

تأثير التغير المناخي

على

مستودعات النفايات المشعة



إعداد
د/ لمياء سالم يوسف

يعد تغير المناخ أحد أكثر القضايا المهمة التي يواجهها العالم اليوم. إنها ظاهرة ناجمة عن الأنشطة البشرية مثل إزالة الغابات وحرق الوقود الأحفوري وانبعثات الغازات الدفيئة. إن آثار تغير المناخ واسعة الانتشار وبعيدة المدى، وتؤثر على كل جانب من جوانب حياتنا، و أحد الجوانب أو المجالات التي تأثرت بشكل كبير بتغير المناخ هو إدارة مستودعات النفايات المشعة، حيث يتم توليد

النفايات المشعة من محطات الطاقة النووية والمرافق الطبية والعمليات الصناعية الأخرى. تعتبر مستودعات النفايات المشعة من أخطر أنواع النفايات في العالم، وتشكل خطرًا

على صحة الإنسان والبيئة. ومع تغير المناخ والعوامل الجوية المحيطة، تزداد خطورة هذه المستودعات وتتحول إلى تهديد حقيقي على البيئة والإنسان.

تؤثر العوامل الجوية مثل الرياح والأمطار والعواصف بشكل كبير على مستودعات النفايات المشعة حيث يمكن أن تعرض هذه العوامل المستودعات للتلف والتآكل. وبما أن المواد المشعة تحتوي على مواد كيميائية خطيرة فإن أي تلف في المستودعات يمكن أن يؤدي إلى تسرب هذه المواد إلى البيئة ويعرض الإنسان للخطر.

