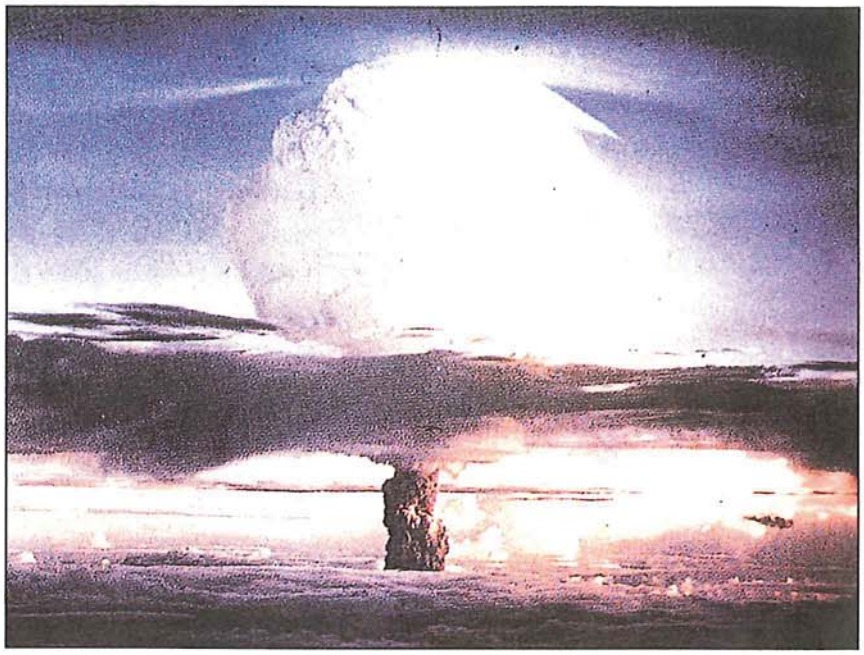
التلوث الإشعاعي مصادره وأخطاره

د. محمد فاروق أحمد

منذ نهاية الخمسينيات بدأ مصطلح التلوث الإشعاعي يفرض نفسه ضمن قاموس المصطلحات المتداولة إلى جانب الأنواع الأخرى للتلوث كالتلوث الكيميائي والأحيائي وغيرها . ولعلنا نستطيع من خلال هذا المقال أن نعرض للقاريء الكريم فكرة مبسطة عن مفهوم التلوث الإشعاعي مصادره ومخاطره .

يقصد بالتلوث الإشعاعي عموما وجود قدر من المواد المشعة الصنعية في البيئة سواء في التربة أم في مواد المسكن أم في الهواء أم في الطعام والماء ، ويقصد بالمواد المشعة الصنعية تلك المواد التي صنعها الإنسان باستخدام المعجلات أو المفاعلات النووية ليستخدمها في أغراض شتى مثل توليد الطاقة من المصادر النووية أو في الأغراض الطبية أو الصناعية أو الزراعية أو غيرها، وذلك بخلاف المواد المشعة الطبعية التي خلقها الخالق سبحانه وتعالى ـ لحكمة يعلمها هو ـ في البيئة التي نعيش فيها وتتمثل أساسا في نظائر اليورانيوم والثوريوم ونواتج تفككهما وفي البوتاسيوم، ويتفاوت تركيز هذه المواد المشعة الطبعية في البيئة تفاوتاً كبيراً ، وقد تسبب أخطاراً إشعاعية فادحة للبشر الذين يقطنون تلك البيئة إلا أن هذه المواد لا تندرج ضمن مواد التلوث الإشعاعي .



وعلى الرغم من أن الأخطار الناجمة عن هذه المصادر الطبعية للإشعاع قد تتجاوز كثيرا الأخطار الناجمة عن المواد الصنعية ، إلا أن هذا المقال يعنى أساساً بموضوع التلوث الإشعاعي دون التعرض لأخطار المصادر الطبعية .

مصادر التلوث الإشعاعي

استطاع الإنسان خلال العقود الأربعة الماضية تصنيع عدة مئات من النوى والمواد المشعة.وتستخدم القوى الكامنة في هذه النوى في أغراض كثيرة بدءا بإنتاج الطاقة الكهربائية وأسلحة التدمير الشامل وانتهاءا بالتشخيص والعلاج الطبي وبالعديد من التطبيقات الطبية والصناعية والزراعية بحيث لم يعد هناك مجال من المجالات إلا واشتمل على نوع من الإستخدامات للمواد المشعة . وأهم الأنشطة البشرية التي أسهمت وتسهم في التلوث الإشعاعي للبيئة هي :ـ

١ ـ التفجيرات الجوية

منذ خمسين عاما مضت وفي خضم سباق التسلح تمت سلسلتان من تجارب التفجيرات النووية في الجو ، وكانت السلسلة الأولى في الفترة ما بين ١٩٥٤م إلى ١٩٥٨م عندما قامت كل من الولايات المتحدة الأمريكية والإتحاد السوفيتي ـ حينذاك ـ والمملكة المتحدة بإجراء عدد كبير من تجارب التفجيرات النووية ، وتمت السلسلة الثانية التي كانت أعظم أثرا في تلوث البيئة في عامي ١٩٦١م و١٩٦٢م .

