد التعرُّض للإشعاع.

الآثار الصحية المتأخرة

الآثار الصحية المتأخرة تحدث بعد فترة زمنية طويلة من التعرُّض. عموماً، معظم الآثار الصحية المتأخرة هي أيضاً آثار عشوائية، على سبيل المثال، الآثار المحتمل حدوثها تعتمد على الجرعة الإشعاعية المتلقاة. ويُعتقد أن هذه الآثار الصحية ناجمة عن التعديلات في المادة الوراثية للخلية بعد التعرُّض للإشعاع. ومن الأمثلة على الآثار الصحية المتأخرة هي الأورام الصلبة وسرطان الدم التي تحدث للشخص المتعرض، والتشوهات الجينية التي تحدث في ذُرية الأشخاص الذين تعرضوا للإشعاع. وعلى ما هو ظاهر، أن الحدوث المتكرر – وليست شدة الخطورة – لهذه الآثار على السكان تزداد بزيادة الجرعة.

تُعَدْ الدراسات الوبائية ذات أهمية كبيرة في فهم الآثار الصحية المتأخرة بعد التعرُّض للإشعاع. وتُستخدم هذه الدراسات الطرق الإحصائية في مقارنة حدوث الأثر الصحي (على سبيل المثال السرطان) على مجموعة سكانية متعرضة مع مجموعة أخرى غير متعرضة، وإذا وُجد ارتفاع ملحوظ في مجموعة السكان المتعرضين، فمن المحتمل أن يكون له علاقة بالتعرُّض الإشعاعي للسكان ككل.

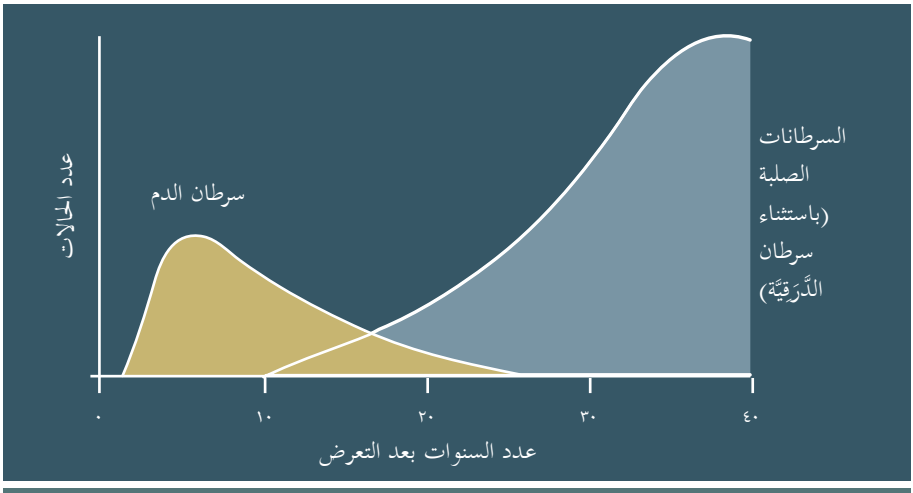
التقييم الأكثر أهمية على المدى الطويل للسكان الذين تعرضوا للإشعاع هو الدراسة الوبائية للناجين من القصف الذرِّي. هذه هي أشمل دراسة أُجريت أكثر من أي وقت مضى، نظراً لوجود عدد

كبير من الناس، وبشكل أساسي ممثلون لعموم السكان تلقوا جرعات موزعة بالتساوي إلى حد ما على الجسم. فتقدير الجرعات التي تلقتها هذه المجموعة معروفة نسبياً. حتى الآن، كشفت دراسة بضع مئات من حالات سرطانية أكثر مما هو متوقع في هذه المجموعة فيما لو لم تكن قد تعرضت للإشعاع. ولأنَّ العديد من الناجين من القصف الذرِّي لا يزالوا على قيد الحياة، فالدراسات مستمرة لإستكمال التقييم.

السرطان

السرطان هو المسؤول عن حوالي ٢٠ في المئة من الوفيات، وهو السبب الأكثر شيوعاً للوفاة في الدول الصناعية بعد أمراض القلب والأوعية الدموية. حوالي أربعة من عشرة أشخاص من عموم السكان يُتوقع أن يُصابوا بالسرطان خلال فترة حياتهم حتى في غياب التعرُّض للإشعاع. وفي السنوات الأخيرة، أكثر أنواع السرطانات شيوعاً بين الرجال هي سرطانات الرئة والبروستات والقولون والمستقيم والمعدة والكبد، وبين النساء هي سرطانات الثدي والقولون والمستقيم والرئة وعنق الرحم والمعدة. فتطور السرطان عملية معقَّدة، يتكون من عدد من المراحل. ظاهرة مبتدئة، على الأرجح أنها تؤثر على خلية واحدة، ويبدو أن هذا هو بدء العملية، ولكن سلسلة من الأحداث الأخرى تبدو أنها ضرورية قبل أن تصبح الخلايا خبيثة ويتطور الورم. يصبح السرطان مؤكداً فقط بعد فترة طويلة من حدوث أول تلف، ويتبعه فترة كمون. فإحتمالية حدوث السرطان الناجم عن التعرُّض للإشعاع هو

ظهور السرطان بعد التعرُّض للإشعاع



مصدر قلق كبير، ويمكن حسابه لمجموعة إذا تعرضت الى مستوى عالٍ بما فيه الكفاية من الإشعاع لكي يسبب زيادة حدوث السرطان، الذي من شأنه التغلب على أي شكوك إحصائية أو غيرها. ومع ذلك، يظل سبب حدوث السرطان كنتيجة مساهمة حقيقية للإشعاع غير معروف.

سرطان الدم والغدة الدرقية والعظم، يظهروا خلال بضعة أعوام من التعرُّض للإشعاع، بينما معظم السرطانات الأخرى لا تظهر قبل ١٠ سنوات على الأقل، وفي كثير من الأحيان بعد عدة عقود من التعرُّض. كما انه لا يوجد نوع معين من السرطان سببه التعرُّض للإشعاع، لذلك فمن المستحيل التميز بين الأورام المستحثة بالإشعاع من تلك التي تحدث من أسباب أخرى متعددة. وعلى الرغم من ذلك، فمن المهم تقدير إحتمال الإصابة بالسرطان بعد جرعات معينة من الإشعاع من أجل توفير أساس علمي سليم لوضع حدود التعرُّض.

وتُعتبر الدراسات التي أُجريت على الناس الذين تلقوا العلاج الطبي بإستخدام الإشعاع، وعلى الناس المعرضين مهنياً – وفوق كل ذلك – الناجين من القصف الذرِّي هم بمثابة بناء الأساس لمعرفة العلاقة بين السرطان والتعرُّض الإشعاعي. وتغطي هذه الدراسات عينات كبيرة من الناس الذين تلقوا التعرُّض على أجزاء عديدة من الجسم، والذين تمَّ متابعتهم على فترات طويلة الى حدٍ معقول. لكن بعض هذه الدراسات لديها ضعف كبير، وبشكل رئيسي التوزيع العمري المختلف لهذه الدراسات عن السكان العاديين، والدليل على ذلك إن العديد من هؤلاء المرضى كانوا بالفعل يتلقون علاجاً للسرطان بالإشعاع.

والأهم من ذلك، كل البيانات تستند الى دراسة أُجريت عن الناس الذين تلقت أنسجتهم جرعات إشعاعية عالية الى حدٍ ما ١ غراي أو أكثر، إما كجرعة واحدة أو على فترات قصيرة نسبياً. ويوجد القليل من المعلومات عن الآثار الناجمة عن تلقي جرعات منخفضة لفترات طويلة، حيث هناك فقط بضعة دراسات عن آثار مجموعة الجرعات التي تلقاها العاملين في مجال الإشعاع بشكل طبيعي. عملياً، لا توجد معلومات مباشرة عن عواقب تعرض عموم الناس للاشعاع بشكل روتيني، لأن الدراسات تحتاج لتعقب عدد كبير من الناس على مدى فترة طويلة، وفي نهاية المطاف ربما لا تزال اثبات الزيادة في حدوث السرطان بالمقارنة مع المعدلات الطبيعية للإصابة به ضعيفة للغاية.

أجرت اللجنة العلمية (UNSCEAR) إستعراض شامل لحدوث السرطان للسكان الذين تعرضوا للإشعاع. وتشير التقديرات إلى أن فرصة إضافية للوفاة من السرطان بسبب التعرُّض للإشعاع فوق ١٠٠ ملليسيفرت، كانت حوالي ٣ إلى ٥ في المئة لكل سيفرت.

آثار صحية أخرى

الجرعات الإشعاعية العالية للقلب تزيد من إحتمال الإصابة بأمراض القلب والأوعية الدموية (على سبيل المثال الأزمات القلبية)، فقد يحدث هذا التعرُّض أثناء العلاج الإشعاعي. وعلى الرغم من أن تقنيات العلاج تؤدي في الوقت الحاضر لجرعات أقل للقلب، لكن لا يوجد أي دليل علمي يفيد بأن التعرُّض لجرعات منخفضة من الإشعاع يسبب أمراض القلب والأوعية الدموية.

إعترفت اللجنة العلمية (UNSCEAR) بأنه كان هناك زيادة في حدوث إعتام لعدسة العين (المياه البيضاء على عدسة العين) بين عمال الطوارئ في حادثة تشيرنوبيل نتيجة التعرُّض لجرعات عالية من الإشعاع. وعلاوة على ذلك، قامت اللجنة العلمية بدراسة آثار الإشعاع على الجهاز المناعي للناجين من القصف الذرِّي، ولعمال الطوارئ في محطة الطاقة النووية بتشيرنوبيل، وللمرضى الخاضعين للعلاج بالإشعاع. ويتم تقييم آثار الإشعاع على الجهاز المناعي بتقدير التغييرات في عدد الخلايا او بإستخدام مجموعة متنوعة من التحاليل الوظيفية. فالجرعات العالية من الإشعاع تعوق الجهاز المناعي بسب التلف الذي تحدثه للخلايا اللمفاوية. ويُستخدم نقص عددهم حالياً كمؤشر مبكّر لتحديد الجرعة الإشعاعية بعد التعرُّض الحاد.

الآثار على النسل

في حال حدوث أضرار إشعاعية في الخلايا التناسلية والحيوانات المنوية أو البويضة، سوف تؤدي الى آثار وراثية في الأحفاد. وعلاوة على ذلك، يمكن للإشعاع أن يُدمّر مباشرة المُضغة أو الجنين الذي ينمو فعلياً في الرحم. لذا، من المهم أن نميز بين آثار التعرُّض للإشعاع عند البالغين، والأطفال والمضغة/ الأجنة. فقد أجرت اللجنة العلمية (UNSCEAR) دراسات مرجعية شاملة للآثار الصحية، بما في ذلك الآثار الوراثية، في هذه المجموعات.

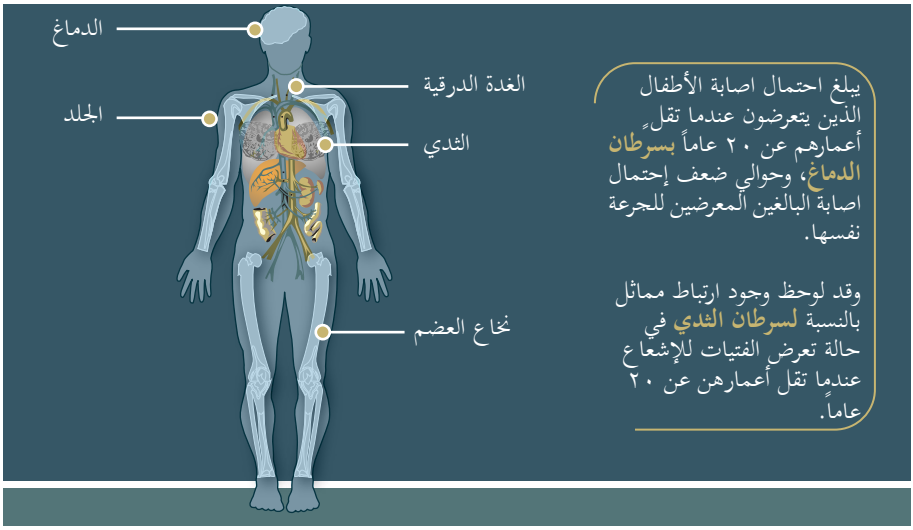
الآثار على الأطفال

تعتمد الآثار الصحية على البشر على عدد من العوامل الفيزيائية. فآثار التعرُّض الإشعاعي على الأطفال وعلى البالغين مختلفة بسبب إختلافتها التشريحية والفسيولوجية. وبما أن الأطفال لديهم أجسام صغيرة، ومحمية بشكل أقل بواسطة الأنسجة التي تغطي أجسامهم، فإن الجرعة لأعضائهم الداخلية سوف تكون أكبر من الجرعة للبالغين من نفس جرعة التعرُّض الخارجي. بالإضافة الى ذلك، الأطفال أقصر طولاً من البالغين، بالتالي سوف يتلقون جرعات أعلى من النويدات المشعة المودعة على الأرض.

بالنسبة للتعرُّض الداخلي، بسبب صغر حجم الأطفال، وصغر أعضائهم، وقُربها من بعضها البعض، بالتالي النويدات المشعة المتركزة في عضو واحد سوف تشعع الأعضاء الأخرى أكثر منه في حالة البالغين. هناك أيضاً العديد من العوامل الأخرى المرتبطة بالفئة العمرية، بما في ذلك الأيض الحيوي والفسيولوجي التي تحدث فرقاً كبيراً في الجرعة لمختلف الأعمار. كما يوجد العديد من النويدات المشعة التي تثير القلق عندما يتعلق الأمر بالتعرُّض الداخلي للأطفال. فالحوادث التي ينتج عنها إنطلاق اليود المشع-١٣١ من الممكن أن تكون من أهم مصادر التعرُّض للغدة الدرقية. فلنفس الكمية المأخوذة داخلياً، أن الجرعة للدرقية عند الأطفال أكبر بحوالي تسعة مرات عنها في حالة البالغين. وأكدت الدراسات التي أجريت على حادثة المحطة النووية بتشيرنوبيل على الصلة بين سرطان الغدة الدرقية واليود-١٣١، والذي يتركز بصورة رئيسية في هذا العضو.

وأظهرت دراسات وبائية أن الشباب تحت سن العشرين يصابون بسرطان الدم بمقدار مرتين أكثر من البالغين عقب التعرُّض لنفس الكمية من الإشعاع. علاوة على ذلك، الأطفال دون سن العشر سنوات هم عرضة بشكل خاص: حيث تشير بعض الدراسات الى أنهم أكثر عرضة للوفاة بسبب سرطان الدم بحوالي ٣-٤ مرات مقارنة مع البالغين. والبنات الذين تعرضوا للإشعاع وهم دون سن العشرين لديهم إحتمالية الإصابة بسرطان الثدي بمقدار مريتن أكثر منه في حالة النساء البالغين. كما أن الأطفال أكثر عرضة من البالغين للإصابة بالسرطان بعد التعرُّض للإشعاع، لكن قد لا يظهر ذلك إلا في وقت لاحق في الحياة عندما يصلوا إلى السن الذي عادة ما يصبح فيه السرطان ظاهراً.

الأعضاء الحساسة للإشعاع بشكل خاص عند الأطفال



يبلغ احتمال اصابة الأطفال الذين يتعرضون عندما تقلّ أعمارهم عن ٢٠ عاماً **بسرطان الدماغ**، وحوالي ضعف إحتمال اصابة البالغين المعرضين للجرعة نفسها.

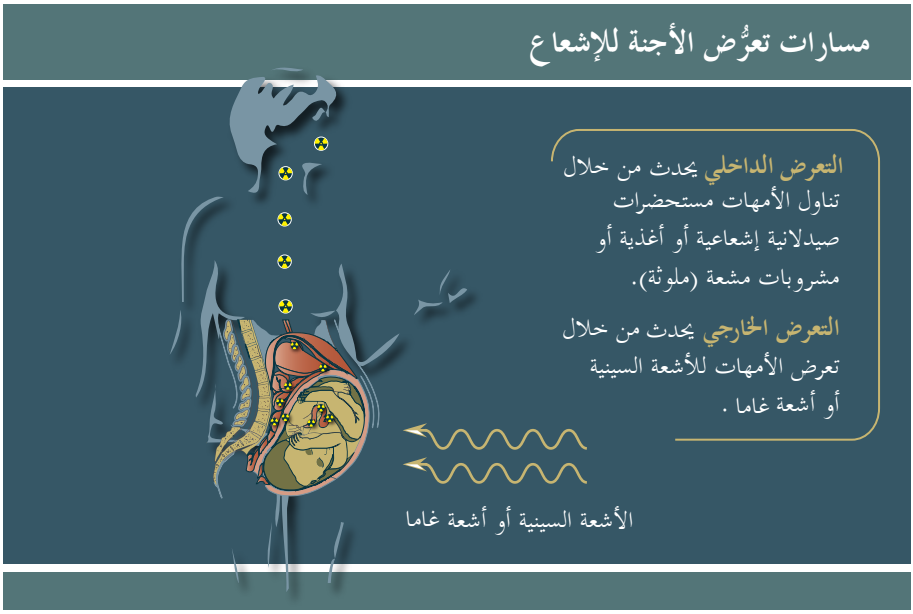
وقد لوحظ وجود ارتباط مماثل بالنسبة **لسرطان الثدي** في حالة تعرض الفتيات للإشعاع عندما تقل أعمارهن عن ٢٠ عاماً.

