الفصل الرابع

# ملوثات البيئة ... وأنواعها

- مقدمة
- مفهوم التلوث
- أنواع الملوثات
- الملوثات الطبيعية
- الملوثات الغير طبيعية
- النفايات المشعة
- مصادر النفايات المشعة
- تصنيف النفايات المشعة
- إدارة النفايات المشعة وطرق التخلص منها
- غاز الرادون وتأثيراته البيئية

## مقدمة

إن التقدم الاقتصادى والصناعى والتقنى الذى يعيشه العالم اليوم يعتبر نتيجة مباشرة لبراعة العلماء فى تسخير أنواع الطاقة المتاحة واستبدال القوة العضلية بالقوة الميكانيكية (قوة الآلة). إن استعمال الإنسان لمصادر الطاقة له عواقب بيئية مهمة تؤثر فى الحياة العامة والخاصة لكل منا، وهذه العواقب لا يمكن احتواؤها الآن فى داخل الحدود الدولية، وعليه فإن التلوث الصادر فى مكان ما من عالمنا الصغير قد تجنى عواقبه فى مكان آخر يبعد آلاف الأميال عنه. لقد أصبح التلوث البيئى ظاهرة عالمية واكبت التقدم العلمى حتى أنها شملت الدول النامية المتقدمة أيضا ولكن مع اختلاف نوعية التلوث. فبالنسبة للدول المتقدمة فإنها تعانى من تلوث وصل إلى التلوث الذرى، أما بالنسبة لمناطق دول العالم النامى والتى دخلت مجال التصنيع فى الخمسينات والستينات فإن التلوث بالنسبة لها يرجع أساسا إلى سببين رئيسيين، وهما:

1- سوء إدارة الأنظمة البيئية.
2- إغفال عنصر البيئة عند وضع خطط التنمية.

**وتعتبر مشكلة التلوث البيئى لهذه الدول ذات بعدين رئيسين، وهما:**

1- تلوث ناجم عن النشاط الصناعى.
2- تلوث نتيجة للتدهور الناجم من العوامل الاقتصادية والاجتماعية، وهذا النوع من التلوث له أسباب عديدة لعل من أهمها شيوع حالة الفقر وعدم كفاية الهياكل الأساسية، وكذلك تفشى الجهل والمرض وعدم توافر النوعية المناسبة وعلى وجه الخصوص فى مجالات الصحة والأمن الغذائى. وتعتبر مشكلة التلوث البيئى من أهم مشاكل الإنسان مع البيئة فى نشاطه المستمر للاستثمار والإنتاج، وتنعكس مشكلة التلوث البيئى بشكل حاد على حركة الاستثمارات والتنمية سواء فى الدول النامية أو المتقدمة على السواء.

ويعرف البنك الدولى التلوث بأنه: "كل ما يؤدى نتيجة التكنولوجيا المستخدمة إلى إضافة مادة غريبة إلى الهواء أو الماء أو الغلاف الأرضى فى شكل كمى تؤدى إلى التأثير على نوعية الموارد، وعدم ملائمتها وفقدانها خواصها أو تؤثر على استقرار استخدام تلك الموارد".

ويعرف العالم البيئى أوديم "Odum" التلوث البيئى بأنه: "أى تغير فيزيائى أو كيميائى أو بيولوجى مميز، ويؤدى إلى تأثير ضار على الهواء، أو الماء، أو

يضر بصحة الإنسان والكائنات الحية الأخرى، وكذلك يؤدى إلى الإضرار بالعملية الإنتاجية كنتيجة للتأثير على حالة الموارد المتجددة.

ويعرف بعض العلماء تلوث الهواء بأنه وجود شوائب غازية أو صلبة أو سائلة فى الهواء، ويعتبر الهواء ملوثا عندما توجد تلك الشوائب بتركيزات تبقى به لفترات زمنية كافية لإحداث ضرر بصحة الإنسان أو ممتلكاته أو بالحيوان أو النبات أو تتداخل فى ممارسة الإنسان لحياته العادية. كما يرى البعض أنه يمكن تعريف التلوث بأنه: "كل ما يؤدى بطريقة مباشرة أو غير مباشرة إلى التأثير سلبيا على سلامة الوظائف المختلفة لكل الكائنات الحية على الأرض (إنسان، نبات، حيوان)، وكذلك كل ما يؤدى بشكل مباشر أو غير مباشر إلى الإضرار بالعملية الإنتاجية نتيجة للإقلال من كمية أو نوعية الموارد المتجددة المتاحة لهذه العملية".

وتعرف الدكتورة منى قاسم: التلوث بأنه: "كل ما يؤدى بشكل مباشر أو غير مباشر إلى الإضرار بكفاءة العملية الإنتاجية نتيجة للتأثير السلبى والضار على سلامة الوظائف المختلفة لكل الكائنات الحية على الأرض، سواء النبات أم الحيوان، وبالتالى يؤدى إلى ضعف كفاءة الموارد وزيادة تكاليف العناية بها، وحمايتها من أضرار التلوث البيئى"، إذ أن التلوث البيئى يؤثر على العملية التبادلية للمواد بشكلها الجماعى للإنتاج فى اتجاهين، الاتجاه الأول: أنه يهدد البيئة الطبيعية بالتدهور، والاتجاه الثانى: انعكاس تدهور الموارد الطبيعية على البيئة التكنولوجية التى يستخدمها الإنسان فى التعامل مع البيئة الطبيعية لإنتاج سلع وخدمات تشبع حاجاته ورغباته.

ومن وجهة نظرنا الخاصة، يمكن تعريف التلوث البيئى، بأنه: "الفساد الذى يصيب كافة مكونات البيئة فيؤثر فيها ويغير من صفاتها وخواصها، بما قد يؤدى إلى إتلافها أو هلاكها". وهذا ما أشار إليه القرآن الكريم فى قوله تعالى: "ظهر الفساد فى البر والبحر بما كسبت أيدى الناس ليذيقهم بعض الذى عملوا لعلهم يرجعون" سورة الروم: الآية 41.

**أنواع الملوثات**

يعتبر التلوث من أهم الظواهر البيئية المميزة للعصر الحديث وفى الحقيقة فإن التلوث – بآثاره المختلفة – يجب أن يتسع مفهومه ليشمل تلوث المياه والهواء والتربة, وكذلك التلوث الناجم عن الضوضاء والإشعاع.

ويمكن تقسيم الملوثات إلى عدة أنواع طبقا لنشأتها، طبيعة تأثيرها، قابليتها للتحلل ومن حيث كيفية تأثيرها.