وفي عام ١٩٦٣م ، وبعد الشعور بالخطر الذي يهدد البشرية من جراء التلوث، وقّعت الدول على معاهدة الحظر الجزئي على إجراء التفجيرات النووية في الجو أو المحيطات أو الفضاء الخارجي ، ولكن قامت بعد ذلك كل من فرنسا والصين بإجراء سلسلة من التفجيرات النووية في الجو كان آخرها عام ١٩٨٠م . وقد بلغ عدد التفجيرات النووية في الجو ٤٥٠ تفجيرا شكلت في مجملها قوة تدميرية تعادل ٥٤٥ ميجاطن من المواد شديدة الإنفجار (الميجا = مليون) وكان منها ٢١٧ ميجا طن قنابل انشطارية ، ٣٢٨ ميجا طن قنابل اندماجية (هيدروجينية) . وبعد عام ١٩٨٠م أصبحت جميع التجارب النووية تتم تحت سطح الأرض ، ولقد تم إجراء ١٠٠٠ تفجير نووي تحت سطح الأرض منذ عام ١٩٦٣م وحتى عام ١٩٩٠م بقوة تدميرية تعادل ٨٠ ميجاطن ، تم منها ٥٠٠ تفجير في صحراء نيفادا بالولايات المتحدة الأمريكية ، وبذلك يكون إجمالي القدرة التدميرية التي أجريت منذ بدء التجارب النووية في الجو وتحت سطح الأرض هو ٦٢٥ ميجا

طن، وهذا مقدار ضئيل بالمقارنة بترسانة الأسلحة النووية في العالم التي يبلغ عددها ٤٠٠٠٠ رأساً نووياً بقدرة تدميرية تبلغ ١٣٠٠٠ ميجا طن.

وتبعا لنوع التفجير النووي تتولد كمية هائلة من نواتج الإنشطار المشعة، وتتساقط فضلات الإنشطار وبعض نواتجه على سطح الأرض وتعلق غالبية النواتج المشعة في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي (التروبوسفير) حيث تحمل الرياح هذه النواتج المشعة إلى جميع أرجاء الكرة الأرضية عند نفس الإرتفاع تقريبا. ومع الإنتقال يتساقط جزء من هذه المواد على سطح الأرض بالتدريج ويندفع الجزء الآخر من هذه المواد المشعة إلى الطبقة التالية من الجو (الإستراتوسفير) بارتفاع ١٠ ـ ٤٠ كم حيث تبقى شهورا طويلة وتعود فتتساقط على سطح الأرض من جديد.

وتتضمن الأنواع المختلفة من التساقط الذري الناتج عن التفجيرات النووية في الجو بضع مئات من النويدات المشعة المختلفة وتسهم من بين هذه المئات العدة ست نويدات فقط بنسبة كبيرة من التلوث. وهذه النويدات هي الكربون ١٤ والسيزيوم ١٣٧ والزركونيوم ٩٥ والسترونشيوم ٩٠ والروثينيوم ١٠٦ والسلينيوم ١٤٤، أما اليود ١٣١ الذي ينطلق بكميات كبيرة عند التفجيرات الإنشطارية فلم يعد يشكل خطورة على الإطلاق بعد أن توقفت التفجيرات الجوية منذ عام ١٩٨٠م نظرا لقصر عمره النصفي.

٢ ـ التفجيرات الأرضية

ينتج عن التفجيرات التي تجري تحت سطح الأرض عدة مئات من النوى المشعة، إلا أن هذه النوى لا تخرج من باطن الأرض وتبقى حبيسة هناك باستثناء اليود ١٣١ المشع الذي تخرج نسبة ضئيلة منه إلى سطح الأرض فتلوثه.