إستعرضت اللجنة العلمية (UNSCEAR) المنشورات العلمية التي تشير الى أن حدوث السرطان عند الأطفال مختلف بشكل أكبر عنه في حالة البالغين، معتمدة على نوع الورم وعمر وجنس الطفل. ويُشير مصطلح الحساسية للإشعاع فيما يتعلق بِحَثْ السرطان الى معدل الأورام الناتجة من التشعع. فالدراسات التي أُجريت للتمييز بين **الحساسية للإشعاع** بين البالغين والاطفال أظهرت أن الأطفال أكثر حساسية للإصابة سرطان الغدة الدرقية والمخ والجلد والثدي وسرطان الدم.

الإختلافات في الآثار الصحية المبكرة على الأطفال التي تتبع التعرُّض لجرعات عالية (على سبيل المثال، الجرعات المتلقاة من العلاج بالإشعاع) هي معقّدة، ويمكن تفسيرها عن طريق التفاعل بين الأنسجة المختلفة والأليات البيولوجية. وبعض الآثار هي أكثر وضوحاً عند التعرُّض في مرحلة الطفولة عنها في مرحلة البلوغ (على سبيل المثال، تشوهات المخ وإعتام عدسة العين أو المياه البيضاء وعُقَيْداتُ الدرقية)، وهناك بعض الآثار القليلة التي تقاومها أنسجة الأطفال (على سبيل المثال، الرئات والمَبايِضُ).

الآثار على الطفل الذي لم يولد بعد

من الممكن أن تتعرض المُضغة أو الجنين من خلال مادة مُشعة إنتقلت الى الأم عن طريق الغذاء او المياه (تعرض داخلي) أو مباشرة من خلال التعرُّض الخارجي. وبما أن الجنين محمي في الرحم، فإن جرعته الإشعاعية تميل لأن تكون أقل من جرعة الأم في كثير من حالات التعرُّض للإشعاع. ومع ذلك،



تكون المضغة أو الجنين حساسة للإشعاع والعواقب الصحية، ومن الممكن أن تكون حادة حتى عند جرعات إشعاعية أقل من تلك التي تؤثر على الأم في الحال. ويمكن أن تشمل هذه العواقب تأخر النمو والتشوهات وإختلال وظائف المخ والسرطان.

تطوير الثدييات في الرحم تقع تقريباً في ثلاث مراحل. ومن المعروف أن الإشعاع قد يقتل الجنين في الرحم في المرحلة الأولى التي تستمر من الحمل حتى نقطة إستقراره في جدار الرحم حيث يشمل أول إسبوعين من الحمل عند البشر، ومن الصعب جداً دراسة ما يحدث في هذه المرحلة. ومع ذلك، فإن المعلومات عن التجارب على الحيوانات تؤكد الأثر المميت على الجنين في وقت مبكر من جرعات إشعاعية فوق عتبات معينة.

خلال المرحلة التالية، والتي تستمر من الأسبوع الثاني حتى الأسبوع الثامن في البشر، الخطر الرئيسي هو أن الإشعاع سوف يؤدي بالإعضاء النامية لتصبح مشوهة، وربما يسبب الوفاة عند ميعاد الولادة. كما أظهرت التجارب على الحيوانات أن الأعضاء (مثل العيون والمخ والعمود الفقري) بشكل خاص هي أكثر عرضة للتشوه فقط في حالة التشعع عند لحظة نموهم.

يبدو أن التلف الأعظم يحدث في الجهاز العصبي المركزي بعد الأسبوع الثامن، عند بدء المرحلة الثالثة والأخيرة من الحمل. وقد تمَّ إحراز تقدم كبير في فهم آثار الإشعاع على المخ للأطفال الذين لم يولدوا بعد. على سبيل المثال، ٣٠ طفلاً من الناجين من القصف الذرِّي من مجموعة حوالي ١٦٠٠ تعرضوا قبل الولادة الى جرعة ١ غراي لديهم إعاقة عقلية بالغة.

ما زال هناك جدل حول ما إذا كان تعرُّض الأجنة للإشعاع يسبب السرطان في مرحلة حياتية لاحقة. وقد فشلت التجارب على الحيوانات من إظهار أي علاقة خاصة. وحاولت اللجنة العلمية (UNSCEAR) أن تقوم بتقدير المخاطر الكلية على الأطفال الذين لم يولدوا بعد لعدد من الآثار الإشعاعية – الموت والتشوه والإعاقة العقلية والسرطان. في المُحصّلة، فإنه يُعتقد ألا يزيد عن اثنين من كل ١٠٠٠ طفل ولدوا أحياء وتعرضوا لجرعة في حدود المئات من الغراي في الرحم، من الممكن أن يتأثروا – مقارنة ما الستة بالمئة من الذين يصابون بنفس الآثار بشكل طبيعي.

الآثار الوراثية

يمكن للإشعاع أن يغير في الخلايا ناقلاً معلومات وراثية الى الأحفاد، والذي من الممكن أن يسبب تشوهات جينية. فدراسة مثل هذه التشوهات صعبة، وذلك لوجود معلومات قليلة جداً عن ماهية التلف الجيني للبشر الذي ينتج عن طريق التعرُّض للإشعاع، من ناحية لأنَّ المتابعة الكاملة للآثار

الوراثية تأخذ عدة أجيال لكي تظهر، ومن ناحية أخرى لأنَّ – كما السرطان – هذه الآثار لا يمكن تمييزها تماماً عن تلك التي تحدث من أسباب أخرى.

إن العديد من الأجنة الذين يتأثرون بشكل بالغ لا يبقون على قيد الحياة. وتشير التقديرات إلى أن ما يقرب من نصف جميع حالات الإجهاض لديها دستور وراثي غير طبيعي. فالأطفال ذو التشوهات الجينية حتى لو بقيت على قيد الحياة لحين الولادة، إلا أنها أكثر عرضة للوفاة بحوالي خمس مرات أكثر من الأطفال العاديين قبل بلوغهم عامهم الخامس.

تنقسم الآثار الوراثية الى فئتين رئيسيتين: التشوهات الصبغية التي تحدث تغيير في عدد أو تركيب الكروموسومات، وطفرات الجينات نفسها التي يمكن أن تظهر في الأجيال اللاحقة، لكن ليس بالضرورة القيام بذلك.

فشلت الدراسات التي أُجريت على أطفال من آباء ناجين من القصف الذرِّي من أن تجد اي آثار وراثية ملحوظة. لكن هذا لا يعني أنه لا يوجد ضرر في المستقبل. فالتعرُّض المتوسط للإشعاع حتى لعدد كبير نسبياً من السكان لم يلحظ أي تأثير. ومع ذلك، الدراسات التجريبية على النباتات والحيوانات التي تعرضت لجرعات عالية، قد أثبتت بوضوح أن الإشعاع يمكن أن يحدث آثار وراثية، ومن غير المرجّح أن يكون البشر إستثناء منها.

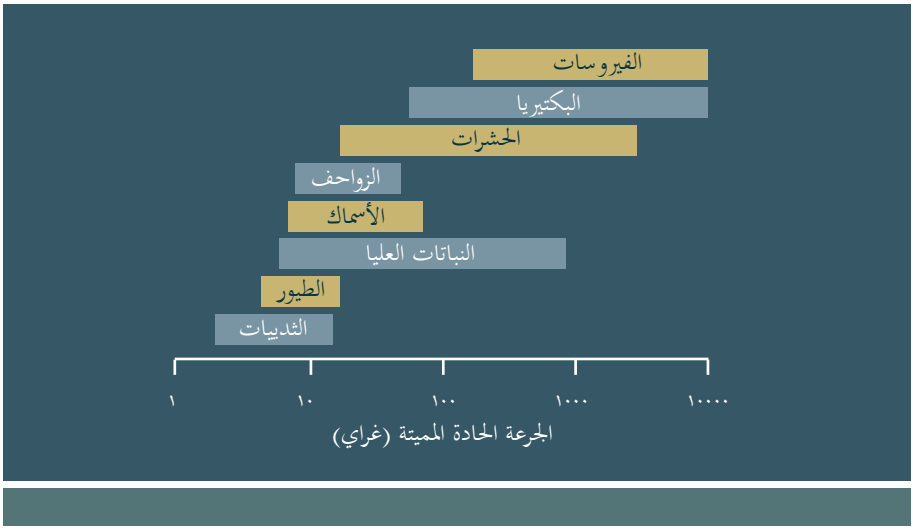
ركّزت اللجنة العلمية (UNSCEAR) على الآثار الوراثية الحادة فقط، وقدَّرت أن مجموع المخاطر الكلي يتراوح من ٠,٣- ٠,٥ في المئة لكل غراي – وهو أقل من عشر إحتمالية حدوث السرطان المميت – للجيل الأول الذي يتبع التعرُّض للإشعاع.

٢- الآثار على الحيوانات والنباتات

تلقى آثار التعرُّض للإشعاع على الحيوانات والنباتات إهتمام أكثر مما كان عليه في السابق. في العقود الماضية، كان الرأي السائد أنه إذا كانت حياة الإنسان محمية بشكل كافٍ، فإن كل من النباتات والحيوانات ستكون محمية بالمثل. قامت اللجنة العلمية (UNSCEAR) بتقدير آثار التعرُّض للإشعاع على النباتات والحيوانات، ووجدت أن مدى الجرعة النظرية تتراوح بين ١–١٠غراي، فمن غير المرجَّح أن تؤدي الى آثار على المجموعات الحيوانية والنباتية، كما أن الإستجابات الفردية للتعرُّض للإشعاع متنوعة (الثدييات هي الأكثر حساسية من جميع الحيوانات). فهذه الآثار على الأرجح أنها ذات قيمة يُعتد بها على مستوى السكان والتي تخص الخصوبة والوفاة والحث على الطفرات. على سبيل المثال، **التغييرات الإنجابية** في أعداد النسل هي مؤشر أكثر حساسية للآثار الإشعاعية من الموت.

الجرعات المميتة تمثل جرعات يمكن أن تودي الى وفاة ٥٠ بالمئة من المتعرضين. ففي حالة النباتات التي تعرضت خلال فترة زمنية قصيرة نسبياً (حاد)، لوحظ أن المدى أقل من ١٠ الى حوالي ١٠٠٠ غراي. بشكل عام، النباتات الكبيرة أكثر حساسية للإشعاع من الصغيرة. وتتراوح الجرعات المميتة من ٦ الى ١٠ غراي للثدييات الصغيرة، وحوالي ٢,٥ غراي للثدييات الكبيرة. كما تستطيع بعض الحشرات والبكتيريا والفيروسات أن تتحمل جرعة أكبر من ١٠٠٠ غراي.

نطاقات الجرعات الحادة المميتة لبعض الحيوانات والنباتات



المصدر الرئيسي للمعلومات هو الملاحظات التي تمَّ الحصول عليها من تعرُّض الحيوانات والنباتات للإشعاع في المناطق المحيطة بمحطة الطاقة النووية في تشيرنوبيل. حيث قامت اللجنة العلمية (UNSCEAR) بتقييم المسارات التي من خلالها تعرضت البيئة، وطورت نهج حديث لتقييم الآثار الكامنة او المحتملة من هذا التعرُّض.

حديثاً، قدَّرت اللجنة العلمية (UNSCEAR) الجرعات والآثار المصاحبة للتعرُّض الإشعاعي لبعض الحيوانات والنباتات المختارة بعد حادثة محطة الطاقة النووية فوكوشيما-دايتشي، وإستنتجت أن التعرُّض بشكل عام كان منخفض للغاية حتى يُلاحظ آثار حادة. ومع ذلك، التغييرات في **المؤشرات الحيوية**، التي تشير الى مرض معين او حالة فسيولوجية لكائن حي - وخصوصا في الثدييات - لا يمكن إستبعادها، ولكن أهميتها لسلامة سكان تلك الكائنات كانت غير واضحة.

ومن المهم أن نلاحظ إن الإجراءات الوقائية والتصحيحية التي أُجريت للحد من تعرض البشر للإشعاع، يمكن أن يكون لها تأثير على نطاق واسع. على سبيل المثال، يمكن أن تؤثر على السلع والخدمات البيئية والموارد المستخدمة في الزراعة والغابات ومصائد الأسماك والسياحة والمرافق المستخدمة في النشاطات الروحية والثقافية والترفيهية.

٣- العلاقة بين الجرعات الإشعاعية والآثار الصحية

شددت اللجنة العلمية (UNSCEAR) عند تلخيص العلاقة بين الجرعات الإشعاعية والآثار الصحية على أهمية التمييز بين ملاحظات الآثار الصحية القائمة عند السكان الذين تعرضوا، والتوقعات النظرية للآثار المحتملة مستقبلاً. ففي كِلا الحاليتين، لا بد من الأخذ بعين الإعتبار عدم اليقين وعدم الدقة – فيما يخص القياسات الإشعاعية والإعتبارات الإحصائية وأي عوامل أخرى.

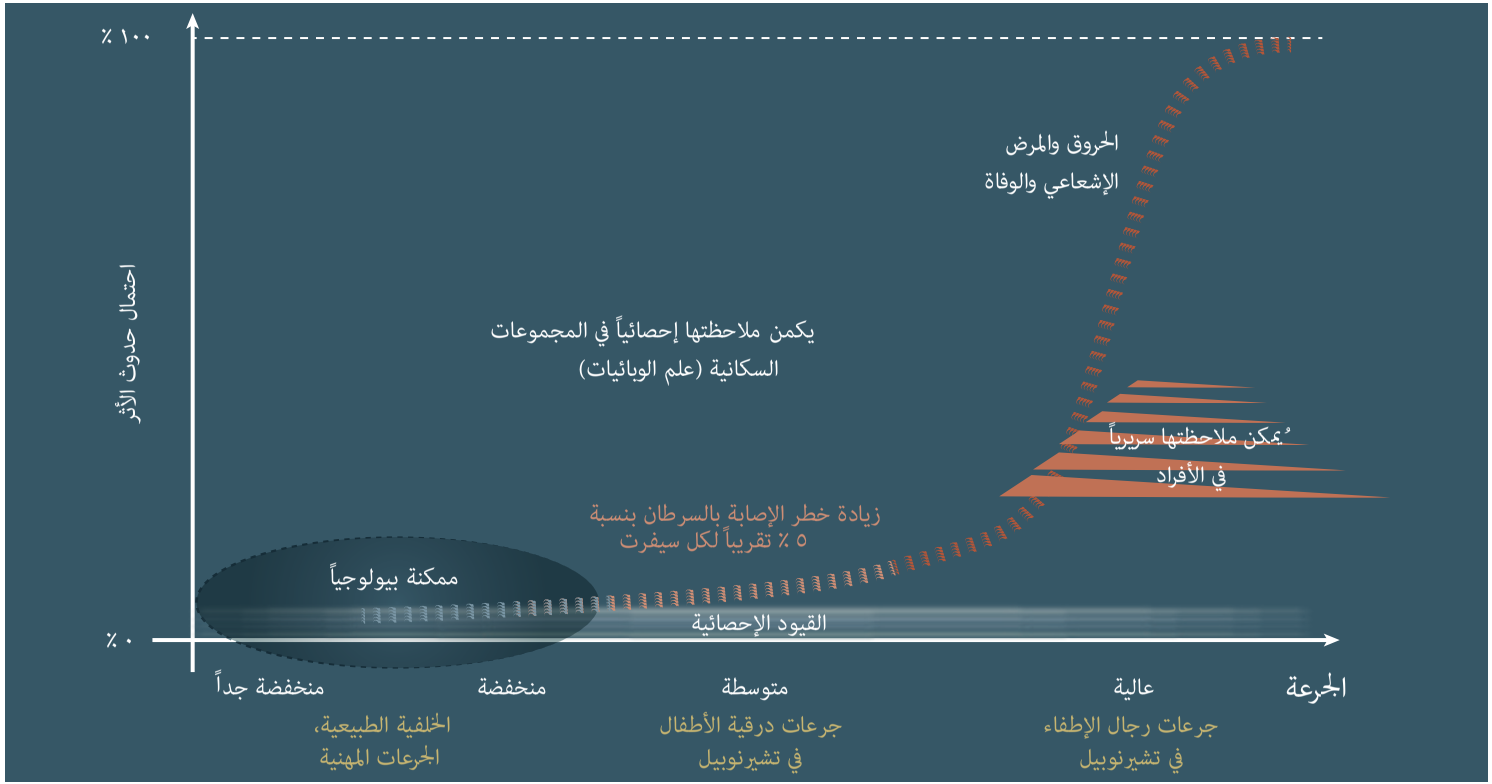
وبالنظر الى معرفة الحالة الراهنة، يمكن أن تعزى الآثار الصحية الملحوظة بثقة إلى التعرُّض للإشعاع لو أن الآثار المبكرة (حروق الجلد) تحدث للأشخاص بعد التعرُّض لجرعات عالية فوق ١ غراي. ويمكن أن تظهر مثل هذه الجرعات من الحوادث الإشعاعية، مثال تلك التي تلقاها عمال الطوارئ أثناء حادث محطة الطاقة النووية تشيرنوبيل او من قبل المرضى خلال الحوادث الناتجة عن العلاج بالإشعاع.

إن إستخدام الأساليب الوبائية من الممكن أن تُنسب الى زيادة حدوث الآثار الصحية المتأخرة (السرطان) عند السكان الذين تعرضوا الى جرعات إشعاعية متوسطة، إذا كانت الزيادة الملحوظة كافية بشكل كبير لكي تتغلب على الشكوك الإحصائية. ومع ذلك، لا يوجد مؤشرات حيوية متاحة حالياً للتمييز عما إذا كان السرطان قد حدث بواسطة التعرُّض للإشعاع من عدمه.