**أولا: تقسيم الملوثات طبقا لنشأتها**

تنقسم الملوثات حسب طريقة تكوينها إلى قسمين:

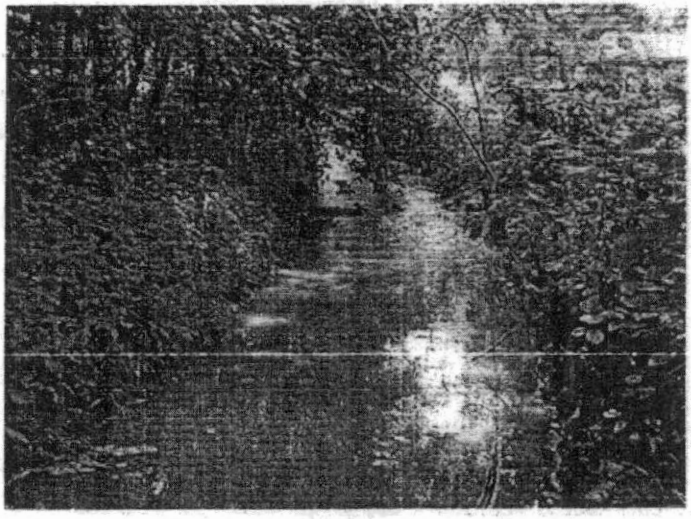
**1- الملوثات الطبيعية**

وهى الملوثات ذات المصدر الطبيعى والتى تنتج من مكونات البيئة ذاتها دون تدخل الإنسان، أى أن الإنسان وحضارته ليس لهما أى دور فى إنتاج تلك الملوثات وبثها إلى البيئة، مثل: الغازات والأتربة التى تقذفها البراكين، وأكاسيد النيتروجين التى تتكون فى الهواء نتيجة للتفريغ الكهربائى، وحبوب اللقاح التى تنتقل وتنتشر من النباتات الزهرية وتسبب بعض أمراض الحساسية. وفى الحقيقة فإن تأثير هذه الملوثات الطبيعية على البيئة ضئيل جدا، بل يصل إلى الدرجة التى يمكن القول بأن هذه الملوثات تصبح ذات تأثير غير ملوث أو ضار بالإنسان أو النبات أو الحيوان إذا ما قورنت بما يسببه الإنسان ذاته وحضارته الحديثة من تلوث البيئة ولجميع الكائنات الحية من حوله.

**ومن أمثلة هذه الملوثات الطبيعية:**

أ- مخلفات أجسام الكائنات الميتة والتى تجد طريقها إلى المياه فتلوثها.

ب- الرواسب والمواد الذائبة التى تحملها مياه الأمطار أثناء مرورها فوق التربة والصخور (شكل 4-1)، وهذه الرواسب تحوى الرواسب المعدنية والفضلات العضوية الناتجة من تعفن النباتات الميتة.



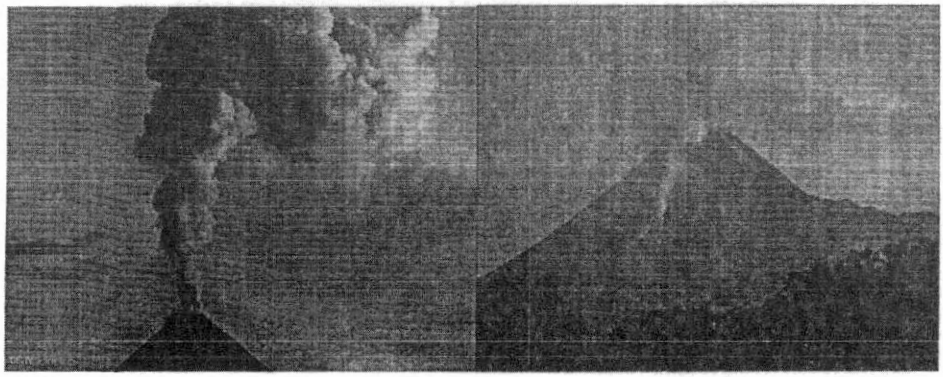
**شكل (4-1): مياه الأمطار تحمل الرواسب والمواد الذائبة أثناء مرورها إلي المياه السطحية.**

ج- المواد السامة التى تجد سبيلها إلى المياه عن طريق إذابة مياه الأمطار أثناء تساقطها لغازات $NO_x$، $SO_x$ [حيث x = 2.3، 1] وغيرها والتى توجد فى الهواء الجوى، وهذا ما يسمى بالمطر الحمضى.

د- الحرائق؛ وخاصة حرائق الغابات التى تلوث الجو بنواتج احتراق الأشجار.

ه- الأملاح الذائبة والتى توجد فى مياه البحار بنسب عالية جدا، مما يتسبب عنه تسمم مياه تلك البحار بحيث تصبح غير صالحة للحياة، فتندثر منها الأحياء المائية بجميع أنواعها، مثل: مياه البحر الميت. كما أن هذه الأملاح قد تصل إلى التربة الزراعية بنسب عالية فتفسدها وتجعلها مالحة جدا وغير صالحة للزراعة.

و- البراكين: تقذف البراكين فى الجو كميات كبيرة من الغازات والملوثات الأخرى شكل (4-2).



**شكل (4-2): صورة توضح ثورة البراكين وانبعاثاتها**

**2- الملوثات غير الطبيعية**

وهى تلك الملوثات الناتجة من فعل الإنسان واستخدامه للأجهزة والتقنيات الحديثة، كتلك الناتجة عن شتى التفجيرات النووية ووسائل النقل والمواصلات وكذلك النفايات الصناعية.

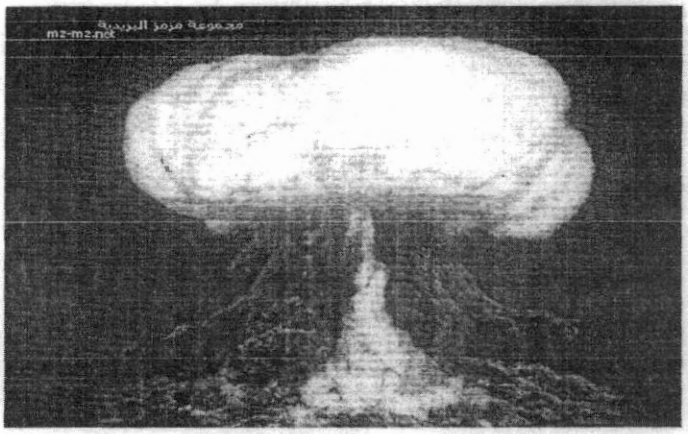
وتعتبر هذه الملوثات هى الضريبة التى فرضتها الحضارة الحديثة والتقنيات المتقدمة على بنى البشر ومجتمعاتهم التى يعيشون فيها، ويدخل ضمن قائمة الملوثات غير الطبيعية.

أ- المخلفات الصناعية، وهى المواد الكيميائية الناتجة عن الصناعات المختلفة.

ب- المخلفات الناتجة عن احتراق الوقود وخاصة وقود السيارات والناقلات.

ج- الإشعاعات الناتجة عن التفجيرات النووية، مثل ذلك : الإشعاعات التى نتجت عن إلقاء قنبلتى هيروشيما ونجازاكى عام 1945م (شكل 4-3) . والإشعاعات المتسربة أيضا من بعض المفاعلات النووية أو التى تصاحب انفجار هذه

المفاعلات كما حدث فى مفاعل تشرنوبيل بالاتحاد السوفيتى السابق، حيث غطت آثار الإشعاعات النووية مساحات كبيرة من دول العالم، وأثرت هذه الإشعاعات على مصادر الغذاء النباتية والحيوانية.