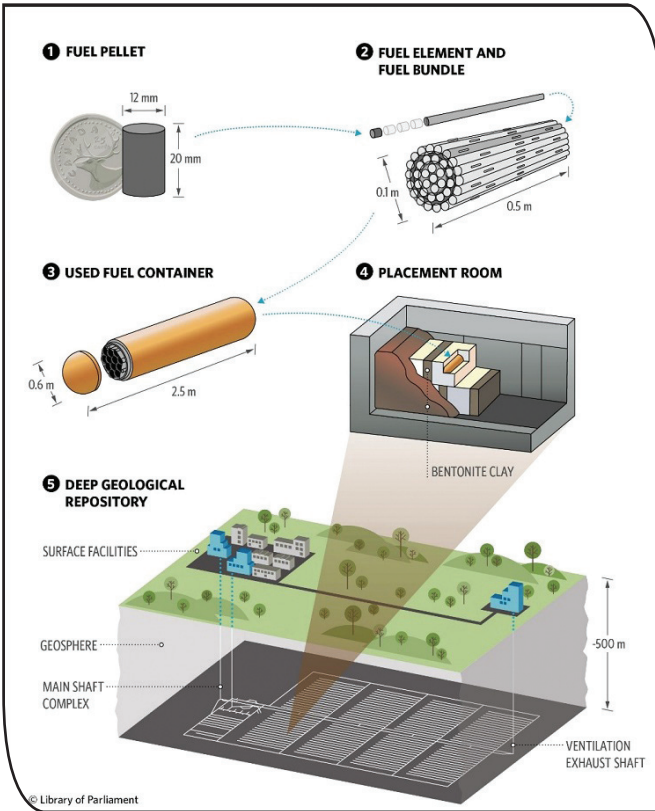
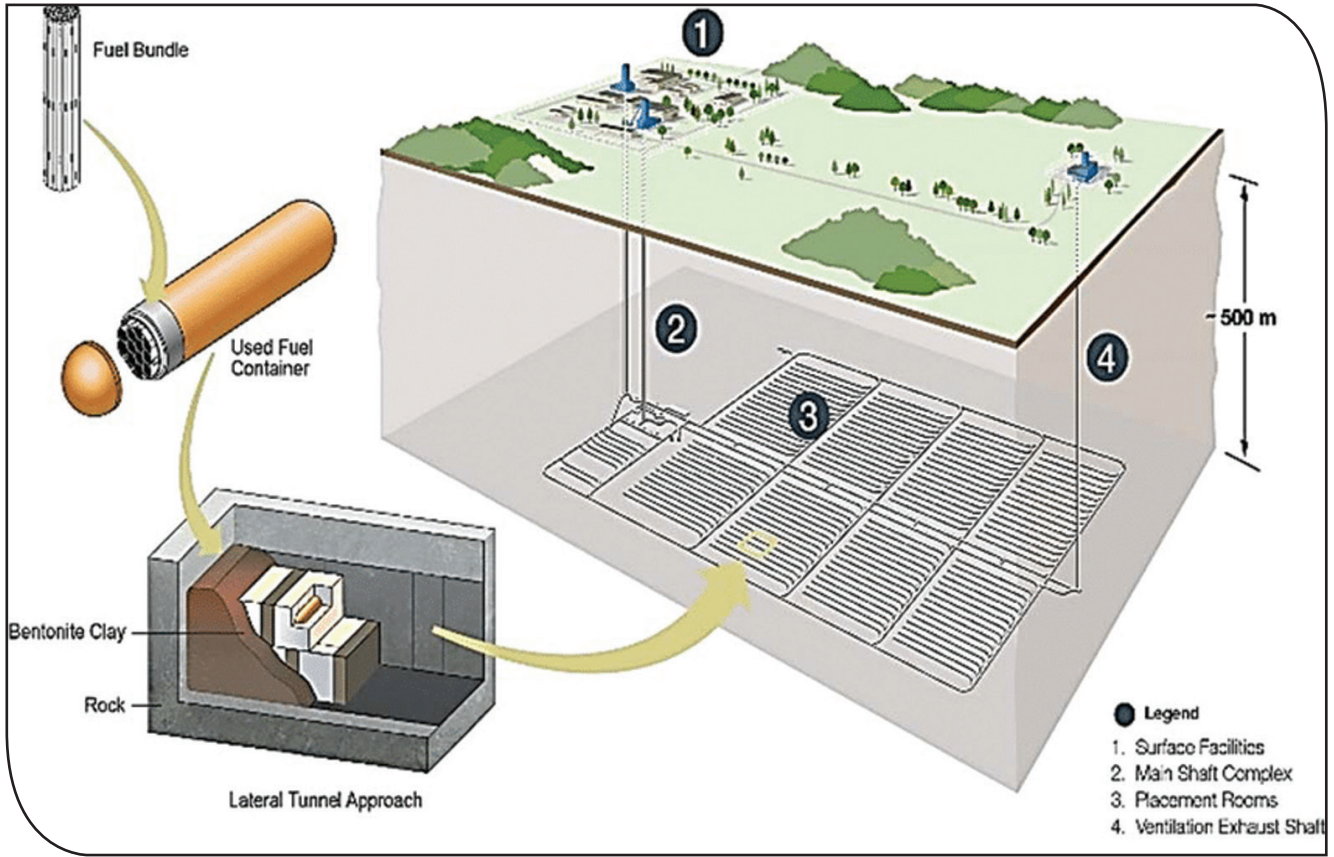
المناخ عند تصميم وبناء المستودعات لضمان التخزين الآمن للنفايات النووية على المدى الطويل.

تأثير ارتفاع درجات الحرارة:

تعد مستودعات النفايات المشعة من أخطر المواقع الصناعية في العالم، فتللك المواد الخطرة المشعة قد تتسرب إلى الأرض والمياه الجوفية وتلوث البيئة وتؤثر على صحة الإنسان والحيوان. ومع ارتفاع درجات الحرارة بسبب التغير المناخي، فإن هذه المخاطر تزداد بشكل كبير.