حيثما كان مستوى التعرُّض للإشعاع منخفض او منخفض جداً – والأكثر مثالية على ذلك هو التعرُّض الإشعاعي البيئي والمهني – فالتغييرات في حدوث الآثار الصحية المتأخرة لم يتم تأكيدها، نظراً للشكوك الإحصائية وغيرها. ومع ذلك، هذه الآثار لا يمكن إستبعادها كلياً.

وفيما يتعلق بالآثار الصحية المحتملة مستقبلاً، هناك فهم حول كيفية تقدير إحتمالية حدوث هذه الآثار عند الجرعات العالية والمتوسطة. أما عند الجرعات القليلة والقليلة جداً، من الضروري وضع إفتراضات وإستخدام نماذج رياضية لتقدير إحتمال حدوث أي آثار صحية. ولأنَّ النتائج الناجمة عن هذه الإفتراضات غير مؤكدة، قررت اللجنة العلمية (UNSCEAR) عدم إستخدم مثل هذه النماذج في تقييماتها عند الجرعات الإشعاعية القليلة والقليلة جداً – على سبيل المثال، حوادث تشيرنوبيل وفوكوشيما-دايتشي – من أجل تقدير أعداد الآثار الصحية او الوفيات، وذلك

العلاقة بين الجرعات الإشعاعية والآثار الصحية



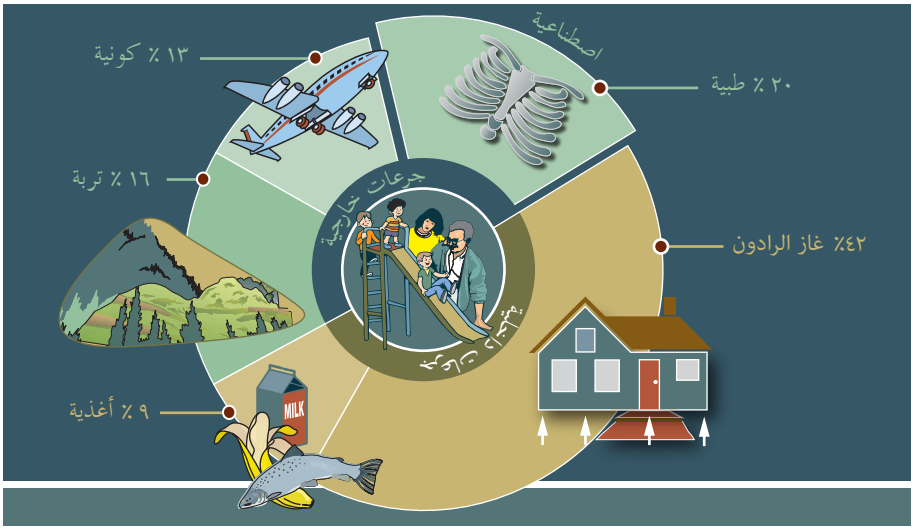
بسبب الشكوك غير المقبولة في التوقعات. فمن المفيد عمل هذه مثل هذه الحسابات لمقارنة المخاطر والفوائد الناتجة عن الإشعاع في المجال الطبي أو لأغراض الوقاية منه، والذكر بأن الشكوك الإحصائية أُخذت في الحسبان، وأن الحدود تم شرحها بوضوح.

ثالثاً – ما هي مصادر الإشعاع؟

نتعرض بإستمرار للإشعاع من مصادر عديدة. جميع الكائنات على الأرض وُجدت وتطورت في بيئات تعرضت للإشعاع من الخلفية الطبيعية. وفي الآونة الأخيرة، تعرُّض البشر والكائنات الحية الأخرى إلى مصادر إصطناعية تطور على مدى القرن الماضي أو نحو ذلك. حيث إن أكثر من ٨٠ في المئة من التعرُّض لدينا هو من المصادر الطبيعية، و٢٠ في المئة فقط هو من المصادر الإصطناعية التي هي من صنع الإنسان – وبشكل رئيسي من تطبيقات الإشعاع المستخدمة في الطب. تمَّ تصنيف التعرُّض الإشعاعي في هذا المنشور بناءً على مصادره مع التركيز على ما يحصل عليه الجمهور. ولأغراض رقابية (مثل الحماية من الإشعاع) تمَّ تناول التعرُّض الإشعاعي لمجموعات مختلفة. لذلك، يتم توفير معلومات إضافية هنا عن المرضى – الذين يتعرضون بسبب الإستخدام الطبي للإشعاع – وعن الأشخاص الذين تعرضوا في أماكن العمل.

هناك طريقة أخرى لتصنيف التعرُّض الإشعاعي وهي الكيفية التي تشع بها الينا. فالمواد المشعة والإشعاع في البيئة قد تُشَعِعان جسمنا من الخارج–**خارجياً**، أو قد نستنشق هذه المواد في الهواء، نبتلعها في الغذاء والماء أو نمتصها من خلال الجلد والجروح، وبعد ذلك تشععنا من الداخل–**داخلياً**. عالمياً، تُعتبر جرعات التعرُّض الإشعاعي الداخلي والخارجي ذات قيم متساوية.

توزيع التعرُّض للإشعاع على الصعيد العالمي



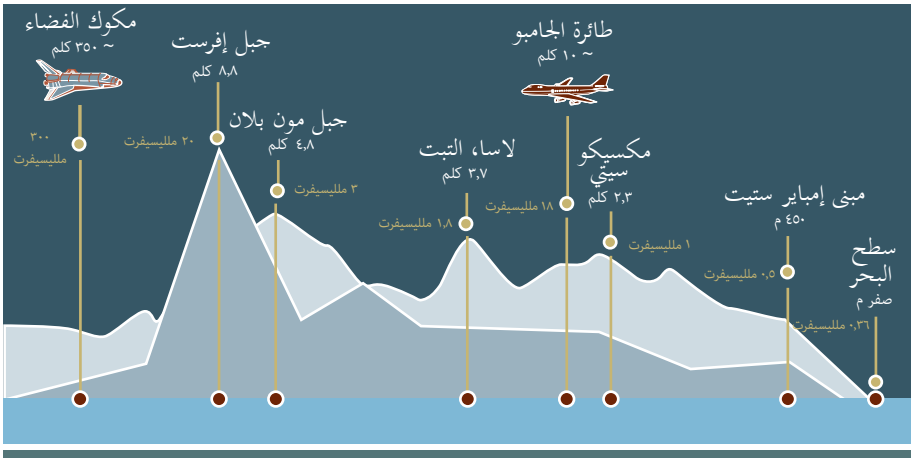
١- المصادر الطبيعية

منذ نشأة الأرض، تعرضت بيئتها للإشعاع، سواء من الفضاء الخارجي أو من المواد الموجودة في قشرتها ونواتها. لا توجد وسيلة لتجنب التعرُّض الى هذه المصادر الطبيعية، والتي في الواقع، تسبب التعرُّض الأكبر لسكان العالم. فمعدل الجرعة الفعالة السنوية على نطاق عالمي، تقدَّر للشخص الواحد بحوالي ٢,٤ ملليسيفرت، وتتراوح تقريباً من ١ إلى أكثر من ١٠ ملليسيفرت تبعاً للمكان الذي يعيش فيه الناس. فالمباني قد تحبس غاز مشع معين – غاز الرادون – أو مواد البناء ذاتها قد تحتوي على نويدات مشعة تؤدي الى زيادة التعرُّض الإشعاعي. وعلى الرغم من أن المصادر هي طبيعية، فتعرضنا للإشعاع يمكن تعديله من قبل الخيارات التي نتخذها، مثل كيف وأين نعيش أو ماذا نأكل ونشرب.

المصادر الكونية

الأشعة الكونية هي مصدر طبيعي كبير للتعرُّض الخارجي للإشعاع. ومعظم هذه الأشعة تأتي من عمق الفضاء بين النجوم؛ والبعض ينبعث من الشمس خلال التوهجات الشمسية. تشعع الأرض مباشرة، وتتفاعل مع الغلاف الجوي، منتجة أنواع مختلفة من الإشعاع والمواد المشعة، التي هي مصدر الإشعاع المهيمن في الفضاء الخارجي. بينما الغلاف الجوي والمجال المغنطيسي للأرض يُخفضان إلى حد كبير من الإشعاع الكوني، بعض أجزاء من العالم هي أكثر عرضة من غيرها. وبما أن الأشعة الكونية تنحرف بواسطة المجال المغنطيسي إلى القطبين الشمالي والجنوبي، فإنهم يتلقون أكثر من المناطق الإستوائية.

الجرعات السنوية من الإشعاع الكوني *



* على افتراض التعرض المستمر في هذه المواقع لمدة سنة.

علاوة على ذلك، مستوى التعرُّض يزيد مع الإرتفاع، لأنَّ هناك هواء أقل ليكون بمثابة الدرع. وهكذا، الناس الذين يعيشون على مستوى سطح البحر يحصلون في المتوسط على جرعة فعالة حوالي ٠,٣ ملليسيفرت سنوياً من المصادر الكونية للإشعاع، أو ما يقرب من ١٠–١٥ في المئة من مجموع الجرعة من المصادر الطبيعية. أما اولئك الذين يعيشون فوق إرتفاع ٢٠٠٠ متر، يتلقون عدة مرات قدر هذه الجرعة. كما يمكن لركاب الطائرة أن يتعرضوا لجرعات أعلى، وذلك لأنَّ التعرُّض الإشعاعي من المصادر الكونية لا يتوقف فقط على الإرتفاع، ولكن أيضاً على طول الرحلات الجوية. فعلى سبيل المثال، في ارتفاعات الطيران المستخدمة ، يبلغ معدل الجرعة الفعالة حوالي ٠,٠٣ – ٠,٠٨ ملليسيفرت لرحلة مدتها ١٠ ساعات. وبعبارة أخرى، إن رحلة نيويورك – باريس ذهاباً وإياباً، تُعرّض الشخص إلى حوالي ٠,٠٥ ملليسيفرت، هذا يساوي تقريباً الجرعة الفعالة التي يمكن أن يحصل عليها المريض من فحص الصدر الروتيني بالأشعة السينية. وعلى الرغم من أن الجرعات الفعالة التي يتلقاها الراكب الواحد خلال الرحلة هي منخفضة، فالجرعات الجماعية قد تكون عالية جداً نظراً لوجود عدد كبير من الركاب والرحلات الجوية في جميع أنحاء العالم.

التعرُّض في أماكن العمل

الجرعة من المصادر الكونية ذات أهمية خاصة بالنسبة للأشخاص الذين يسافرون كثيراً مثل الطيارين وطاقم الطائرة، حيث يحصلون في المتوسط على حوالي ٢–٣ ملليسيفرت سنوياً. وقد تمَّ قياس الجرعات لعدد من البعثات الفضائية، وكانت الجرعات المبلّغ عنها لبعثات الفضاء القصيرة منخفضة–إعتماداً على النشاط الشمسي–في حدود ٢–٢٧ ملليسيفرت. ومع ذلك، يتلقى رائد فضاء في مهمة لمدة أربعة أشهر على متن محطة الفضاء الدولية التي تدور حول الأرض على بعد ٣٥٠ كيلومترا جرعة فعالة بحوالي ١٠٠ ملليسيفرت.

المصادر الأرضية

التربة

كل شيء في الأرض وعليها يحتوي على النويدات البدائية المشعة. وهذه النويدات المشعة هي طويلة الأمد للغاية، وُجدت في الأرض – مثل البوتاسيوم-٤٠، اليورانيوم-٢٣٨ والثوريوم-٢٣٢– مع النويدات المشعة التي تضمحل – مثل الراديوم-٢٢٦ وغاز الرادون-٢٢٢ – حيث تنبعث منها إشعاعات منذ ما قبل أن تأخذ الأرض شكلها الحالي. وتحسب اللجنة العلمية (UNSCEAR) أن كل شخص في جميع أنحاء العالم يتلقى في المتوسط جرعة فعالة بحوالي ٠,٤٨ ملليسيفرت سنوياً كتعرض خارجي من المصادر الأرضية.

التعرُّض الخارجي يختلف إلى حدٍ كبير من موقع إلى آخر. وتُشير دراسات في فرنسا وألمانيا وإيطاليا واليابان والولايات المتحدة، على سبيل المثال، إلى أن نحو ٩٥ في المئة من سكانهم يعيشون في مناطق تتراوح فيها معدل الجرعة السنوية في الهواء الطلق ما بين ٠,٣- ٠,٦ ملليسيفرت. ومع ذلك، يمكن للناس ببعض الأماكن في هذه البلدان أن يتلقوا جرعات أعلى من ١ ملليسيفرت سنوياً. كما يوجد أماكن أخرى في العالم حيث التعرُّض للإشعاع من مصادر أرضية أعلى من ذلك، على سبيل المثال، الساحل الجنوبي الغربي من ولاية كيرالا في الهند، وهو ذات كثافة سكانية عالية ٥٥- كيلومترا شريط طويل من الأرض يحتوي على رمال غنية بالثوريوم، حيث يتلقى الناس في المتوسط ٣,٨ ملليسيفرت سنوياً. ومن المعروف، ايضاً أن هناك مناطق أخرى ذات مستويات عالية للإشعاع من المصادر الأرضية الطبيعية موجودة في البرازيل والصين وجمهورية إيران الإسلامية ومدغشقر ونيجيريا.

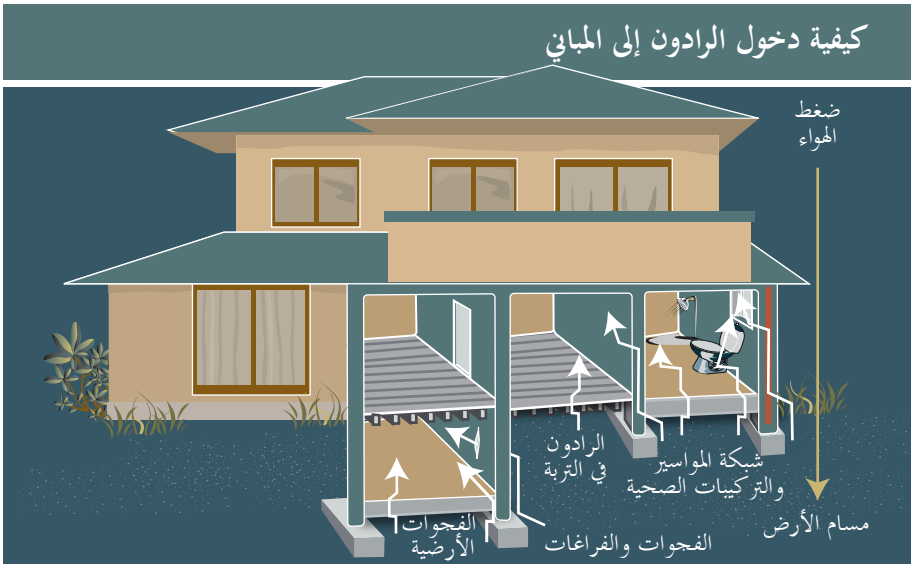
غاز الرادون

الرادون-٢٢٢ هو نويدات مُشعة في شكل غاز، تنبعث عادة من التربة. ويتم إنتاجه من إضمحلال سلسلة اليورانيوم-٢٣٨ الموجودة في صخور وتربة الأرض. عند إستنشاقه، بعض منتجات اضمحلال الرادون القصيرة الأمد – بشكل رئيسي البولونيوم-٢١٨ و-٢١٤ – تبقى في الرئتين، وتشعع الخلايا في الجهاز التنفسي بجسيمات ألفا. لذا، الرادون هو السبب الرئيسي لسرطان الرئة عند كل من المدخنين وغير المدخنين. ولكن المدخنين هم أكثر عرضة بكثير للإصابة به، بسبب التفاعل القوي بين التدخين والتعرُّض لغاز الرادون.

يوجد الرادون في كل مكان في الغلاف الجوي، ويمكن أن يتسرب مباشرة إلى المباني من خلال الأقبية والطوابق، حيث يتزايد تركيزه – كمية النشاط من حيث الاضمحلال مع الوقت في حجم معين من الهواء – في الأساس، عندما يتم تدفئة المنازل، يرتفع الهواء الدافئ الى الجزء العلوي من المنزل، ويتسرب من خلال النوافذ أو التسربات، مما يخلق الضغط المنخفض في الطابق الأرضي والسفلي، وهذا بدوره يؤدي الى شفط الرادون من باطن الأرض من خلال الشقوق والتسربات (على سبيل المثال حول إدخالات أنابيب الخدمة) في الجزء السفلي من المنزل.

على الصعيد العالمي، معدل تركيز الرادون في الأماكن المغلقة هو حوالي ٥٠ بكريل/م٣. ويخفي هذا المعدل التباين الكبير من مكان إلى آخر. بشكلٍ عام، معدل التركيزات الوطنية تختلف على نطاق واسع، وتتراوح بين أقل من ١٠ بكريل/م٣ في قبرص ومصر وكوبا، وأكثر من ١٠٠ بكريل/م٣ في جمهورية التشيك وفنلندا ولوكسمبورغ. أما في بعض البلدان، مثل كندا والسويد وسويسرا هناك منازل تتراوح فيها تركيزات غاز الرادون ما بين ١٠٠٠و ١٠٠٠٠بكريل/م٣. ومع ذلك، إن نسبة البيوت

التي يوجد فيها تركيزات عالية المستوى نادرة. فبعض العوامل التي تسبب هذا الإختلاف هي الجيولوجيا المحلية الكامنة ونفاذية التربة ومواد البناء وتهوئة المباني.



