الباب السابع

التخلص من النفايات النووية

التخلص من النفايات النووية:

تكمن خطورة النفايات النووية في استمرار نشاطها الإشعاعي لمدة طويلة وعدم ضمان مقاومة أماكن التخزين طيلة هذه المدة فتوضع النفايات في حاويات غير قابلة للتأكسد مثل الاسمنت أو الصلب وتخزن تحت الأرض في مواقع مستقرة جيولوجيا وهيدرولوجيا بمواصفات تحد من تسرب الإشعاعات ومن الممكن دفن الطاقة الحرارية الناتجة عن النفايات النووية الخطيرة إلى الأبد ودون احتمال عودتها مرة أخرى داخل قشرة الأرض، هذا ما يقوله الجيولوجيون، لكن خبراء إدارة النفايات يحذرون من أن العلوم المتاحة حالياً ليست كافية للتخلص من كميات كبيرة من النفايات النووية فـin إذا دفنت على عمق خمسة كيلومترات في الصخور الجرانيتية الصلبة قد تولد درجة حرارة تجعل الصخور الجرانيتية تنصهر، وتحيط بالنفايات من كل جانب وعندما تبرد ، تعود الصخور الجرانيتية إلى حالتها الأولى، وهي لا تزال تحيط بالنفايات،كما يقول فيرجوس جيب الباحث بجامعة شيفيلد البريطانية ويضفى جيب أن الجرانيت هو المادة المثالية لاحتوائها النووية، وهو أكثر الصخور مقاومة للتآكل على وجه الأرض ويشك علماء الجيولوجيا في إمكانية عودة الجرانيت إلى حالته الأولى المقاومة للتآكل إذا برد بسرعة بعد انصهاره، ويقولون إن غالبية صخور الجرانيت تكونت بعد

أن بردت على مدى مئات الآلاف من السنين لكن جيب وزميله فيليب اتريل اثبتا في المعمل أن الجرانيت يعود إلى حالته الأصلية خلال أسابيع بعد تعرضه لضغط يعادل ما يتعرض له على عمق خمسة كيلومترات، هذا الأسلوب الحراري في دفن النفايات يمكن من التخلي عن الحاجة إلى وضعها في خزانات على عمق بضع مئات من الأمتار تحت سطح الأرض وتواجه هذه الافتراضات تحديات هندسية كبيرة للتعامل مع الحرارة الكبيرة المنتجة من النفايات لعدة عقود ومئات السنوات من الإشعاع، وقد رفضت الحكومة البريطانية اقتراحات بإنشاء خزانات للنفايات النووية على أعماق بسيطة، وتمت الموافقة على ذلك في جبل يوكا في صحراء نيفادا الأمريكية بموافقة من الرئيس ويقول تشارلز كرتس رئيس اللجنة الاستشارية لإدارة المواد والنفايات المشعة البريطانية أنه لا يمكن أخذ مفهوم جيب على أنه حقيقة ثابتة موثوق فيها،غير أنه لن يكون من الممكن فعل ذلك لأسباب سياسية أيضاً،ويقول إن المخاوف التي تحيط بدفن النفايات النووية تعني أن استمرار الدفن قصير المدى هو البديل الواقعي الوحيد، كما أن تنفيذ مقترحات جيب بشأن دفن النفايات النووية في الجرانيت على أعماق كبيرة مسألة مطلقة للغاية .

الخيار النووي

عقدت القيادة الاستراتيجية الأمريكية مؤتمراً صحفياً حول سبل توسيع

نطاق قدرات أميركا النووية وبحسب ما اوضحته نسخة تم تسريبها من جدول أعمال المؤتمر فإن المشاركين فيه تعين عليهم أن يناقشوا متطلبات أسلحة محدودة الانبعاث النووي، أسلحة خارقة للأرض، أسلحة شديدة الانبعاث النووي وأسلحة وسائط الحاق الهزيمة بالخصم وعلى الرغم من الاحتجاجات التي شددت على النقيض، فإن مؤيدي القنابل النووية قد أصروا على أن المقصود منها هو الردع حصراً، حيث أنها مصممة للحيلولة دون وقوع هيروشيما أخرى، غير أن أياً من هذه القنابل لا تعكس منطقاً ردعياً يمكن استيعابه .

