الهيئة العربية للطاقة الذرية

الذرة والتنمية

نشرة علمية إعلامية فصلية
المجلد السابع والثلاثون ـ العدد الثاني -2025

دراسة سلوكيات الكزينون والساماريوم للوقودين عالي HEU ومنخفض LEU التخصيب في مفاعل البحث MTR- 10MW

تآكل الزجاج المستخدم في تثبيت النفايات عالية الإشعاع أثناء التخزين في مستودع الدفن الجيولوجي

التحضير الإشعاعي لنظام توصيل وتعزيز قابلية ذوبان الكركمين المحمل فى نانو جل متناهى الصغر طبقاً لدرجة الحموضة للوسط المحيط للإستخدام فى حفظ الفاكهة

نشرة الذرة والتنمية، نشرة علمية إعلامية فصلية تهتم بزيادة وعي أبناء الوطن العربي بمختلف مجالات العلوم والتقنيات النووية واستخداماتها السلمية

تصدر عن الهيئة العربية للطاقة الذرية

إن الآراء والأفكار والمعلومات التي تنشر بأسماء كتّابها تكون على مسؤوليتهم

يسمح باستعمال ما ورد في هذه النشرة من مواد علمية أو فنية، بشرط الإشارة إلى مصدرها

المقالات والمراسلات توجه إلى رئيس تحرير نشرة الذرة والتنمية على عنوان الهيئة أدناه .

العنوان البريدي : الهيئة العربية للطاقة الذرية، 7، نهج المؤازرة، حي الخضراء 1003، تونس

الهاتف : 71.808.400 - الفاكس : 71.808.450

العنوان الإلكتروني: aaea@aaea.org.tn & aaea_org@yahoo.com

الموقع الإلكتروني: www.aaea.org.tn

الذرة والتنمية

نشرة فصلية ربع سنوية
تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية ـ تونس
المجلد السابع والثلاثون ـ عدد خاص لسنة 2025

لجنة التحرير

رئيس التحرير : أ. د. سالم حامدي

المراجعون :

أ. د. خالد زهرمان

جدول المحتويات

الموضوع	الصفحة
❖ دراسة سلوكيات الكزينون والساماريوم للوقودين عالي HEU ومنخفض LEU التخصيب في مفاعل البحث MTR- 10MW	3
❖ تآكل الزجاج المستخدم في تثبيت النفايات عالية الإشعاع أثناء التخزين في مستودع الدفن الجيولوجي	21
❖ التحضير الإشعاعي لنظام توصيل وتعزيز قابلية ذوبان الكركمين المحمل فى نانو جل متناهى الصغر طبقاً لدرجة الحموضة للوسط المحيط للإستخدام فى حفظ الفاكهة	39
❖ أخبار عربية وعالمية	60
❖ أخبار الهيئة	65
❖ قائمة مطبوعات الهيئة العربية للطاقة الذرية	80

دراسة سلوكيات الكزينون والساماريوم للوقودين عالي HEU ومنخفض LEU التخصيب في مفاعل البحث MTR- 10MW

Abstract

The xenon and samarium behaviors in the 10 MW MTR after conversion to low enriched uranium (LEU) fuel were studied using the MCNP4C and GETERA codes. The precise calculations of the ^{135}Xe and ^{149}Sm atom densities and reactivities were carried out and compared during the MTR operation time and after shut down for the existing HEU and LEU fuels. It was found that the reactivities of the ^{135}Xe and ^{149}Sm reached their equilibrium reactivities at 60 and 600 h respectively during the reactor operation time. The HEU fuel (93%) produced the highest ^{135}Xe reactivity in all the studied fuel group during the reactor operation (35.85 mk) and after the reactor shutdown (108.40 mk). It followed by the MEU fuel (45%) (35.75 mk, 97.62 mk), and the LEU fuel (20%) (35.30 mk, 84.92 mk) respectively. The reactivities of ^{149}Sm could be neglected compared to ^{135}Xe reactivities during the reactor operating time (less than 1 mk) and after shutdown (less than 2.5 mk). Finally, the results showed that the conversion

of MTR fuel from HEU to LEU fuels approximately doesn't affect the xenon and samarium behaviors during the reactor operating time and after shutdown.

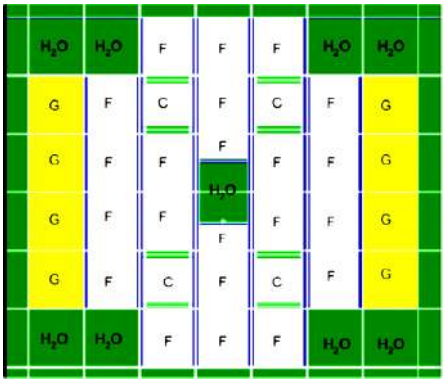
مـقـدمة

تم تزويد المفاعلات الأولى بالوقود المعتمد على اليورانيوم عالي التخصيب، والذي كان يحتوي على اليورانيوم المخصب بنسبة 90% من 235U. ونتيجةً لإمكانية إستخدام اليورانيوم عالي التخصيب في تطوير الأسلحة النووية، فقد تم إيلاء الكثير من الإهتمام نحو تحويل المفاعلات عالية التخصيب لإستخدام وقود اليورانيوم منخفض التخصيب. ونتيجة لذلك كان لا بد من إجراء دراسة سلوكيات الكزينون والساريوم المتشكلة في وقود المفاعل MTR–10MW عالي ومنخفض التخصيب (بنسب 45% و20% لليورانيوم–235) بشكل صريح في هذه الورقة.

يعد المفاعل MTR واحداً من مفاعلات البحوث التي تستخدم اليورانيوم عالي الإغناء كوقود، والماء الخفيف كمهدئ والجرافيت كعاكس. ويملك هذا المفاعل 21 عنصر وقود قياسي (23 صفيحة وقود لكل عنصر وقود، سماكة كل منها 0.127 سم) و4 عناصر وقود تحكمية (17 صفيحة وقود لكل عنصر تحكم، سماكة كل منها 0.127 سم) متوضعة في المصفوفة 5 × 6 كما هو مبين في الشكل 1.

يتوضع عاكس الجرافيت على جهتين متقابلتين بشكل موازي لصفائح الوقود، مع سماكة تعادل عنصر وقود واحد، ويكون القلب مغموراً في الماء الخفيف. وهناك خمس مصائد للتدفق، واحدة في مركز القلب والأخرى موزعة في زوايا القلب الأربعة. وتكون مصيدة التدفق المركزية عبارة عن صندوق من الألمنيوم أبعاده 7.7 سم × 8.1 سم يحوي بداخله فجوة مائية مربعة أبعادها 5.0 سم × 5.0 سم. كما يبلغ الإرتفاع الفعال للقلب 60.0 سم، ويتضمن المقطع العرضي لعنصر

الوقود صفيحة داعمة ذات الأبعاد 7.6 سم × 8.05 سم. وتبلغ أبعاد خليطة الوقود 6.3 سم × 0.051 سم × 60.0 سم.



الشكل (1): نمذجة قلب المفاعل MTR بإستخدام الكود MCNP4C. حيث: F- عنصر الوقود الطازج، G- عاكس الغرافيت، C- عنصر الوقود التحكمي.