٣ ـ دورة الوقود والتلوث النووي

يكمن المصدر الثالث للتلوث الإشعاعي للبيئة في مفاعلات إنتاج القوى الكهربائية وفي منشآت دورة الوقود النووي المرتبطة بها سواء بسبب التشغيل الروتيني الذي يمثل نسبة ضئيلة من التلوث أو بسبب وقوع الحوادث النووية في هذه المنشآت وتمثل النسبة الكبرى للتلوث الإشعاعي. ويمكن أن تنطلق إلى البيئة كمية من المواد المشعة الملوثة في كل مرحلة من المراحل المختلفة لدورة الوقود وهي :ـ

● **المرحلة الأولى :** ويتم فيها استخراج اليورانيوم من الأرض حيث يتم استخراج نصف الخام منه من المناجم المفتوحة والنصف الآخر من مناجم في باطن الأرض، ويخزن الخام في كلا الحالتين بالقرب من المطاحن التي تسهم بالقدر الأكبر من التلوث نتيجة لكبر حجم المخلفات التي تنتج عنها، ويوجد بالفعل حاليا أكثر من ٢٠٠ مليون طن من النفايات المشعة مخزنة قرب المطاحن في أمريكا الشمالية وحدها. وأهم النويدات المشعة التي تنبعث من مداخن المطاحن إلى البيئة هي اليورانيوم ٢٣٨ والثوريوم ٢٣٠ والراديوم ٢٢٦ والبلونيوم ٢١٠ والرصاص ٢١٠ والرادون ٢٢٢.

● **المرحلة الثانية :** ويتم فيها معالجة اليورانيوم بعمليات تنقية وعمليات إثراء لزيادة نسبة اليورانيوم ٢٣٥ أو البلوتونيوم ٢٣٩ في الوقود، وينتج عن هذه العمليات انطلاق كميات قليلة نسبيا من النويدات المشعة للبيئة وغالبا ما تكون في شكل سائل أو غاز. وتقدر تسربات المرحلة الثانية لمصنع سبرنجفيلد عام ١٩٨٩م بحوالي ١,١ × ١٤١٠ بيكرل. ولذلك يعد إسهام هذه المرحلة في تلوث البيئة إسهاما محدودا نسبيا مالم تقع حوادث نووية في منشآت هذه المرحلة.

● **المرحلة الثالثة :** ويتم فيها تكوين بضع مئات من النويدات المشعة داخل قلب المفاعل أثناء التشغيل الروتيني نتيجة لعمليات الإنشطار والتشعيع، وتتفاوت كمية هذه النويدات المشعة داخل قلب المفاعل تبعا لنوعه وقدرته وزمن تشغيله، ويبلغ مخزون النويدات المشعة بعد فترة تشغيل كافية داخل مفاعلات الماء المضغوط أو مفاعلات الماء الخفيف بقدرة ١٠٠٠ ميجاوات حوالي ١ × ١٩١٠ بيكرل وحتى ٤×١٩١٠ بيكرل، ويتفاوت تركيز النويدات المختلفة داخل المفاعل بتغير نوعه، إلا أنه يمكن اعتبار أن أهم النويدات المختزنة داخل المفاعل هي الكربون ١٤، والزينون ١٣٣ واليود ١٣١ والسيزيوم ١٣٤، والسيزيوم ١٣٧، والزركونيوم ٩٥، والروثينيوم ١٠٦، والسيلينيوم ٤٤، والسترونشيوم ٩٠، والبلوتونيوم ٢٣٨، ٢٣٩، ٢٤٠، وذلك بسبب كمياتها الكبيرة المخزونة داخل المفاعل ولطول فترة العمر النصفي لها. وينتج عن التشغيل الروتيني للمفاعلات انطلاقات روتينية متفاوتة تختلف باختلاف نوع المفاعل وتتمثل أساسا في نويدات الرادون والتريتيوم والكربون ١٤ واليود ١٣١ وبعض النوى الأخرى القليلة.

● **المرحلة الرابعة :** وتبدأ بإعادة معالجة الوقود المستهلك لفصل اليورانيوم والبلوتونيوم الناتجين لإعادة استخدامهما. ويتم هذا العمل في عدد محدود من المصانع في العالم أهمها في كاب دي لاهاي ومركول (بفرنسا) ووندسكيل وسيلافيل (بالمملكة المتحدة). وتؤدي مصانع إعادة معالجة الوقود إلى انطلاق كميات من النويدات المشعة للبيئة أهمها الكربتون ٨٥ والتريتيوم والكربون ١٤ والسيزيوم ١٣٧ والروثينيوم ١٠٦ والسترونشيوم ٩٠ وبعض المواد الأخرى التي تصدر جسيمات بيتا وألفا. ويعد مصنع وندسكيل اكثر هذه المصانع تلويثا للبيئة. ولقد بلغ مجموع الإنطلاقات من مصنع سيلافيل وحده عام ١٩٨٠م إلى البيئة حوال ٤ × ١٦١٠ بيكرل في شكل انطلاقات غازية أو سائلة.