التهوئة التي تعتمد على المناخ بشكل خاص هي عامل رئيسي. وإذا كانت التهوئة في المباني جيدة، كما هو الحال في المناخ الإستوائي، فتراكم غاز الرادون من غير المرجّح أن يكون كبيراً. ومع ذلك، في المناخات المعتدلة أو الباردة، حيث تكون الأماكن أقل تهوئة، يمكن أن تتراكم تركيزات غاز الرادون بشكل كبير. وهكذا، تأثير التهوئة المحدودة هي عامل مهم عند تصميم المباني الموفِّرة للطاقة. وقد تمَّ تنظيم برامج قياس واسعة في العديد من البلدان، والتي شكلت الأساس لتنفيذ تدابير للحد من تركيزات غاز الرادون في الأماكن المغلقة.

مستوى غاز الرادون في المياه عادة ما يكون منخفض جداً، ولكن بعض الإمدادات – على سبيل المثال الآبار العميقة في هلسنكي، فنلندا، والينابيع الساخنة في أركنساس، الولايات المتحدة الأمريكية – لديها تركيزات عالية جداً. والرادون في المياه يمكن أن يساهم في زيادة تركيزه في الهواء، ولاسيما في الحمام عند الإستحمام. وقد خلصت اللجنة العلمية (UNSCEAR) الى أن مساهمة الجرعة من إبتلاع الرادون في مياه الشرب صغيرة بالمقارنة مع إستنشاقه. وتقدِّر اللجنة العلمية أن معدل الجرعة الفعالة السنوية الناتجة من غاز الرادون بحوالي ١,٣ ملليسيفرت، أي ما يمثل حوالي نصف ما يتلقاه الجمهور من جميع المصادر الطبيعية.

التعرُّض في أماكن العمل

بالنسبة لبعض أماكن العمل، إستنشاق غاز الرادون يهيمن على التعرُّض الإشعاعي للعاملين. الرادون هو المصدر الرئيسي للتعرض الإشعاعي لكل أنواع المناجم تحت الأرض. فمعدل الجرعة الفعالة السنوية لعامل في منجم فحم بحوالي ٢,٤ ملليسيفرت، ولعامل في مناجم أخرى حوالي ٣ ملليسيفرت. وفي الصناعة النووية، معدل الجرعة الفعالة السنوية للعامل حوالي ١ ملليسيفرت، ومعظمها من التعرض لغاز الرادون في تعدين اليورانيوم.

المصادر من الطعام والشراب

قد يحتوي الطعام والشراب على النويدات البدائية المشعة وبعض النويدات الأخرى، بشكل رئيسي من المصادر الطبيعية. يمكن نقل النويدات المشعة إلى النباتات، ثم الى الحيوانات من الصخور والمعادن الموجودة في التربة والمياه. وهكذا، تختلف الجرعات تبعاً لتركيز النويدات المشعة في الأغذية والمياه، وتبعاً لعادات النظام الغذائي المحلي.

على سبيل المثال، الأسماك والمأكولات البحرية لديهم مستويات عالية نسبياً من الرصاص-٢١٠ والبولونيوم-٢١٠، فالأشخاص الذين يتناولون كميات كبيرة من المأكولات البحرية، قد يتلقون جرعات أعلى إلى حد ما من عموم السكان. والناس في المناطق القطبية الذين يستهلكون كميات كبيرة من لحوم الرنة، يتلقون نسبياً جرعات أعلى. والرنة في منطقة القطب الشمالي تحتوي على تركيزات نسبياً عالية من البولونيوم-٢١٠، الذي تراكم من نبات الحزاز التي تتغذى عليه. وتقدِّر اللجنة العلمية (UNSCEAR) معدل الجرعة الفعالة من المصادر الطبيعية في الطعام والشراب بحوالي ٠,٣ ملليسيفرت، ويرجع ذلك أساساً إلى البوتاسيوم-٤٠ واليورانيوم-٢٣٨ وسلسلة الثوريوم-٢٣٢ المشعة.

النويدات المشعة من المصادر الإصطناعية بالإضافة إلى العناصر المشعة من المصادر الطبيعية يمكن أن تكون موجودة في المواد الغذائية. ومع ذلك، إن مساهمة جرعة من التصريفات المأذون بها من هذه النويدات المشعة إلى البيئة هي عادة ما تكون صغيرة جداً.

٢- المصادر الإصطناعية

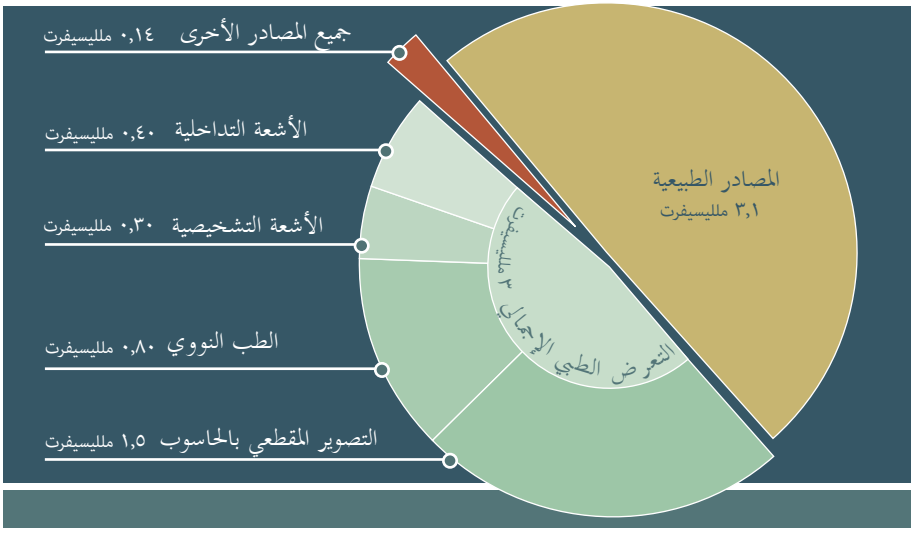
كثرت إستخدامات الإشعاع بشكل كبير خلال العقود الماضية، حيث أصبح العلماء على معرفة بإستخدام الطاقة من الذرة لمجموعة واسعة من الأغراض، من الإستخدامات العسكرية إلى التطبيقات الطبية (مثل علاج السرطان)، ومن إنتاج الكهرباء إلى التطبيقات المنزلية (مثل أجهزة الكشف عن الدخان). هذه المصادر الإصطناعية وغيرها، أُضيفت إلى الجرعة الإشعاعية من المصادر الطبيعية للأفراد وسكان العالم.

والجرعات الفردية من المصادر الإصطناعية للإشعاع تختلف إختلافا كبيراً. معظم الناس يحصلون على جرعة صغيرة نسبياً من هذه المصادر، لكن قلة قليلة تتلقى عدة مرات أكثر من المتوسط. عموماً، المصادر الإصطناعية للإشعاع يتم السيطرة عليها بشكل جيد عن طريق إتخاذ تدابير الحماية من الإشعاع.

التطبيقات الطبية

إستخدام الإشعاع في الطب للتشخيص وعلاج أمراض معينة يلعب دوراً مهماً، والذي هو حالياً الى حد بعيد المصدر الإصطناعي الرئيسي للتعرض للإشعاع في العالم. في المتوسط، يمثّل ٩٨ في المئة من التعرُّض الإشعاعي من جميع المصادر الإصطناعية، كما يُعَد ثاني أكبر مساهم في تعرُّض السكان في جميع أنحاء العالم بعد المصادر الطبيعية، ويمثّل حوالي ٢٠ في المئة من المجموع. إن معظم هذا التعرُّض يحدث في البلدان الصناعية، حيث يتوفر المزيد من الموارد للحصول على الرعاية الطبية، بالإضافة الى إستخدام معدات الأشعة على نطاق واسع. مما أدى ذلك في بعض البلدان الى مماثلة متوسط الجرعة الفعالة السنوية من الإستخدام الطبي لتلك من المصادر الطبيعية.

متوسط الجرعات الفعالة للشخص في الولايات المتحدة (٢٠٠٧)



وهناك إختلافات جوهرية واضحة بين التعرُّض الطبي ومعظم الأنواع الأخرى. عادةً ما ينطوي التعرُّض الطبي على جزء من الجسم فقط، في حين الأنواع الأخرى في كثير من الأحيان تنطوي على كامل الجسم. بالإضافة إلى ذلك، أن توزيع أعمار المرضى يغطي عادة الفئة العمرية الأكبر سناً من ذلك

لعموم السكان. وفوق ذلك، يجب مقارنة الجرعات الناتجة من التعرُّض الطبي مع تلك الناتجة من المصادر الأخرى بعناية كبيرة، نظراً لأن المرضى يحصلون على فائدة مباشرة من تعرضهم.

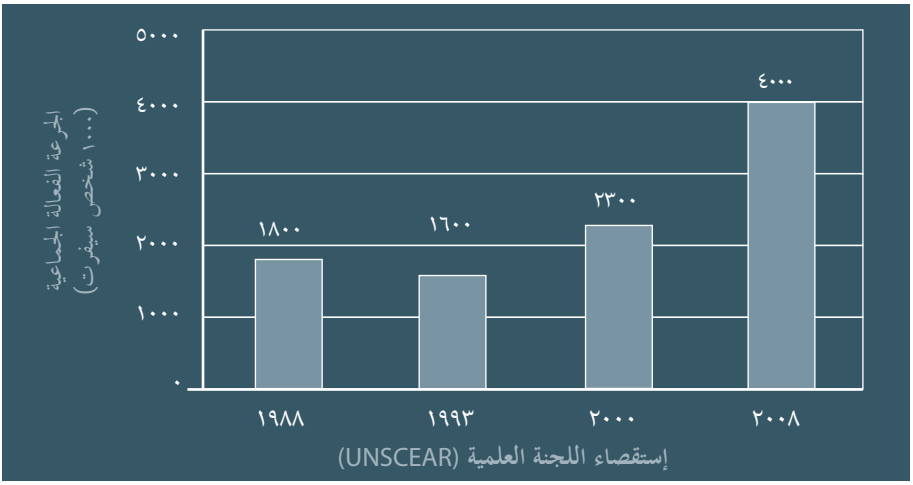
التحضُّر، جنباً إلى جنب مع التحسن التدريجي في مستويات المعيشة، يعني حتماً أن المزيد من الناس يمكنهم الحصول على الرعاية الصحية. ونتيجة لذلك، لا تزال جرعة السكان بسبب التعرُّض الطبي في زيادة في جميع أنحاء العالم. وتقوم اللجنة العلمية (UNSCEAR) بجمع المعلومات بصورة منتظمة عن الإجراءات التشخيصية والعلاجية. ووفقاً لإستطلاع للفترة الممتدة ما بين عامي ١٩٩٧-٢٠٠٧، تمَّ إنجاز حوالي ٣,٦ مليار من إجراءات الأشعة الطبية سنوياً في جميع أنحاء العالم مقارنة مع ٢,٥ مليار في الفترة السابقة للمسح التي غطت الأعوام ١٩٩١-١٩٩٦ أي بزيادة ما يقرب ٥٠ في المئة.

أما في مجال الممارسة الطبية، الفئات الرئيسية العامة التي تنطوي على الإشعاع هي التشخيص بالأشعة (بما في ذلك الإجراءات التداخلية) والطب النووي والعلاج الإشعاعي. وتشمل الإستخدامات الأخرى غير المشمولة في تقييمات منظمة اللجنة العلمية (UNSCEAR) برامج الفحص الصحي والمشاركة الطوعية في برامج الأبحاث الطبية والحيوية الطبية وبرامج الأبحاث التشخيصية أو العلاجية.

الأشعة التشخيصية هي تحليل الصور التي تمَّ الحصول عليها بإستخدام الأشعة السينية، كما هو الحال في التصوير الشعاعي العادي (مثال تصوير الصدر أو الأسنان) والتنظير (على سبيل المثال، مع وجبة الباريوم أو حقنة شرجية) والتصوير المقطعي بالحاسوب. إن طرق التصوير التي تستخدم الإشعاع غير المؤيِّن مثل الموجات فوق الصوتية أو التصوير المقطعي بالرنين المغناطيسي، لم يتم تناولها من قبل اللجنة العلمية (UNSCEAR). **الأشعة التداخلية** تستخدم تقنية توجيه العمليات بواسطة الصور، بغرض تشخيص وعلاج الأمراض بأقل ضرر للمرضى (مثل توجيه القسطرة في أحد الأوعية الدموية).

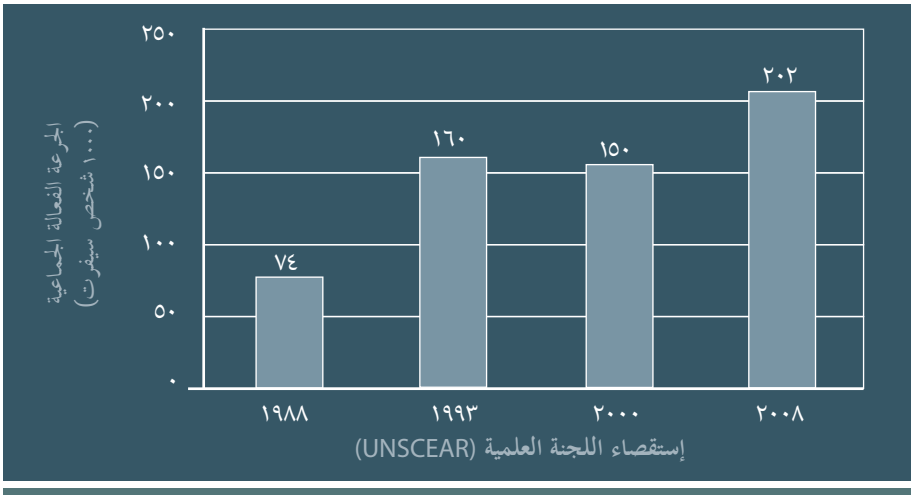
وبسبب التوسع في إستخدام التصوير المقطعي والجرعة الكبيرة في الفحص الناتجة عنه، تضاعف عالمياً معدل الجرعة الفعالة من الإجراءات الإشعاعية التشخيصية تقريباً من ٠,٣٥ ملليسيفرت في عام ١٩٨٨ الى ٠,٦٢ ملليسيفرت في عام ٢٠٠٧. ووفقاً لأحدث دراسة إستقصائية للجنة العلمية (UNSCEAR) التي خلصت الى أن الفحص بالأشعة المقطعية يمثل الآن ٤٣ في المئة من مجموع الجرعة الجماعية نتيجة الأشعة التشخيصية. هذه الأرقام تختلف من منطقة إلى أخرى. فنحو ثلثي جميع الإجراءات الإشعاعية التشخيصية يتلقاها ٢٥ في المئة من سكان العالم الذين يعيشون في البلدان الصناعية. ولبقية ٧٥ في المئة من سكان العالم ، بقي التردد السنوي للإجراءات ثابت إلى حد ما، حتى بالنسبة للفحوصات البسيطة كفحص الأسنان بالأشعة السينية.

التعرُّض العالمي بسبب استخدامات علم الأشعة (١٩٨٨-٢٠٠٨)



الطب النووي هو إدخال المواد المشعة **غير المختومة** (أي القابلة للذوبان وليست مغلَّفة) في الجسم، وعلى الأغلب من أجل الحصول على الصور التي تقدم معلومات عن هيكل أو وظيفة العضو، وإستخدامه ليس شائعاً كثيراً لعلاج بعض الأمراض، مثل فرط نشاط الغدة الدرقية وسرطان الغدة الدرقية. عموماً، يتم تعديل النويدات المشعة لتشكيل مواد صيدلانية مُشعة، التي عادة ما تُعطى عن طريق الوريد أو عن طريق الفم، ومن ثم تتناثر في الجسم وفقاً للخصائص الفيزيائية أو

التعرُّض العالمي بسبب الطب النووي (١٩٨٨-٢٠٠٨)



الكيميائية، مما يجعل الفحص ممكناً. وبالتالي، يتم تحليل الإشعاع المنبعث من النويدات المشعة داخل الجسم لإنتاج الصور التشخيصية أو يستخدم لعلاج الأمراض.

إرتفع عدد إجراءات الطب النووي التشخيصية في جميع أنحاء العالم من حوالي ٢٤ مليون في عام ١٩٨٨ إلى حوالي ٣٣ مليون في عام ٢٠٠٧. مما أدى ذلك إلى زيادة كبيرة في الجرعة الفعالة الجماعية السنوية من ٧٤٠٠٠ الى ٢٠٢٠٠٠ شخص-سيفرت. والتطبيقات العلاجية في الطب النووي الحديث تتزايد أيضاً لتصل إلى نحو ٠,٩ مليون مريض سنوياً في جميع أنحاء العالم. مرة أخرى، إستخدام الطب النووي غير متكافئ للغاية، لأنَّ ٩٠ في المئة من الفحوصات تجري في البلدان الصناعية.

العلاج الإشعاعي يستخدم الإشعاع لعلاج الأمراض المختلفة، عادة السرطان، ولكن أيضاً الأورام الحميدة. العلاج الإشعاعي الخارجي يُشير الى علاج المريض بإستخدام مصدر إشعاع يكون خارج جسمه، ويسمى **مُعالجة بعادية**. ويُستخدم في ذلك جهاز يحتوي على مصدر مُشع للغاية (عادة الكوبالت-٦٠) أو آلة ذات الجهد العالي التي تنتج الإشعاع (مثل معجل خطي). كما يمكن أيضاً العلاج بوضع قطعة معدنية أو مصادر مُشعة مغلَّفة سواء بشكل مؤقت أو بشكل دائم داخل المريض، وهذا ما يسمى **بالعلاج الإشعاعي الموضعي**.