تعتبر نواتج الإنشطار مثيرة للقلق في المفاعلات في المقام الأول لأنها تصبح ماصة للنترونات، ومصدر للحرارة طويلة المدى. وعلى الرغم من أن العديد من نواتج الإنشطار لها مقاطع عرضية كبيرة لإمتصاص النترونات، إلا أن النظيرين ^{135}Xe و^{149}Sm لهما التأثير الأكبر على تصميم المفاعل وتشغيله. ونظراً لأن كونهما عنصرين سامين يقومان بإزالة النترونات من المفاعل، فسيكون لهما تأثير على عامل الإستفادة النتروني الحراري وبالتالي على عامل التضاعف الفعال (k_{eff}) والتفاعلية.

لتحديد تأثير ^{135}Xe و ^{149}Sm على مفاعل البحث MTR-10، يتطلب حساب المقطع العرضي للانشطار (Σ_f) والذي يمكن حسابه بإستخدام الكود النتروني GETERA، ومتوسط التدفق النتروني الحراري للوقود والذي يمكن حسابه باستخدام الكود ثلاثي الأبعاد MCNP4C . وقد تم سابقاً تطوير نموذج نتروني ثلاثي الأبعاد لإجراء التحليل النتروني للمفاعل MTR.

طريقة تنفيذ الحسابات

1- معدل الكثافة الذرية للعنصر ^{135}Xe خلال زمن تشغيل المفاعل:

في مخطط تفكك النظائر القياسي، يمكن إنتاج ^{135}Xe بثلاثة مسارات: الأول من نواتج الإنشطار المباشر، والثاني من تفكك بيتا ^{135}I، والأخير من تفكك غاما للعنصر ^{135m}Xe. ويمكن إفتراض أن تفكك ^{135}Te إلى ^{135}I يكون لحظياً، ويمكن تجاهل الحالة الأيزومترية قصيرة العمر لـ ^{135m}Xe بإفتراض أن جميع نوى ^{135}I سوف تتفكك مباشرة إلى ^{135}Xe. مع هذه الإعتبارات يمكن وصف تغير الكثافة الذرية لـ ^{135}I بالمعادلة التالية:

$$\frac{dI}{dt} = \gamma_I \Sigma_f \Phi_T - \lambda_I I \qquad (1)$$

حيث I هو الكثافة الذرية لـ ^{135}I وتقاس بـ ذرة/سم^3 γ_I=0.06386 الناتج الفعال لليود، Φ_T متوسط تدفق النترونات الحرارية في القلب، Σ_f المقطع العرضي للإنشطار الحراري للوقود، و λ_I s^{-1} 10^{-5}x2.87= ثابت تفكك اليود.

أما معادلة تركيز الكزينون تعطى بالعلاقة حيث X هو الكثافة الذرية لـ ^{135}Xe وتقاس بـ ذرة/سم^3 γ_X=0.00228 الناتج الفعال للكزينون، σ_{ax}=2.72x10^6 المقطع العرضي المجهري للإمتصاص الحراري للكزينون ويقدر بالبارن، λ_X s^{-1} 10^{-5}x2.09= ثابت تفكك الكزينون.

$$\frac{dX}{dt} = \lambda_I I + \gamma_X \Sigma_f \Phi_T - \lambda_X X - \sigma_{aX} \Phi_T X \qquad (2)$$

2- الكثافة الذرية للكزينون عند التوازن:

نظراً لأن فترات النصف لـ ^{135}Xe و ^{135}I قصيرة جداً وأن المقطع العرضي لإمتصاص الكزينون كبير جداً، فإن الكثافات الذرية لهذه النظائر ترتفع بسرعة إلى

قيم الإشباع أو التوازن الخاصة بها I_∞ و X_∞ ويمكن حساب هذه الكثافات الذرية عن طريق وضع الإشتقاق الزمني في المعادلات 1 و 2 مساوياً للصفر:

$$I_\infty = \frac{\gamma_I \Sigma_f \Phi_T}{\lambda_I} \qquad (3)$$

$$X_\infty = \frac{(\gamma_I + \gamma_X)\Sigma_f \Phi_T}{\lambda_X + \sigma_{aX}\Phi_T} \qquad (4)$$

3- الكثافة الذرية للكزينون بعد الإغلاق:

إذا كانت الكثافة الذرية لليود عند إيقاف التشغيل هي I0، فإن كثافته الذرية عند الزمن t تعطى بالعلاقة:

$$I(t) = I_0 e^{-\lambda_I t} \qquad (5)$$

وبعد إدراج هذه المعادلة في المعادلة (2) مع ملاحظة أن $\Phi T=0$ بعد إيقاف التشغيل، يمكن حساب الكثافة الذرية للكزينون بعد توقف المفاعل بالعلاقة:

$$X(t) = X_0 e^{-\lambda_X t} + \frac{\lambda_I I_0}{\lambda_I - \lambda_X}\left(e^{-\lambda_X t} - e^{-\lambda_I t}\right) \qquad (6)$$

لحساب متوسط المقطع العرضي للإنشطار الحراري Σf للوقود، تم تصميم نموذج الخلية الواحدية لعنصر وقود المفاعل MTR باستخدام الكود GETERA. أما الكود ثلاثي الأبعاد MCNP4C فقد إستخدم لحساب متوسط تدفق النترونات الحرارية في قلب المفاعل. ومن ثم تم إستخدام برنامج MATHCAD لحل جملة المعادلتين 1 و2 لحساب تغير الكثافة الذرية لـ 135Xe و135I مع الزمن.

النتائج والمناقشة

تم حساب متوسط التدفق الحراري في قلب المفاعل لأنواع الوقود الثلاثة بإستخدام الكود MCNP4C ووجد أنه: $4.235x10^{13}$ و $5.087x10^{13}$ و $5.852x10^{13}$ نترون.سم$^{-2}$.ث$^{-1}$على التتالي. يعرض الجدول 1 معامل التضاعف اللانهائي وثوابت المجموعات الحرارية للخلية الواحدية للوقود مع وجود ^{135}Xe عند الإشباع لأنواع الوقود الثلاثة بإستخدام الكود GETERA. وقد لوحظ توافق جيد بين القيم المحسوبة في هذا العمل والقيم المحسوبة السابقة من الناحية الهيدروجيولوجية، تشكل التوضعات الرباعية المؤلفة من غضار ورمال وحصى الحامل المائي السطحي في منطقة السد. أما الصخور الكلسية الدلوميتية العائدة إلى الكريتاسي والجوراسي فتشكل الحامل المائي الرئيسي والعميق في المنطقة، حيث تتميز هذه الصخور بنفوذية عالية نتيجة كونها صخور مشققة ومكرستة على سويات عمقية متعددة.

نوع الوقود	k_{inf} في هذا العمل	k_{inf} [8]	Σ_f (cm^{-1})	$\nu\Sigma_f$ (cm^{-1})	Σ_a (cm^{-1})
عالي التخصيب HEU 93%	1.7454	1.7496	0.6023344	1.464889	0.7492737
متوسط التخصيب MEU 45%	1.7209	1.7005	0.6709543	1.631776	0.8360494
منخفض التخصيب LEU 20%	1.6877	1.6356	0.7840993	1.906958	0.9830511

الجدول 1: معامل التضاعف اللانهائي وثوابت المجموعات النترونية الحرارية للوقود مع وجود الكزينون عند الإشباع.