**شكل (4-3): صورة توضح الأتبعاثات والأشعاعات الصادرة عن تفجير نووي**

د- المبيدات الحشرية المستخدمة للقضاء على الآفات والحشرات الضارة بالتربة والمزروعات أو بالإنسان حيث تتراكم المبيدات فى التربة وتغير من خواصها وتغير ما يزرع فيها من محاصيل، كما أنها قد تصل إلى الإنسان من خلال غذائه وشرابه أو الهواء الذى يتنفسه فتسبب له المتاعب والأمراض أو قد تقتلك به وتؤدى إلى هلاكه.

**ثانيا: تقسيم الملوثات حسب طبيعة تأثيرها**

**1- ملوثات إحيائية (بيولوجية)**

وهى الملوثات الناتجة عن الأحياء التى إذا وجدت فى مكان أو زمان بكم غير مناسب تسبب أضرارا للإنسان والنبات والحيوان، مثل : الفيروسات والبكتيريا التى تنتشر أنواعها فى الهواء والماء وتسبب أمراضا للكائنات الحية. ومثال ذلك أيضا حبوب لقاح بعض النباتات الزهرية والتى تنتشر فى مواسم معينة مسببة أمراض الحساسية فى الجهاز التنفسى للإنسان.

**2- ملوثات كيميائية**

وتشمل الغازات المتصاعدة من المصانع والسيارات، والمبيدات بأنواعها، وكذلك الجسيمات الدقيقة التى تنتج من مصانع الأسمنت، والأسبستوس،

والكيمياويات السائلة التى تلقى فى التربة أو الماء مما يسبب أضرارا بالكائنات الحية جميعها. فمصانع الورق والحديد والصلب والأسمنت والأسمدة والألمونيوم وغيرها تسهم فى ارتفاع نسبة الأتربة الناتجة من دخان تلك المصانع ومخلفاتها. ومن الأخطار التى تهدد سكان بعض المناطق انتشار نسبة السيلكا الحرة وثانى أكسيد السيليكون، حيث تنعكس أثارها على الرئتين وتصابان بما هو معروف بمرض السلكين. كما أن انتشار غبار الأسبستوس (Asbestos dust) يسبب مرض الأسبستية (Asbestic disease).

**3- ملوثات فيزيائية**

مثل الضوضاء والتلوث الحرارى والإشعاعات بأنواعها وخاصة الإشعاعات الصادرة عن المفاعلات النووية. وتشكل المواد المشعة خطرا كبيرا على الإنسان كما ونوعا، فالأشعة تحطم الخلايا الحية بجسم الإنسان وتتلفها وتسبب مرض سرطان الدم أو سرطان الجلد أو سرطان العظام، كما أنها تؤثر على الصفات الوراثية.

**ثالثا: تقسيم الملوثات من حيث قابليتها للتحلل**

**1- ملوثات قابلة للتحلل العضوى**

وهى تلك الملوثات التى يمن للعوام الطبيعية والمناخية والبيئية تفكيكها وامتصاصها ويندرج تحتها غاز ثانى أكسيد الكربون ومركبات النترات.

**2- ملوثات غير قابلة للتحلل العضوى**

وهى تلك الملوثات التى لا يمكن تفتيتها عضوا أو أن عملية تفتيتها تستغرق زمنا طويلا. ومثل تلك الملوثات تظل عالقة فى الأنظمة الطبيعية وتؤدى إلى تلويثها مما يمنع أو يحد من استخدامها بواسطة الإنسان، ومنها المخلفات المعدنية، مثل: المطاط والزجاج، وكذلك المخلفات الصناعية، مثل : منتجات البلاستيك، مساحيق ومواد النظافة المنزلية والكيمياويات المختلفة. وتعتبر الصناعات وخاصة التحويلية منها هى المصدر الاساسى للملوثات الغير قابلة للتحلل العضوى بفعل الأنظمة البيئية، كذلك فإن الصناعات التحويلية من المصادر الهامة للملوثات السامة، مثل: مركبات المعادن الثقيلة كالرصاص والزئبق والكادميوم وغيرها.

ومن المعروف أن الصناعات التحليلية لا تبعث بمخلفات قابلة للتحلل العضوى إلا أن هناك بعض الصناعات الغذائية تنتج ملوثات قابلة للتحلل العضوى، ولكن الجزء الأكبر من ملوثات الصناعات التحويلية هى ملوثات غير قابلة للتحلل مما يؤدى إلى تزايد مشاكل التلوث البيئى.

**رابعا: تقسيم الملوثات حسب تأثيرها**

**1- تلوث مباشر**

مما لا شك فيه أن مصادر التلوث وأنواعه عديدة وآثاره وخيمة، ومما يؤدى إلى تضخم المشكلة وتفاقمها هو أن الكمية اللازمة لإحداث التلوث ضئيلة جدا، خاصة عند تعرض الإنسان بطريقة مباشرة لمصادر التلوث دون وسيط يخفف من درجة التلوث وحدته. ومن أمثلة هذا النوع:

أ- تعرض الإنسان للإشعاعات الصادرة من جسم مشع أو أى مصدر للإشعاع كالكوارث النووية التى زادت حدتها فى الأعوام الماضية، ومنها: حادث الانفجار فى مفاعل تشرنوبيل بولاية الأوكران بالاتحاد السوفيتى السابق. وما تبع ذلك من تسرب للإشعاعات النووية التى أثرت بطريقة مباشرة على أولئك الناس الذين يعملون فى تلك المحطة النووية، وعلى آخرين مما يسكنون أو يعملون بالقرب من هذه المنطقة.

ب- استنشاق هواء ملوث بغازات أو أبخرة سامة من تلك التى تبثها فى كل لحظة المصانع والمحاجر وعوادم السيارات وغيرها.

ج- تعرض الإنسان لرذاذ متطاير من أنف أو فم مريض مصاب بأحد الأمراض الفيروسية المعدية.

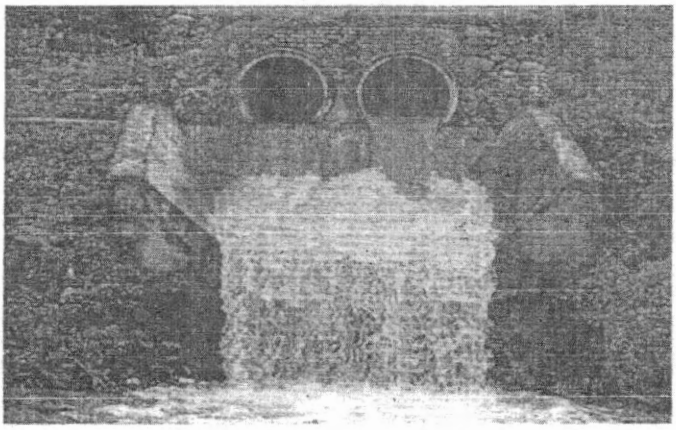
**2- تلوث غير مباشر**

قد يتعرض الإنسان لمصادر التلوث بطريقة غير مباشرة من خلال غذائه أو شرابه أو ممارسته لحياته اليومية، ومن أمثلة ذلك:

**أ- تلوث مياه الشرب**

حيث يعتبر الثلج المحضر من مصادر ملوثه أو غير مأمونه والمستخدم فى تبريد مياه الشرب أحد أسباب تلويث المياه. ومن أهم مصادر تلوث مياه الشرب المستحضرات الكيميائية المستعملة فى معالجة التربة والنباتات، كمبيدات الحشرات والأسمدة الكيميائية التى قد يتسرب جزء منها إلى مياه الشرب أو قد تنتقل سمومها إلى الإنسان عن طريق منتجات الحيوانات التى تشرب ماء ملوثا كالأبقار والدواجن.

