التلوث الاشعاعي

منذ ان ابتدأ عصر استخدام الذرة في مختلف مجالات الحياة ظهرت حالات خطيرة اجبرت العالم على الوقوف عندها منها على سبيل المثال ماحدث في منتصف عام 1945 عندما قامت الولايات المتحدة الامريكية بصنع اول ثلاث قنابل ذرية في التاريخ استخدمت احداها في اول تجربة ذرية واسقطت الاخريتين فوق هيروشيما ونجازاكي في 6 و 9 آب 1945 .

ادى الحادث الى قتل اكثر من مائة الف مواطن ودمرت تماماً اكثر من 75% من مباني البلدتين كما جرح واصيب حوالي نصف مليون مواطن كانت اصابات 20% منهم بالامراض الاشعاعية المختلفة . كما ان حادث تسرب كميات من المواد المشعة من احد المفاعلات في مدينة وندسكيل Windscale في المملكة المتحدة وتشرنوبل في الاتحاد السوفيتي تعتبر من اهم الحوادث التي جذبت الانظار الى خطورة استخدامات المواد المشعة على البيئة والانسان من حيث ادى الحادث الى تلوث الهواء والتربة والنباتات والماء .

ونتيجة لتوالي استخدامات الذرة في المجالات المختلفة للحياة وما نجم عن تلك الاستخدامات من آثار سلبية مست حياة العديد من الناس ثارت فئات كثيرة من الشعوب بالعالم تطالب بوقف التجارب الذرية ومنع استخدام الاسلحة الذرية في الحروب ، ونجحت بعض تلك الشعوب في الضغط على حكوماتها من اجل منعها او تحديد نشاطاتها في مجال اجراء التجارب الذرية . كما ابتدأ الباحثون والعلماء في جميع انحاء العالم يراقبون هذا الخطر ويدرسون آثاره وشكلت منظمات دولية عديدة لدراسة آثار الاشتغال بالمصادر والمواد ذات النشاطات الاشعاعية . كما وضعت هذه اللجان توصيات بالحدود القصوى المسموح بها لتراكيز هذه المواد ذات النشاط الاشعاعي في بيئة الانسان وفي داخل جسمه لان سقوط هذه الاشعة على جسم الانسان تؤدي الى تحطيم الخلايا الحية وتسبب سرطان الدم والجلد والعظام والغدد وتؤثر في الصفات الوراثية وتؤدي الى ضعف الاخصاب او عدمه وموت الاجنة او التشوه الخلقي لهم .

وهنا لابد من القول بأن المواد المشعة الملوثة للانسان والبيئة من حوله قد تأتي من خارج الارض (الاشعة الكونية) او من الذرة او تأتي من المصادر الجديدة التي خلقها الانسان من خلال التطور التكنولوجي.

ويمكن تلخيص مصادر تلوث البيئة بالمواد المشعة بما يلي :

1. مصادر طبيعية وتشمل الاشعة الكونية ، الهيئة الارضية (القشرة الارضية) الهواء القريب من سطح الارض والماء ، جسم الانسان.
2. مصادر صناعية وتشمل التفجيرات الذرية ، المفاعلات الذرية المصادر الصناعية في الطب والصناعة ، الاستخدامات المنزلية.

يقصد بالاشعة الكونية تلك الاشعة الاتية من الفضاء والمحيط بالكرة الارضية والتي عند وصولها الى الهواء المحيط بالارض فانها (الاشعة الكونية).

تتشتت وتتفاعل مع ذرات الهواء مكونة جسيمات أقل طاقة ينفذ بعضها ويصل الى الارض ، اما المواد المشعة الموجودة في البيئة الارضية اي في قشرة الارض فقد اشارت الدراسات الى ان انتشار المواد المشعة في القشرة الارضية يعطي جرعة اشعاعية للجنس البشري تزيد احياناً عن الجرعة الناتجة عن الاشعة الكونية. ومن الجدير بالذكر ان المواد المشعة الموجودة في القشرة الارضية تزداد تراكيزها في انواع معينة من الصخور دون الاخرى فعلى سبيل المثال نذكر بأن الانواع المختلفة بين الصخور النارية تحتوي على تراكيز متباينة للمواد المشعة حيث وجد ان هذه المواد تزداد تراكيزها في الصخور لكرانيتية Granitic Rocks عنها بالصخور البزالتية Basaltic Racks والصخور الرسوبية Sedimentary Rocks اما في الصخور الرسوبية وبالاخص الصخور الرملية والجيرية فقد وجد بأنها تحتوي على تراكيز قليلة من المواد المشعة خاصة اذا ما قورنت بالصخور الرسوبية التي تحتوي على اصداف بحرية او مواد عضوية حيث ان هذه الاخيرة تمتاز بأحتواءها على نسب عالية من المواد المشعة منها على سبيل المثال اليورانيوم ، الثوريوم والبوتاسيوم ، بالاضافة الى تواجد المواد المشعة في الصخور لمكونة لقشرة الارض ، فان هذه المواد تتواجد ايضاً في المناطق القريبة من سطح الارض مثل غازات الكربون والرادون والتورون.