اقتراحات جديدة

الاقتراح الأول متعلق بأسلحة محدودة الانبعاث الحراري إلى قنابل من شأنها أن تنفجر في الهواء بقوة ربما تعد أصغر بمئة مرة من القنبلة التي قصفت بها هيروشيما ويجادل المنظرون القائلون بالردع بأن هذه القنابل ستكون قوتها التفجيرية معادلة لحوالي مئة طن من مادة الـ تي إن تي شديدة الانفجار من شأنها أن تملأ الهوة الحرجة بين أقل أسلحة الترسانة النووية الراهنة قوة والتي تعادل قوتها التفجيرية حوالي ٣٠٠ طن من مادة تي إن تي والقنابل التقليدية الأكثر قوة والتي تعادل قوتها حوالي ١٠ أطنان من مادة تي إن تي غير أنه من غير المحتمل إلى حد

كبير أن عدداً لم تردعه قنابل تقليدية من زنة عشرة أطنان سيعيد التفكير في موقفه عندما يجابه بسلاح نووي شدته مئة طن.

والاقتراح الثاني، متعلق بالأسلحة الخارقة للأرض، معقولاً بصورة أكبر وقد تمحور الكثير من النقاش العام فيما يتعلق بهذه الأسلحة حول الأشكال الصغيرة نسبياً منها، وما إذا كان من الممكن جعلها مجردة من الغبار النووي لم تتحقق هذه الإمكانية وفي حقيقة الأمر أن الدفاع الأقوى عن مثل هذه القنابل يقتضي جعلها قوية بقدر الإمكان ووفقاً لهذا النمط في المجادلة فإن الأسلحة الخارقة للأرض ينبغي أن تصمم لتهدد أهدافاً أكثر غوراً تحت الأرض من الأهداف التي يمكن اصابتها اليوم وهذه هي أفضل طريقة لردع قادة العدو الذين يختبئون تحت الأرض أو يجعلون مواقع تسهيلاتهم النووية على بعد أقل من مئة ميل من مركز حضري .

أما الخيار الثالث فيتعلق بالأسلحة موسعة الإشعاع ومشهور باسم القنابل النيترونية ويدور الجدل حوله كما يجري رفضه منذ ثمانينات القرن الماضي والغرض من مثل هذه الأسلحة هو قتل الأعداء بالاشعاع وفي الوقت نفسه الحفاظ على البنية الكلية العضوية القريبة منهم. خلال الحرب البادرة، ذهب انصار القنبلة النيترونية إلى القول ببعض الصدق أنها ستكون فعالة ضد تجمعات الدروع السوفيتية، التي كانت تعتبر في ذلك الوقت أعظم خطر يتهدد الأمن الغربي ولكن حتى في ذلك

الوقت فإن أعداء هذه القنابل المقترحة ردوا بالقول إن الذخائر التقليدية ذات التصويب الدقيق يمكن أن تؤدي المهمة بشكل أفضل، أما اليوم وقد غدت الاسلحة دقيقة التصويب أكثر نضجاً ولم يعد هناك عدو محتمل تتوافر لديه قدرات مدرعة كبيرة، فلم يعد هناك مبرر مقنع لمثل هذا السلاح الذي يقوم على أساس الردع وربما كان الاقتراح الأخير الذي طرحه المؤتمر وهو أسلحة الوسائط التي تلحق الهزيمة بالخصم، من المنظور العسكري، السلاح الأكثر إثارة للاهتمام وستصمم هذه الأسلحة لاختراق المخزون المتوافر في التسهيلات من الأسلحة البيولوجية والكيماوية وحرقها،الأمر الذي يمنع انتشار الوسائط القاتلة، لكن الدراسات الحديثة ومن بينها دراسة أنجزها مايكل ماي المدير السابق لمختبر ليفرمور الوطني قد وضعت هذه القدرات المزعومة موضع التساؤل وفضلاً عن ذلك فإن الأسلحة التقليدية تعد بنتائج مماثلة إن لم تكن أفضل في مجال تحقيق هذا الهدف، بالإضافة إلى ذلك، فإنه من دون معلومات استخبارية دقيقة من النوع الذي يبدو أن الولايات المتحدة كانت تفتقر إليه في العراق، فإن استهداف مثل هذه القنابل سيكون أمراً مستحيلاً وهي قد تقوم بتدمير مخازن معزولة للأسلحة غير المشروعة لكنها لن تهدد قط بطريقة معقولة شريحة كبيرة من أي مخزون للعدو، وهكذا فإنها ستكون غير فعالة كرادع للعدو ويواصل أنصار هذه الأسلحة الجديدة التشديد على أنها ستكون للردع فحسب، لكن كل الأدلة الفنية