تم حساب قيم التفاعلية لأنواع الوقود الطازج الثلاثة بإستخدام الكود MCNP4C ووجدت: 176.55، 173.08 و169.31 مك على التتالي. وكانت هذه النتائج متوافقة بشكل جيد مع نتائج الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

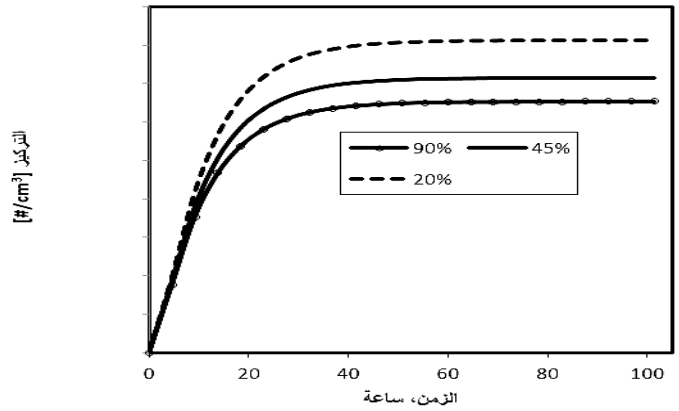
يوضح الجدول 2 قيم التفاعلية لـ ^{135}Xe و ^{149}Sm بعد 60 ساعة من زمن تشغيل المفاعل وبعد إيقافه لوقود اليورانيوم عالي ومنخفض التخصيب. وكانت تفاعلية ^{135}Xe لأنواع الوقود الثلاثة أثناء تشغيل المفاعل: 35.85، 35.75 و35.30 مك على التتالي، وبعد التوقف كانت: 108.40، 97.62 و84.92 مك على التتالي. أنتج الوقود (93%) أعلى تفاعلية لـ ^{135}Xe في جميع مجموعات الوقود التي تمت دراستها أثناء التشغيل وبعد إيقافه. ويمكن إهمال تفاعلية ^{149}Sm مقارنة بتفاعلية ^{135}Xe أثناء التشغيل (أقل من 1 مك) وبعد إيقاف التشغيل (أقل من 2 مك). كما كانت القيم المحسوبة في هذا العمل متوافقة بشكل جيد مع القيم المحسوبة السابقة.

نوع الوقود	تفاعلية ^{135}Xe عند الإشباع (مك)	تفاعلية ^{135}Xe بعد 60 ساعة تشغيل (مك)	تفاعلية ^{135}Xe العظمى بعد إغلاق المفاعل (مك)	زمن بلوغ تفاعلية ^{135}Xe العظمى (ساعة)	تفاعلية ^{149}Sm بعد 60 ساعة تشغيل (مك)	تفاعلية ^{135}Xe بعد 60 ساعة تشغيل (مك)
عالي التخصيب HEU 93%	35.847	35.760	108.388	9.72	1.171	-
متوسط التخصيب MEU 45%	35.751	35.213	97.62	9.519	1.065	-
منخفض التخصيب LEU 20%	35.304	35.663	84.921	9.226	0.931	32.2 [9]

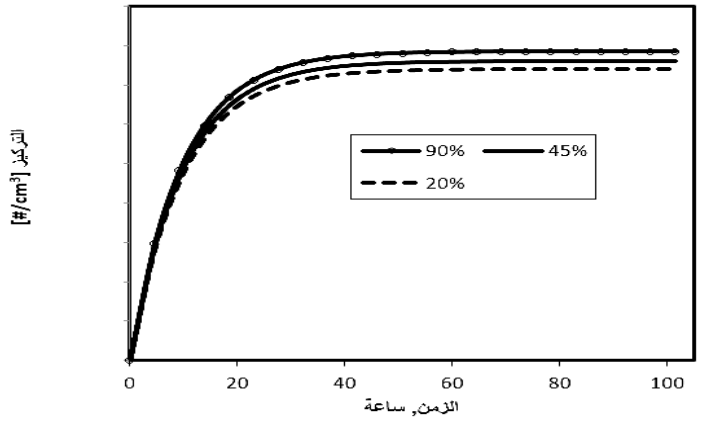
الجدول 2: تفاعلية ^{135}Xe و ^{149}Sm بعد 60 ساعة من زمن تشغيل المفاعل وبعد إغلاقه.

يبين كل من الشكلين 2 و3 التركيز الذري لكل من ^{135}Xe و^{135}I كتابع لزمن تشغيل المفاعل قدره 100 ساعة لوقود اليورانيوم عالي ومنخفض التخصيب. كما هو

مبين في الشكل 2، تصل الكثافة الذرية (التركيز) لـ ^{135}Xe إلى الإشباع بعد 60 ساعة من زمن تشغيل المفاعل.

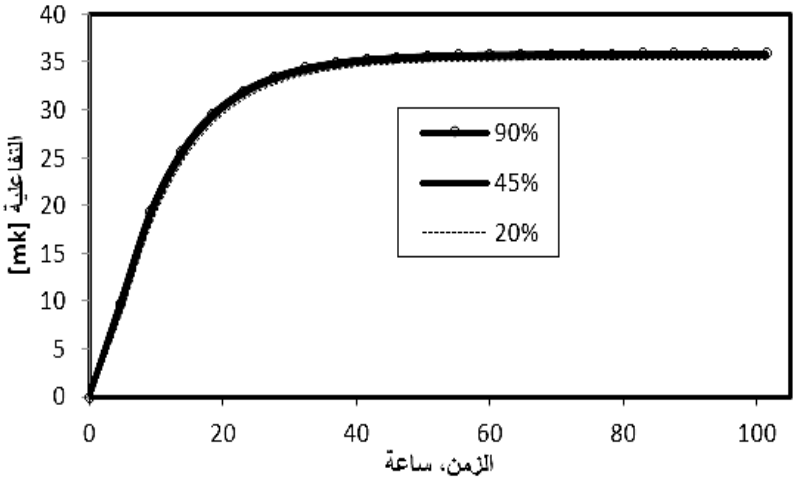


الشكل(2): تركيز ^{135}Xe خلال زمن التشغيل اليومي للمفاعل.



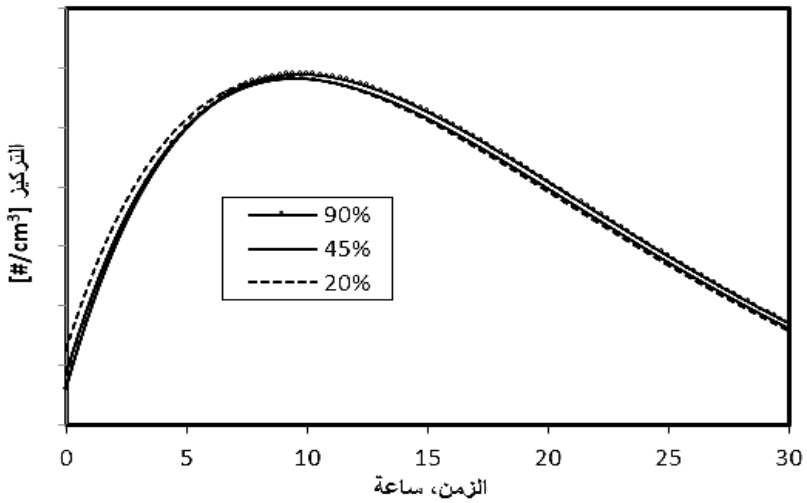
الشكل (3): تركيز ^{135}I خلال زمن التشغيل اليومي للمفاعل.

كما تم عرض تفاعلية 135Xe كتابع للزمن بالنسبة لأنواع الوقود الثلاثة في الشكل 4. بلغت التفاعلية المحسوبة لـ 135Xe القيمة الاعظمية بعد 60 ساعة عمل للمفاعل (زمن الوصول إلى إشباع 135Xe).