المصادر الصناعية – التفجيرات النووية

تحدث التفجيرات الذرية إما على سطح الارض او داخلها او تحت الماء الا ان التفجيرات الذرية في الجو هي اكثر الانواع تأثيراً في تلوث البيئة ويعتمد المدى الذي يصل اليه تلوث البيئية على نوع هذا التفجير وقوته وكمية المواد الانشطارية الناتجة عنه فعندما يجري تفجير لسلاح نووي في الجو– قريب من سطح الارض – فأن التفجير يلتقط جزيئات من تراب الارض والغبار العالق في الهواء ويصهرها فتندمج مع المواد الانشطارية التي يتفاوت اعمار نصفها بين عدة ثوان وعدة الاف من السنين ، وعندما يتساقط هذا الغبار فأن الجزيئات الكبيرة منه تسقط بالقرب من منطقة التفجير ويسمى ذلك بالتساقط الذري المحلي بينما تستمر الجزيئات الصغيرة وهي الاكثر في الصعود الى الاعلى معتمدة في ذلك على قوة التفجير والارتفاع الذي تم فيه وحركة الهواء وتبقى في الطبقات العليا من الهواء مكونة خزانات هائلة للمواد المشعة ، خاصة تلك العناصر ذات عمر النصف الطويل ويستمر هذا الخزان في البقاء ممثلاً خطورة كبيرة على الجنس البشري لسنوات كثيرة ، حتى بعد توقف هذه التجارب حيث تترسب كميات متفاوتة من المواد المشعة على الارض من وقت الى آخر وتسمى بالتساقط الذري المتأخر.

يمثل الغبار الذري المتساقط من التفجيرات الذرية أهم مصادر تلوث البيئة بالمواد المشعة مقارنة مع مصادر التلوث الاخرى ومن الامثلة على المواد التي تعطي اشعاعاً خارجياً للانسان : – زركونيوم 95 (يعمر نصفه تسعة اسابيع) ينوبيوم 95 (خمسة اسابيع) ، سيزيوم 731 (30 سنة) وهي جميعها تنفث اشعاعات گاما ، اما من اخطر المواد التي تسبب تلوثاً داخلياً للأنسان فهي : –
السترنشيوم 90 (28 سنة) ، سيزيوم 137 (30 سنة) كربون 14 (5760 سنة) واليود 181 (8 أيام) .

ومن الامثلة على عملية التلوث الداخلي بالعناصر المشعة هو عنصر السترنشيوم (Sr) الذي يماثل في صفاته الكيميائية والطبيعية عنصر الكالسيوم الضروري لعظام الانسان وبالتالي فقد وجد بأن Sr^{90} هو من اخطر العناصر المشعة على الانسان حيث يتبع في مساره من اول سقوطه على سطح الارض حتى ترسبه في العظام نفس مسار عنصر الكالسيوم .

اما خطورة انشاء وتشغيل المفاعلات الذرية فتأتي من عدة نواحي اهمها :

1. ان انشاء المفاعلات الذرية يلزم له اختيار انسب المواقع من حيث بعدها عن مناطق التجمع السكانية واماكن الزراعة ومجاري المياه السطحية والجوفية حيث ان كثرة

الحوادث التي تقع بهذه المفاعلات تسبب خطراً على تلوث البيئة القريبة منه وهذا ماحدث فعلاً في مدينة فلنكا اليوغسلافية في عام 1958 عندما انفجر المفاعل (بسبب اخطاء فنية) مما سبب في وفاة واصابة عدد من العاملين فيه كما سبب تلوث للبيئة من حوله .

2. ان العمليات الروتينية والبحثية في المفاعلات مثل تشعيع العناصر الثابتة للحصول على عناصر مشعة وما يتبع ذلك من اذابة لهذه العناصر وتنقيتها وتحضيرها للاستخدام المعملي او الطبي ينتج عنه مخلفات مشعة Residual Waste اذا لم يتم حفظها والتخلص منها في اجراءات وقائية سيتم شرحها تفصيلاً لاحقاً فأنها ممكن ان تتسرب الى البيئة وتحدث اضراراً خطيرة .

3. هناك مصدراً اخيراً للتلوث الاشعاعي ، هذا المصدر ناجم عن استخدام المصادر الاشعاعية للاغراض الطبية كتشخيص وعلاج بعض الحالات المرضية بالاشعة السينية .