تشير إلى أنها لن تضيف شيئاً يذكر إلى القرارات القائمة بالفعل في الترسانة الأمريكية .

ويفترض أن المشرعين الأمريكيين يتصرفون عن نية صادقة في دعم هذه التطويرات، لكن عليهم أن يعيدوا النظر في مواقفهم قبل أن يجعلوا بلادهم تلتزم ببرامج أسلحة مكلفة لن تفيد كثيراً في الدفاع عنها، وستثير إلى حد كبير نفور أصدقائهم على امتداد العالم .

اقتراحات أوروبية بشأن التخلص من النفايات النووية

تقدمت المفوضية الأوروبية بمقترحات من أجل وضع قواعد جديدة تحدد معايير التخلص من النفايات النووية والمخلفات المشعة الصادرة عن محطات توليد الطاقة النووية في دول الإتحاد الأوروبي وفي هذا الصدد، رأى المفوض الأوروبي المكلف بشؤون الطاقة جينترأوتينجر، أن المفوضية تساهم بفضل هذه المقترحات، في رفع معايير سلامة المنشآت النووية وقواعد التخلص من النفايات الناتجة عنها، وقال نعمل لوضع إطار قانوني أوروبي شامل لهذه المعايير حسب تعبيره وأشار إلى أن إقتراحات المفوضية الجديدة تشكل رداً على قلق المواطنين الأوروبيين بشأن سلامة المنشآت النووية وكيفية التخلص من النفايات النووية في الإتحاد، بصرف النظر عن موقفهم من إستخدام الطاقة النووية في المجالات الطبية أو غير ذلك ويسعى الجهاز التنفيذي

الأوروبي إلى التوصل إلى إطار قانوني ملزم يحدد معايير إدارة الوقود النووي والمخلفات المشعة بالتعاون مع الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

وتوصي مقترحات المفوضية، التي لا زالت بحاجة إلى نقاش في البرلمان والمجلس الأوروبيين، الدول الأعضاء بالعمل على دمج المعايير الجديدة في نظمها الوطنية خلال أربعة أعوام ويذكر أن القوانين الأوروبية المنفذة تمنع تصدير المخلفات النووية إلى خارج حدود الإتحاد بغية التخلص منها.

طرق مبتكرة للتخلص من النفايات النووية

خلف السباق المحموم بين الدول لإنتاج الطاقة النووية والاستفادة من منافعها السلمية، وراءه مخلفات إشعاعية، وجب التخلص منها بطريقة تحافظ على البيئة وسكانها، الأمر الذي يثير حيرة الخبراء والعلماء على امتداد العالم فبين دفن المخلفات النووية لكيلومترات عديدة تحت سطح الأرض،أو تحت سطح البحر، يدور جدل واسع على امتداد العالم لتحديد أسلم طرق التخلص من تلك النفايات.

وذكرت مجلة نيوساينتست، في تقرير لها حول هذا الموضوع نشرته أخيراً، أن مدينة برونسفيك بألمانيا تقبع على قنبلة بيئية موقوتة، تعرف باسم إيس ٢ وهو منجم ملح مهجور استخدم لدفن مئات الآلاف من البراميل التي تحوي مخلفات مشعة، خلال ستينيات وسبعينيات القرن

العشرين وفي عام ١٩٨٨، بدأت المياه الجوفية تتسرب إلى المنجم، الأمر الذي هدد بكارثة بيئية كبرى ومنذ ذلك الوقت يدور جدل كبير حول أفضل طرق التخلص من محتويات هذا المنجم وتساءل الخبراء عما إذا كان دفن المنجم بما فيه من محتويات وتركه على تلك الحالة للأبد، أو إزالته من مكانه ونقله بعيداً هو الطريق الأمثل للحل؟ وبينما يُعرض قرار إزالة المنجم من مكانه العالمين المفترضين على المشروع للنشاط الإشعاعي لعشرات السنين، فإن بقاء المخلفات النووية في المنجم وتعرضها للمياه الجوفية، يهدد بتعريض حياة السكان القاطنين بالقرب من المنجم إلى الخطر، نتيجة التلوث الذي تحدثه تلك العناصر المشعة.