● **المرحلة الخامسة**، وتتمثل في التخلص من النفايات المشعة عالية المستوى الإشعاعي بعد عمليات الفصل التي تتم في المرحلة الرابعة. وحتى الآن لم يتم التخلص من هذه النفايات الخطيرة ومازالت السلطات الوطنية تختزنها بحثا عن أنسب الطرق للتخلص منها.

٤ ـ الحوادث النووية

بخلاف التسربات التي تحدث من مفاعلات القوى النووية ومن مراحل دورة الوقود تحدث انطلاقات وتسربات كبيرة

للمواد المشعة إلى البيئة نتيجة لوقوع حوادث نووية في هذه المفاعلات أو المصانع المختلفة . وللتعرف على حجم التلوث الإشعاعي الناجم عن هذه الحوادث سوف نستعرض أهم الحوادث التي حدثت ومقدار التسرب الناتج من المواد المشعة الملوثة للبيئة في كل منها وذلك على النحو التالي :-

● حادث كيشيتم (١٩٥٧م) بجنوب جبال الأورال بروسيا وقد وقع في مصنع عسكري لإعادة المعالجة ونتج عن الحادث انطلاق كمية من النظائر المشعة تقدر بحوالي ١ × 10^{17} بيكرل ، وأهم المكونات المنطلقة السلينيوم ١٤٤ والزركونيوم ٩٥ والسيزيوم١٣٧ والسترونشيوم ٩٠ وغيرها .

● حادث مفاعل وندسكيل بالمملكة المتحدة (١٩٥٧) وقد انطلقت عنه كمية من المواد المشعة تقدر بحوالي ٧,٥ ×١٠ ^{14} بيكرل يود١٣١ . وحوالي ٢,٢ × 10^{13} بيكرل سيزيوم ١٣٧ وحوالي ٣ × 10^{12} بيكرل روثينيوم ١٠٦ وحوالي ١,٢ × 10^{15} بيكرل زينون ١٣٣ فضلا عن حوالي ٩ × 10^{12} بيكرل من البولونيوم ٢١٠ وبعض النظائر الأخرى .

● حادث مفاعل ثرى مايل آيلند بالولايات المتحدة (١٩٧٩م)وقد نتج عنه انطلاق ٣,٧ ×10^{17} بيكرل من الغازات المشعة وأهمها الزينون ١٣٣ وحوالي ٥,٥ × 10^{11}بيكرل من اليود ١٣١ وبعض النويدات الأخرى .

● حادث مفاعل تشرنوبل بأكرانيا (١٩٨٦م) ، ونتج عنه انطلاق حوالي ١,٥ × 10^{18} بيكرل من النويدات المشعة وأهم مكونات المواد المنطلقة الغازات المشعة والسيزيوم ١٣٧ والسيزيوم ١٣٤ واليود ١٣١ ، والسترونشيوم ٩٠ .

وتجدر الإشارة إلى أن التلوث الإشعاعي الناجم عن توليد القوى النووية ودورة الوقود والحوادث المرتبطة بها غير قاصر على منطقة المنشأة النووية فحسب وإنما يتعداها إلى حدود بعيدة تصل إلى عدة آلاف من الكيلومترات ، وتلعب الظروف المناخية المختلفة مثل سرعة الرياح واتجاهها والضغط ودرجة الحرارة والرطوبة والأمطار دورا هاما في انتشار وتساقط المواد المشعة المنطلقة على سطح الأرض ، كما تلعب الظروف الأخرى مثل طبيعة التضاريس وطبيعة الأرض ونوعيتها والحالة الفيزيائية والكيميائية للمادة المنطلقة دورا هاما في تركيز هذه المواد على الأرض . لذلك تنتشر آثار أي حادث نووي في القشرة الأرضية بأكملها ولكن يتفاوت تركيز المواد المشعة المتساقطة على الأرض تفاوتا كبيرا من مكان لآخر تبعا للظروف السابق ذكرها .

وهناك حوادث نووية غير مرتبطة بصناعة الطاقة أدت عموما إلى حدوث تلوث إشعاعي للبيئة وأهم هذه الحوادث هي :-

● حادثة تصادم طائرتين حربيتين تحملان قنبلتين اندماجيتين (هيدروجيتين) في منطقة بالومارز في أسبانيا في يناير ١٩٦٦. وأدى الحادث إلى احتراق القنبلتين وانتشار اليورانيوم والبلوتونيوم المصنوع منه القنبلتين في منطقة واسعة من الأرض وتلوثها بشدة .

● حادثة تول (جرينلاند) في عام ١٩٦٨م حيث وقع حادث تصادم لطائرة كانت تحمل أربع قنابل نووية فبدأت مكونات جهاز التفجير الخاص بكل قنبلة في العمل تلقائيا وحدثت الإنفجارات في الجليد وأمكن إجراء الدراسات الإشعاعية لنتائج الحادث في الصيف وبعد انصهار الجليد .