واخيراً لابد من التذكير بان للصناعة دوراً هاماً في تلويث البيئة من خلال الاستخدامات المختلفة للمواد الاشعاعية في المجالات الصناعية المتعددة مثل التصوير الاشعاعي ، تعقيم الاطعمة والادوية بواسطة تشعيعها .

تلوث التربة والنبات والحيوانات : -

يتنفس الانسان الهواء المحيط به ويشرب الماء ويأكل الطعام الذي ينمو على سطح الارض وتشترك عناصر بيئية ثلاثة في تقديم هذه الاشياء له وهي الهواء والماء والتربة . تتلوث التربة بالمواد المشعة من نواتج التفجيرات النووية عن طريق التساقط الذري او المخلفات المشعة لاستخدامات الذرة في النواحي المختلفة او ان تكون التربة ملوثة طبيعياً بمواد مشعة مثل البوتاسيوم 40 والتورون والرادون .

تذوب هذه المواد في التربة ويمتصها النبات كأيونات مع غيرها من العناصر اللازمة له عن طريق جذوره او قد يحدث تلوث مباشر للنبات بالمواد المشعة الساقطة على اوراقه وثماره ويمتص النبات جزءاً منها ويبقى جزء عالق به . التلوث الواصل للانسان من هذه النباتات يكون عن طريق التربة بنسبة 20% او اقل في حين ان 80% او اكثر يكون سببه التلوث المباشر للنبات .

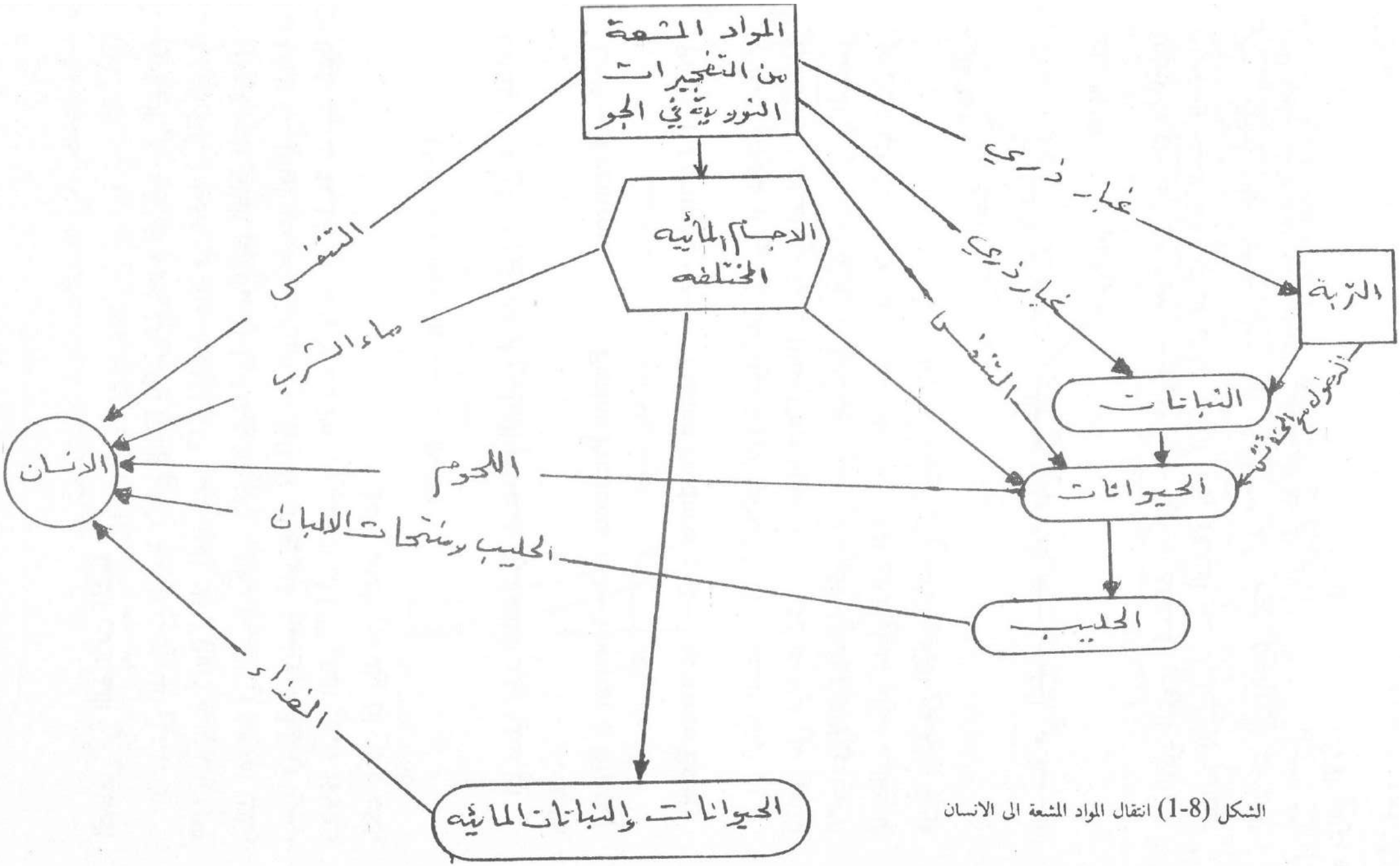
اما تلوث الحيوانات ينتج اما عن طريق التهام الاغنام والابقار وغيرها من الحيوانات والنباتات الملوثة بالمواد المشعة حيث تتجمع داخل الانسجة المختلفة مكونة مخزوناً مؤثراً يصل الى الانسان بصفة مستمرة عن طريق البانها، ويصل التلوث للحيوانات المائية وخاصة الاسماك عن طريق التفجيرات الذرية التي تتم في الماء او عن طريق القاء المخلفات المشعة في مياه المحيطات والبحار.