يؤثر ارتفاع درجات الحرارة على مستودعات النفايات المشعة بطرق عدة، فعلى سبيل المثال يمكن أن يزيد الحر الشديد من

ويمكن أيضا أن يكون لتغير المناخ آثار كبيرة على مستودعات النفايات المشعة المصممة لتخزين النفايات النووية بأمان لآلاف السنين ويمكن أن يتسبب ارتفاع درجات الحرارة في انخفاض مستويات المياه الجوفية، مما قد يؤثر على استقرار وسلامة المستودعات الموجودة تحت الأرض، كما أن الظواهر الجوية المتطرفة مثل الفيضانات والأعاصير قد تؤدي إلى إتلاف المستودعات والتسبب في تسرب المواد المشعة إلى البيئة بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يهدد ارتفاع مستوى سطح البحر المستودعات الساحلية التي قد تغمرها مياه البحر وتصبح عرضة للتآكل ومن الضروري النظر في الآثار المحتملة لتغير



تبخر السوائل الخطرة في المستودعات مما يؤدي إلى تلوث الهواء والمياه الجوفية. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى تفاعلات كيميائية خطيرة ومن الممكن أن تسبب هذه التفاعلات تغيرات في خصائص المواد المستخدمة داخل المستودعات مما قد يؤدي إلى تدهور أو حتى فشل كامل وبالتالي سيزيد من خطر تسرب هذه المواد إلى البيئة.

يمكن أن تؤثر درجات الحرارة المرتفعة أيضًا على مستويات الإشعاع في المستودعات المشعة فمع ارتفاع درجات الحرارة تزداد احتمالية التحلل الإشعاعي مما قد يؤدي إلى مستويات أعلى من الإشعاع داخل المستودع ويمكن أن تشكل هذه الزيادة في مستويات الإشعاع خطرًا كبيرًا على أي شخص يتعامل مع المستودع بما في ذلك العمال والأفراد من الجمهور.

ومن أجل الحد من تأثيرات ارتفاع درجات الحرارة على هذه المستودعات يجب اتخاذ تدابير وقائية مناسبة. ومن أهم هذه التدابير هو تحسين التصميم الهندسي للمستودعات وتحسين الإدارة البيئية وتطوير تقنيات جديدة للحد من تأثيرات الحرارة على المواد الخطرة مثل استخدام أنظمة التبريد السلبية، مثل فتحات التهوية أو قنوات المياه للمساعدة في تنظيم درجة الحرارة داخل المستودع أيضًا من الممكن استخدام مواد مصممة خصيصًا لتحمل درجات الحرارة المرتفعة مثل السيراميك أو المعادن المقاومة للصدأ ونتيجة لهذا فمن الممكن حينها تقليل احتمالية الضرر أو الفشل بسبب درجات الحرارة المرتفعة ومن الممكن تقليل هذه المخاطر إلى الحد الأدنى وضمان التخزين الآمن للنفايات النووية. وبشكل عام فإن الحفاظ على هذه المستودعات آمنة وصحية يتطلب تنسيق جهود متعددة من الأفراد والحكومات والشركات والمنظمات البيئية، ويجب أن تكون الأولوية القصوى لضمان سلامة الإنسان

والبيئة من تأثيرات المواد المشعة.

تأثير الظواهر الجوية القاسية على مستودعات النفايات المشعة

تشمل الظواهر الجوية القاسية التي قد تؤثر على مستودعات النفايات المشعة الأعاصير، الفيضانات، الأمطار الغزيرة والثلوج



هذه المستودعات بالقرب من الشواطئ مما يعني أنها تتعرض لخطر الغمر بالمياه المالحة عندما يرتفع مستوى سطح البحر مما يزيد من خطر تعرض هذه المستودعات للتآكل والتلف ويمكن أن يؤدي إلى تسرب المواد المشعة إلى المحيطات والمياه الجوفية مما يسبب تلوثاً بيئياً وصحياً خطيراً. علاوة على ذلك يمكن أن يؤدي الارتفاع في مستوى سطح البحر إلى زيادة تأثيرات العواصف والفيضانات على هذه المستودعات. ولحماية هذه المستودعات من تأثيرات ارتفاع مستوى سطح البحر يجب على المسؤولين عن إدارتها تطوير أنظمة وتقنيات حماية ورصد متطورة والتأكد من تطبيق المعايير البيئية والصحية اللازمة. كما يجب أيضاً توفير التمويل اللازم لتطوير هذه التقنيات وتعزيز التعاون الدولي لحماية البيئة والإنسان من خطر المواد المشعة.