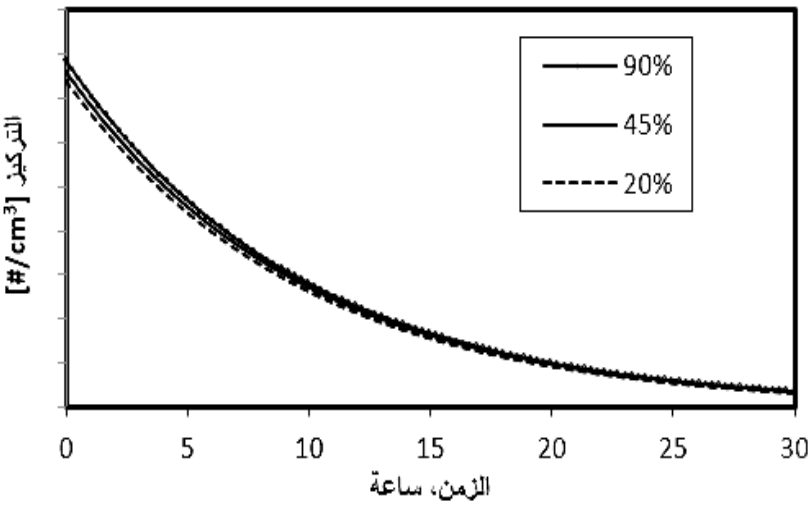


الشكل (4): تفاعلية ^{135}Xe خلال زمن التشغيل اليومي للمفاعل.

يبين كل من الشكلين 5 و6 الكثافات الذرية لكل من ^{135}Xe و^{135}I كتابع للزمن بعد إغلاق المفاعل لأنواع الوقود الثلاثة. وبلغت التفاعلية المحسوبة لـ ^{135}Xe القيمة الأعظمية (نتيجةً لتفكك اليود مع الزمن) عند أزمنة قدرها 9.7 و9.5 و9.2 ساعة على التتالي بعد إغلاق المفاعل.

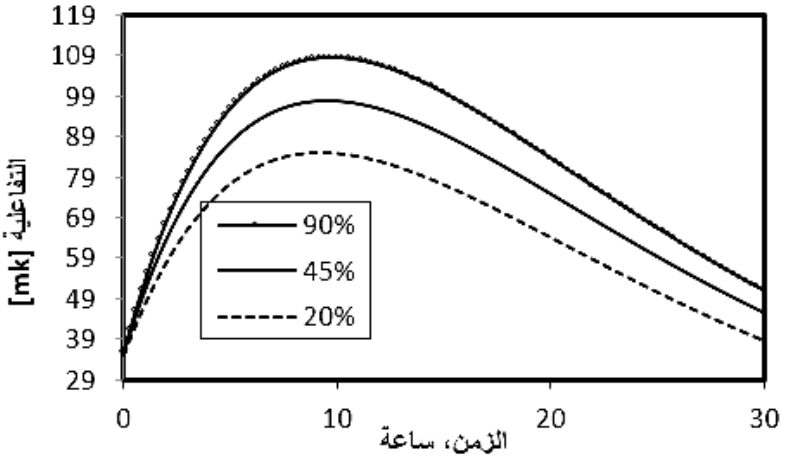


الشكل (5): تركيز ^{135}Xe بعد إغلاق المفاعل.



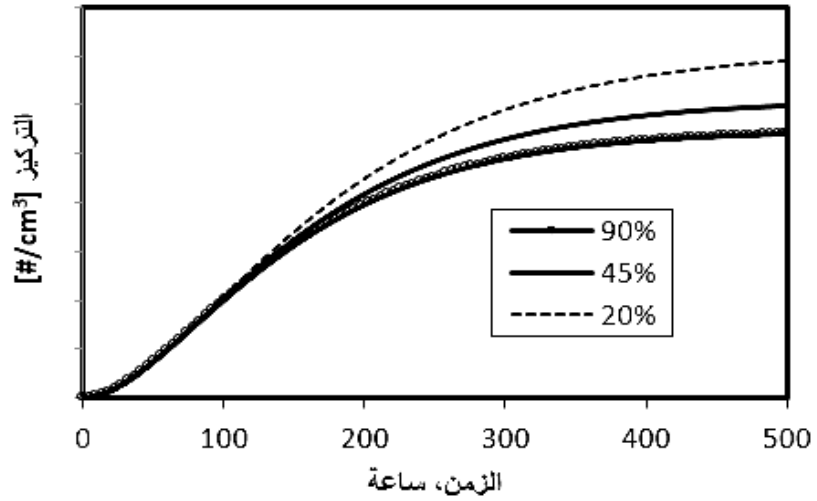
الشكل (6): تركيز ^{135}I بعد إغلاق المفاعل.

يبين الشكل 7 التفاعلية السلبية لـ ^{135}Xe بعد إغلاق المفاعل. وقد أدى تراكم ^{135}Xe في المفاعل إلى تفاعلية سلبية إضافية (بعد زمن تشغيل للمفاعل قدره 60 ساعة)، كما بلغت القيم العظمى للتفاعلية بعد إيقاف التشغيل لأنواع الوقود الثلاثة القيم التالية: -108، -97 و -85 مك على التتالي.

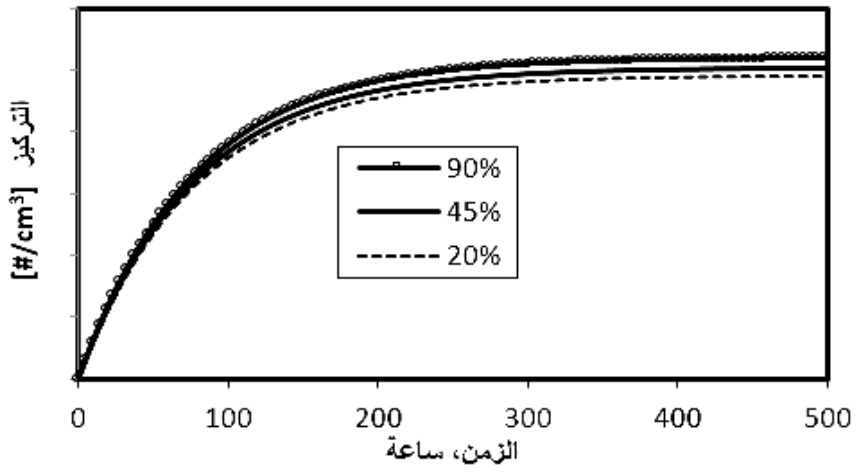


الشكل (7): تفاعلية ^{135}Xe المتراكمة بعد إغلاق المفاعل.

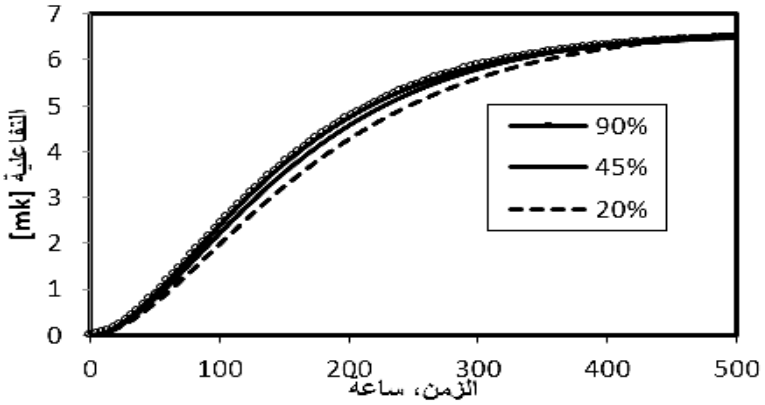
يبين كل من الشكلين 8 و9 الكثافات الذرية (التركيز) لكل من ^{149}Sm و ^{149}Pm كتابع لزمن تشغيل المفاعل لوقود اليورانيوم عالي ومنخفض التخصيب. كما هو واضح من الشكل 8، تصل الكثافة الذرية لـ ^{149}Sm إلى الإشباع بعد مدة زمنية كبيرة (~ 500 ساعة) مقارنة بتركيز الإشباع لـ ^{135}Xe (60h).