والان لنطرح السؤال التالي، كيف يمكننا ان نحد من مخاطر التلوث الاشعاعي اذا كان خطر التلوث ناجم عن استخدام الاسلحة النووية (وهنا تكمن الخطورة الحقيقية) بهذا يتطلب عقد مؤتمرات عالمية تحضرها الدول الكبرى من اجل الوصول لأتفاق للحد من استخدام وانتشار الاسلحة النووية ومن خلال تحريم التفجيرات النووية اينما كانت. وهذا لن يحصل اطلاقاً.

يبقى هناك جانب واحد ممكن ان يتدخل الانسان والعلم لتحجيم مخاطر تلوث البيئة الناجم عن استخدام المفاعلات النووية لتوليد الطاقة الكهربائية بالاضافة الى الاستعمالات السلمية الاخرى.

كما ذكرنا سابقاً فان عملية تشغيل المفاعلات النووية ولاي غرض سلمي كان لابد وان تنتج عنه فضلات مشعة Residual Waste من الضرورة القصوى حفظها وردمها في اماكن آمنة للحيلولة دون امكانية تسرب مثل هذه الفضلات المشعة الخطرة الى البيئة عن طريق التربة او الماء مما يؤدي الى تلوثها ومن ثم إنتقالها الى الانسان بطريقة او اخرى، الشكل (8-1).

بشكل عام هناك اسلوبين للتعامل مع الفضلات او المخلفات المشعة فأما ان يتم التخلص من هذه المواد عن طريق تدميرها والتخلص منها نهائياً او عن طريق حفظها في اماكن آمنة ولفترة طويلة من الزمن يمكن بعدها استعادتها والاستفادة منها. وهنا لابد من التميز وبوضوح بين العمليتين فالعملية الثانية التي تتلخص بحفظ الفضلات المشعة تتطلب اتخاذ مجموعة من الضوابط المحكمة لتأمين عزل الفضلات المشعة في مستودعات امينة عن متناول الانسان والتربة والمياه مع النظر بامكانية استعادة تلك الفضلات بعد فترة من الزمن. اما التخلص النهائي من الفضلات المشعة فيتضمن عزل تلك الفضلات المؤذية عن الغلاف الجوي لفترة طويلة من الزمن حتى تفقد الفضلات تأثيرها الضار على البيئة.



الشكل (8-1) انتقال المواد المشعة الى الانسان

التخلص من الفضلات المشعة :

ان تشغيل المفاعلات النووية لانتاج الطاقة الكهربائية تحتاج الى وقود مثل اليورانيوم U^{235} والبلوتونيوم Pu^{239}. كلا المادتين من اكثر المواد استعمالاً في انظمة الطاقة النووية وذلك لتوفرهما في الطبيعة بكميات تكفي لاستخدامها في مولدات الطاقة النووية. U^{235} موجود في الطبيعة وبنسبة تقدر بحوالي 0.07% من اليورانيوم الطبيعي اما النسبة الباقية 99.3% فتمثل النظير U^{238} أما البلوتونيوم Pu^{239} فانه لايتواجد في الطبيعة بنسب مقبولة ولكنه يمكن ان يولد من التفاعل التالي