النفايات النووية تزود رحلات الفضاء بالطاقة

كشفت وكالة الفضاء الأوروبية أن النفايات النووية يمكن أن تستخدم في تزويد المركبات الفضائية بالطاقة مما سيوفر على الدول مبالغ طائلة تنفقها على التخلص من تلك النفايات وذكرت صحيفة فاينانشيال تايمز أن البرنامج التجريبي لوكالة الفضاء الأوروبية، الذي تبلغ تكلفته ١,٦ مليون دولار تقريباً، أثبت أن البطاريات النووية التي تستخدم في رحلات الفضاء يمكن تصنيعها من النظائر المشعة الموجودة في البلوتونيوم المتحلل،والذي توجد كميات منه في مستودعات سيلافيلد بمنطقة كومبريا بشمال إنجلترا.

وقد استخلص المختبر النووي الوطني البريطاني عنصر الأمريسيوم الفلزي المشع ٢٤١ من البلوتونيوم الذي يُنتج من الوقود المُعالَج مرة أخرى وتعتقد وكالة الفضاء الأوروبية أن استخدام النفايات النووية من شأنه أن يحل محل البلوتونيوم ٢٣٨، الذي يتوفر فقط في روسيا والولايات المتحدة، مما يتيح مصدراً مستقلاً للطاقة لرحلات الفضاء المتجهة إلى كوكب المشتري وكواكب أخرى بعيدة والبطاريات النووية - التي تحتوي كل واحدة منها على نحو خمسة كيلوجرامات تقريباً من المادة النووية- ظلت مستخدمة منذ خمسينيات القرن الماضي، كما تستخدمها وكالة علوم الفضاء الأميركية ناسا في مسباري كاسيني وفويجر إلى جانب مسبار كيوريوسيتي الذي هبط في كوكب المريخ والمعروف أن النظائر المشعة كلما تحللت فإنها تظل تطلق حرارة لعدة عقود من الزمن بحيث يمكن استخدامها إما للحفاظ على حرارة الآلات في أجواء الفضاء الباردة أو تحويلها إلى طاقة كهربائية كما أن المركبات الفضائية عندما تطير إلى ما وراء المريخ وبعيداً عن أشعة الشمس فإن الطاقة الشمسية لا تكون متاحة لها وقالت كارلا سنيوريني - رئيسة قسم الهندسة الكهربائية بوكالة الطاقة الأوروبية- إن مستودعات النفايات النووية بسيلافيلد من المواقع القليلة التي يمكن أن يتم فيها تحويل النفايات إلى طاقة كهربائية.

ويمكن استخدام تلك البطاريات أيضا كعوّامات لإرشاد السفن أو آلات معدة للاستخدام تحت الماء لأغراض تتعلق بصناعة النفط والغاز ويرى تيم تينسلي، الذي يدير هذا البرنامج التجريبي، أن تصنيع بطاريات نووية من النظائر المتحللة يوفر فرصاً للتصدير فهناك دول عديدة مثل الصين والهند لها اهتمامات بالفضاء وأشارت الصحيفة إلى أن عمليات التخلص من النفايات النووية تكلف بريطانيا مبالغ تصل إلى نحو ٤,٨ مليون دولار أميركي سنوياً.