الشكل (8): تركيز 149Sm خلال زمن التشغيل اليومي للمفاعل.

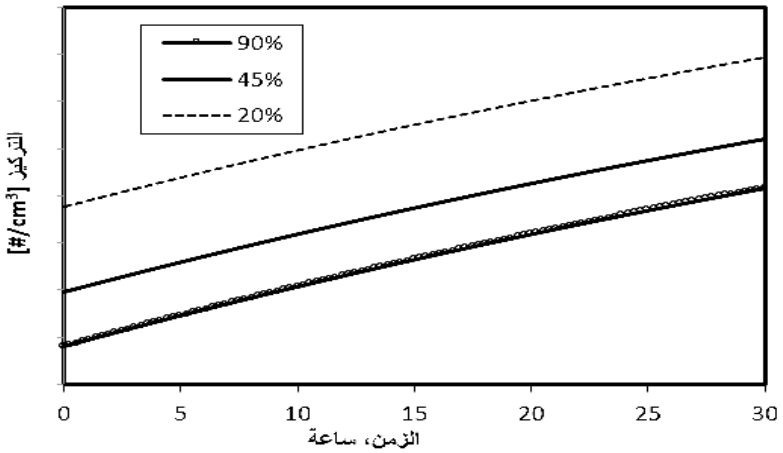


الشكل (9): تركيز 149Pm خلال زمن التشغيل اليومي للمفاعل.

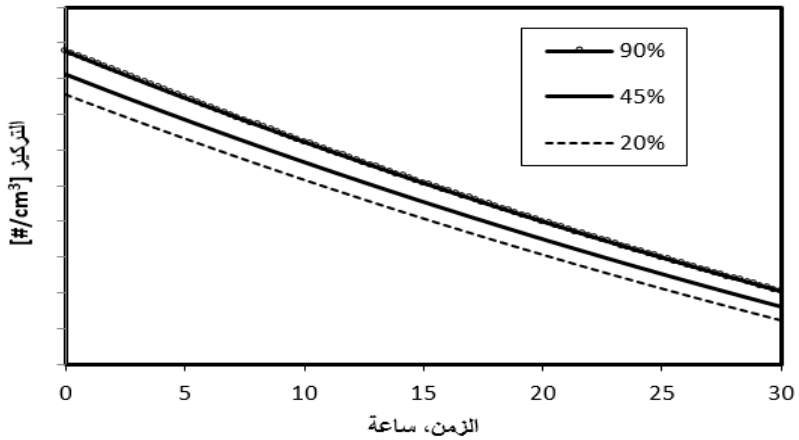


الشكل (10): تفاعلية ^{149}Sm خلال زمن التشغيل اليومي للمفاعل.

الكثافات الذرية لكل من ^{149}Sm و^{149}Pm كتابع للزمن لأنواع الوقود الثلاثة بعد إغلاق المفاعل مبينة في الشكلين 11 و12. تنقص الكثافة الذرية لـ ^{149}Pm في حين تزداد لـ ^{149}Sm مع مرور الزمن.

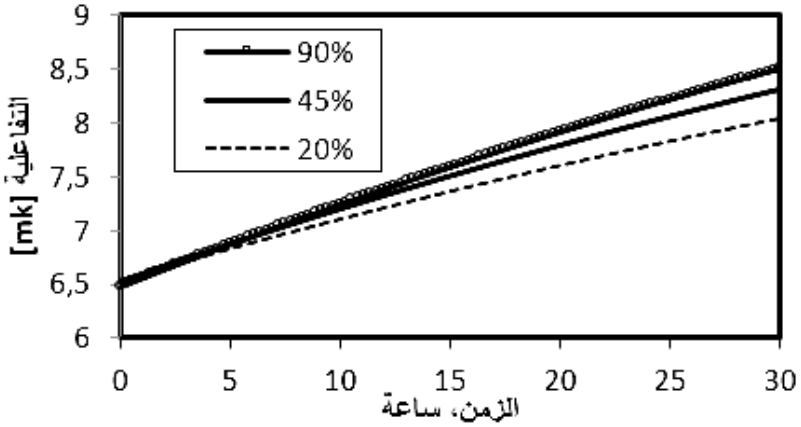


الشكل (11): تركيز 149Sm بعد إغلاق المفاعل.



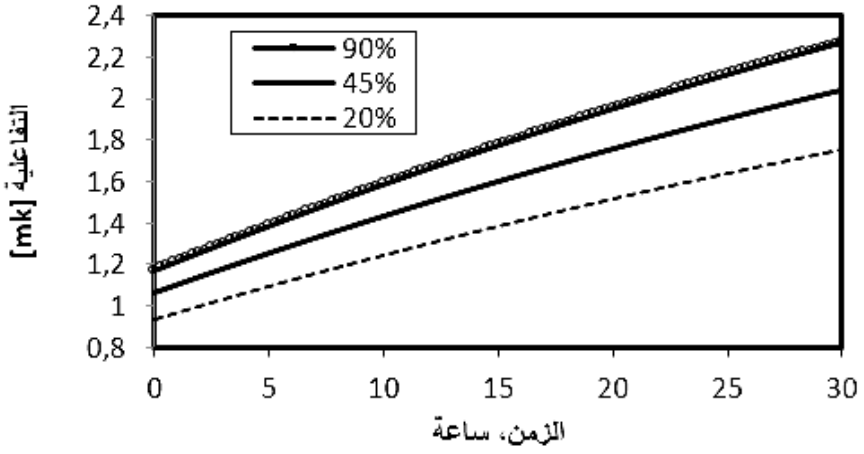
الشكل (12): تركيز ^{149}Pm بعد إغلاق المفاعل

تم عرض التفاعلية السلبية لـ 149Sm بعد إغلاق المفاعل (زمن التشغيل قبل إيقاف المفاعل هو 500 ساعة) في الشكل 13. وكانت التفاعلية السلبية لـ 149Sm بعد 30 ساعة من إيقاف تشغيل المفاعل هي: −8.497، −8.313 و−8.033 مك على التتالي.



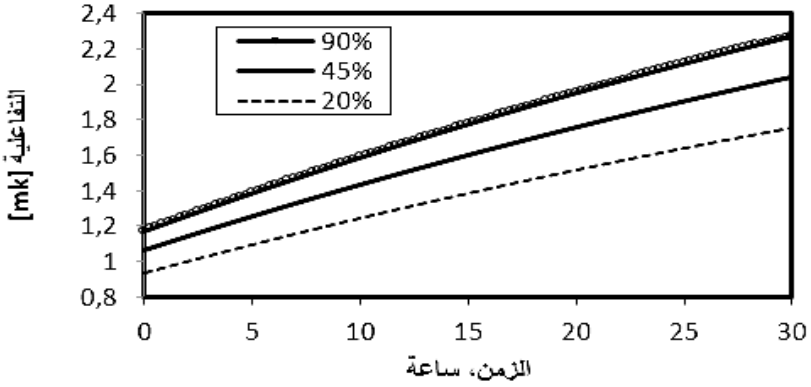
الشكل 13: تفاعلية 149Sm المتراكمة بعد إغلاق المفاعل (زمن تشغيل المفاعل قبل إغلاقه 500 ساعة).