عالمياً، تمَّ علاج حوالي ٥,١ مليون مريض سنوياً بإستخدام العلاج الإشعاعي خلال الفترة الممتدة ما بين عامي ١٩٩٧–٢٠٠٧، مرتفعاً عن عام ١٩٨٨بنحو ٤,٣ مليون. كما تمَّ معالجة حوالي ٤,٧ مليون شخص معالجة بعادية، و٠,٤ مليون بالمعالجة الموضعية. حيث إن ٢٥ في المئة من السكان الذين يعيشون في البلدان الصناعية، تلقوا٧٠ في المئة من العلاج الإشعاعي في جميع أنحاء العالم و٤٠ في المئة من جميع إجراءات العلاج الموضعي.

التعرُّض في أماكن العمل

نظراً لإرتفاع إجمالي عدد الإجراءات الطبية الإشعاعية بشكل كبير في العقود الماضية، بالتالي، عدد العاملين المعنيين في المجال الصحي يتعدى ٧ مليون، بمعدل جرعة فعالة سنوية حوالي ٠,٥ ملليسيفرت للعامل. وفي الأشعة التداخلية والطب النووي قد يتلقى الطاقم الطبي أعلى من متوسط الجرعة.

الحوادث في الإستخدامات الطبية

بعض التطبيقات الطبية للإشعاع (مثل العلاج الإشعاعي والأشعة التداخلية والطب النووي) تنطوي على تقديم جرعات عالية للمرضى. فعندما تطبق بشكل غير صحيح، يمكن أن تُسبب ضرراً خطيراً أو حتى الموت، وهذا لا يقتصر فقط على المرضى فحسب، بل أيضاً الأطباء وغيرهم من العاملين في مجال الطب الإشعاعي. ويُعتبر الخطأ البشري السبب الأكثر شيوعاً لهذه الحوادث. ومن

الأمثلة على ذلك، إعطاء جرعة خاطئة بسبب أخطاء تخطيط العلاج وعدم إستخدام المعدات بشكل صحيح وتعريض العضو الخطأ أو في بعض الأحيان حتى المريض الخطأ.

في حين أن حوادث العلاج الإشعاعي الخطيرة نادرة، لكن أكثر من ١٠٠ تمَّ فهرستها. وإستعرضت اللجنة العلمية (UNSCEAR) ٢٩ حادثاً من الحوادث المُبلَّغ عنها منذ عام ١٩٦٧، والتي تسببت في ٤٥ حالة وفاة و ٦١٣ إصابة. ومن المرجّح أن بعض الوفيات والعديد من الإصابات لم يتم الإبلاغ عنها.

لا تقتصر العواقب الخطيرة على التعرُّض المفرط فقط، بل نقصه أيضاً، وذلك عندما يتلقى المرضى جرعة من الإشعاع غير كافية لعلاج مرض مهدد للحياة. لذا، أن برامج ضمان الجودة، تساعد في الحفاظ على معايير عالية وثابتة من الممارسة، من أجل تقليل مخاطر مثل هذه الحوادث.

الأسلحة النووية

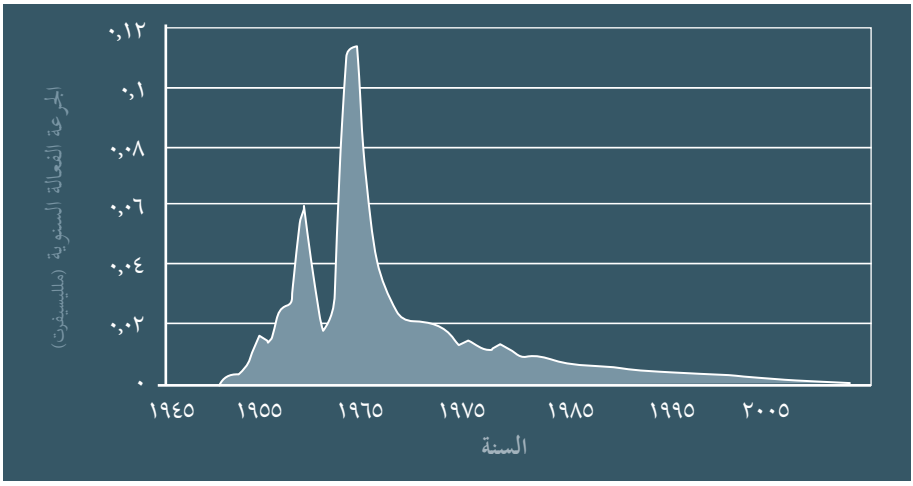
في عام ١٩٤٥، وخلال المرحلة الأخيرة من الحرب العالمية الثانية، تمَّ إسقاط قنبلتين نوويتين على المدن اليابانية - هيروشيما في ٦ اغسطس وناكازاكي في ٩ اغسطس. إنفجارات هاتين القنبلتين نتج عنها وفاة ما يقرب من ١٣٠٠٠٠ شخص. وبقيت هذه الأحداث الوحيدة التي تمَّ فيها إستخدام الأسلحة النووية في تاريخ الحروب. وبعد عام ١٩٤٥، جرى إختبار العديد من الأسلحة النووية في الغلاف الجوي، ومعظمها في نصف الكرة الشمالي. كانت فترة الإختبار الأكثر نشاطاً بين عامي ١٩٥٢ و١٩٦٢، التي أُجريت خلالها أكثر من ٥٠٠ اختبار الذي يعادل ما يزيد عن إجمالي ٤٣٠ ميغا-طن من ثالث نترات التولوين (تي ان تي)، وأخر تلك الإختبارات كان في عام ١٩٨٠، حيث تَعَرَض الناس حول العالم للإشعاع نتيجة الغبار المشع المتساقط من هذه التجارب. ورداً على المخاوف بشأن تعرض البشر والبيئة للإشعاع، تأسست اللجنة العلمية (UNSCEAR) في عام ١٩٥٥.

كان معدل الجرعة الفعالة التقديرية السنوية بسبب تداعيات تجارب الأسلحة النووية في الغلاف الجوي في أعلى مقاييسها في عام ١٩٦٣، حيث بلغت ٠,١١ ملليسيفرت، وإنخفض بعد ذلك الى مستواه الحالي البالغ حوالي ٠,٠٠٥ ملليسيفرت. هذا وسوف يتواصل هذا التعرُّض في الإنخفاض مستقبلاً، ولكن ببطء شديد، لأن معظم ما هو عليه الآن بسبب النويدة المشعة للكربون-١٤ الطويلة الأمد.

إن ما يصل إلى ٥٠ في المئة من إجمالي الغبار المشع المتساقط من الإختبارات السطحية، يُودع محلياً ضمن حوالي ١٠٠ كيلومتراً من موقع الإختبار. وهكذا، الناس الذين يعيشون بالقرب من مواقع الإختبار، يتعرضون بصورة رئيسة لهذا الغبار المُشع المتساقط. مع ذلك، وبسبب إجراء الإختبارات في المناطق النائية نسبياً، كانت نسبة تعرض السكان المحليين قليلة، حيث لم يساهم هذا التعرُّض

إسهاماً كبيراً في الجرعة الجماعية العالمية. بالرغم من ذلك، تلقى الناس الذين يعيشون مع إتجاه الريح من مواقع التجارب جرعات أعلى بكثير من المتوسط.

متوسط الجرعة العالمية للفرد من تساقط الغبار المشع نتيجة التجارب النووية



أرسى التقرير الأول للجنة العلمية (UNSCEAR) في عام ١٩٥٨ الأسس العلمية، والتي استُند اليها في التفاوض على **معاهدة حظر تجارب الأسلحة النووية في الجو وفي الفضاء الخارجي وتحت سطح الماء**. وبعد التوقيع على معاهدة الحظر الجزئي في عام ١٩٦٣، تمَّ إجراء حوالي ٥٠ إختباراً تحت الأرض سنوياً ولغاية التسعينيات؛ كما إجريت بعد ذلك بعض الإختبارات. ومعظم هذه الإختبارات كانت ذات عائد نووي أقل بكثير من الإختبارات في الغلاف الجوي، وكان أي حطام مُشع من تجارب باطن الأرض يتم إحتواءه، ولا يخرج لسطح الأرض ما لم تتسرب او تنفث بعض الغازات إلى الغلاف الجوي. وبالرغم من أن الإختبارات تنتج كمية كبيرة جداً من المخلفات المشعة، لكن ليس متوقعاً أن يتعرض الجمهور لها، لأنها تقع في أعماق الأرض، وتنصهر بشكل أساسي مع الصخور المضيفة.

هناك قلق بشأن إعادة إستخدام مناطق التجارب النووية، لأن بعضها أُعيد إشغالها (على سبيل المثال رعي الحيوانات أو الزراعة). فالجرعات من المخلفات المشعة في بعض المواقع، على ما هو الحال في مناطق محددة في موقع التجارب في سيميبالاتينسك في كازاخستان، قد تكون كبيرة، بينما في حالات أخرى، كما في الجزر المرجانية موروروا وفنغاتوفا في بولينيزيا الفرنسية، فلا تساهم بأكثر من جزء بسيط من التعرُّض الطبيعي غير المباشر للسكان المقيمين في الموقع. بالنسبة لبعض المواقع التي لا تزال فيها آثار، مثال جزر مارشال ومارالينجا، التي أجرت فيهما الولايات المتحدة والمملكة

المتحدة على التوالي بعض الإختبارات، فتعرُّض السكان الذين يعيشون فيها يعتمد على النظام الغذائي وأسلوب الحياة.

المفاعلات النووية

عندما يتم ضرب نظائر معينة من اليورانيوم أو البلوتونيوم بالنيوترونات، تنقسم النواة إلى نواتين أصغر من خلال عملية تسمى الإنشطار النووي، حيث يتم الإفراج عن الطاقة ونيوترونين أو أكثر. ويمكن للنيوترونات المتحررة أيضاً، أن تضرب نويدات أُخرى من اليورانيوم أو البلوتونيوم وتسبب تقسيمها، والإفراج عن المزيد من النيوترونات، يمكن بدورها تقسيم المزيد من النوى، وهذا ما يسمى بردود الفعل المتسلسلة. عادةً، تُستخدم هذه النظائر كوقود في المفاعلات النووية، حيث يتم التحكم في سلسلة ردود الفعل لوقفها من أن تسير بسرعة كبيرة خارجة عن التحكم.

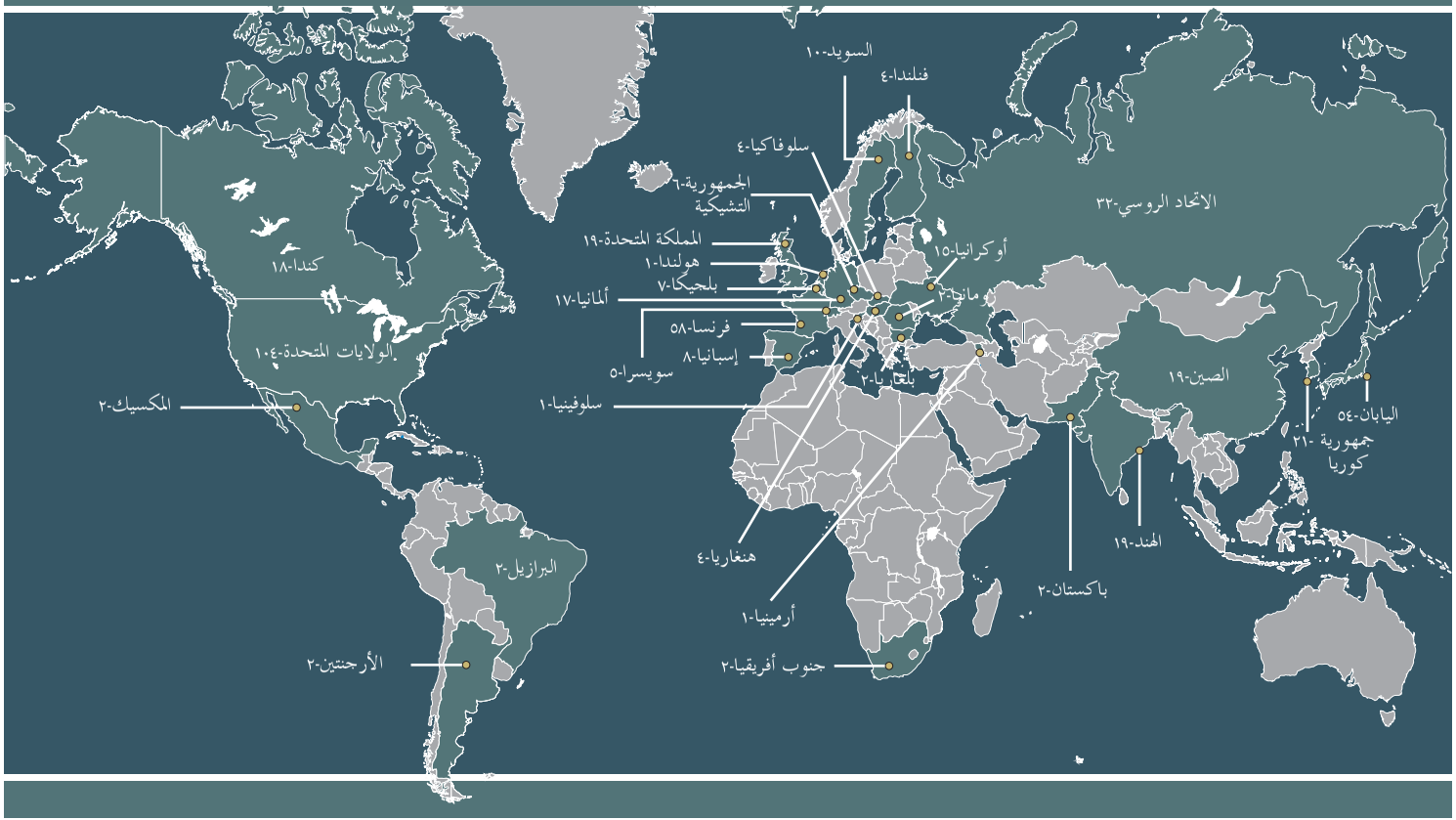
الطاقة المنطلقة من الإنشطار في المفاعلات النووية، يمكن إستخدامها لإنتاج الكهرباء في محطات الطاقة النووية. وهناك أيضاً مفاعلات الأبحاث التي تُستخدم لإختبار الوقود النووي وأنواع مختلفة من المواد، ولإجراء تحقيقات في الفيزياء النووية وعلم الأحياء، ولإنتاج النظائر المشعة لإستخدامها في الطب والصناعة. وعلى الرغم من وجود خلافات بين هذين النوعين من المفاعلات، فكلاهما يتطلب عمليات صناعية، كتعدين اليورانيوم والتخلص من النفايات المشعة التي يمكن أن تؤدي إلى التعرُّض المهني والعام.

محطات الطاقة النووية

كالدرهول هي أول محطة تجارية للطاقة النووية على نطاق صناعي في العالم، بُنيت في عام ١٩٥٦ في المملكة المتحدة. ومنذ ذلك الحين، نَمَا إلى حد كبير توليد الطاقة الكهربائية عن طريق الطاقة النووية. وعلى الرغم من الزيادة في إخراج المفاعلات القديمة من الخدمة ، فلا يزال إنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر نووية في النمو. وبحلول نهاية عام ٢٠١٠، كان يوجد حوالي ٤٤٠ مفاعلاً للطاقة النووية في ٢٩ بلداً، حيث توفر الطاقة النووية نحو ١٠ في المئة من توليد الكهرباء في العالم. وتنتشر مفاعلات الأبحاث على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم، ويبلغ عددها٢٤٠ مفاعلاً في ٥٦ دولة.

وعلى الرغم من أن إنتاج الكهرباء بإستخدام الطاقة النووية هو محل جدل في كثير من الأحيان، فإن محطات الطاقة النووية تساهم بنسبة قليلة جداً من التعرُّض العالمي للإشعاع. علاوة على ذلك، مستويات التعرُّض للإشعاع تختلف على نطاق واسع من نوع منشأة إلى أخرى، وبين مواقع مختلفة وعلى مر الزمن.

المحطات النووية لتوليد الطاقة على الصعيد العالمي (٢٠١٠)



وتميل مستويات التعرُّض الشاملة بسبب التصريف الطبيعي من المفاعلات لتكون أقل، بالرغم من الإنتاج الكهربائي المتزايد من هذة المفاعلات. ويرجع ذلك، من ناحية إلى التحسينات في التكنولوجيا، ومن ناحية أخرى الى تدابير الحماية من الإشعاع، حيث باتت أكثر صرامة. بشكلٍ عام، أن الإشعاعات المصرفة من المنشآت النووية منخفضة جداً. وتقدَّر الجرعة الجماعية السنوية للسكان حول محطات الطاقة النووية بأن تكون ٧٥ شخص-سيفرت. وهكذا، من يعيش في المناطق القريبة من محطة توليد الطاقة، يتعرض في المتوسط إلى جرعة فعالة سنوية حوالي ٠,٠٠٠١ ملليسيفرت.