● حادث احتراق القمر الصناعي عام ١٩٦٤م أثناء عودته للغلاف الجوي والذي كان البلوتونيوم ٢٣٨ يستخدم فيه كمصدر للطاقة فانصهر البلوتونيوم وانتشر أكثر من ٦ × 10^{14} بيكرل منه في الاستراتوسفير وتساقطت بعد ذلك على القشرة الأرضية .

● حادث سقوط قمر على ساحل كاليفورنيا عام ١٩٦٨م ، وحادث سقوط قمر صناعي مماثل في المحيط الهادي عام ١٩٧٠م .

٥ ـ التطبيقات المختلفة

من مصادر التلوث الإشعاعي المواد المشعة التي يتم تصنيعها للإستخدامات المختلفة في المجالات الطبية والصناعية والزراعية وغيرها ، وعلى الرغم من صغر كمية المادة المشعة التي تستخدم لمثل هذه الأغراض إلا أن أعدادها تزايدت بشكل مذهل في جميع المجالات وأصبحت تشكل في مجملها كميات كبيرة قد تؤدي إلى تلوث محسوس وشديد للبيئة. وللوقوف على حقيقة الصورة بالنسبة لهذا النوع من المصادر، يكفي التنويه إلى أن عدد المؤسسات التي تستخدم المواد المشعة في اليابان وحدها زاد من ١٠٠ مؤسسة عام ١٩٦٠م إلى ٥٠٠٠ مؤسسة عام ١٩٨٨م ، وأن كمية المواد المشعة المفتوحة بخلاف المغلقة المستخدمة في المجال الطبي فقط في نفس الدولة عام ١٩٨٧م تجاوزت ٢,٧٥ × 10^{14} بيكرل، وأهم النويدات المستخدمة كانت التكنسيوم ٩٩م (شبه المستقر) ،واليود ١٣١ واليود ١٢٣ والجاليوم ٦٧ والزينون ١٣٣ .

وفضلا عن التسرب الإشعاعي الذي يحدث من جراء استخدام هذه المواد المشعة المفتوحة في جميع دول العالم إلى البيئة يقع الكثير من الحوادث بسبب المصادر المشعة المغلقة التي تستخدم للأغراض الطبية والصناعية وغيرها ، ومنها ثلاث حوادث تم إبلاغ الهيئات الدولية بها ، وهذه الحوادث هي :-

● حادثة جواريز بالمكسيك عام ١٩٨٣م حيث تم التخلص من مصدر كوبلت٦٠ من عيادة طبيب بطريقة خاطئة فسلك المصدر طريقه مع نفايات الخردة التي دخلت في تصنيع منتجات من الصلب وتعرض عدد من البشر يتراوح ما بين ٣٠٠ إلى ٥٠٠ فرد لجرعات اشعاعية عالية .

● حادث المحمدية بالمغرب عام ١٩٨٤م حيث سقط مصدر ايريديوم ١٩٢ يستخدم في تصوير واختبار لحام الأنابيب من مكانه إلى الأرض دون أن يشعر المسؤول عنه فالتقطه أحد المارة وأخذه معه إلى المنزل باعتباره قطعة معدنية وكانت النتيجة موت أفراد الأسرة الثمانية جميعا بسبب التعرض الإشعاعي .

● حادث جانيا بالبرازيل عام ١٩٨٧م الذي نتج عن مصدر سيزيوم ١٣٧ يستخدم للأغراض الطبية حيث فتح المصدر عند انتقاله للنفايات وتلوثت منطقة بأكملها بالسيزيوم ووصل مسحوق السيزيوم إلى داخل أجسام عدد كبير من البشر وراح ضحيته ٤ أفراد بخلاف إنقاذ ٥٤ شخصاً تعرضوا لجرعات إشعاعية .