ومن المصادر الخطيرة لتلوث مياه الشرب شبكات المجارى، إذ قد تتسرب بعض محتويات شبكات المجارى، إن لم تكن معزولة بإحكام، إلى مياه الشرب فتلوثها شكل (4-4).



**شكل (4-4): صرف المجاري يلوث مصادر المياه الطبيعية**

ومن الأمراض الشائعة التى يعتبر الماء وسيطا ممتازا لنقلها أمراض الكوليرا والجدرى والتيفوئيد، وتعزى 41.5% من وفيات الأطفال دون من السادسة إلى أمراض تنقل عن طريق ماء الشرب الملوث.

**ب- حمامات السباحة**

تعتبر حمامات السباحة مرتعا خصبا لجراثيم الأمراض الجلدية وغيرها من الجراثيم والفيروسات التى تصيب الأنف والفم والحلق والأذن والعين، والتى تنتقل من خلال شخص مصاب يستخدم مياه حمام السباحة أو ى مصدر آخر يؤدى إلى تلوث المياه نتيجة عدم العناية بحمام السباحة وتعقيمه بطريقة دورية سليمة.

**ج- الأغذية الملوثة**

قد يتلوث الغذاء بعناصر كيميائية ضارة جدا وجدت طريقها إلى الغذاء بسبب الإضافة المتعمدة أو بسبب معالجة الحيوانات بالأدوية أو بسبب تعرضها للمواد الكيميائية التى تلوث المراعى، كما تختلط العناصر الكيميائية بالغذاء بسبب الإهمال خلال مراحل الإنتاج الغذائى، ويعتبر تلوث التربة ومياه الرى والمحاصيل الزراعية من أهم أسباب التلوث الغذائى.

**خامسا: تقسيم الملوثات حسب حالتها**

تقسم الملوثات والمواد الملوثة حسب حالتها الفيزيائية إلى ثلاثة أنواع، هى:

**1- الملوثات الصلبة**

وهى تلك النفايات الموجودة على الهيئة الجامدة، مثل: المخلفات الناتجة من العديد من الصناعات أو بعض أنواع المبيدات التى تستخدم للقضاء على الآفات

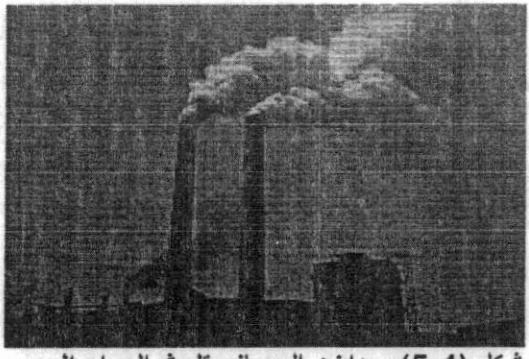
والحشرات الضارة أو الغبار وتلك الأتربة الناتجة عن بعض الصناعات كصناعة الأسمنت وغيرها.

**2- الملوثات السائلة**

وهى تلك النفايات الموجودة على الهيئة السائلة الجارية، كمحاليل المواد الكيمياوية التى تقذف بها المصانع فى المجارى المائية، ومياه المجارى بما فيها من مخلفات ومواد ضارة، ويضاف إلى تلك بعض أنواع المبيدات. ويعد التلوث بالنفط ومشتقاته من أهم الملوثات المائية السائلة وأوسعها انتشارا، وغالبا ما يحدث التلوث بالنفط عن طريق تسرب النفط من ناقلات البترول أو غرق تلك الناقلات.

**3- الملوثات الغازية**

وهى تلك النفايات التى تكون موجودة على هيئة الغاز، كالغازات الضارة المتصاعدة من مداخن المصانع شكل (4-5)، أو الغازات الناتجة فى عوادم السيارات، أو الغازات الناتجة عن البراكين وغيرها.



**شكل (4-5): مداخن المصانع تلوث الهواء الجوي**

تشكل رغبة الإنسان فى الراحة والاستجمام سببا من أسباب التلوث. فنجد أن الإنسان طور الكثير من المواد المصنعة التى تلوث البيئة من أجل توفير وقته وجهده وماله. وببذل المزيد من الجهد يمكن التخلص من التلوث الناتج عن هذه المواد، ولكن بالنظر إلى أن الوقاية من التلوث تعد غالبا باهظة التكلفة. فإنها كثيرا ما تعد مسألة غير عملية. ويعطى استخدام مواد التعبئة التى ترمى مباشرة بعد استخدامها مثالا يوضح كيف ان رغبتنا فى الراحة تسبب وتساعد فى تلوث البيئة. ويمكن الاحتفاظ بتلك العبوات مثل علب الألومونيوم والصلب والقوارير

الزجاجية والبلاستيكية وإعادة استخدامها، أو يمكن طحنها حيث تستخدم كمادة أساسية مرة أخرى، لكن الكثير من الناس يفضلوا إلقاء هذه الأوعية المباشرة.

**النفايات المشعة**

تعتبر النفايات المشعة الناتجة عن استخدام المصادر المشعة عقبة أساسية أمام استغلال الأمثل للطاقة النووية إضافة إلى أنها من المشكلات المعقدة حول جدوى الاستغلال الأمثل للطاقة النووية.

يعتمد مستقبل الصناعة النووية إلى حد بعيد على مدى قدرة هذا النوع من الصناعة على التحكم والسيطرة على المخلفات والنفايات المشعة المتولدة من استخدام المصادر المشعة. ولا يخلو أى أسلوب لتوليد الطاقة من توليد نفايات يجب إيجاد الطرق الملائمة لحماية الإنسان والبيئة من أثارها السلبية، لاسيما من حيث حجم النفايات المتولدة وخطورتها المباشرة على الإنسان والبيئة ومدى اضمحلال أو تفاقم أثارها السلبية مع مرور الزمن. فعلى سبيل المثال فإن توليد ألف ميجا وات من الطاقة الكهربائية يحتاج يوميا إلى 1000 طن من الفحم الحجرى، وينتج عن هذه العملية انطلاق 300 طن من ثانى أكسيد الكبريت وخمسة أطنان من الرماد الذى يحتوى على عناصر أخرى مثل الكلور والكادميوم والزرنيخ والزئبق والرصاص بالإضافة إلى بعض العناصر المشعة. وفى المقابل ينتج عن توليد نفس الطاقة الكهربائية فى محطة قوى نووية 500 متر مكعب من النفايات فى العام.