وعند التخلص من النفايات النووية فإنّ أكثر الأشياء أهمية هو عدم طرحها ضمن البيئة بصرف النظر عن تسببها بالسرطان والمرض الإشعاعي، فإنّ بقاء المواد المشعة ضمن البيئة لفترة طويلة قد يسبب ضرر للنبات والحيوان يتم معالجة جميع النفايات المشعة أولاً لتصبح غير فعّالة وخاملة ولا تتسرب إلى المناطق المجاورة ويتم القيام بهذه العملية من خلال صهر النفايات مع بعضها ومع الزجاج المكسور، ويتم صبها فى علب معدنية سميكة وتختم ، وهذه العلب تُحول النفايات المنصهرة إلى زجاج وتصبح عوازل للمياه والهواء.

التخلص من النفايات الصلبة المشعة:

أ-لا يجوز التخلص من نفايات مشعة، تتضمن نويدات، بخلاف تلك المنصوص عليها في الترخيص، أو بكميات تتجاوز الكميات المرخصة ، أو بأسلوب مخالف للأسلوب المرخص.

ب-قبل التخلص من أي مصدر مشع محكم الإغلاق، يتم مراجعة الجهة المختصة بالحماية والأمان ، لتحديد إمكانية الاستفادة من المصدر بواسطة مستخدم آخر وعند توفر هذه الإمكانية تنتقل ملكية المصدر، بجميع وثائقه للمستخدم الجديد ، وتقع عليه كافة المسؤوليات المرتبطة بالحماية والأمان لهذا المصدر من لحظة انتقال الملكية إليه.

جـ-يتم التخلص من المصادر محكمة الإغلاق التي لم تعد حاجة لها بعد موافقة الجهة المختصة كالآتي:

(١) جميع المصادر محكمة الإغلاق متوسطة وطوية العمر، التي يزيد نشاطها الإشعاعي عند إنتاجها على ٣٧٠٠ ميجابكرل، يتم إعادتها لمنتجها ويجب على جميع مستخدمي المصادر المشعة محكمة الإغلاق، التي يزيد نشاطها الإشعاعي عن النشاط المذكور، في هذه الفقرة، أن يضمن تعاقده مع المنتج ضرورة إعادة المصدر المشع له، خلال فترة لا تزيد على ١٥ سنة، من تاريخ التوريد وعلى صاحب المصدر إعادته للمنتج قبل الموعد المذكور، كما يجب عليه أن يقدم صورة موافقة

المنتج على استعادة المصدر للجهة المختصة،كأحد مستندات الموافقة على التصريح بحيازة المصدر.

(٢) بالنسبة للمصادر المشعة محكمة الإغلاق، متوسطة وطويلة العمر ، التي يقل نشاطها الإشعاعي عند الإنتاج عن ٣٧٠ ميجابكرل، يجوز التخلص منها بأي من الطرق التالية:

(أ) تسليمها للتخلص من النفايات المشعة للتخلص الآمن منها، مع تحمل صاحب المصدر نفقات التخلص المحددة .

(ب) إعادتها للمنتج خلال فترة زمنية لا تتجاوز خمسة عشر عاماً.

(٣) بالنسبة للمصادر المشعة محكمة الإغلاق، قصيرة العمر، التي يزيد نشاطها الإشعاعي على ٣٧٠ جيجابكرل، يتم إعادتها للمنتج، خلال مدة لا تتجاوز ١٥ عاماً من تاريخ إنتاجها ويجوز التخلص من هذه المصادر بتسليمها للتخلص من النفايات المشعة لتخزينها أو معالجتها كنفايات مشعة، والتخلص منها.

(٤) بالنسبة للمصادر المشعة محكمة الإغلاق، قصيرة العمر، التي يقل نشاطها الإشعاعي عند الإنتاج عن ٣٧٠ جيجابكرل، يتم تسليمها للنفايات المشعة،أو تخزينها بطريقة آمنة ، لحين التخلص منها.

(٥) بالنسبة للمصادر المشعة محكمة الإغلاق، قصيرة العمر، التي يقل نشاطها الإشعاعي عند لحظة الإنتاج عن ٣,٧ ميجابكرل، يتم تسليمها للنفايات المشعة للتخلص منها، أو يتم تخزينها تخزيناً آمناً للفترة الكافية لاضمحلال نشاطها الإشعاعي، إلى مادون حد الاستثناء للنويدة المعنية، ثم التخلص منها بعد ذلك مع النفايات العادية.