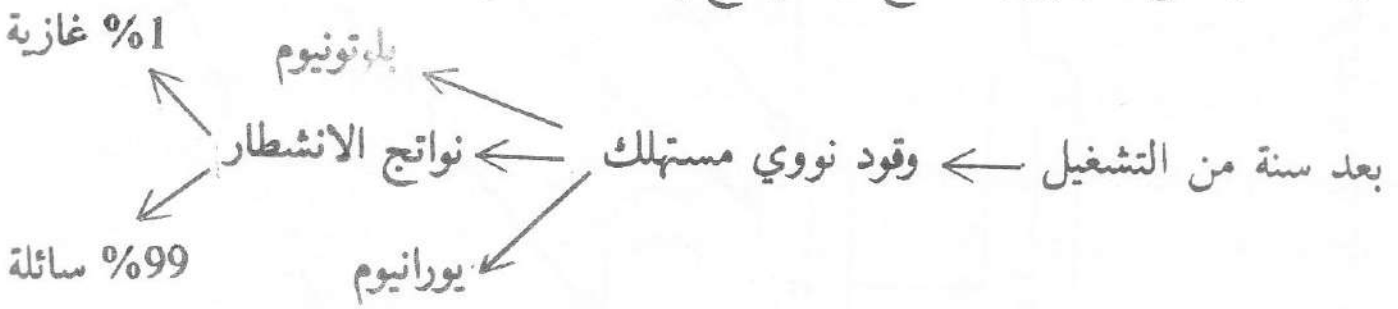
$$U^{238} + I\ neutron \longrightarrow Pu^{239}$$

اما عملية توليد الطاقة سواء باستخدام اليورانيوم او البلوتونيوم فيمكن تمثيلها بالمعادلة التالية

$$U^{235} + I\ neutron \longrightarrow Fission\ Products + 2-3\ netron + Energy$$

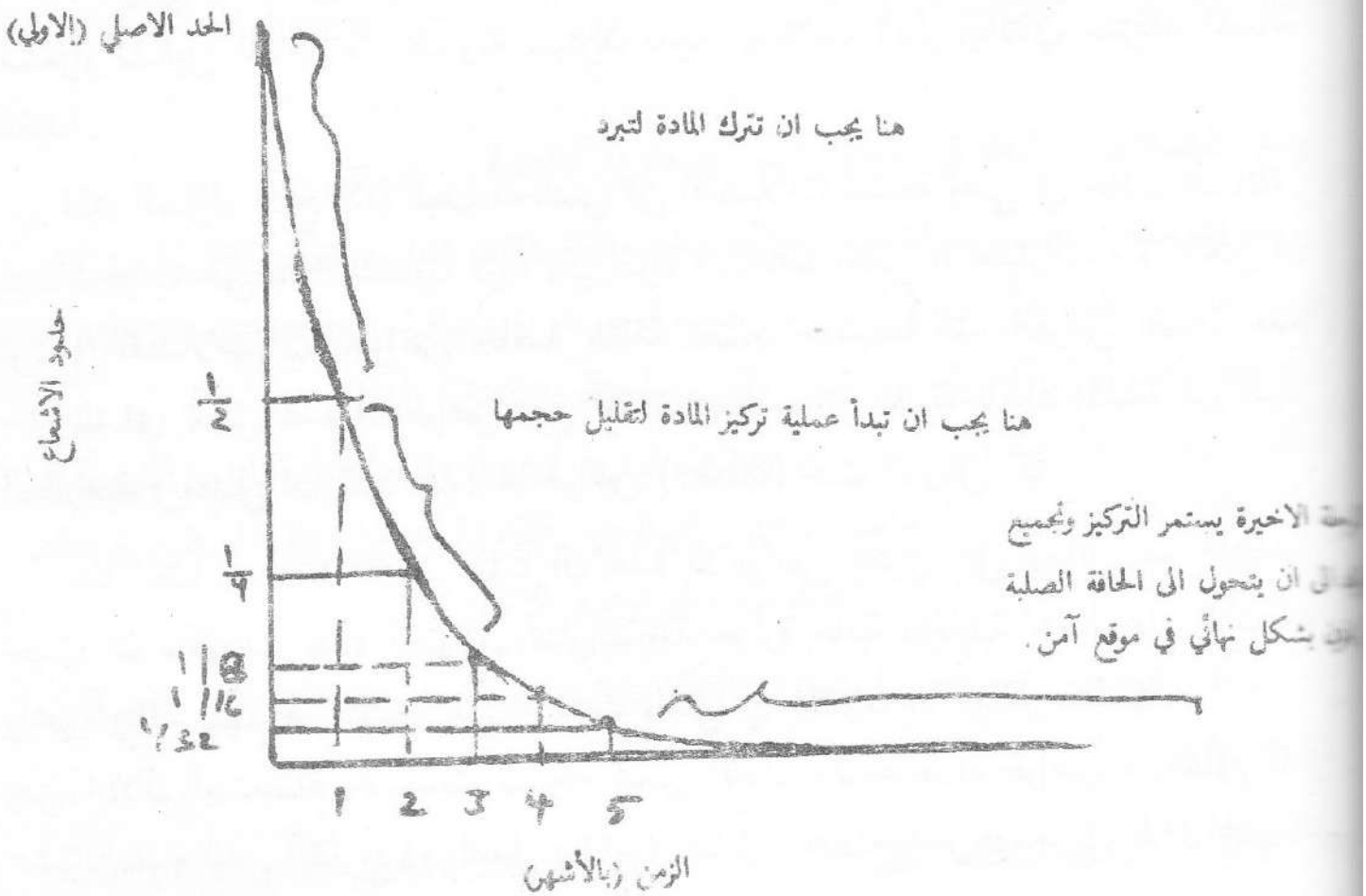
$$Pu^{239} + I\ neutron \longrightarrow Fission\ Products + 2-3\ neutrons\ Enagy$$