استراتيجيات التخفيف والتدابير الواجب اتخاذها لحماية مستودعات النفايات المشعة

عندما يتعلق الأمر بالتخزين الآمن والصحي للنفايات المشعة فمن المهم تطوير إستراتيجيات للتعامل مع تغير المناخ وتأثيراته على هذه المستودعات وتشمل هذه الاستراتيجيات مراقبة درجات الحرارة والرطوبة والتعرض للفيضانات والعواصف الشديدة، وتصميم مرافق للتخزين تكون مقاومة لهذه الظروف الجوية القاسية وتوفير موارد كافية للحفاظ على المستودعات وتطوير التقنيات الحديثة للكشف عن أي تلف في الإنشاءات وتطوير أنظمة الإزالة الآمنة والمستدامة لمستودعات النفايات المشعة، حيث يتم التخلص من هذه النفايات بطريقة آمنة ومستدامة وذلك عن طريق تحويلها إلى مواد غير ضارة بالبيئة. بالإضافة إلى ذلك يجب توفير التدريب والتوعية للموظفين العاملين في هذه المستودعات بشأن كيفية التعامل مع الحوادث والمخاطر الناتجة عن تغير المناخ.

يجب تحسين الأنظمة الأمنية والوقائية لمستودعات النفايات المشعة وذلك عن طريق تحسين الشروط الأمنية والتقنيات الوقائية المستخدمة للحفاظ على سلامة المستودعات، وتفاذي التسريبات والمخاطر البيئية. ويجب مراقبة ومتابعة مستودعات النفايات المشعة بشكل دوري وذلك للتأكد من توافرها مع المعايير البيئية الدولية وللتأكد من عدم تسرب المواد المشعة إلى البيئة.

ومن أجل التخفيف من آثار تغير المناخ على هذه المستودعات

والصقيع والعواصف الرعدية والرملية والرياح القوية وقد يؤدي تأثير هذه الظواهر إلى تلف الأسوار الخارجية للمستودعات وتسرب المخلفات النووية والإشعاعية إلى البيئة المحيطة.

و يمكن أن يؤثر تغير المناخ أيضاً على نقل النفايات المشعة، عندما تصبح الظواهر الجوية المتطرفة أكثر تواتراً، قد يصبح نقل النفايات المشعة أكثر خطورة فعلى سبيل المثال يمكن أن تؤدي العاصفة أو الفيضان إلى إتلاف مركبة نقل مما قد يتسبب في تسرب النفايات المشعة ويمكن أن تتسبب الأمطار الغزيرة والفيضانات في تسرب المواد المشعة من المستودعات إلى التربة والمياه الجوفية، مما يؤدي إلى تلوث البيئة وخطر الإصابة بالأمراض أيضاً تعد الرياح القوية من الظواهر الجوية القاسية التي تؤثر على عملية انتقال النفايات المشعة، حيث يمكن أن تسبب تطاير المواد المشعة وانتشارها في المناطق المحيطة بالمستودعات، يمكن أن تؤدي هذه الظاهرة إلى تلوث الهواء والتربة والمياه، وتعرض البيئة والأفراد للأضرار الصحية والبيئية. أما العواصف الرعدية فيمكنها أن تتسبب في اندلاع الحرائق داخل المستودعات ويعتبر هذا التهديد من أشد المخاطر التي قد تواجه البيئة المحيطة. تتعرض مستودعات النفايات المشعة للثلوج والصقيع في المناطق التي تتعرض للطقس البارد، حيث يمكن أن تتسبب هذه الظروف في تلف وتآكل المستودعات. ويمكن أن تتسبب الثلوج والصقيع في زيادة الرطوبة داخل المستودعات، مما يؤدي إلى تسرب المواد المشعة وتلوث البيئة وخطر الإصابة بالأمراض.