هـ-النفايات المشعة الصلبة، منخفضة أو متوسطة المستوى، متوسطة أو طويلة العمر،والقابلة للحرق يتم حرقها في المحارق المخصصة لذلك، أو تسلم لحرقها ويتم تجميع الرماد الملوث المتخلف عن الحرق ومعاملته معاملة النفايات منخفضة أو متوسطة أو عالية المستوى وفقاً لتصنيفه،ويتم التخلص من هذا الرماد بعد إجراء عمليات التصليد له.

و-النفايات المشعة الصلبة، منخفضة أو متوسطة المستوى، قصيرة العمر،والقابلة للحرق يجوز تخزينها تخزيناً آمناً للاضمحلال، ويتم التخلص منها بعد ذلك بالحرق، ويتم تخزين الرماد المشع الناتج عن الحرق لفترة أخرى، ثم التخلص منه بالمعالجة أو بالإطلاق للبيئة مع النفايات الأخرى غير المشعة، إذا كان النشاط الإشعاعي المتبقي فيه يقل عن حد الاستثناء للنويدة المعنية، أما في الحالات الأخرى، فيسلم رماد النفايات المشعة لتصليده والتخلص الآمن منه.

ز-بالنسبة للنفايات المشعة الصلبة، منخفضة أو متوسطة المستوى ، طويلة أو متوسطة العمر والقابلة للكبس ، وغير القابلة للحرق ، يتم كبسها وتخزينها تخزيناً آمناً، أو تخزينها دون كبس بشكل آمن لحين تسليمها لمعالجتها والتخلص المؤقت أو النهائي منها.

ح-بالنسبة للنفايات الصلبة، منخفضة أو متوسطة المستوى ، قصيرة العمر، القابلة للكبس وغير القابلة للحرق، يتم كبسها وتخزينها، لحين انخفاض نشاطها الإشعاعي إلى مادون حد الاستثناء، ثم تصرف إلى البيئة مع النفايات العادية أو تسلم للتخلص منها.

ط-النفايات المشعة الصلبة،عالية المستوى الإشعاعي،منخفضة أو متوسطة أو طويلة العمر، يجب أن تسلم للتخلص الأمن منها، باستخدام طرق التخلص المناسبة لهذه النفايات.

<u>المحيطات مستودع للنفايات</u>

من حسن الطالع أن معظم النفايات النووية هى من ذات المستوى المنخفض والمتبع في معظم المفاعلات النووية في العالم تحويل تلك النفايات إلى كتلة صلبة بخلطها مع الأسمنت، ثم وضعها في أسطوانة من الحديد ووفقًا للتعليمات الدولية، تلقى أسطوانات الحديد المحتوية على عادم نووي في مياه لا يقل عمقها عن أربعة كيلومترات، وعلى بعد

مائة كيلومتر من الشواطئ في أي اتجاه ولا تفي بهذه الشروط إلا المحيطات الكبرى، لذلك فإنها المستودع العالمي للنفايات النووية.

ومنذ عام ١٩٤٩ إلى اليوم ألقي في المحيطات أكثر من ستة آلاف أسطوانة حديد محتوية على عادم نووي وكان الاعتقاد أن تلك الأسطوانات ستملأ الفجوات الموجودة في أعماق المحيطات بيد أن الاستمرار في ذلك العمل قد يؤدي إلى تغيير الطبيعة الجغرافية لقاع المحيطات، وهو أمر لا تعرف عواقبه الآن، وإن كان بالقياس الرياضي يمكن أن يؤدي إلى فيضانات بإزاحة مياه المحيطات والعلماء يذهبون إلى أن تحلل الحديد والأسمنت في مياه المحيطات، وبالتالي تحرر المادة المشعة داخل الأسطوانات، سيستغرق سنوات طويلة وحتى عند تحرر المادة المشعة فإنها ستذوب في مياه المحيط، وبالتالي فإن الإشعاع الصادر عنها سيكون منخفضًا جدًا، وفى حدود مستوى الإشعاع الطبيعي الصادر عن العناصر المشعة في الطبيعة.