التعدين هو المكوّن المهيمن في التعرُّض للإشعاع من عمليات الطاقة النووية. فتعدين اليورانيوم وطحنه ينتج كميات كبيرة من المخلفات في شكل نفايات، التي تحتوي على مستويات عالية من النويدات المشعة الطبيعية. وبحلول عام ٢٠٠٣، كان إجمالي الإنتاج العالمي من اليورانيوم قد بلغ نحو مليوني طن، في حين أن مجموع النفايات الناتجة بلغت أكثر من مليار طن. وتتم المحافظة على أكوام المخلفات الحالية بشكل جيد، لكن يوجد العديد من المواقع المهجورة والقديمة حيث خضع فقط عدد قليل منها للإصلاح. تقدِّر اللجنة العلمية (UNSCEAR) الجرعة الجماعية السنوية الحالية للجماعات السكانية حول المناجم ومواقع الطحن وأكوام المخلفات بنحو ٥٠ –٦٠ شخص-سيفرت.

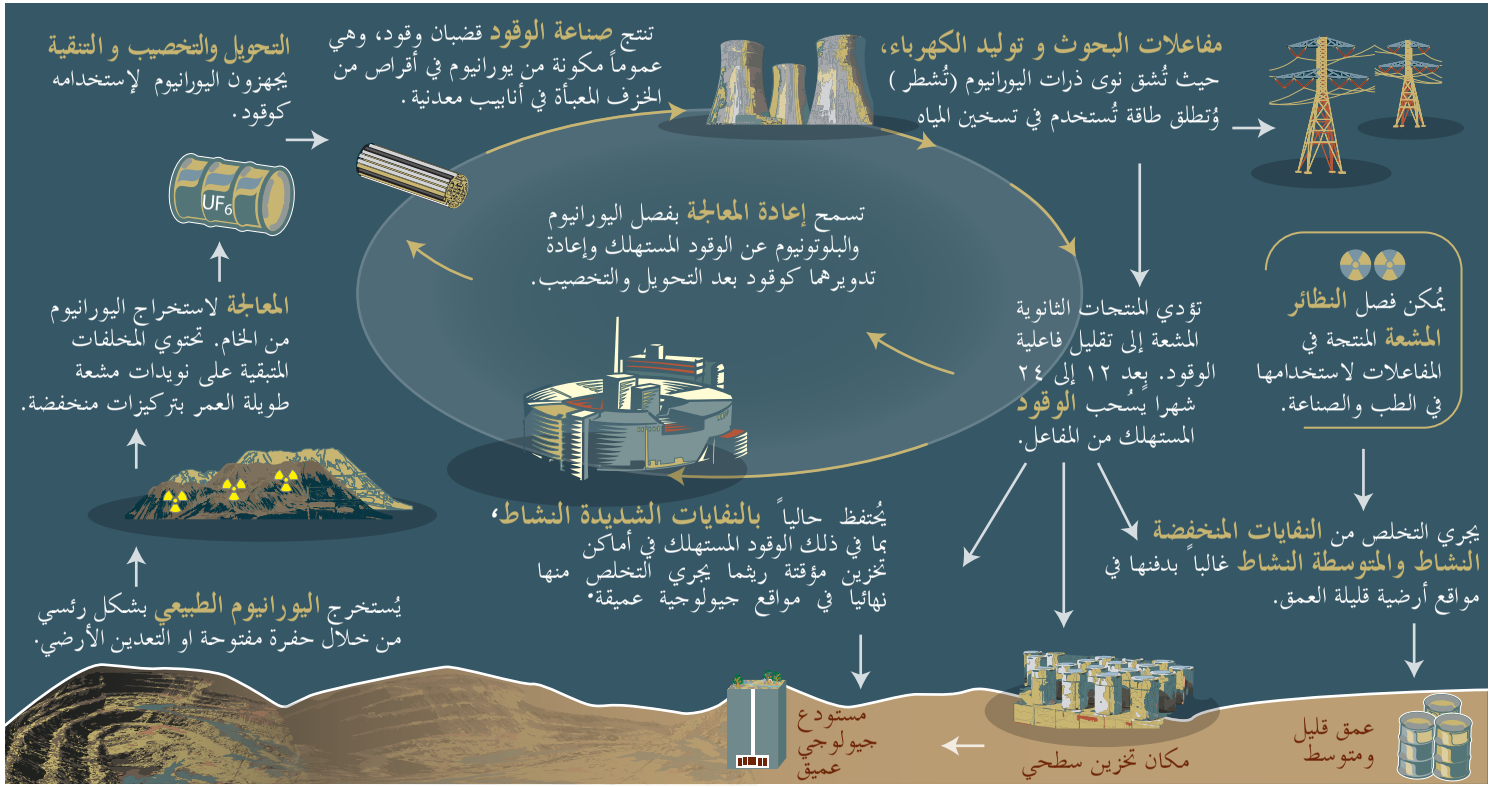
والوقود المستهلك من المفاعلات يمكن إعادة معالجته لإستعادة اليورانيوم والبلوتونيوم من أجل إستخدامه مرة أخرى. ومعظم الوقود يتم الإحتفاظ به في تخزين مؤقت، لكن حوالي ثلثه تمَّ إعادة معالجته حتى الآن. وتقدَّر الجرعة الجماعية السنوية في حدود ٢٠–٣٠ شخص-سيفرت والناتجة عن إعادة المعالجة.

ويتم التخلص حالياً من النفايات ذات المستوى المنخفض والمتوسط في مرافق قريبة من سطح الأرض ، على الرغم من أنه في الماضي تمَّ دفنها في بعض الأحيان في البحر. فكل من النفايات العالية المستوى والناتجة من إعادة المعالجة والوقود المستهلك (إن لم يكن قد إعيد معالجته) يتم تخزينها، ولكن في نهاية المطاف سوف تحتاج إلى أن يتم التخلص منها. والتخلص السليم من هذه النفايات، لا ينبغي أن يؤدي الى تعرُّض الناس حتى في المستقبل البعيد.

التعرُّض في أماكن العمل

في الصناعة النووية، الإفراج عن غاز الرادون في مناجم اليورانيوم تحت الأرض يجعل مساهمته جوهرية في التعرض المهني. إن إستخراج ومعالجة الخامات المشعة التي قد تحتوي على مستويات عالية من النويدات المشعة هو نشاط واسع النطاق. ومنذ عام ١٩٧٠، إنخفض تدريجياً معدل الجرعة الفعالة السنوية لكل عامل في الصناعة النووية من ٤,٤ ملليسيفرت إلى ١ ملليسيفرت في الوقت الحاضر. ويعود السبب الرئيسي في ذلك الى الإنخفاض الكبير في إستخراج اليورانيوم، إلى جانب التهوئة وتقنيات التعدين الأكثر تقدماً.

العمليات الرئيسية في الصناعة النووية



الحوادث في المنشآت النووية

رغم إنَّ مستويات التعرُّض أثناء التشغيل العادي للمرافق المدنية للصناعة النووية منخفضة جداً، ومع ذلك كانت هناك بعض الحوادث الخطيرة التي حظيت بإهتمام واسع النطاق من الجمهور، وتمَّ مراجعة عواقبها من قبل اللجنة العلمية (UNSCEAR). ومن الأمثلة على ذلك، مرفق فينكا للبحث في يوغوسلافيا السابقة في عام ١٩٥٨، ومحطة ثري مايل آيلاند للطاقة النووية في الولايات المتحدة في عام ١٩٧٩، ومنشأة تحويل الوقود في توكايمورا في اليابان في عام ١٩٩٩.

وما بين عامي ١٩٤٥ و٢٠٠٧، وقع ٣٥ حادثاً إشعاعياً حاداً في المنشآت النووية، وأسفر عن وفيات وإصابات خطيرة للموظفين، وسبعة حوادث خارج الموقع تسببت في إنبعاث مواد مُشعة، وتَعَرَض السكان لنسبة قليلة من الإشعاع. كما كانت هناك عدة حوادث في المرافق ذات الصلة ببرامج الأسلحة النووية. ما عدا حادثتي تشيرنوبيل في عام ١٩٨٦، وفوكوشيما-دايتشي في عام ٢٠١١ والتي تناقش فيما بعد، سجل ٣٢ حالة وفاة و٦١ إصابة متعلقة بالإشعاع تطلبت رعاية طبية.

كان الحادث الأكثر خطورة في منشأة مدنية قبل حادث تشيرنوبيل في محطة الطاقة النووية في ثري مايل آيلاند يوم ٢٨ مارس من عام ١٩٧٩. حيث سلسلة من الأحداث أدت إلى إنهيار جزئي لقلب المفاعل، فقد صدر عن هذا الحادث كميات كبيرة من نواتج الإنشطار والنويدات المشعة في داخل مبنى المفاعل، مما نتج عنه تعرُّض منخفض جداً للجمهور والقليل نسبياً الى البيئة.

حادث محطة تشيرنوبيل للطاقة النووية

لم يكن الحادث الذي وقع في محطة تشيرنوبيل للطاقة النووية في ٢٦ أبريل من عام ١٩٨٦ الأكثر حدة فقط في تاريخ الطاقة النووية المدنية، إنما كان أيضاً الأكثر خطورة من حيث التعرُّض للإشعاع لعموم السكان، وكانت الجرعة الجماعية من الحادث أكبر بعدة مرات من الجرعة الجماعية جنباً إلى جنب من بين كل الحوادث الإشعاعية الأخرى.

مباشرة بعد الحادث، توفي عاملان من الصدمة و١٣٤ عانوا من متلازمة الإشعاع الحادة التي كانت مميتة لثمانية وعشرون منهم، وكانت إصابات الجلد وإعتام عدسة العين المرتبطة بالإشعاع من بين المشاكل الرئيسية للناجين. والى جانب عمال الطوارئ، شارك مئات الآلاف من الأشخاص في وقت لاحق في عمليات الاصلاح. وبصرف النظر عن الزيادة الواضحة لظهور سرطان الدم وإعتام عدسة العين بين أولئك الذين تلقوا جرعات عالية في عامي ١٩٨٦و١٩٨٧، إذ إنه ليس هناك أي دليل ثابت حتى الآن عن الآثار الصحية الأخرى المرتبطة بإستخدام الأشعة في هذه المجموعة.

تسبب هذا الحادث في أكبر تسرب إشعاعي غير متحكم به في البيئة سجل على الاطلاق لأية عملية مدنية؛ حيث تمَّ الإفراج عن كميات كبيرة من المواد المشعة في الجو لمدة ١٠ أيام. فالسحابة المشعة التي أنشأها هذا الحادث، إنتشرت في نصف الكرة الشمالي بأكمله، وأودعت كميات كبيرة من المواد المشعة في مناطق واسعة من الإتحاد السوفييتي السابق وأجزاء أخرى من أوروبا، وأدت الى تلوث الأرض والمياه خاصة في روسيا البيضاء والإتحاد الروسي وأوكرانيا، كما أسفر هذا الحادث عن خلل إجتماعي وإقتصادي خطير لشرائح واسعة من السكان.

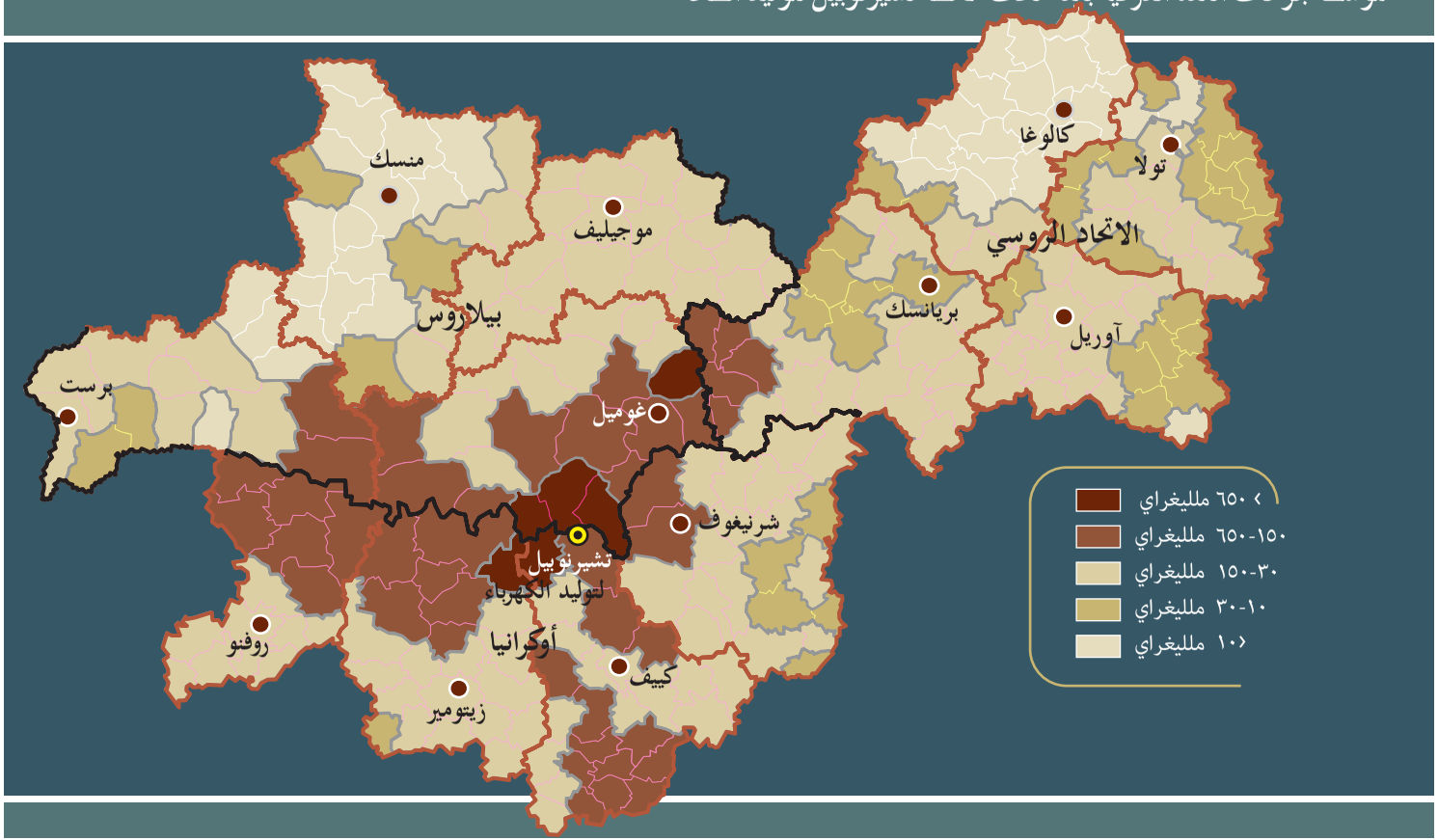
وتَلَوَثَ الحليب الطازج بالنويدة المشعة القصيرة الأجل اليود-١٣١ (مع نصف عمر ٨ أيام)، وأدى عدم وجود تدابير مضادة سريعة إلى جرعات عالية جداً للغدة الدرقية، خصوصاً عند الأطفال في أجزاء من الاتحاد السوفياتي السابق. ومنذ أوائل التسعينيات، إرتفع حدوث سرطان الغدة الدرقية عند الأشخاص الذين تعرضوا في عام ١٩٨٦ كالأطفال أو المراهقين في روسيا البيضاء وأوكرانيا وأربعة من المناطق الأكثر تضرراً في الاتحاد الروسي، حيث تمَّ الإبلاغ عن أكثر من٦٠٠٠ حالة في الفترة الممتدة بين عامي ١٩٩١ و٢٠٠٥، ثُبت منهم ١٥ حالة أنها مميتة.

وعلى المدى الطويل، تَعَرَض عموم السكان للإشعاع خارجياً من الودائع المشعة، وداخلياً من إستهلاك المواد الغذائية الملوثة، والتي معظمها من السيزيوم-١٣٧ (مع نصف عمر ٣٠ سنة). وأدى ذلك إلى جرعات إشعاعية منخفضة نسبياً على المدى الطويل، حيث كان معدل الجرعة الفعالة الفردية خلال فترة ١٩٨٦–٢٠٠٥ في المناطق الملوثة من روسيا البيضاء والاتحاد الروسي وأوكرانيا ٩ ملليسيفرت. إذ ليس من المرجّح أن يؤدي ذلك إلى آثار صحية كبيرة لعموم السكان. حتى الآن، فقد أدى الإضطراب الشديد الناجم عن الحادث الى أثر إجتماعي وإقتصادي رئيسي، ومحنة كبيرة للسكان المتضررين.

درست اللجنة العلمية (UNSCEAR) العواقب الإشعاعية للحادث بالتفصيل في عدة تقارير. وبذل المجتمع الدولي جهوداً غير مسبوقة لتقييم حجم وخصائص هذه العواقب الإشعاعية وفهمها عند وقوع الحادث.

وتشير بعض الدراسات التي أجريت بعد عام ١٩٨٦بصورة أساسية إلى أن الأشخاص الذين تعرضوا إلى اليود-١٣١ كالأطفال، والذين تلقوا جرعات عالية من الإشعاع كعمال الطوارئ والإصلاح، أنهم معرضين لخطر متزايد من الآثار الناجمة عن الإشعاع. والجدير بالذكر، أن معظم المناطق المأهولة قد تعرضت لمستويات منخفضة من الإشعاع مماثلة أو أعلى بعدة مرات من المستويات السنوية للإشعاع من الخلفية الطبيعية.