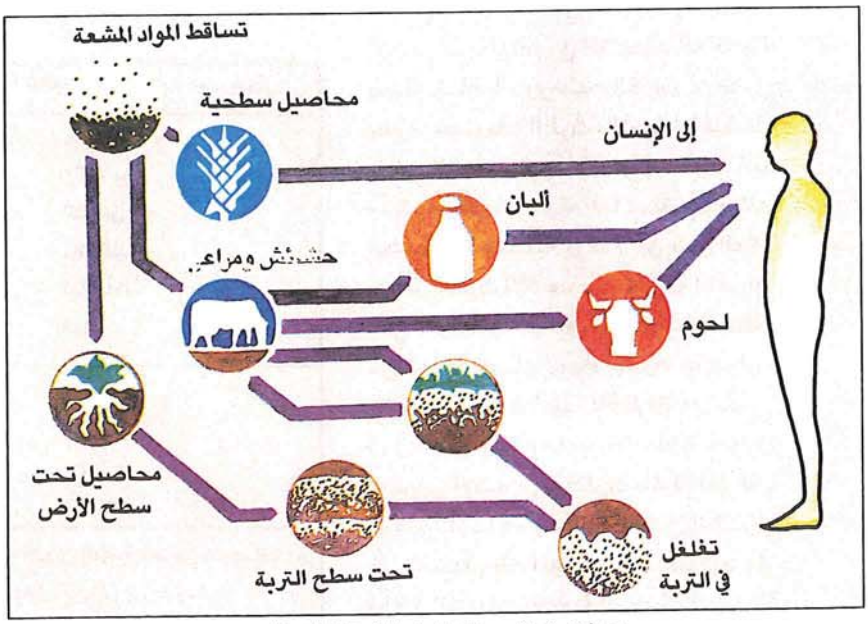
مسالك المواد المشعة إلى الإنسان

يمثل التلوث اكبر المخاطر عند تساقط النويدات المشعة بتركيز عال في الأراضي المزروعة أو الآهلة بالسكان ويؤثر على الإنسان إما بطريقة مباشرة بسبب تعرض الإنسان للإشعاعات الصادرة عن هذه المواد وإما بطريقة غير مباشرة عن طريق انتقال هذه المواد المشعة إلى داخل جسم الإنسان مع السلسلة الغذائية والماء والهواء . فعند تساقط المواد المشعة على النباتات أو التربة التي تزرع عليها فإنها تنتقل في النهاية إلى الإنسان إما عن طريق استخدامه المباشر لهذه النباتات في غذائه وإما نتيجة استخدامها كأعلاف للماشية مما يؤدي إلى تركيزها في لحومها وألبانها التي يتغذى عليها الإنسان ، ويبين الشكل (١) مسالك وصول المواد المشعة إلى الإنسان .

وعموما يتفاوت تركيز المواد المشعة المختلفة في الأنواع المختلفة من النباتات بل وفي الأجزاء المختلفة من نفس النبات كما يتفاوت تركيز هذه المواد في الأعضاء البشرية والحيوانية المختلفة ، فعلى سبيل المثال يلاحظ أن البقول تركز السيزيوم بنسب عالية ، كذلك تتركز المواد المشعة المختلفة في الحيوانات المختلفة بنسب متفاوتة ، فنجد مثلا أن الماعز وحيوانات الرنة أكثر تركيزا لبعض المواد المشعة مقارنة بالأبقار في حين يلاحظ أن الدجاج يعد من أقل منتجات اللحوم تركيزا لهذه المواد خاصة السيزيوم .

وتجدر الإشارة إلى أن المواد المشعة تنتشر في البيئة في شكل أملاح قابلة للذوبان في الماء في معظم الأحيان . وعند دخول هذه الأملاح سواء عن طريق البلع مع الغذاء أو عن طريق التنفس مع الهواء تنتقل إلى الدم من خلال عملية الإمتصاص الغذائي أو من خلال عملية تبادل الغازات في الرئتين . وتنتقل المواد المشعة الذائبة في الماء مع الدم عبر الدورة الدموية إلى جميع أعضاء وأنسجة الجسم وتتوزع عليها . وقد تبين أن الأعضاء والأنسجة المختلفة تقوم بتركيز تلك المواد بنسب متفاوتة ، فعلى سبيل المثال يتركز السيزيوم أساسا في الأنسجة العضلية كما يفرَز بنسب عالية مع الألبان سواء كانت ألبان الماشية أم لبن الأم المرضعة ، لذلك يلاحظ وجود تركيزات عالية نسبيا من السيزيوم المشع في الألبان واللحوم الحمراء . أما عنصر السترونشيوم ٩٠ فيتركز على أسطح العظام محدثا تلفا كبيرا للنخاع العظمي الأحمر مما يؤثر على إنتاج كريات الدم البيضاء . وأما اليود المشع فيتركز بدرجة عالية وبسرعة كبيرة في الغدد خاصة الغدة الدرقية في حين يتركز عنصر البلوتونيوم في كل من الكبد والعظام ، كذلك تتركز أملاح اليورانيوم في بعض الأعضاء كالكلى والكبد ، وهكذا .

عندما تتركز المواد المشعة في أعضاء أو أنسجة معينة فإنها تتلف خلايا أو أنسجة هذه الأعضاء ، ويكون تركيز التلف شديدا خاصة بالنسبة للنوى التي تصدر جسيمات ألفا أو بيتا نظرا لقدرة هذه الجسيمات على تأيين ذرات وجزيئات النسيج أو العضو البشري .