**مصادر النفايات المشعة**

تتنوع مصادر النفايات المشعة تبعا لنوع عمليات التصنيع الناجمة عنها ومن تلك المصادر، ما يلى:

1- محطات القوى النووية.
2- جميع عمليات ومراحل دورة الوقود النووى وإنتاج الأسلحة النووية.
3- استخراج الخامات النووية، مثل اليورانيوم والثوريوم.
4- استخدام النظائر المشعة فى البحث العلمى وفى الصناعة والتعدين والزراعة.
5- الطب النووى بما فيه التشخيص والعلاج وإنتاج العقاقير والمصادر المشعة.

وعلى الرغم من أن جميع الأنشطة المرتبطة بالمصادر يتولد عنها نفايات، إلا أن حجم هذه الأنشطة يختلف من دولة إلى أخرى، ففى حين توجد جميع الأنشطة المذكورة فى الدول الصناعية النووية، تكاد لا تخلو دولة نامية من جميع أو معظم

الأنشطة الثلاثة الأخيرة، ويوضح الجدول (4-1) بعض النظائر المشعة الرئيسية التى تشكل الجانب الأكبر من النفايات المشعة.

**جدول (4-1): النظائر المشعة التي تشكل الجانب الأكبر من النفايات الملوثات المشعة.**

| النظير | العمر النصفى (سنة) | نوع الإشعاع الصادر |
|---|---|---|
| سترنشيوم 90 | 29 | بيتا |
| يود 129 | $1.6 \times 10^{7}$ | بيتا |
| سيزيوم 135 | $2 \times 10^{6}$ | بيتا وجاما |
| سيزيوم 137 | 30 | بيتا وجاما |
| تكنيتيوم 99 | $2 \times 10^{5}$ | بيتا |
| ثوريوم 229 | 7340 | ألفا |
| ثوريوم 230 | $7.7 \times 10^{4}$ | ألفا |
| نبتونيوم 237 | $2.1 \times 10^{6}$ | ألفا |
| بلوتونيوم 239 | 24000 | ألفا |
| بلوتونيوم 240 | 6580 | ألفا |
| امريسيوم 241 | 460 | ألفا |
| امريسيوم 243 | 7370 | ألفا |
| كيوريوم 243 | 32 | ألفا |
| كيوريوم 244 | 18 | ألفا |
| نيكل 59 | $8 \times 10^{4}$ | السينية (×) |
| نيوبيوم 94 | $2 \times 10^{4}$ | بيتا وجاما |
| كوبلت 60 | 5.3 | جاما |

**تصنيف النفايات المشعة**

ليس هناك تصنيف دولى موحد للنفايات المشعة، حيث أن ذلك يعتمد إلى حد كبير على أنظمة كل دولة وعلى المعايير التى استخدمت كأساس لتعريف النفايات المشعة، كما يعتمد كذلك على مدى تطور الصناعات النووية فى تلك الدولة وحجم الأنشطة ونوعها.

لجأت العديد من الدول والمنظمات الدولية المعنية بالحماية من الإشعاع إلى تصنيف النفايات المشعة آخذة فى الحسبان الطرق المقترحة لحفظها ومعالجتها والتخلص منها، وعلى ضوء ذلك فإن النفايات المشعة تصنف إلى ما يلى:

- نفايات ذات مستوى إشعاعى عال، وهى النفايات المشعة الناتجة عن الوقود النووى المعالج أو المستنزف، وتتميز بأنها ذات أعمار نصفية طويلة وينبغى حفظها فى مطامير دائمة.

- نفايات ذات مستوى اشعاعى متوسط، وتنتج عن عمليات إنتاج أو استخدام بعض النظائر المشعة. وفى حين أنه يمكن تصنيف النفايات السائلة ذات المستوى الإشعاعى المتوسط اعتمادا على الأنشطة الإشعاعية للنفايات وطرق معالجتها، إلا أن الأمر أكثر تعقيدا فى حالة النفايات المشعة الصلبة، حيث يجب الأخذ فى الحسبان – إلى جانب العوامل السابقة – نوع الإشعاع الصادر والعمر النصفى للمادة وسميتها الإشعاعية، بالإضافة إلى العوامل التى يجب مراعاتها عند الحفظ فعلى سبيل المثال – ولأغراض التخلص من النفايات – فإن النفايات المشعة السائلة المتوسطة المستوى هى تلك التى يزيد نشاطها الإشعاعى عن 3.7 جيجا بيكول فى المتر المكعب.

- النفايات ذى مستوى إشعاعى منخفض، وتشمل جميع النفايات التى لا تدخل ضمن التصنيفين السابقين، وتشكل الجزء الأكبر من النفايات المشعة، حيث تصل فى بعض الأحيان إلى ما يزيد عن 70% من اجمالى النفايات، وتنتج بشكل أساسى من استخدام النظائر والمصادر المشعة فى الطب والبحث العلمى والتطبيقات الصناعية.

أما فيما يتعلق بالنفايات المشعة الغازية فنظرا إلى أن نطلق النشاط الإشعاعى لها يكاد يكون محدودا، وبالتالى قلة طرق معالجتها، فإنه لا يمكن اعتماد التصنيفات السابقة الذكر فى حالة النفايات المشعة الغازية، حيث يتم التصنيف حسب مستوى النشاط الإشعاعى الكلى لكل وحدة كجم.

**إدارة النفايات المشعة وطرق التخلص منها**

إن الهدف الاساسى لأى برنامج لإدارة النفايات المشعة والتحكم فيها هو الوصول إلى الوضع الذى يضمن حماية الإنسان والبيئة من مضار تلك النفايات، وقد يعنى ذلك – لاسيما فى بعض حالات النفايات ذات المستوى الإشعاعى المنخفض – معالجتها ثم إطلاقها فى البيئى، حيث أن معالجتها أو حفظها أو كلاهما قد تؤدى إلى خفض مستواها الإشعاعى إلى حد يقل عن مستواها الإشعاعى الطبيعى. يعنى ذلك أيضا الاضطرار إلى حفظ تلك النفايات لمئات أو آلاف السنين، ويبرز ذلك جليا فى حالة النفايات ذات المستوى الإشعاعى العالى. ولا يعنى اصطلاح "حماية الإنسان والبيئة" بالضرورة عدم احتمال وجود الخطر، ولكن قد يعنى أن ذلك الاحتمال قابل للمواجهة والمعالجة.

**ويمكن التخلص من النفايات المشعة حسب مستواها الإشعاعى كما يلى:**

**1- النفايات ذات المستوى العالى**

هناك عدة طرق مقترحة لحفظ النفايات ذات المستوى الإشعاعى العالى، وإضافة إلى أن الكثير منها لا يزال فى طور التجربة فهى باهظة التكاليف، ومن هذه الطرق ما يلى:

أ- الدفن فى مطامير دائمة فى أعماق مختلفة وفى تكوينات جيولوجية مستقرة.

ب- تغيير التركيب الذرى من خلال قذف النفايات بجسيمات فى معجلات أو مفاعلات انشطارية أو اندماجية.