متوسط جرعات الغدة الدرقية بعد حادث محطة تشيرنوبيل لتوليد الطاقة



حادث محطة فوكوشيما-دايتشي للطاقة النووية

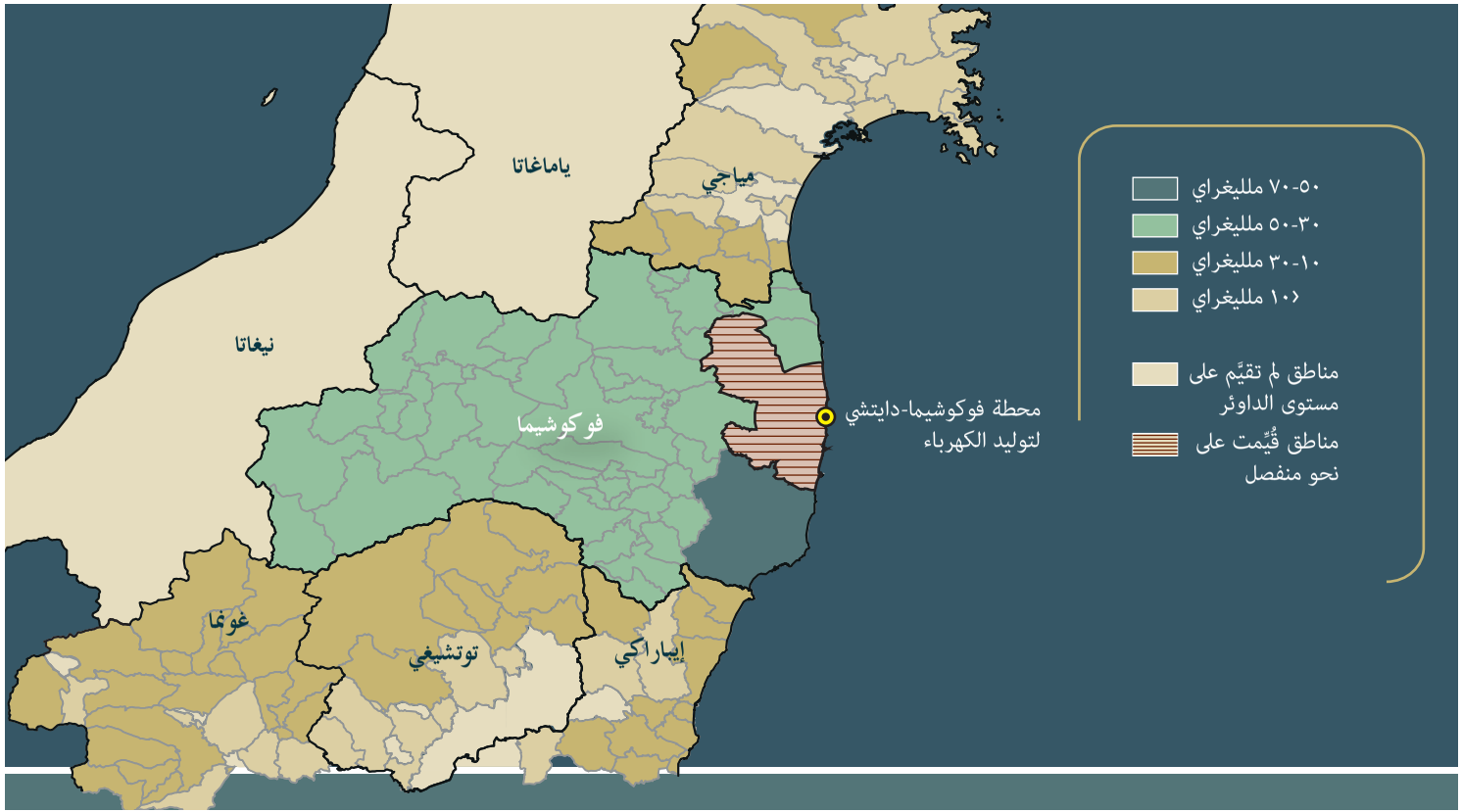
بعد زلزال شرق اليابان الكبير بقياس ٩,٠ والتسونامي على الساحل الشرقي لشمال اليابان يوم ١١ مارس ٢٠١١، تعرضت محطة الطاقة النووية فوكوشيما-دايتشي لأضرار بالغة، حيث أطلقت المواد المشعة إلى البيئة. وتمّ إجلاء ما يقرب من ٨٥٠٠٠ من السكان داخل منطقة ٢٠-كيلومتراً حول موقع محطة الطاقة النووية وبعض المناطق المجاورة كإجراء وقائي بين ١١ و١٥ مارس، في حين أَوَى السكان الذين يعيشون ٢٠-٣٠ كلم من المحطة في منازلهم. وفي وقت لاحق، في نيسان ٢٠١١، إوصي بإجلا ١٠٠٠٠ شخص إضافي يعيشون أبعد إلى الشمال الغربي من المحطة بسبب إرتفاع مستويات النويدات المشعة على الأرض. إن هذا الإجلاء قلّص إلى حد كبير من مستويات التعرُّض التي كان من الممكن أن يتلقاها المتضررين، وقد تمَّ تقييد الإستهلاك من المواد الغذائية والماء مؤقتاً للحد من تعرُّض الجمهور للإشعاع. كما تعرض بعض موظفي التشغيل وموظفي الإستجابة للطوارئ للإشعاع خلال عمليات إدارة حالة الطوارئ في محطة الطاقة النووية.

أجرت اللجنة العلمية (UNSCEAR) تقييماً لجرعات الإشعاع والآثار المرتبطة بها على الصحة والبيئة. فقد شارك حوالي ٢٥٠٠٠ عامل في عمليات التخفيف وغيرها من الأنشطة في موقع محطة الطاقة النووية فوكوشيما-دايتشي خلال السنة الأولى والنصف بعد وقوع الحادث. كان معدل الجرعة الفعالة لهؤلاء العمال في ذلك الوقت حوالي ١٢ ملليسيفرت. ومع ذلك، تلقى ٦ عمال مجموع جرعات تراكمية أكثر من ٢٥٠ ملليسيفرت؛ وكانت الجرعة الإجمالية لأعلى المعدلات المسجلة ٦٨٠ ملليسيفرت لعامل واحد تلقاها بصورة أساسية من التعرُّض الداخلي (حوالي ٩٠ في المئة). قُدِّرت الجرعات للغدة الدرقية لإثني عشر من العمال بحدود ٢-١٢ غراي، ولم يُلاحظ أي حالة وفاة جراء الإشعاع أو الأمراض الحادة بين العمال الذين تعرضوا للإشعاع من الحادث.

وتراوح معدل الجرعات الفعالة للبالغين في المناطق التي تمَّ إخلاؤها من ولاية فوكوشيما من ١ ملليسيفرت الى حوالي ١٠ ملليسيفرت في السنة الأولى بعد وقوع الحادث. وقُدِّرت الجرعات الفعالة للرضع بعمر سنة واحدة بحوالي ضعفين أعلى، أما الجرعات في مناطق ولاية فوكوشيما التي لم يتم إخلاؤها والمحافظات المجاورة كانت أقل.

وتراوحت تقديرات معدل الجرعات للغدة الدرقية بشكل أساسي من اليود-١٣١ من بين الأشخاص الأكثر تعرضاً لتصل إلى ٣٥ ملليغراي للكبار و٨٠ ملليغراي للرضع بعمر سنة واحدة. وعادة ما تكون الجرعة السنوية للغدة الدرقية والتي هي بصورة رئيسية من مصادر الإشعاع الطبيعية الخارجية في حدود ١ ملليغراي. وخلصت اللجنة العلمية (UNSCEAR) لإحتمال نظري،

متوسط جرعات الغدة الدرقية عند الرضع بعد حادث محطة فوكوشيما–دايتشي النووية لتوليد الطاقة



من أن خطر الإصابة بسرطان الغدة الدرقية بين مجموعة من الأطفال الأكثر تعرضاً للإشعاع، يمكن أن يرتفع. ومع ذلك، سرطان الغدة الدرقية هو مرض نادر بين الأطفال الصغار، بحيث يتوقع إحصائياً عدم ملاحظة أي آثار في هذه المجموعة.

وعند إجراء المقارنة مع كارثة تشيرنوبيل، كان الحادث النووي فوكوشيما-دايتشي مختلف بالتأكيد، من حيث نوع المفاعل وطريقة وقوع الحادث وخصائص إنتشار النويدات المشعة وتوزيعها والإجراءات الوقائية التي أُتخذت. وفي كلتا الحالتين، تسربت كميات كبيرة من اليود-١٣١ والسيزيوم-١٣٧ – اللذين هما أهم النويدات المشعة من منظور التعرُّض بعد الحوادث النووية – على البيئة. وكانت الإصدارات من اليود-١٣١ والسيزيوم-١٣٧من حادث فوكوشيما-دايتشي مقارنة مع حادث تشيرنوبيل حوالي ١٠ و٢٠ في المئة على التوالي.

التطبيقات الصناعية وغيرها

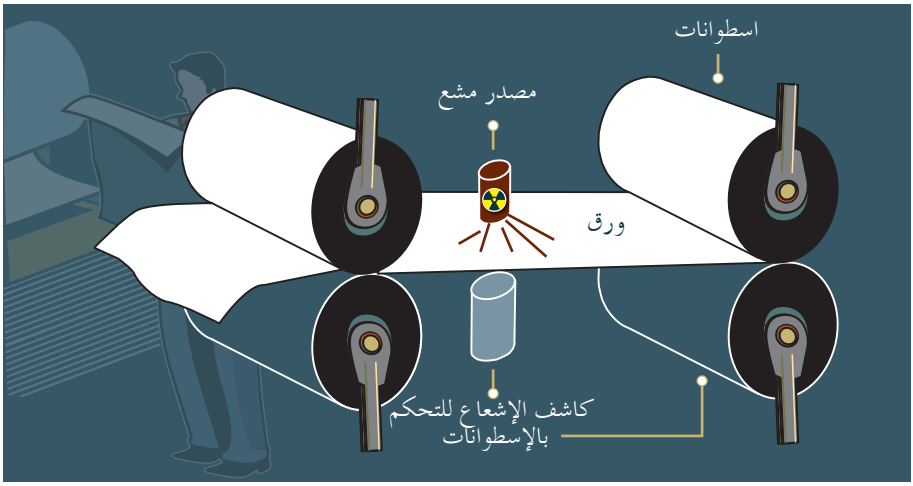
تُستخدم مصادر الإشعاع في مجموعة واسعة من التطبيقات الصناعية، تشمل التشعع الصناعي المستخدم لتعقيم المنتجات الطبية والصيدلانية والحفاظ على المواد الغذائية أو القضاء على الحشرات الضارة؛ التصوير الإشعاعي الصناعي يُستخدم لفحص العيوب في التوصيلات المعدنية الملحومة؛ إشعاعات ألفا أو بيتا تُستخدم في إضاءة العدسات في فوهة البندقية، وكمصادر للضوء على مستوى منخفض للافتات الخروج والخرائط المضيئة؛ المصادر المشعة أو أجهزة الأشعة السينية المصغرة تُستخدم في سبر الأبار لقياس الخصائص الجيولوجية في التنقيب عن المعادن والتنقيب عن النفط أو الغاز؛ والمصادر المُشعة تُستخدم في الأجهزة لقياس السماكة والرطوبة والكثافة ومستويات المواد؛ وبعض المصادر المشعة المغلّفة تستخدم في البحوث.

وعلى الرغم من الإنتشار في إنتاج النظائر المشعة لإستخدامها في الممارسات الطبية والصناعية، فإن مستويات التعرُّض للجمهور الناجمة عنها منخفضة جداً. ولكن، في حال وقوع حوادث، من الممكن أن تتلوث بعض المناطق، وتؤدي إلى مستويات عالية من التعرُّض.

التعرُّض في مكان العمل

كان عدد العمال المشاركين في الإستخدامات الصناعية للإشعاع حوالي المليون في سنة٢٠٠٠، بمعدل جرعة فعالة سنوية ٠,٣ ملليسيفرت للعامل الواحد.

جهاز قياس السُمك بإستخدام الإشعاع



المواد المشعة طبيعية المنشأ

يوجد عدة أنواع من المرافق في جميع أنحاء العالم لا علاقة لها بإستخدام الطاقة النووية، ومن الممكن، أن تُعرض الجمهور للإشعاع بسبب زيادة تركيز **المواد المشعة الموجودة طبيعياً** في منتجاتها الصناعية وفي النفايات. أهم هذه المرافق تشمل التعدين وعمليات التنقيب.

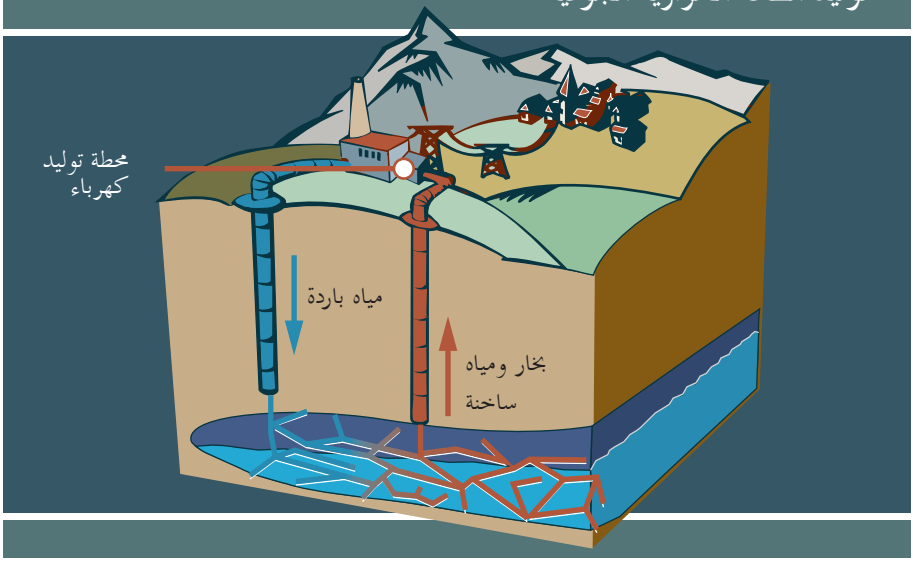
الأنشطة المتصلة بإستخراج ومعالجة الخام، يمكن أن تؤدي أيضاً إلى زيادة مستويات المواد المشعة الموجودة في البيئة. وتشمل هذه الأنشطة تعدين وصهر المعادن؛ إنتاج الفوسفات؛ تعدين الفحم وتوليد الطاقة من حرق الفحم؛ حفريات النفط والغاز؛ صناعات المصادر الأرضية النادرة وأكسيد التيتانيوم؛ الزركونيوم وصناعة السيراميك؛ والتطبيقات التي تستخدم النويدات المشعة طبيعياً (عادة نظائر من الراديوم والثوريوم).

الفحم، على سبيل المثال، يحتوي على آثار من النويدات المشعة البدائية، عند حرقه يُطلق هذه النويدات المشعة في البيئة، مما يمكن أن يؤدي إلى تعرُّض الناس. وهذا يعني، أن لكل جيجاواط-سنة من الطاقة الكهربائية التي تنتجها محطات الطاقة التي تعمل على الفحم في العالم، إنه من المتوقع أن ترتفع الجرعة الجماعية لسكان العالم بنسبة حوالي ٢٠ شخص-سيفرت سنوياً. بالإضافة إلى ذلك، تمَّ إستخدام الرماد المتطاير (بقايا متولدة من الإحتراق) في مكب النفايات وبناء الطرق، فإستخدامه في تشيد المباني يؤدي للتعرُّض للإشعاع من كل التشعع المباشر وإستنشاق غاز الرادون. علاوة على

ذلك، إن إلقاء الرماد المتطاير قد يزيد من مستويات التعرُّض للإشعاع حول موقع تفريغ النفايات.

توليد الطاقة الحرارية الأرضية هي مصدر آخر من التعرُّض الإشعاعي للجمهور. فالخزانات الجوفية من البخار والماء الساخن تضخ لتوليد الكهرباء أو لتدفئة المباني. وتشير تقديرات الإنبعاثات الناجمة عن إستخدام هذه التكنولوجيا في إيطاليا والولايات المتحدة، الى أنها تنتج نحو ١٠ في المئة من الجرعة الجماعية لكل جيجاواط-سنة من الكهرباء التي تنتجها محطات الطاقة التي تعمل على الفحم. حالياً، الطاقة الحرارية الأرضية تساهم بنسبة قليلة في إنتاج الطاقة في العالم، وبالتالي للتعرُّض الإشعاعي.

توليد الطاقة الحرارية الجوفية



وهناك ممارسات بشرية أخرى، يمكن أن تعرُّض الناس إلى مواد مشعة موجودة في البيئة، مثل الحمأة الناتجة عن معالجة المياه المستخدمة في الزراعة، لكن مستويات التعرُّض للجمهور الناتجة عنها منخفضة للغاية، أقل من بضعة أجزاء من الألف من الميلليسيفرت سنوياً.