● شكل (١) مسالك المواد المشعة في البيئة .

مخاطر التلوث

عنيت الهيئات العلمية في العديد من الدول المتقدمة وكذلك الهيئات العلمية الدولية وعلى رأسها اللجنة العلمية للأمم المتحدة المعنية بآثار الإشعاع المؤين واللجنة الدولية للحماية من الإشعاع بمخاطر التلوث الإشعاعي، وقد تمكنت هذه الهيئات من جمع كم هائل من البيانات حول حجم الإنطلاقات المختلفة إلى البيئة من كثير من المصادر الصنعية للتلوث الإشعاعي وحول نتائج القياسات الإشعاعية والمسح المستمر لتركيز النويدات المشعة الصنعية في البيئة في أماكن كثيرة من العالم . ولقد تمكنت هذه الهيئات من تقويم الأخطار والأضرار التي وصلت بالفعل إلى البشر أو التي يتوقع أن تصل إليهم . ومازالت تلك الهيئات تعمل من أجل تقويم المخاطر بطريقة أشمل بعد أن توفر جميع الدول البيانات الحقيقية والدقيقة لاستخدامات المواد المشعة الصنعية وحجم الإنطلاقات الواقعة .

وتتضمن البيانات المؤكدة التي توصلت إليها الهيئات المختلفة تقويم أخطار التلوث البيئي المحدود الذي لا ينجم عنه سوى أخطار إشعاعية تعرف بالأخطار المتأخرة والتي لا تحدث إلا بعد حدوث التعرض بعدد من السنوات . وتتمثل أساساً في احتمال الإصابة بالسرطان أو في الأمراض الوراثية لأبناء أو أحفاد المتعرض أو أجياله التالية .

وعموما يتم تقويم الأخطار الناجمة عن التلوث الإشعاعي من خلال تقويم الجرعات الإشعاعية الفعالة التي تصل إلى المجموعات البشرية المختلفة وبالتالي إلى سكان العالم جميعا نتيجة لهذا التلوث سواء كانت هذه الجرعات ناتجة عن التعرض المباشر

للاشعاعات الصادرة من المواد المشعة المنتشرة في البيئة أم نتيجة لانتقال هذه المواد إلى داخل جسم الإنسان مع الغذاء والماء والهواء ، ولتعيين الجرعة الفعالة التي تؤثر على مجموعة بشرية معينة يؤخذ في الحسبان نوع المواد المشعة ومدى الضرر الذي يسببه كل نوع منها ومن إشعاعاتها . وعند جمع الجرعات الفعالة التي تصل الى البشر جميعا (ما يزيد على ٥ مليار نسمة) فإننا نحصل على ما يسمى بالجرعة الفعالة الجماعية. وتقاس الجرعة الفعالة الجماعية بوحدة يطلق عليها اسم فرد ، سيفرت لتدل على مقدار الجرعة الفعالة بالسيفرت التي حصل عليها عدد من الأفراد .

ولاستيعاب مدى الضرر الواقع على البشرية من جراء التلوث الإشعاعي للبيئة يكفي معرفة أن كل ١٠٠٠ فرد سيفرت تعني حدوث حوالي ٤٠ حالة وفاة سرطانية في المتوسط بين الجنسين . ويمكن أن تنتج هذه الجرعة على سبيل المثال من تعرض ١٠٠٠ فرد بواقع ١ سيفرت لكل فرد أو تعرض ١٠٠٠٠ فرد بواقع ٠,١ سيفرت لكل فرد ...الخ. وعندما يقال أن حادث تشرنوبل أدى إلى تلوث البيئة بمقدار ٦٠٠٠٠٠ (ستمائة ألف) فرد سيفرت فمعنى ذلك أن عدد حالات الوفيات السرطانية المتوقعة عن هذا الحادث هي :-

٦٠٠٠٠٠ × ٤٠ / ١٠٠٠ = ٢٤٠٠٠

وفاة سرطانية على مستوى العالم .

ويتضمن الجدول أدناه بيانات الجرعة الفعالة الجماعية الناجمة عن التلوث البيئي بالمواد المشعة الصنعية فقط طبقا لبيانات الهيئات الدولية .

الآثار الوراثية للتلوث

فضلا عن احتمالات الإصابة السرطانية القاتلة فإن للإشعاع آثارا وراثية ، ودراسة الآثار الوراثية للإشعاع أكثر صعوبة من دراسة السرطان ، وذلك بسبب ضآلة المعلومات المتوفرة عن التلف الوراثي فضلا عن أن سجل الآثار الوراثية يستغرق أجيالا كي يظهر، ولأن العيوب الوراثية الناتجة عن الإشعاع ـ شأنها في ذلك شأن السرطان ـ يصعب تمييزها عن نفس العيوب الناتجة عن الأسباب الأخرى .