ج- الدفن تحت الجليد فى أعماق بعيدة تحت المحيط المتجمد.

د- الطرح فى الفضاء الخارجى.

هـ- الدفن تحت قاع المحيطات.

ومن الجدير ذكره أن الدفن فى تكوينات جيولوجية مستقرة لا يزال هو الطريقة التى تحظى باهتمام الكثيرين فى الوقت الحاضر، ويجب عند تبنى هذه الطريقة الأخذ فى الحسبان عوامل عديدة مثل نوع الصخور ونشاط الزلازل فى المنطقة والتكوينات المائية الموجودة فى المنطقة أو القريب منها، بالإضافة إلى العوامل النفسية وتقبل الراى العام لوجود مثل هذه المدافن.

وللتدليل على مدى تأثير العوامل النفسية وتأثير الرأى العام فى مثل هذا المجال يجدر بالذكر هنا أنه لا يوجد فى الولايات المتحدة الأمريكية فى الوقت الحاضر أى مدافن دائمة للنفايات، حيث لا تزال تحفظ بصورة مؤقتة فى 60 موقعا تمثل مواقع محطات للقوى النووية، ويتوقع أن يصل هذا الرقم إلى أكثر من 40 ألف طن فى عام 2010م.

**2- النفايات ذات المستوى الإشعاعى المتوسط والمنخفض**

ويمكن التخلص من أثرها الإشعاعى حسب حالتها سواء أكانت سائلة أم صلبة حسب ما يلى:

**أ- النفايات المشعة السائلة**

تحدد عادة الجهة المختصة بالحماية من الإشعاع فى كل دولة مستوى النشاط الإشعاعى الذى يجب أن تصل إليه النفايات المشعة السائلة قبل السماح بإلقائها فى شبكة الصرف الصحى العامة. وتمر عملية إدارة النفايات المشعة السائلة خلال الخطوات والمراحل التالية:

(1) **التجميع:** ويعمل به فى حالة كون النفايات المشعة السائلة ذات مستوى إشعاعى منخفض ولكن أعلى من المسموح به من الجهة المختصة لإلقائه فى شبكة الصرف الصحى العامة، فإنه يتم تجميعها فى أوعية من

البلاستيك ذات أحجام مختلفة، أو أوعية زجاجية فى حالة وجود مواد عضوية عالقة، ويتم بعد ذلك القياس الدورى لمستوى الإشعاع، وعند وصوله إلى المستوى المسموح به فإنه يتم تصريف النفايات من خلال شبكة الصرف الصحى. وعندما يكون حجم النفايات كبيرا جدا يتم حفظها فى خزانات متصلة بعضها ببعض، وعندما يمتلئ أحد الخزانات يتم تحويل النفايات إلى خزان أخر، وتتم مراقبة المستوى الإشعاعى فى الخزانات السابقة.

(2) **المعالجة:** فى حالة احتواء النفايات السائلة عن نويدات ذات عمر نصفى طويل فإن ذلك يستدعى معالجتها قبل التخلص منها والمعالجة الكيميائية هى الأكثر شيوعا، وتستخدم فيها طرق مشابهة لتلك التى تستخدم فى معالجة المياه، مثل الترسيب والتبخير والتبادل الايونى. وتتميز هذه الطرق بكلفتها القليلة وإمكان معالجة عدد كبير من النويدات المشعة.

**ب- النفايات المشعة الصلبة**

فيما يتعلق بالنفايات المشعة الصلبة فإنها تمر خلال المراحل التالية:

(1) **التجميع والفصل:** حيث يتم تحديد مركز للتجميع تجلب إليه النفايات الصلبة ومن ثم يتم فرزها وتصنيفها من حيث قابليتها للاحتراق من عدمه، ومن حيث قابليتها لانكماش الحجم، وذلك لتسهيل المعالجة والتخلص، كما يتم فرز تلك التى لا تزال نشطة إشعاعيا من غيرها.

(2) **المعالجة:** وتشمل ما يلى:

- **الحفظ المؤقت:** وذلك فى حالة النفايات التى تشمل نويدات ذات عمر نصفى قصير والتى يمكن حفظها حتى وصول نشاطها الإشعاعى إلى الحد المسموح به من قبل الجهة المختصة لاعتبارها مادة غير نشطة.
- **الحرق:** ويؤدى إلى تخفيض شديد فى حجم هذه المواد، وبالتالى إلى سهولة الحفظ إلا أن ذلك لا يخفض من المحتوى الإشعاعى الكلى.
- **الدفن:** ويعد أكثر الطرق شيوعا بالنسبة للمواد الصلبة التى يصعب اعتبارها أو تحويلها إلى نفايات عادية، ويتم الدفن فى مدافن مفتوحة، أو فى مدافن مغلقة قريبة من السطح.

**غاز الرادون .. وتأثيراته البينية**

يحظى غاز الرادون بأهمية متزايدة فى الأوساط العلمية لما يعتقد من تأثيره على الصحة إذ أنه مصدر من مصادر الإشعاع التى يمكن أن تدخل الجسم البشرى عن طريق التنفس. وقد اهتمت به الهيئات المعنية بالبيئة اهتماما واضحا،

وصنعت أجهزة لقياسه. ووضعت الحكومات المختلفة حدودا لتركيزه فى الهواء وأوصت بعدم بناء منازل فى المناطق التى يزداد تركيزه فيها.

يصنف الرادون على أنه من الغازات الخاملة (مثل الهيليوم والنيون والارجون) والتى لا تتفاعل كيميائيا، وهو مع ذلك أكثر حركة من كثير من الغازات المعروفة، فهو يخرج من عمق عدة أمتار من الأرض خلال الشقوق الأرضية وينتشر فى هواء المنازل حيث يدخل هو أو سلالته إلى الرئة.

**الرادون وسرطان الرئة**

بدأ الاهتمام بالرادون فى الثلاثينيات عندما لوحظ زيادة الإصابة بسرطان الرئة لدى عمال المناجم، حيث تزداد نسبة تركيزه فى هواء كهوف المناجم، وفى الخمسينيات قدمت دراسات تثبت أن سبب الزيادة الملحوظة فى السرطان ليس الرادون بالدرجة الأولى بل سلالته، فكون الغاز مشعا لجسيمات يعنى أنه يتحول إلى عنصر آخر عند إطلاق هذه الجسيمات. والجسيمات المنطلقة من الرادون هى جسيمات ألفا الثقيلة الوزن نوعا ما.