ومن أجل الحد من تأثير الظواهر الجوية القاسية على مستودعات النفايات المشعة، يجب اتخاذ إجراءات وقائية من قبل المسؤولين عن تلك المستودعات، مثل تقوية الأسوار الخارجية للمستودعات وتجنب بناءها في مناطق تتعرض للظواهر الجوية القاسية. بالإضافة إلى ذلك يجب مراقبة المستودعات بشكل دوري وتحديث الأجهزة الكهربائية والأنظمة الأمنية والوقائية المستخدمة فيها وتوفير الموارد اللازمة لتطوير تلك الأنظمة وتحديثها. ويجب التأكد من أن مستودعات النفايات المشعة تلبى جميع المعايير البيئية المطلوبة وتتم مراقبتها بشكل دائم وذلك للحفاظ على سلامة البيئة وصحة الأفراد.

تأثير ارتفاع مستوى سطح البحر على مستودعات النفايات المشعة

تواجه مستودعات المخلفات الإشعاعية تحديات هائلة بسبب تأثيرات ارتفاع مستوى سطح البحر حيث تقع العديد من

البحوث الأوروبية ومن المتوقع أن يساهم بشكل كبير في تحسين سلامة التخلص من النفايات الإشعاعية في أوروبا من خلال تحليل وتنبؤ آثار التغيرات المناخية على نظم البيئة الحياتية. وقد أظهرت دراسة منظمة الطاقة الذرية الدولية أن النمذجة المناخية متطورة بما فيه الكفاية لتعريف نطاقات محتملة من السيناريوهات للاستخدام في تقييمات سلامة ما بعد الإغلاق وقد تحقق ذلك من خلال استخدام الباحثون إستراتيجية هرمية تتكون من ثلاثة أنواع من النماذج المناخية لاشتقاق التغيرات المناخية لفترات زمنية محددة، تتضمن أنواع النماذج هذه نموذج متوسط التعقيد لنظام الأرض (EMIC) ونموذج دوران عام (GCM) ونموذج مناخ إقليمي. وعلى وجه الخصوص بالنسبة لمركز EMIC تم تطوير مميزات مبتكرة مثل التأثير الجوي وتطوير الصفيحة الجليدية وتغيرات المحيطات.

أدى تطبيق هذه النماذج الهرمية إلى توليد بيانات عالمية عن التغيرات المناخية والغطاء النباتي فيما يتعلق بأجزاء زمنية مختلفة على نطاقات زمنية طويلة جداً. كما تم تطوير ثلاثة مناهج إحصائية مختلفة من أجل السماح بتقليص كفاءة مخرجات النموذج العالمي إلى نطاقات أكثر ملائمة لمناطق محددة عالمية.

تم دمج جميع الآليات الرئيسية للتغيرات المناخية طويلة الأجل في نموذجين ديناميكين منظمين بشكل مختلف، حيث سمحت المقارنة بين نتائج النموذج للباحثين باكتشاف الإمكانات التنبؤية لنماذج مناخية مختلفة لنفس تغير المناخ في المستقبل. وفي هذا السياق تم الأخذ في الاعتبار الاختلافات التي تحدث في العوامل الجوية مثل الإشعاع الشمسي وتركيزات غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي من أجل التحقق مما إذا كان المناخ طويل الأجل يتبع أنماطاً مختلفة من التغيير. قدم تطبيق النماذج المناخية معلومات قيمة لتحديد متطلبات النموذج لتقييم الأداء الإشعاعي بعد الإغلاق لمستودعات النفايات المشعة حيث سمح ذلك بتطوير منهجية شاملة لوصف نظام المحيط الحيوي على المدى الطويل. حيث أن جميع نتائج BIOCLIM والمعلومات المتعلقة بالمنهجية المطورة تلبى احتياجات مجتمع إدارة النفايات الدولي.