وتنقسم الآثار الوراثية إلى مجموعتين رئيستين، تحدث الأولى نتيجة وقوع خلل في الكروموسومات يتمثل في حدوث تغير عددها أو تغير تركيبها . أما المجموعة الثانية فتنتج عن حدوث طفرات في المورثات ذاتها . ولتقدير أخطار العيوب الوراثية تلجأ الهيئات المتخصصة إلى طريقتين ، تركز الطريقة الأولى على تقدير حجم التلف الذي تحدثه جرعة معينة من الإشعاع، في حين تحاول الثانية معرفة نوعية الجرعات اللازمة لمضاعفة أعداد المولودين بعيوب وراثية . وتقدر الطريقة الأولى أنه عندما يتعرض الذكور فقط لجرعة مكافئة مقدارها ١ سيفرت من الإشعاعات منخفضة المستوى فإنه يترتب على ذلك حدوث ما بين ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ طفرة حادة وما بين ٣٠ إلى ١٠٠٠ أثر حاد ناتج عن خلل في الكروموسومات وذلك في كل مليون ولادة . والأرقام الخاصة بتعرض النساء للإشعاع مشوبة عموما بقدر كبير من عدم الدقة ، ولكنها أكثر انخفاضا لأن الخلايا التناسلية الأنثوية أقل حساسية للإشعاع . وتدل الحسابات التقريبية على أن عدد الطفرات يتراوح ما بين صفر إلى ٩٠٠ لكل مليون ولادة ، في حين يتراوح عدد حالات الخلل الكروموسومي ما بين صفر إلى ٣٠٠ حالة لكل مليون ولادة .

وتقدر الطريقة الثانية أن ١ سيفرت من التعرض المستمر للإشعاع لمدة جيل واحد (٢٠ سنة تقريباً) سوف يؤدي إلى نحو ٢٠٠٠ حالة حادة من الأمراض الوراثية لكل مليون مولود تعرض أحد أبويه للإشعاع . وتسعى هذه الطريقة لتعيين العدد الإجمالي للعيوب الوراثية التي سوف تظهر في جميع الأجيال لو استمر نفس المعدل من التعرض ، وتتوقع أن يولد نحو ١٥٠٠٠ طفل مصابين بأمراض حادة نتيجة لهذا التعرض لكل مليون مولود .

أمام هذه المخاطر بدأت معظم دول العالم في الوقت الحالي بالإهتمام بالتلوث الإشعاعي للبيئة وفي المنتجات الغذائية بصفة خاصة ، ووضعت الكثير من الدول حدودا لمستويات التلوث بالنويدات المشعة، ينبغي ألا تتجاوزها المنتجات الغذائية ومنتجات الأعلاف وغيرها . وتقوم الهيئات العلمية المتخصصة في كثير من دول العالم بقياس التلوث الإشعاعي ومتابعة التغيرات التي تطرأ عليه في العينات البيئية المختلفة من تربة ونبات ومياه وهواء وحيوان . وتناشد اللجنة العلمية للأمم المتحدة جميع دول العالم لإمدادها ببيانات دقيقة حول التعرض الإشعاعي والتلوث بالمواد المشعة ، كما تناشدهم باتباع أفضل الطرق لاستخدام تلك المواد ووضع قيود على إطلاق النويدات المشعة للبيئة وذلك حفاظا على الإنسان .

مصدر التلوث	الجرعة الفعالة الجماعية (فرد .سيفرت)
اختبارات الأسلحة النووية والصناعات المرتبطة	
ـ الاختبارات الجوية	٣٠ مليون
ـ اختبارات تحت سطح الأرض	أكثر من ٥٠
ـ الصناعات المرتبطة بالاسلحة النووية	مائة الف
ـ حادثة كيشتيم	ثلاثة آلاف
ـ حادثة وندسكيل	ألفان
إنتاج القوى نووياً	
ـ توليد الكهرباء والصناعات المرتبطة	ثلثمائة الف
ـ حادثة ثرى مايل آيلاند	٤٠
ـ حادثة تشرنوبل	ستمائة الف
استخدام وتطبيقات النظائر المشعة في الطب والصناعة والزراعة ومفاعلات الأبحاث ومصادر أخرى كثيرة	لم تنته اللجان العلمية بعد من تقويم المخاطر لقلة البيانات من الدول وعدم دقتها

● جدول (١) الجرعة الفعالة الجماعية للتلوث البيئي بالمواد المشعة المصنعة .