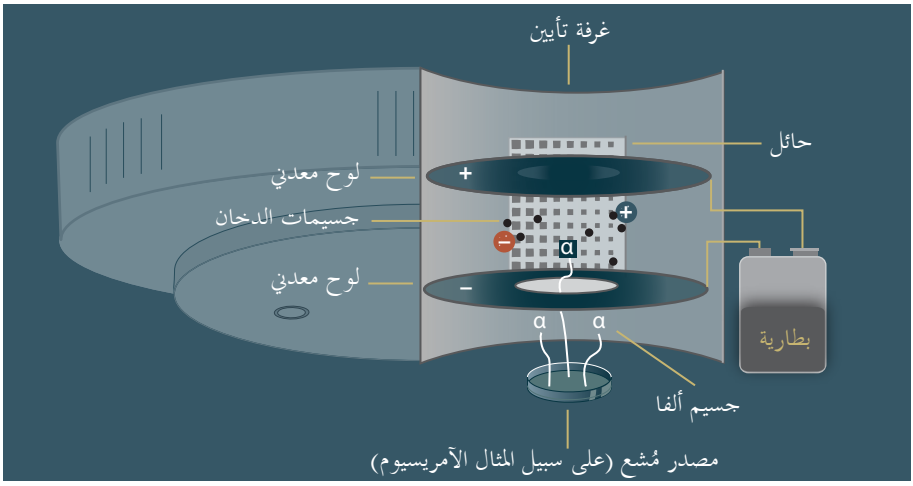
اليورانيم المنضَب هو ناتج ثانوي من عملية تخصيب اليورانيوم، وهو أقل إشعاعاً من اليورانيوم الطبيعي. إستخدم اليورانيوم المنضَب للأغراض المدنية والعسكرية لسنوات عديدة، وبسبب كثافته العالية، يتم إستخدامه في الحماية من الإشعاع أو كثقل موازن في الطائرات. إن الإستخدام العسكري لليورانيوم المنضَب خاصة في الذخيرة الخارقة للدروع، أثار القلق حول التلوث من البقايا. فالتعرُّض للإشعاع من اليورانيوم المنضَب منخفض للغاية، بإستثناء عدد قليل من السيناريوهات المحددة، مثل كيفية التعامل معه على المدى الطويل. في الواقع، سمّية المادة الكيميائية هي الميزة الأكثر خطورة لليورانيوم المنضَب.

المنتجات الإستهلاكية

هناك عدد من المنتجات التي يتم شراؤها للإستعمال اليومي تحتوي على مستويات منخفضة من النويدات المشعة، مضافة عمداً من أجل الإستفادة من خصائصها الكميائية أو الإشعاعية. تاريخياً، كانت النويدة المشعة الأكثر أهمية للإستخدام في المنتجات الإستهلاكية المضيئة هي الراديوم-٢٢٦. إنتهى إستخدام الراديوم منذ عدة عقود، وحلت محلها البروميزيم-١٤٧ والهيدروجين-٣ (التريتيوم) اللذين هما أقل سمّية إشعاعية. مثال الساعات التي تحتوي على مركبات التريتيوم، يمكن أن يحدث فيها بعض التسرب منه، لأنها متحركة جداً، ولأن التريتيوم ينبعث منه جسيمات ضعيفة جداً من بيتا التي لا يمكن أن تخترق الجلد، لذلك يتعرض الناس فقط إذا دخل التريتيوم الجسم.

تتكون بعض الأجهزة الحديثة للكشف عن الدخان على غرف مؤينة مع رقائق صغيرة من الاميريشيوم-٢٤١، والتي هي مسؤولة عن إنبعاث جسيمات ألفا وإنتاج تيار آيوني مستمر. فالهواء المحيط بأجهزة الكشف يسمح بالدخول اليها بحرية، وإذا دخل دخان الى الكاشف فإنه يعيق التيار مما يؤدي إلى إطلاق جهاز الإنذار.

كاشف دخان بإستخدام الإشعاع



والنشاط الإشعاعي من مصدر الاميريشيوم في جهاز كشف الدخان منخفض جداً، يتحلل ببطءٍ شديد بعمر نصف حوالي ٤٣٢ سنة. وهذا يعني أن الكاشف – في نهاية ١٠ أعوام من الإستخدام–

يحافظ على النشاط الأصلي. وطالما بقى مصدر الاميريشيوم في الكاشف سيكون التعرُّض ضئيلاً. وعلى الرغم من إمكانية كشفها بالأجهزة الحساسة للإشعاع، فإن مستويات التعرُّض الواردة من هذه المنتجات منخفضة للغاية. وتُقدَّر الجرعة لشخص يقف على مسافة مترين من كاشف لمدة ثماني ساعات يومياً بأقل من ٠,٠٠٠١ ملليسيفرت في السنة.

الحوادث الصناعية

الحوادث التي تنطوي على المصادر المشعة الصناعية هي أكثر حدوثاً من تلك التي تحدث في محطات الطاقة النووية. ومع ذلك، فإنها لا تلقى عادة نفس القدر من الإهتمام، على الرغم من أنها يمكن أن تسبب تعرض إشعاعي واسع النطاق لكل من العاملين وافراد الجمهور.

بين عامي ١٩٤٥ و٢٠٠٧، تمَّ الإبلاغ عن ٨٠ حادثاً في المرافق الصناعية التي تستخدم مصادر الإشعاع والمعجلات وأجهزة الأشعة السينية. كما إبلغ عن وقوع تسع وفيات نتيجة هذه الحوادث وإصابة ١٢٠عاملاً. وتطورت متلازمة الإشعاع الحادة عند بعض العمال المصابين، حيث كانت إصابة الأيدي شائعة، مما لزم البتر في كثير من الأحيان. وتعتبر اللجنة العلمية (UNSCEAR)، من المحتمل أنه لم يتم الإبلاغ عن بعض الحوادث في المنشآت الصناعية التي نتج عنها وفيات وإصابات.

أسباب وآثار هذه الحوادث كثيرة ومتنوعة، سوف نستشهد بإثنين من الأمثلة فقط. في عام ١٩٧٨، في ولاية لويزيانا، الولايات المتحدة الأمريكية، تقني في الأشعة الصناعية، كان يعمل على بارجة، تعرض لإصابة إشعاعية في اليد اليسرى من ٣,٧ تيرابكريل مصدر الايريديوم -١٩٢، حدث ذلك على الأرجح بسبب عطل في جهاز قياس الجرعات. وبعد حوالي ثلاثة أسابيع، أصبحت يده حمراء ومتورمة وظهر بثور بالجلد، كان شفائه في غضون ٥–٨ أسابيع، لكن، بعد مرور ستة أشهر كان لا بد من بتر جزء من السبابة. وفي عام ١٩٩٠، في شنغهاي، الصين، تعرض سبعة عمال للإشعاع من مصدر كوبالت-٦٠ في منشأة صناعية، وذلك بسبب إجراءات السلامة غير المناسبة، حيث أدى الى وفاة أحد العاملين بعد ٢٥ يوماً من التعرُّض نتيجة جرعة تقدَّر بحوالي ١٢ غراي، والعامل الثاني توفي بعد ٩٠ يوماً من التعرُّض بجرعة قُدِّرت بحوالي ١١ غراي. أما بقية العمال الخمسة كانوا قد تلقوا جرعة تقدَّر بحوالي ٢–٥ غراي، لكنهم تعافوا بعد العلاج الطبي.

المصادر اليتيمة

بين عامي ١٩٦٦ و٢٠٠٧، نُسب وقوع ٣١ حادثاً الى المصادر المشعة المفقودة أو المسروقة أو المهجورة، والمعروفة أيضاً بإسم المصادر اليتيمة. ومن المعروف أن هذه الحوادث قد أسفرت عن وفاة ٤٢ فرداً من الجمهور، بما في ذلك الأطفال. بالإضافة إلى ذلك، إستدعت متلازمة الإشعاع

الحادة والإصابات الموضعية الخطيرة والتلوث الداخلي أو المشاكل النفسية الرعاية الطبية لمئات من الأشخاص. وإرتبطت ستة حوادث بوحدات المعالجة الطبية المهجورة.

من غير المعروف تحديداً كم من المصادر اليتيمة موجودة في العالم، ولكن يُعتقد أن الأرقام بالآلاف. وتشير تقارير هيئة الرقابة النووية في الولايات المتحدة الى أن الشركات داخل الولايات المتحدة فقدت متابعة ما يقرب من ١٥٠٠من المصادر المشعة بين عامي ١٩٩٦ و٢٠٠٨، أكثر من نصفهم لم يتمّ إستعادتهم. قَدَّرت دراسة أجراها الإتحاد الأوروبي أن ما يصل إلى ٧٠ مصدراً يُفقد سنوياً من الرقابة التنظيمية داخل حدوده. وعلى الرغم من أن غالبية هذه المصادر لا تشكل خطراً إشعاعياً كبيراً، الا أنَّ حوادث المصادر اليتيمة تبقى مصدر قلق كبير.

التقديرات العالمية للحوادث الإشعاعية الخطيرة *

نوع الحادث	١٩٤٥-١٩٦٥	١٩٦٦-١٩٨٦	١٩٨٧-٢٠٠٧
حوادث في المرافق النووية	١٩	١٢	٤
حوادث صناعية	٢	٥٠	٢٨
حوادث المصادر اليتيمة	٣	١٥	١٦
حوادث الأوساط الأكاديمية/البحوث	٢	١٦	٤
حوادث في الطب	غير معروف	١٨	١٤

* هذه التقديرات تستند إلى الحوادث التي أُبلغ عنها رسميا أو نُشرت. ومن المتوقع أنَّ عدد الحوادث غير المبلغ عنها، وخاصة الطبية أكبر من ذلك بكثير.

لمصادر المختومة أو عبواتها يمكن أن تكون جذابة للناس الذين يبحثون عن تجارة الخردة المعدنية، لأنها تبدو مصنوعة من المعدن الثمين، وقد لا يتم عرض علامة التحذير الإشعاعي عليها. وأدت حالات العبث بالمصادر من بعض العمال الآمنين أو من أفراد الجمهور الى إصابات خطيرة، وفي بعض الحالات الى الوفاة، كما كانت الحال في غويانيا، البرازيل في عام ١٩٨٧، حيث تمَّ سرقة وكسر وفتح كبسولة جهاز معالجة مهجور مُشع بنشاط إشعاعي عالي للغاية (٥٠،٩ تيرابكريل) من مصدر السيزيوم- ١٣٧. وعلى مدى الأسبوعين التاليين، إنتشر مسحوق كلوريد السيزيوم القابل للذوبان في الخردة والمنازل المحيطة، مما أدى الى إصابة عدد كبير من الناس بأمراض وآفات الجلد، ووجب أن يتم رصد التلوث الإشعاعي لحوالي ١١٠٠٠٠ شخص، العديد منهم تلوثوا داخلياً من السيزيوم-١٣٧. كما أسفر هذا الحادث عن وفاة أربعة أشخاص من ضمنهم طفل واحد.

٣ - متوسط تعرُّض الجمهور والعاملين للإشعاع

عموماً، التعرُّض للإشعاع من المصادر الطبيعية يسيطر على التعرُّض الكلي. قدَّرت اللجنة العلمية (UNSCEAR) معدل الجرعة الفعالة السنوية للفرد بنحو ٣ ملليسيفرت. في المتوسط، الجرعة الفعالة السنوية من المصادر الطبيعية هي ٢,٤ ملليسيفرت، ثلثي هذه القيمة تأتي من المواد المشعة في الهواء الذي نتنفسه، والطعام الذي نأكله، والماء الذي نشربه. فالمصدر الرئيسي للتعرض من المصادر الإصطناعية هو الإشعاع المُستخدم في الطب، بمعدل جرعة فعالة سنوية للفرد ٠,٦٢ ملليسيفرت. التعرُّض الطبي الإشعاعي يختلف حسب المنطقة والبلد ونظام الرعاية الصحية. حيث قدَّرت اللجنة العلمية معدل الجرعة الفعالة السنوية من التطبيقات الطبية للإشعاع في الدول الصناعية بحوالي ١,٩ ملليسيفرت، وفي البلدان غير الصناعية بحوالي ٠,٣٢ ملليسيفرت. ومع ذلك، قد تختلف هذه القيم إلى حد كبير (على سبيل المثال في الولايات المتحدة ٣ ملليسيفرت أو في كينيا ٠,٠٥ ملليسيفرت فقط).

ولغاية التسعينيات، تركَّز الإهتمام بشأن تعرُّض العمال على المصادر الإصطناعية للإشعاع. ومع ذلك، في الوقت الحاضر، تمَّ إدراك أن عدداً كبيراً جداً من العمال يتعرضون للإشعاع من المصادر الطبيعية وبصورة رئيسة في صناعة التعدين. فإستنشاق غاز الرادون في بعض المهن في قطاع التعدين يهيمن على التعرُّض للإشعاع في العمل، في حين إنطلاق الرادون في مناجم اليورانيوم تحت الأرض يسهم مساهمة كبيرة للتعرُّض المهني من جانب الصناعة النووية. معدل الجرعة الفعالة السنوية للعامل في الصناعة النووية إنخفض عموماً من ٤,٤ ملليسيفرت في السبعينيات إلى حوالي ١ملليسيفرت حالياً.

متوسط التعرُّض العام حسب مصادر الإشعاع*

* تقديرات تقريبية للجرعة الفعالة المتلقاة من قبل شخص واحد في السنة (المتوسط العالمي).

ومع ذلك، لا يزال معدل الجرعة الفعالة السنوية لعامل منجم الفحم حوالي ٢,٤ ملليسيفرت، ولعمال المناجم الأخرى حوالي ٣ ملليسيفرت.

التقدير الحالي لإجمالي عدد العمال الخاضعين للرصد حوالي ٢٣ مليوناً في مختلف أنحاء العالم، وما يقرب من ١٠ ملايين منهم يتعرضون لمصادر إصطناعية. ثلاثة من أربعة ممن يتعرضون للإشعاع من مصادر إصطناعية يعملون في القطاع الطبي، ويتلقى كل عامل منهم جرعة فعالة سنوية بمعدل ٠,٥ ملليسيفرت. كما إن تقييم إتجاهات معدل الجرعة الفعالة السنوية لكل عامل، يظهر زيادة في التعرُّض من المصادر الطبيعية بسبب التعدين، وإنخفاض في التعرُّض من المصادر الإصطناعية نتيجة نجاح تنفيذ تدابير الحماية من الإشعاع.

اتجاهات تعرُّض العاملين للإشعاع على الصعيد العالمي (ملليسيفرت)*

العقود	~ ١٩٧٠	~ ١٩٨٠	~ ١٩٩٠	~ ٢٠٠٠
المصادر الطبيعية				
أطقم الطائرات	—	٣,٠	٣,٠	٣,٠
استخراج الفحم	—	٠,٩	٠,٧	٢,٤
أنشطة الاستخراج الأخرى	—	١,٠	٢,٧	٣,٠
أنشطة متنوعة	—	٦,٠	٤,٨	٤,٨
المجموع	—	١,٧	١,٨	٢,٩
المصادر الاصطناعية				
الاستخدامات الطبية	٠,٨	٠,٦	٠,٣	٠,٥
الصناعة النووية	٤,٤	٣,٧	١,٨	١,٠
الصناعات الأخرى	١,٦	١,٤	٠,٥	٠,٣
أنشطة متنوعة	١,١	٠,٦	٠,٢	٠,١
المجموع	١,٧	١,٤	٠,٦	٠,٥

* تقديرات لمتوسط الجرعة الفعالة التي يتلقاها عامل في السنة.
** استخراج اليورانيوم مشمول في الصناعة النووية.

منشورات اللجنة العلمية (UNSCEAR)

أصدرت اللجنة العلمية للأمم المتحدة المعنية بآثار الإشعاع الذرِّي (UNSCEAR) منذ نشأتها أكثر من ٢٥ تقريراً رئيسياً، وأكثر من ١٠٠ من المرفقات العلمية التي هي على درجة عالية من الثقة ويتم إعتمادها كمصدر رئيسي لتقييمات إختبار التعرُّض للإشعاع من التجارب على الأسلحة النووية، وإنتاج الطاقة النووية، والإستخدامات الطبية للإشعاع ومصادر الإشعاع المهنية والمصادر الطبيعية. كما تقيِّم الدراسات التفصيلية حول السرطان الناجم عن الإشعاع والأمراض الوراثية، وتقدّر العواقب الناجمة عن الحوادث الإشعاعية على الصحة والبيئة. تقارير اللجنة العلمية ومُرفقاتها العلمية تُنشر كمبيعات للأمم المتحدة (*unep.un.org*) وكتنزيل إلكتروني مجاني (*unscear.org*) لنشر النتائج لصالح الدول الأعضاء في الأمم المتحدة، والمجتمع العلمي والجمهور.

ردود الفعل والتعليقات على هذا المنشور هي موضع تقدير للغاية إلى:

UNSCEAR secretariat
Vienna International Centre
P.O. Box 500
1400 Vienna, Austria
E-mail: *unscear@unscear.org*

في عام ١٩٥٥، أنشأت الجمعية العامة للأمم المتحدة اللجنة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذرِّي (UNSCEAR)، وذلك لجمع وتقييم المعلومات عن مستويات وآثار الإشعاع المؤيِّن.

كان ذلك رداً على المخاوف بشأن آثار الإشعاع المؤيِّن على صحة الإنسان والبيئة. وكانت تداعيات تجارب الأسلحة النووية في الغلاف الجوي تصل للناس في ذلك الوقت عن طريق الهواء والماء والغذاء. أرسى التقرير الأول للجنة العلمية (UNSCEAR) الأسس العلمية والتي استناداً اليها تمّ التفاوض في عام ١٩٦٣ على معاهدة تجارب الحظر الجزئي لإختبار السلاح النووي في الغلاف الجوي.

يحاول هذا المنشور أن يقدم بموضوعية أحدث المعلومات عن آثار ومستويات الإشعاع بطريقة سهلة للقارئ العام. وهو يستند إلى تقارير اللجنة العلمية (UNSCEAR) التي تُستخدم كمصدر رئيسي للمعلومات.

برنامج الأمم المتحدة للبيئة