ان الوقود المستخدم في المفاعلات النووية سواء كان يورانيوم او بلوتونيوم يوضع في المفاعل على هيئة خرطوشة طويلة Cartridges مغطاة بطبقة من الفولاذ. ان التشغيل الاعتيادي لانظمة الطاقة الكهرونووية يسبب استنفاداً واستهلاكاً للوقود النووي المستعمل مما يتطلب اجراء تبديل لذلك الوقود وهنا تكمن خطورة الفضلات حيث انها تكون على درجة عالية من التركيز والاشعاع كما موضح بالعلاقة التالية :-



الوقود النووي المستهلك «يكون حاوياً على نسب معينة من اليورانيوم والبلوتونيوم الصالح للاستخدام بعد التنقية» ولابد ان يمر خلال قنوات معينة لتنقيته واستخراج اليورانيوم والبلوتونيوم حيث يمرر مرة اخرى في معامل تصفية للوقود ليكون جاهزاً للاستخدام. بعد الفصل تأتي المرحلة المهمة وهي التخلص من الفضلات المشعة المعبر عنها اعلاه بنواتج الانشطار.

ان عملية التخلص من الفضلات المشعة تتطلب مجموعة متسلسلة من العمليات المعقدة الهدف الاساسي فيها هو تركيز الفضلات المشعة قدر المستطاع لحصرها في مكان ضيق وخزنها في اماكن محدودة للتخلص من آثارها الضارة. ان الفضلات المشعة تحتوي على مجموعة من النظائر ذات اعمار انصاف متفاوته وهذه النظائر تستمر في تآكلها او تحللها الى ان تصل الى حالة مستقرة ، ولكي نتخيل الميكانيكية التي يتم بها التحلل نفترض لدينا كمية واحدة فقط من (الفضلات المشعة) مقدار نصف عمرها شخص واحد كما موضح في الشكل (8–2).



الشكل (8-2) يبين تآكل او تحلل النظائر المشعة مع الزمن

خلال الشهرين الاولين تكون المادة مشعة جداً وبمرور الزمن تقل درجة اشعاعها تدريجياً.

هذا الشكل يعطي لنا مفتاحاً عن كيفية التخلص من الفضلات المشعة اذا وضعنا في تصورنا ان الفضلات المشعة تكون على درجة عالية من الاشعاع في الفترات الاولى لكن تقل درجة اشعاعها مع مرور الزمن لذلك يستوجب حفظ الوقود المستهلك في مستودعات قوية وامينة مخصصة لهذا الغرض لعدة اشهر لكي نسمح للمواد المشعة ذات درجة الاشعاع العالية بالتآكل او التحلل خلالها ، بعد ذلك يمكن ان يشحن الوقود المستهلك

جزئياً من الخطوة السابقة (partially decayed fuel) الى منشآت خاصة تسمى منشآت اعادة معاملة الوقود Waste-Processing Plants حيث يتم استخراج اليورانيوم والبلوتونيوم وفصله من المكونات الاخرى.

وكما اوضحنا سابقاً فأن الفضلات المشعة المستخلصة من الوقود النووي المستهلك تكون معظمها في حالة سائلة ، وهذه السوائل بالتأكيد تكون حاوية على مواد مشعة باعمار أنصاف تقدر بعشرات السنين.

هذا يعني ان خطورة هذه المواد ستكون ملازمة لنا لفترات طويلة من الزمان ، ومع استمرار تشغيل المفاعلات النووية سيتولد لدينا فضلات اكثر وبالتالي ستزداد المسألة تعقيداً.

اذن السؤال الملح الآن كيف نتخلص من الفضلات المشعة وهي في حالتها السائلة.