التفاعلية السلبية لـ ^{149}Sm بعد إغلاق المفاعل (زمن التشغيل قبل إيقاف المفاعل هو 60 ساعة) مبينة في الشكل 14. حيث كانت التفاعلية السلبية لـ ^{149}Sm بعد 30 ساعة من إيقاف تشغيل المفاعل هي: –2.271، –2.036، – 1.75 مك على التتالي.



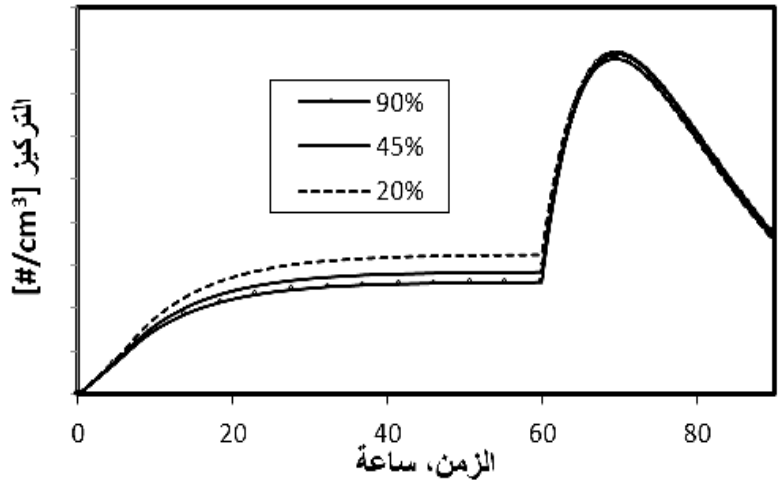
الشكل 13: تفاعلية 149Sm المتراكمة بعد إغلاق المفاعل (زمن تشغيل المفاعل قبل إغلاقه 500 ساعة).

التفاعلية السلبية لـ ^{149}Sm بعد إغلاق المفاعل (زمن التشغيل قبل إيقاف المفاعل هو 60 ساعة) مبينة في الشكل 14. حيث كانت التفاعلية السلبية لـ ^{149}Sm بعد 30 ساعة من إيقاف تشغيل المفاعل هي: –2.271، –2.036، – 1.75 مك على التتالي.

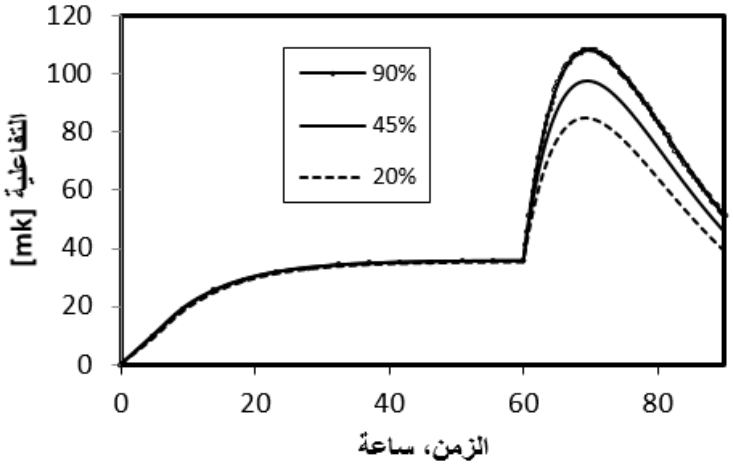


الشكل 14: تفاعلية ^{149}Sm المتراكمة بعد إغلاق المفاعل (زمن تشغيل المفاعل قبل إغلاقه 60 ساعة).

كما جرى عرض الكثافة الذرية والتفاعلية الكلية لـ ^{135}Xe كتابع للزمن أثناء تشغيل المفاعل وبعد إيقافه في الشكلين 15 و16.



الشكل (15): التركيز الكلي 135Xe خلال زمن التشغيل اليومي للمفاعل وبعد إغلاقه.



الشكل (16): التفاعلية الكلية لـ 135Xe خلال زمن التشغيل اليومي للمفاعل وبعد إغلاقه.

خلاصة عامة

جرى في هذا العمل تحليل قلب المفاعل البحثي MTR بإستخدام الكودين MCNP4C و GETERA من أجل دراسة سلوكيات أهم سموم نواتج الإنشطار، أي الكزينون والساريوم، بعد التحويل إلى وقود اليورانيوم منخفض التخصيب. بينت النتائج أن التفاعلية العظمى لـ ^{135}Xe بعد إغلاق المفاعل ستنخفض بنسبة 9.9% و21.6% للوقودين 45% و20% على التتالي مقارنة بوقود اليورانيوم عالي التخصيب الحالي. كما كانت التفاعلية السلبية لـ ^{149}Sm أثناء تشغيل المفاعل وبعد إيقافه أقل من تلك الموجودة في ^{135}Xe ويمكن إهمالها.

د. سعدو الظواهرة

هيئة الطاقة الذرية السورية

References

1. Glaser A, 2006.On the Proliferation Potential of Uranium Fuel for Research Reactors at Various Enrichment Levels, Science and Global Security, 14:1–24.
2. Dodd, B., Dolan, T.J., Laraia, M., Ritchie, I., 2002.Perspectives on research reactor.
3. Farhan, M., Asad, M., 2009. Effects of high density dispersion fuel loading on the dynamics of a low enriched uranium fueled material test research reactor. Prog.Nucl. Energy 51 (2), 339–346.
4. Belousov, N., Bichkov, S., Marchuk, Y., 1990.The code GETERA for cell and policell calculations model capability, Russia.
5. Briesmeister, F Judith, 2000. MCNP4C manual, Monte Carlo N-Particle Transport Code System, RSICC code package CCC-700/MCNP4C, Oak Ridge National Lab., TN, and DOE, USA.
6. Dawahra S, Khattab K, Saba G, 2015. Study the effects of different reflector types on the neutronic parameters of the 10 MW MTR reactor using the MCNP4C code. Annals of nuclear energy85 1115–1118. utilization. Physica B 311, 50–55.
7. Lamarsh J., 1983. Introduction to Nuclear Engineering, Addison-Wesley Publishing Company, USA.
8. IAEA-TECDOC-233, 1980. Research Reactor Core Conversion from the Use of HighlyEnriched Uranium to the Use of Low Enriched Uranium Fuels, Guidebook a Technical Document Issued by the International Atomic Energy Agency, Vienna.
9. Arshad M, 1994, Study of Xenon and Samarium behavior in the LEU PARR-1 cores, PINSTECH-142, October.

تآكل الزجاج المستخدم في تثبيت النفايات عالية الإشعاع أثناء التخزين في مستودع الدفن الجيولوجي

Abstract

Vitrifying highly radioactive nuclear waste into the glass matrix and depositing it into deep geological formations using borosilicate glass. The nuclear waste leaching test (MCC-1, MCC-3) using International Simple Glass was used in this investigation. An initial pH value of 6.3 and a reacting temperature of 90 °C were used to test corrosion in saturated and pure water systems. The experimental batch with ankerite and the reference batch without ankerite were examined for 3, 7, 14, 28, and 90 days. Ankerite didn't change the rate of glass corrosion much in systems with a higher surface area to volume (S/V) ratio, but it did keep the rate steady and the Si concentrations the same at the beginning of the experiment, which points to a consistent way for Si to be released. In lower S/V systems, ankerite inhibited amorphous silica SiO2 saturation. At all reaction periods, ankerite inhibited glass corrosion in all S/Vs, although the lower S/V system was more affected.