والعنصر الذى يتحول إليه الرادون هو بدوره عنصر مشع سيطلق جسيمات أخرى ليتحول إلى عنصر آخر، وهكذا إلى أن نصل فى نهاية المطاف إلى عنصر الرصاص غير المشع، وهذا هو المقصود بالسلالة. وسلالة الرادون من النظائر المشعة ليست خاملة كالرادون، بل تلتصق بدقائق الغبار الصغيرة العالقة فى الهواء الجوى وعند تنفس هذه الدقائق فإنها تدخل إلى الجهاز التنفسى، وقد يتم ايقاف وتصفية الدقائق الأكبر حجما فى الأنف أو الجزء العلوى من الجهاز التنفسى إلا أن الدقائق الصغيرة تصل إلى الشعب الهوائية الدقيقة وتلتصق بالغشاء المخاطى وتبقى لفترة معينة قبل أن يطردها الجسم، كما تصل بعض الدقائق إلى الحويصلات الهوائية فى نهاية الشعب الدقيقة لتبقى فترة طويلة فيها أو تنقل للدم، وتقذف الدقائق المترسبة فى الشعب الهوائية الدقيقة وفى الحويصلات جسيمات ألفا – الثقيلة نوعا ما – التى تبدد طاقتها فى منطقة موضعية صغيرة مسببة تأينا كثيفا فى ذلك الموضع مما يؤدى إلى تلف الخلايا الحية فى هذا الموضع أو إحداث تغيرات فى صفاتها لسلالة الرادون بحوالى 500 ضعف جرعة الرادون ذاته فى بعض الحالات.

**مصادر وصفات الرادون**

هناك نظائر مشعة كثيرة موجودة فى البيئة بصفة طبيعية تطلق الإشعاعات بصورة مستمرة. فهناك ثلاث سلاسل أساس تبدأ كل منها بنظير معين يتحلل إلى نظائر أخرى مشعة منها الرادون وتنتهى بنظير غير مشع أى مستقر. تبدأ

السلسلة الأولى بنظير اليورانيوم 238، والثانية بالثوريوم 232، والثالثة باليورانيوم 235.

وتوجد عناصر السلاسل الإشعاعية الطبيعية التى تنتج الرادون بصورة رئيسية فى التربة، لذلك تعد التربة المصدر الرئيسى لغاز الرادون ويزداد الرادون فى المناطق الصخرية خاصة فى الصخور البركانية والجرانيتية بسبب وجود كميات كبيرة نسبيا من اليورانيوم والثوريوم فيهما مقارنة بالتربة الرسوبية. لذلك يزداد تركيزه بصورة عالية فى المناجم عموما وإن لم تكن مناجم اليورانيوم. فقد وجد مثلا أن تركيزه فى مدينة واشنطن 12 ضعف تركيزه فى ألاسكا. وهناك تفاوت يومى كبير فى التركيز قد يصل إلى 100 ضعف فى وقت معين عنه فى وقت آخر، وللضغط الجوى ودرجة الحرارة أثر كبير على تركيزه، فإذا قل الضغط الجوى عموما أدى ذلك إلى زيادة إطلاق الغاز من التربة، ويفوق تركيز الرادون تحت سطح التربة تركيزه فى هواء الغرفة بمئات المرات، لذلك فإنه فى حالة انخفاض الضغط داخل الغرفة يسبب سحب الهواء إلى الخارج مثلا بآلات لسحب الهواء أو ارتفاع درجة حرارة الغرفة أعلى من الخارج، فإن الرادون يسحب من التربة بمعدل أسرع.

وينخفض تركيز الرادون بازدياد الرطوبة فى الجو أو بالمطر، وقد لوحظ أن أعلى تركيز له يكون فى الساعات الأولى من النهار وأقل تركيز فى الساعات المتأخرة بعد الظهر. كما يعتمد تركيزه على نفاذية التربة فالتربة عالية النفاذية تسمح له بالخروج من الطبقات السفلى للأعلى. وللتهوية أثر شديد الفاعلية فى تركيزه بل تكاد تكون العامل الاساسى فى تخفيف تأثيره.

وتؤثر مواد البناء المستخدمة وخاصة الاسمنت والخرسانة على تركيز غاز الرادون داخل المنازل إذ تحتوى هذه المواد على نسب متفاوتة من اليورانيوم 238 والثوريوم 232 وبالتالى تمثل مصدرا مستمرا للرادون. كما يوجد اليورانيوم والثوريوم فى مادة الجبس الفسفورى المستخرج من بقايا مصانع الفوسفات. لذلك يمكن أن يكون تركيز الرادون فى المنازل الشعبية المبنية من الآجر والطين أقل مما فى الأبنية الحديثة.

**الرادون فى الماء**

تعد بعض مصادر المياه الجوفية العذبة المستخدمة للشرب والنظافة مصدرا مهما للرادون، حيث أن الرادون يذوب فى الماء وعند مرور الماء على الصخور فإنه يسحب منه غاز الرادون. فإذا كانت الفترة الزمنية منذ ضخ المياه من تحت الأرض وحتى إيصالها إلى المنازل قليلة يكون تركيز الرادون فيها عاليا وخاصة الرادون 222 ذو نصف العمر 3.8 يوما. أما الرادون 220 والرادون 219 فيكون

مستواهما قليلا أو معدوما نظرا لصغر العمر النصفى لهما، وقد ينخفض تركيز الرادون إذا خزن الماء فترة معينة تكفى لتفكيك الرادون 222. ومن ناحية أخرى قد توجد كميات صغيرة من الراديوم 226 فى المياه الجوفية والذى ينحدر منه الرادون 222. وقد وجد أن تركيز الرادون فى الماء يتفاوت من مكان إلى آخر تفاوتا يزيد على عشرات المرات، كما أنه يزداد فى المياه العميقة عنه فى المياه القريبة من السطح. وقد وجد كذلك أن تركيز الرادون فى الماء يرتفع فى حمامات المنازل عدة مرات عنه فى بقية الغرف إن لم تكن هناك تهوية جيدة، ويعتقد أيضا أن لحركة المياه الجوفية دورا واضحا فى زيادة نسبة الرادون داخل المناجم، إذ تصحب المياه السارية معها هذا الغاز من مناطق بعيدة إلى جو المنجم. وفى إحدى الدراسات وجد أن 85% من الرادون ناتج من التربة و 11% من الهواء خارج المنزل و3% من مواد البناء وأقل من 1% من الماء. إلا أنه من المؤكد أن لا تنطبق هذه الأرقام على جميع المنازل لتغير طبيعة الأرض ومواد البناء ومصادر الماء من مكان إلى أخر. ومما يجدر ذكره أن وجود الرادون فى الماء لن ينتج عنه جرعة إشعاعية محسوسة للجهاز الهضمى، بل يكون تأثيره فى زيادة تركز الرادون فى الهواء وبالتالى تأثيره على الجهاز التنفسى. ويمكن أن يكون الغاز الطبيعى المستخدم فى المنازل مصدرا من مصادر الرادون أو سلالته لكونه يؤخذ من تجاويف أرضية عميقة يتسرب إليها الرادون من الصخور المجاورة. وقد وجدت أعضاء من سلالة الرادون مترسبة على مواسير وخزانات محطات معالجة الغاز حيث قد يصحبها الغاز معه عند مروره فيها.

**مستوى الإشعاع والحماية الإشعاعية**

من الصعب حساب أو قايس الجرعات الإشعاعية الناتجة عن الرادون وسلالته، وهناك نماذج حسابية مختلفة إضافة إلى نماذج علمية تجريبية لتقويم تلك الجرعات، وترجع الصعوبة فى تقويم جرعات الرادون لعوامل ومتغيرات كثيرة مثل التوزيع الكتلى والحجمى لدقائق الغبار، ومعامل التصاق تلك الدقائق وأحجام الدقائق التى تدخل إلى الشعب الهوائية وحجم المنطقة التى تؤثر فيها الإشعاعات وهكذا.