للجواب على هذا التساؤل لابد وان نقول ان هناك بعض الاختيارات منها يمكن ان توضع الفضلات في احواض خاصة مغلقة تصنع خصيصاً لهذا الغرض لضمان عدم حدوث اي تآكل لهذه الاحواض ومن ثم تسرب السوائل الملوثة بالمواد المشعة الى البيئة الخارجية ويفضل ان تخزن هذه الاحواض (tanks) تحت الارض.

هنا ايضاً يجب ان لايخفى علينا ان هذه الاحواض تحتوي على سوائل غير اعتيادية حيث ان مكونات هذه السوائل تمتاز بدرجة حرارة عالية ، وقابلية عالية على الاشعاع واخيراً وهذا المهم لها القدرة على احداث تآكل في جدران الاحواض نفسها.

ومن خلال استخدام حسابات بسيطة يمكن القول بأن هذه الاحواض قد تقاوم لمدة عشرين سنة ليس اكثر ، فما العمل بعدئذ ، هنا يجوز اقتراح آخر هو تحويل المواد المحفوظة في هذه الاحواض الى احواض جديدة وهكذا مع مرور الزمن.

قد يفي هذا الاسلوب في حفظ الفضلات المشعة بالغرض ولكنه بالتأكيد ليس هو الاختيار الأفضل.

الاختيار الثاني هو ان تركز هذه الفضلات وتحول الى الحالة الصلبة وتخزن في اماكن معينة. ففي السابق كانت الفضلات الصلبة تخزن في البحار والمحيطات وكان هذا الاسلوب مألوف جداً ومعمول به الى ان حرمت القوانين الدولية استخدام البحار والمحيطات كمخزن للفضلات الاشعاعية. هنا لابد من الاشارة الى ان المصادر الحديثة وخاصة اصدارات منظمة الصحة العالمية المتعلقة بالتخلص من النفايات المشعة تشير الى انه في بداية الثمانينات اعيدت دراسة امكانية خزن الفضلات المشعة في قيعان المحيطات.

في الوقت الحاضر احدث النظريات التي تتعامل مع افضل الوسائل المستخدمة للتخلص من الفضلات المشعة تميل الى خزنها في تكوينات جيولوجية معينة ، وقد تم اختيار ثلاثة انواع من التكوينات الصخرية الملائمة لهذا الغرض هي التكوينات الملحية Salt formations والصخور المتبلورة Crystalline Rocks المتمثلة بصخور الكرانيت Granites والتكوينات الرسوبية Sedimentary formations والمتمثلة بالصخور الطينية وصخور الطفل Mudstones and shales .

لكل نوع من هذه الانواع بعض الخصائص التي تميزه عن الانواع الاخرى ، لكن يبقى اكثر انواع الصخور ملائمة لهذا الغرض هي التكوينات الصخرية الملحية .

ردم الفضلات المشعة في التكوينات الصخرية الملحية :

ان الترسبات الصخرية الملحية الملائمة لخزن الفضلات المشعة تظهر بالطبيعة بشكلين فهي اما ان تكون على شكل كتل من طبقات صخرية متعاقبة Stratiform masses or bedded salt او ان تكون على شكل قبب ملحية Salt Domes .

معظم البلدان الاوربية التي تمتلك مفاعلات نووية تميل الى ان تحفظ نفاياتها النووية في التكوينات الملحية وخاصة ذات الاعمار الجيولوجية القديمة كدليل على استقرارية هذه التكوينات وعدم تأثرها بالمياه والعمليات الجيولوجية الاخرى .

ويمكن تلخيص خصائص استخدام التكوينات الصخرية الملحية كخزائن للفضلات المشعة بما يلي :

- تمتاز الترسبات الملحية بكونها غير نفاذة (Impermeable) اي انه يمكن القول بأن المواد ستكون معزولة عن خط سير المياه الجوفية بالاضافة الى هذا فأنه اذا حدث وان حصل اي انكسار او خدش في الطبقات الملحية فأن الخصائص الهندسية الممثلة بالـ Plastic Properties للملح تمكنه من الالتحام بسهولة ، هذا يعني بأختصار ان المواد التي تحفظ في الطبقات الملحية من المستبعد ان يحدث اي تفاعل بينها وبين المياه الجوفية ولفترات طويلة من الزمان .
- تعتبر الترسبات الملحية من اكثر الترسبات تواجداً وتوفراً في الطبيعة ، وهذا مما يسهل عملية اختيار الموقع الذي يتم فيه دفن النفايات .
- اشارت الدراسات الحديثة الى ان الترسبات الملحية تتجمع بشكل عام في مناطق

ضعيفة في النشاط الزلزالي مما يقلل من امكانية حدوث اي تكسرات او حدوث فوالق لطبقات الملح .