مـقـدمة

يوصى بشدة بالتخلص من النفايات النووية شديدة الإشعاع **(HLW)** في التكوينات الجيولوجية العميقة في حاويات متعددة الطبقات. بعد تبخير النويدات

المشعة المتطايرة، يتم تثبيتها وتزجيجها عن طريق إدخالها في مصفوفة زجاج البورسليكات. إن تثبيت **HLW** بإستخدام عملية التزجيج مسموح به وممارس في العديد من البلدان. بعد تشكيله بالشكل الصحيح، يتم وضع المصفوفة الزجاجية في حاويات من الفولاذ المقاوم للتآكل لتمكين التعامل معها وتخزينها والتخلص منها. يتنبأ سلوك ذوبان الزجاج أنه بمجرد وصول تركيز أنواع السيليكا القابلة للذوبان في الطور المائي إلى التشبع، فلن يحدث المزيد من ذوبان الزجاج. ومع ذلك، قد لا يمثل تشبع السيليكا غير المتبلورة التشبع الديناميكي الحراري للشبكة الزجاجية.

الأنكريت هو معدن معقد التركيب (أحد أنواع كربونات الحديد) $[Ca(Fe,Mg,Mn)(CO_3)_2]$، وهو إما منتج تآكل الحديد الرسوبي أو منتج ثانوي من مادة متحولة بشكل طبيعي من تآكل نفايات الفولاذ وحاويات HLW المودعة في موقع التخزين.

قد تؤدي المعادن الحاملة للحديد الموجودة في موقع التخزين إلى إبطاء تشبع السيليكات، والحفاظ على عملية ذوبان الزجاج، وتؤثر على تكوين عدة أطوار تحتوي على الحديد. تؤثر معادن الحديد سلباً على كمية تشبع السيليكات لتقليل أو دمج مسامية الجل المتكون. ولذلك، فقد وجدت العديد من الدراسات البحثية أنها المعلمات والمعايير السائدة في إنحلال الزجاج وأعطتها الأولوية. ومع ذلك، خلال مرحلة الترطيب من الذوبان، فإن الدمج السريع للحديد من شأنه أن يسد مسامية الجل الخارجية للمحلول المشبع بالجل/السيليكون ويقلل معدل الإنحلال إلى الحد الأدنى من القيم المسجلة.

في الماء النقي، مع مرور الوقت، يؤدي التحلل المائي لشبكة السيليكا إلى تحويل الرقم الهيدروجيني للمحلول إلى قلوي. فورنييه وآخرون بحثوا في تأثيرات تراكيز

SiO_2 المتكونة على معدل ذوبان الزجاج عند نطاقات معينة من الرقم الهيدروجيني (7 < الرقم الهيدروجيني ≤ 9)، ووجد أن معدل ذوبان زجاج البورسليكات كان أقل. تؤدي التغييرات التي يسببها الرقم الهيدروجيني في كيمياء المحاليل إلى تغيير التوازن في هذا النطاق، مما يسمح بمتانة كيميائية أفضل. وكان هذا متفقًا مع دراسة منشورة أجراها جين وآخرون، والتي وجدت أن تغير الزجاج يزداد عندما ينخفض الرقم الهيدروجيني في نطاق 7 إلى 10.

لقد تم بالفعل إفتراض وإثبات التأثيرات المتنوعة للأنكريت على محتوى السيليكا، وهو ما يتوافق مع الدراسات السابقة التي أجريت على معادن كربونات الحديد الأخرى (السدريت والدولوميت) والتي تم إطلاقها في الدراسات السابقة. وفي ضوء ذلك تهدف الدراسة الحالية إلى تقديم لمحة عامة عن تأثير اللانكريت على مستويات التشبع ودرجة الحموضة.

تحضير المواد والعينات

1- تجهيز عينات الأنكاريت:

إستخدم هذا البحث عينة جيولوجية غنية بالأنكريت من رودابانيا، المجر. تم سحق العينة إلى مسحوق بإستخدام مطحنة كرات كربيد التنجستن الكهربائية. وبعد ذلك، يتم غربلة المسحوق، وجمع الجزء الذي يتراوح حجم حبيباته بين (75–125) ميكرومتر.

بعد ذلك، تم غسل المسحوق أولاً بالماء المقطر ثم بالإيثانول قبل تجفيفه لليلة كاملة عند درجة حرارة 105 مئوية. تم إستخدام طريقة Brunauer–Emmett–Teller BET–N2 لحساب مساحة السطح النوعية، (SSAAnkerite = 225 سم2/جم).

أستخدم تحقيق سابق على نفس المادة البلازما المقترنة حثياً – قياس طيف الإنبعاث البصري (ICP–OES) لتوصيف تحليل تركيبها العنصري، ثم حددها بإستخدام حيود مسحوق الأشعة السينية (XRD).

2– تجهيز عينات الزجاج ISG (الزجاج الدولي البسيط):

هو عبارة عن زجاج بسيط مشتق من تركيبته ويهدف إلى أن يكون معياراً عالمياً. إنه زجاج بوروسيليكات مكون من 6 أكاسيد بنفس نسب العناصر في زجاج نوع SON68 (المرجع الفرنسي غير نشط للزجاج النشط R7T7)، ويستخدم على نطاق واسع في الأبحاث النووية.

تم إستخدام شفرة منشار ماسية مقاس 5 بوصات لقطع سبيكة ISG إلى ألواح مقاس (2*10*10) مم (على شكل كوبونات). تم إستخدام معدات رش وتلميع الماس المعلقة بالزيت لتلميع كل كوبون ISG. تم قياس المساحة السطحية لكل كوبون هندسياً (SA=3.1cm2). تم تحديد خشونة السطح الإضافية بإستخدام تقنية BET–N2، وتم أخذ عامل خشونة السطح (1.5) في الإعتبار.

تم تصنيع مسحوق زجاج ISG عن طريق سحق كتل ISG الخام بإستخدام جهاز مطحنة كرات كربيد التنجستن، ثم غربلة وجمع الكسر بحجم حبة أقل من 45 ميكرومتر. تم تنظيف المسحوق من جزيئات الهباء الجوي الدقيقة عن طريق نقعه في الإيثانول عن طريق الترشيح بإستخدام الترشيح الفراغي بمقدار 0.45 ميكرومتر ثم تجفيفه طوال الليل عند 105 درجة مئوية. تم إستخدام المعادلة (1) لحساب SSAISG=2,467 cm2/g هندسياً.

$$SSA_{ISG} = \frac{3}{\rho R} \qquad (1)$$

حيث ρ هي الكثافة بوحدة جم/م^3 (ρ_ISG = 2.500 جم/سم^3) و R = 10.4 ميكرومتر هو متوسط نصف قطر الجسيم، والذي تم تحديده بواسطة محلل حجم الجسيمات (النوع: Cilas 1190 laser).