حفزت الجرعات العالية من الرادون الدوائر العالمية المختص لتقديم توصيات حول تركيزات الرادون ومستوياته، إلا أن هذه التركيزات أثارت الكثير من الجدل.

وقبل الإشارة إلى المستويات المقبولة وغير المقبولة من الرادون ينبغى توضيح بعض أمور الحماية الإشعاعية، وخاصة ما يتعلق منها بالإشعاعات

الطبيعية، فالإشعاعات الطبيعية موجودة منذ وجد الإنسان والرادون جزء منها. ولقد ثبت بما لا يدع مجالا للشك أن نسبة الإصابة بالسرطان تزداد بازدياد عدد المتعرضين لها. فلو فرضنا أن هناك مدينة معينة تعدادها 10 ملايين نسمة تعرضت لمستوى معين من الإشعاعات (كالرادون مثلا) وأن هناك 10 حالات سرطانية تظهر سنويا نتيجة لذلك، فإن عدد حالات سرطانية تظهر سنويا نتيجة لذلك، فإن عدد حالات السرطان تقل إلى النصف أى خمس حالات لو قل مستوى الإشعاعات أو قل عدد المتعرضين للنصف. إن وجود الإشعاعات لا يعنى بالضرورة الإصابة بالسرطان بل إن نسبة معينة فقط هى التى تصاب به، وتزداد هذه النسبة بازدياد مستوى الإشعاعات أو بزيادة عدد المتعرضين، لذلك فإن مبدأ الحماية الإشعاعية حاليا ينص على خفض الجرعات الإشعاعية إلى أقل مستوى يمكن انجازه عمليا.

والحدود التى أوصت بها المنظمات الدولية المختلفة للعاملين فى مجال الإشعاعات والذين تقتضى مهنتهم التعرض لها هى الحدود التى تتساوى فيها مخاطر المهنة مع مخاطر المهن الأخرى. أما لعموم الجمهور من غير العاملين فى مجال الإشعاعات فتقلل الحدود إلى مستويات تقل بأكثر من عشرين مرة.

والسؤال الذى لا يختلف فى جوابه بعض المختصين هو هل نسبة الإصابة بسرطان الرئة تتناسب مع تركيز الرادون فى الجو حتى عند التركيز المنخفض؟ وهل العلاقة بين عدد الإصابات والتركيز لأى مجموعة معينة من الأشخاص هى خط مستقيم على ورقة الخطوط البيانية؟ أى إذا تضاعف التركيز تضاعفت الإصابة؟

إن الدراسات الخاصة بتركيز الرادون فى هواء المناجم وإصابات سرطان الرئة لدى عمال المناجم تثبت أن العلاقة قريبة من أن تكون طردية. فقد جاء فى دراسات متابعة عمال المناجم لعشرات السنين مثل الدراسة التى تمت فى تشيكوسلوفاكيا وكندا والسويد أنه مهما كان تركيز الرادون قليلا فهناك احتمالات هى بدورها قليلة للإصابة بسرطان الرئة.

وقد أوصت اللجنة الدولية للحماية الإشعاعية (ICRP) وكذلك المجلس الوطنى للحماية من غاز الرادون.

**الحدود الإشعاعية للرادون فى المنازل**

أوصت اللجنة الدولية للحماية الإشعاعية بأن الجرعة الإشعاعية لعموم الجمهور واحد ملى سيفرت فى السنة وهو ما اتخذته معظم دول أوربا وهو ما يعادل 400 بيكرل فى المتر المكعب من الهواء. وقد اتخذت كثير من دول أوربا

مستوى 100 بيكرل للمتر المكعب كمستوى يسمح فيه ببناء المساكن الجديدة، ومع ذلك فهناك حوالي عشرين ألف منزل في إنجلترا يزيد المستوى فيها عن الحد الأقصى. وهناك أرقام مشابهة في الدول الأخرى. أما بعض الدور الأوروبية مثل فنلندا فقد اتخذت 800 بيكرل في المتر المكعب حدا أقصى في المنازل القديمة و 200 بيكرل للمنازل الجديدة، ومع ذلك هناك حوالي 1.4% من المنازل زاد تركيز الرادون فيها عن 800 بيكرل في المتر المكعب. أما الولايات المتحدة فقد اتخذت 150 بيكرل في المتر المكعب (4 بيكوكوري / لتر) كحد أقصى ويعتقد أن 20% من المنازل تزيد على هذه النسبة. وهناك عدد لا بأس به يصل فيه المستوى عشرات أضعاف هذا المستوى بل مئات الأضعاف. ويعتقد حدوث ما بين 5000 و 10000 حالة وفاة في السنة من سرطان الرئة يسبب الرادون في الولايات المتحدة، وهي وحدها تمثل 6 – 12% من جميع حالات الوفاة بالسرطان. ومما يجب ذكره هنا أن هناك حد أخر لمستوى الرادون في الهواء يسمى "مستوى العمل" اتخذ (WL) أصلا لعمال المناجم ويعادل 3700 بيكرل ، متر مكعب (100 بيكوكوري / لتر).

وبالرغم من أن الحد الأعلى في الولايات المتحدة أقل منه في أوربا إلا أنه كان مثار للجدل الواسع إذ يقول المنتقدون أن هذا الحد يعطى نسبة خطورة أعلى بحوالي مائة ضعف من نسبة الخطورة التي وضعتها لجنة التنظيمات النووية الدولية الأمريكية للإشعاع الناتج عن الطاقة النووية. ويعتقد أن نسبة السرطان من الرادون هو 500 ضعف ذلك الناتج عن الطاقة النووية. وفي حين تشدد اللجنة على إنفاق المبالغ لحماية البيئة وإنقاذ الأرواح البشرية من خطر الإشعاعات من الطاقة النووية فإنها أكثر تساهلا مع الرادون. وتبين الدراسات في الولايات المتحدة أن التعرض بصورة مستمرة إلى 4 مستويات عمل في السنة يؤدى إلى موت 130 شخص نتيجة سرطان الرئة لكل ألف شخص، بينما جاءت الدراسات في السويد بأنه تحدث حالة سرطان واحدة من كل 300 شخص نتيجة لزيادة تركيز الرادون بمقدار حوالي 37 بيكرل في المتر المكعب (1 بيكوكوري، لتر).

**قياس الرادون في الهواء**

نظرا لأن الإشعاعات الصادرة من الرادون وأعضاء سلالته هي جسيمات ألفا وبيتا وإشعاعات جاما لذا فإنه من حيث المبدأ يمكن استخدام أى كاشف لهذه الجسيمات للكشف عن الرادون إذا وجد بتركيز مناسب للكاشف. إلا أنه في الحالات التي تشمل فيها القياسات مناطق كثيرة ومتعددة كالمنازل مثلا فيجب أن يكون الكاشف قليل الكلفة وسهل الاستعمال وقابل للنقل بسهولة.