٤ . من السهولة حفر انفاق داخل طبقات الملح وبكلفة اقتصادية متواضعة .

٥ . طبقات الملح تمتاز بقابلية عالية على التوصيل الحراري .

خزن الفضلات المشعة في التكوينات الصخرية المتبلورة Crystalline Rocks

اكثر انواع الصخور المتبلورة ملائمة لهذا الغرض هو الگرانيت Granites حيث تتكون هذه الصخور من معادن خشنة متساوية الابعاد وذات مسامية قليلة ، ايضاً تمتاز هذه الصخور بخلو تركيبها الكيميائي الداخلي من الماء وان وجد فبكميات قليلة جداً .

ولأن صخور الگرانيت تتكون بالاساس تحت درجات حرارية عالية فأنها بالمقابل درجة تأثرها بالحرارة سيكون قليل ، هذا لاينفي وجود بعض المعادن في صخور الگرانيت Granites التي ممكن تسبب تكسرات او شقوق نتيجة لتمددها الحراري .

وعليه فان عملية اختيار تكوينات من صخور الگرانيت كخزان للفضلات المشعة في موقع بعيد عن وصول المياه الجوفية او وصول الانسان يمكن ان يتحقق بتفادي الكتل الكرانيتية الصلبة الخاوية على كسور وصدوع في داخلها .

خزن الفضلات المشعة في التكوينات الرسوبية :

ان اهم مايميز الصخور الرسوبية هي قابلياتها العالية على امتصاص الايونات الموجبة Cations ودرجة مساميتها الواطئة وهذا بالذات ينطبق على الصخور الطينية وصخور الطفل Mudstones and shales بالاضافة الى صخور الشست والسليت المتحولة Metamar phosed schists and slates.

معظم الدراسات تناولت الانواع المذكورة اعلاه من الصخور الرسوبية وامكانية استخدامها كخزانات للنفايات المشعة خاصة بعد أن اثبتت صخور اوClays قابليتها على الالتئام والالتحام ذاتياً عند حدوث اي كسر او خدش في الصخرة (كما لاحظنا ذلك في الصخور الملحية) . الا انه مايؤخذ على الـ Clays هو حساسيتها العالية للحرارة ولأشعة گاما نتيجة لأحتوائها على الماء في تراكيبها الداخلية .

وتبقى دائماً مجموعة اخرى من الاختيارات المطروحة حول سبل التخلص من النفايات المشعة منها على سبيل المثال ما اقترح مؤخراً في دفن الفضلات المشعة تحت طيات الثلج في القطب الجنوبي حيث توضع النفايات الصلبة على سطح الثلاجة (كتلة هائلة من الجليد) ، ونتيجة للحرارة الخارجة من تلك الفضلات فأن هذه المواد ستحفر لها قناة تخترق بها الطبقات الجليدية المتراكمة الى ان تصل الى القاع (Bed Rock) حيث تستقر هناك .

في البداية لاقى المقترح رواجاً في الاوساط العلمية الا انه في نفس الوقت تعالت صيحات العديد من المعارضين لهذا الاقتراح حيث اعتقد هؤلاء بأن بعد وصول الفضلات المشعة الى القاع (Bed Rock) فأن هذه المواد ستستمر في اشعاعها للحرارة مما يسبب ذوبان الجليد المحيط بها تحولاً الى ماء ملوث ببعض النفايات المشعة واذا حصل وان تسرب هذا الماء من تحت الصفائح الجليدية الى المحيط فانه حتماً سيؤدي الى التلوث ومع استمرار تسرب المياه من تحت الثلاجات الى المحيط دافعاً منسوب المياه بضعة امتار ومؤدياً الى تلوث المحيطات وبالتالي تلوث البيئة تلوثاً خطيراً .

اخيراً لابد من القول بأن مشكلة خزن الفضلات المشعة لاتكمن فقط في اختيار الموقع المناسب او التكوين الجيولوجي الملائم لخزن الفضلات فقط بل يتعداه الى امور صغيرة ولكن ذات اهمية كبيرة اذ انها يمكن ان تؤدي الى كوارث بيئية ، فمثلاً من الهموم الاساسية التي يعاني منها العاملون في قطاع انتاج الطاقة الكهربائية باستخدام المنشآت النووية هو تأمين نقل الوقود المستهلك من المنشآت النووية الى محطات اعادة معاملة الوقود او من محطات اعادة الوقود الى مواقع الدفن حيث تبقى امكانية اصطدام او انقلاب او انفجار واسطة النقل قائمة . لذا لابد ان نقر جميعاً بأن ثمن المدنية قد يكون باهظاً في بعض الاحيان حتى انه قد يكون ثمنها حياة الانسان نفسه .