إلا أن التحذيرات بدأت ترتفع هذه الأيام، حول تأثير الإشعاع على أحياء الماء وعلى الرغم من أن مستوى الإشعاع في المحيطات يخضع لقياسات دورية، إلا أن العلماء المشتغلين بالأمر مختلفون حول ما إذا كان مستوى الإشعاع قد زاد عن معدله الطبيعي، وما إذا كان لذلك آثار مباشرة على أحياء المحيطات الحيوانية والنباتية.

لكنهم متفقون فيما بينهم على أن الاستمرار في التخلص من العادم النووي بإلقائه في المحيطات، ستكون له آثار خطيرة على الأجيال القادمة، يصعب تقديرها في الوقت الحالي ومما يزيد مخاوف العلماء ويعزز صيحات التحذير أن بعض البلاد تتخلص من عادم ذي مستوى متوسط بإلقائه في المحيطات وهذا النوع من العادم يصدر عنه كما سلف القول مقدار أكبر من الإشعاع الأمر الذي يعني أن الآثار الضارة للإشعاع قد تقع في وقت أقصر من المتوقع،فبعض أحياء المحيط، مثل السمك المعروف باسم إلبوت ، تتغذى على النباتات الموجودة في قاع المحيط ومثل هذه الأحياء ستكون أسرع تأثرًا بالإشعاع من غيرها ونظرًا لأن نفس هاته الأحياء ترتفع بسرعة إلى سطح المياه بعد تناول غذائها من القاع، فإنها قد تقع في شباك الإنسان وبذلك تعجل نقل الإشعاع إليه!

في ألمانيا، يتم التخلص من العادم ذي الإشعاع العالي بخلطه مع الأسمنت، ثم وضعه في أسطوانات من الحديد وفى حفرٍ في الأرض يصل عمقها إلى أربعة كيلومترات، تدفن أسطوانات الحديد ثم تحاط بطبقة من أكسيد المغنسيوم والهدف من ذلك منع تآكل أسطوانات الحديد بسرعة بفعل المياه الجوفية.

وعلى الرغم من أنه يراعى أن تدفن تلك النفايات في مناطق غير مأهولة بالسكان، إلا أنها لا تخلو من خطر ذلك أنه إذا حدث زلزال فيمكن

أن يدفع تلك النفايات إلى سطح الأرض، حيث يصبح تسرب الإشعاع احتمالاً واردًا بقوة وقد يكون الأمر أسوأ من ذلك إذًا انفجر بركان، ففتت تلك الأسطوانات وقذف بها إلى سطح الأرض.

وفى الولايات المتحدة، يتم التخلص من العادم النووي ذي المستوى العالي من الإشعاع، بنفس الطريقة المتبعة في ألمانيا مع فارق بسيط، هو أن الأسطوانات المعدنية تحاط بطبقة من مخلوط من الطمى والجرانيت والبازلت بدلاً من أكسيد المغنسيوم وجدير بالذكر أن حفرة واحدة تكفي لدفن العادم الناتج من المفاعلات النووية كلها في دولة ما في عام واحد.

أما فرنسا فقد ابتكرت طريقة جديدة لتحويل العادم النووي إلى كتلة صلبة غير منفذة للإشعاع وتعرف هذه الطريقة باسم التحويل إلى زجاج والزجاج من أكثر المواد مقاومة لعوامل التعرية، ومن أقل المواد إنفاذًا للإشعاع وقد أنشأت فرنسا مصنعًا لتحويل العادم النووي ذي النشاط الإشعاعي العالي إلى زجاج ويمكن للمصنع أن يتعامل مع ستة وثلاثين ليترًا من العادم النووي السائل في ساعة واحدة، حيث يقوم بدمجها مع الزجاج لتكوين كتلة صلبة تزن عشرين كيلوجرامًا ويمكن دفن كتل الزجاج في قاع المحيط مباشرة، أو بعد وضعها في علب معدنية وبينما تعتبر طريقة التزجيج الفرنسية مأمونة الجانب في صورتها النهائية، إلا

أن نقل العادم النووي من المفاعلات النووية إلى مصنع المعالجة لا يخلو من مخاطر إذ عادة ينقل العادم النووي في شاحنات (لوريات) أو قطارات وهذه تكون عرضة لحوادث كثيرة من بينها الحريق والانفجار عدا احتمال تسرب الإشعاع أثناء حركة الشاحنات والقطارات بين المدن على الرغم من كل احتياطات وتدابير تأمين السلامة.