يجب تنفيذ برنامج متعدد المستويات من خلال التنسيق بين الأفراد والحكومات والشركات والمنظمات البيئية والصحية وتعزيز التعاون الدولي حيث يتعين على المجتمع الدولي تبني مبادرات دولية للتعامل مع المخاطر الناتجة عن المواد المشعة. ويجب أن تكون هذه المبادرات شاملة لجميع الدول وتهدف إلى حماية البيئة والإنسان من الآثار السلبية لتخزين المواد المشعة. ويجب أن تكون هذه المبادرات مدعومة بكافة الوسائل والتقنيات المناسبة لتنفيذها بشكل فعال.

تعتبر مستودعات النفايات المشعة قضية دولية ويجب على الدول التعاون فيما بينها للتصدي لهذه القضية وتبادل الخبرات والمعلومات وتطوير الحلول المشتركة لمواجهة تحديات الحفاظ على البيئة والصحة العامة. لذلك قامت العديد من البلدان في جميع أنحاء المجتمع الأوروبي (EC) بتنفيذ مشاريع وطنية للتعامل مع عملية التخزين الآمن للنفايات المشعة التي تنشأ من أنشطة مثل توليد الطاقة النووية والعلاجات الطبية وبرامج البحوث الصناعية حيث لا يمكن التخلص من أي مستويات وسيطة طويلة الأمد (ILW) ونفايات المستوى العالي (HLW) وأيضاً لا يمكن التخلص منها بأمان إلى مرافق قريبة من السطح مع نفايات منخفضة المستوى وقصيرة الأجل لذلك فإن وكالات الجهات المعنية والمسئولة عن عملية تخزين النفايات تدرس إما التخلص أو التخزين القابل للاسترداد في التكوينات الجيولوجية العميقة، والغرض هو عزل النفايات على مدى زمني طويل جداً وذلك لحماية البشر والبيئة السطحية من التعرض الإشعاعي الضار.

لذلك تم إنشاء مبادرة BIOCLIM وهي جزء من برنامج إطار العمل الأوروبي الخامس EURATOM والتي تهدف إلى توفير أساس علمي ومنهجية عملية من خلال إنشاء نماذج لنظم البيئة الحياتية التسلسلية لتقييم الآثار المحتملة لتغير المناخ على المدى الطويل على خصائص المحيط الحيوي في سياق تقييمات الأداء الإشعاعي لمستودعات النفايات المشعة في التكوينات الجيولوجية العميقة تحت سيناريوهات مناخية مختلفة مع مراعاة استجابة نظام البيئة الحياتية لتغير المناخ وتأثيره على حركة النويدات المشعة. ويتضمن المشروع العديد من منظمات

المراجع

1. Climate change and landscape development in post-closure safety assessment of solid radioactive waste disposal: Results of an initiative of the IAEA Journal of Environmental Radioactivity Volume 183, March 2018, Pages 41-53.
2. <http://www.andra.fr/bioclim>
3. <https://cordis.europa.eu/article/id/81770-climate-change-effect-on-radioactive-waste-disposal> |FP5
4. [bioclim-modelling-sequential-biosphere-systems-under-climate-change-for-radioactive-waste-disposal](https://www.unep.org/ar/regions/asia-and-pacific/almbadratalaqlmyt/msadt-albldan-ly-alttsy-ltghyr-almnakh)
5. <https://www.unep.org/ar/regions/asia-and-pacific/almbadratalaqlmyt/msadt-albldan-ly-alttsy-ltghyr-almnakh>
6. climate change, water and sustainable development (ARA)
7. Environmental educational curriculum trainer's guide.