طريقة أخرى مبتكرة تأتي من السويد، وفيها يضغط العادم النووي تحت قوة ضغط عالية، تناظر تلك المستخدمة لإنتاج الماس الصناعي، لتحويله إلى أسطوانات صلبة من السيراميك، ثم تحاط هذه الأسطوانات بأسطوانات أخرى من الأسمنت، وفى النهاية توضع في علب معدنية أو أسطوانات من الحديد وتقوم السويد حاليًا ببحث إمكانية دفن تلك الأسطوانات في مناطق ثابتة جيولوجيا أي لا تتعرض للزلازل والبراكين بدلاً من التخلص منها في المحيط.

فى بريطانيا، يتم التخلص من العادم النووي عالي الإشعاع في مدافن فولاذية وقد لجأت بريطانيا إلى هذه الطريقة بعد وقوع أكثر من حادثة تسرب للإشعاع أثناء نقل العادم النووي وتتكون المقبرة الفولاذية من حفرة عميقة يتراوح قطرها ما بين أربعة إلى خمسة أمتار وتبنى قاعدة وجدران الحفرة من الخرسانة المسلحة، ثم قاعدة مزدوجة وجدران مزدوجة من الصلب ومثل هذه المقابر النووية تبنى بجوار المفاعلات،

لتفادي أخطار نقل العادم النووي وتبدو الفكرة جيدة ومأمونة، إلا أن المخاطر على المدى البعيد يصعب التنبؤ بها في الوقت الحالي.

وأحدث فكرة في هذا السبيل تذهب إلى التخلص من العادم النووي بنقله إلى الفضاء لكن هذه الفكرة، مثلها مثل باقي الأفكار والطرق المذكورة،لا تحظى بإجماع كل العلماء والمسئولين، ولا تعرف آثارها على أجيال المستقبل ويبدو أن المخاوف من المخاطر المحيطة بالعادم النووي ستبقى تشغل الأذهان زمنًا قبل أن يوجد لها حل مثالي وإلى أن يتحقق ذلك،ستكون تلك المخاوف الثمن الذي يدفعه الإنسان للتقدم العلمي الذي ولد المفاعلات النووية كواحد من مصادر الطاقة.

أهم المصادر والمراجع:

١- إدارة المخلفات الصلبة – هيئة التنمية السياحية .

٢- المنهج التعليمى للدراسات البيئية - محمد عبد الباقى إبراهيم .

٣- تقنية التخلص من النفايات - عبد الله العلي النعيم.

٤-إنهم يقتلون البيئة - ممدوح حامد عطية ٠

٥-إدارة البيئة نحو الإنتاج الأنظف- زكريا طاحون .

٦- قضايا البيئة فى مئة سؤال وجواب- عصام الحناوى .

٧-أسلوب منهجى لإدارة المخلفات الصلبة -محمد عبد الباقى إبراهيم ٠

٨- المدخل الى العلوم البيئيه-د. سامح الغرايبه ويحيى الفرحان ٠

٩- القمامه- د. احمد عبد الوهاب ٠

١٠- تكنولوجيا تدوير النفايات د. احمد عبد الوهاب ٠

١١- صحة البيئه وسلامتها- عصام الصفدي ونعيم الظاهر ٠

١٢- التاثير البيئي للقمامه -اخلاص الدبيات ٠

١٣- قابلية المياه الجوفيه للتلوث زين تادرس ٠

١٤- أساليب ادارة مخلفات الانشاء وفرص تدويرها -علي محمد السواط٠

١٥- علم البيئة وفلسفتها- أيّوب أبو ديّة.

١٦- حوارات حول الرطوبة والعفن أيّوب أبو ديّة.

١٧- تنمية التخلف العربي- أيّوب أبو ديّة.

١٨- قضايا البيئة -عصام الحناوي.

١٩- البيئة ومشكلاتها -رشيد الحمد ومحمّد سعيد صباريني.

٢٠- الفلسفة البيئية- مايكل زيمرمان٠

٢١- الأردن والتحدي البيئي- د. نزار أبو جابر.

obeikandl.com