منهجية العمل:

يعد إختبار الترشيح القياسي لمركز توصيف المواد (MCC) للنفايات النووية أحد إختبارات الترشيح الساكنة الأكثر إستخداماً. على مساحة السطح المنخفضة والعالية إلى نسب الحجم (منخفضة: S/V_{Coupon}=0.13 cm^{-1}؛ وعالية: S/V_{Powder}=20.55 cm^{-1})، تم إستخدام اختبارات MCC-1 وMCC-3، على التوالي.

تم وضع حاضنات تجريبية من نوع بولي تترافلوروإيثيلين (PTFE) بسعة 30 مل في فرن التجفيف لمدة 3 أيام، 7 أيام، 14 يومًا، 28 يومًا، و90 يومًا للتفاعل. تم إختيار درجة حرارة 2±90 درجة مئوية لتسريع التفاعل. بعد إضافة ISG ومسحوق الأنكريت إلى الحضنات، تم صب 24 مل من الماء نوع ASTM-I (مع الموصلية والمقاومة 0.055 µS/cm و 18.2 MΩ*cm، على التوالي) في كل منهما. تم إغلاق جميع الحاضنات التجريبية تحت ضغط غاز الآرجون (نقاوة = 99.999%) لمنع تفاعلات الأكسدة. مع إضافة 10 ميكرولتر من 0.08 جم/لتر NaOH، تم تعديل الرقم الهيدروجيني إلى 6.3.

قمنا بدراسة تأثير الأنكريت على كل من مسحوق ISG وسلسلة كوبونات ISG، ولهذا السبب تم إنشاء نظامين تجريبيين (AGP, AGC). بالنسبة لكل تجربة

تحتوي على الزجاج ISG والأنكاريت، تم النظر في ثلاث تجارب مرجعية: (i) مسحوق ISG، (ii) قسيمة ISG، (iii) مسحوق إنكاريت. تم تبريد العينات المسخنة إلى درجة حرارة الغرفة بعد وقت التفاعل المطلوب، وتم تنقية جميع العينات لمدة 10 دقائق عند 4500 دورة في الدقيقة في جهاز الطرد المركزي. عند 25 درجة مئوية، تم تحديد الرقم الهيدروجيني لمحلول التفاعل على الفور لجميع العينات. بعد تصفية محلول التفاعل بإستخدام مرشح ميليبور (حجم المسام 0.45 م)، تم جمع 15 ملليلتر من المرشح لتحليل ICP–MS. وترد إختصارات الأنظمة التجريبية في الجدول (1).

Abbreviation	Description
RGP	Reference Glass Powder
RGC	Reference Glass Coupon
RAP	Reference Ankerite Powder
AGP	Ankerite+ Glass Powder
AGC	Ankerite + Glass Coupon

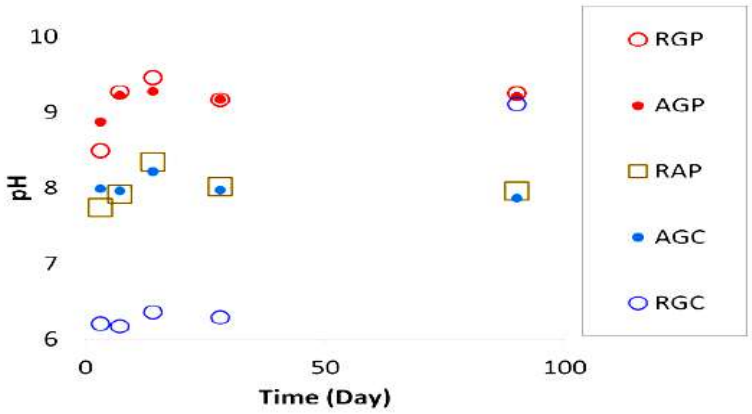
الجدول (1): إختصارات الأنظمة التجريبية.

من خلال طرح تركيزات العناصر المتطابقة في RAP المرجعي، تم حساب تركيزات العناصر الصحيحة في نظامي (AGP, AGC).

النتائج

يظهر الشكل (1) قيم الرقم الهيدروجيني في التجارب المختلفة. زاد الأنكريت من الرقم الهيدروجيني للمياه النقية في نظام AGC لتتراوح القيم حول الرقم

الهيدروجيني = 8، وهو ما كان نتيجة رئيسية ناجمة عن تركيز الكربونات. في الواقع، فإن وجود الأنكريت يهيمن على الرقم الهيدروجيني في نظام AGC طوال فترات الإختبار المختلفة ويحافظ عليه عند نفس مستوى الرقم الهيدروجيني في نظام (RAP).



الشكل (1): نتائج الرقم الهيدروجيني في الأنظمة المتفاعلة (كل نقطة عبارة عن تجربة منفصلة)

ونظراً لنسبة تعرض الزجاج S/V العالية الواضحة في أنظمة RGP وAGP، يوجد إنتشار كبير بين الزجاج والمحلول، مما أدى إلى زيادة تركيزات مكونات ISG في النظام. وقد تبين أن التشبع المتعلق بمنتجات التآكل ISG له تأثير أكبر على الرقم الهيدروجيني، الذي وصل إلى قيم الرقم الهيدروجيني أكبر من 9. ويعتقد أن

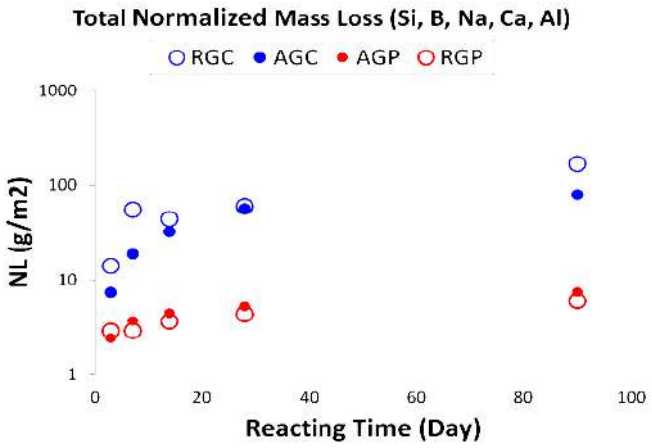
الرقم الهيدروجيني العالي في أنظمة مسحوق الزجاج يرتبط بحقيقة أن الزجاج في شكل مسحوق قد يسرع بشكل كبير التحلل المائي، مما أدى إلى تعزيز إطلاق أيون الهيدروكسيل وإستهلاك أيون االهيدروجين من المحلول.

حسب النتائج فإن الأنكاريت غير قادر على إحداث تغيير جوهري في الرقم الهيدروجيني في نظام AGP مقارنة بنظام RGP. بالإضافة إلى ذلك، عند مقارنتها بأنظمة زجاج الكوبونات (RGC، AGC)، يُعتقد أيضاً أن تأثير الأنكاريت على مستوى التشبع فيما يتعلق بمنتجات التآكل ISG في أنظمة مسحوق الزجاج (RGP، AGP) لا يكاد يذكر، الشكل 2.

بالنسبة للمكونات الأولية الناشئة عن إنحلال عينات الزجاج (Na، B، Si، Ca، Al)، تم حساب خسارة الكتلة الطبيعية (NL) (الشكل 2)، بإستخدام المعادلة (2)، لم تكن تركيزات Zr كافية لمثل هذه الحسابات، وهو أمر نموذجي بالنسبة لزجاج ISG.

$$NL_i = \frac{m_i}{f_i . SA} \qquad (2)$$

حيث، mi: كتلة العنصر i في المادة المرتشحة (g)، fi: الكسر الكتلي للعنصر i في المادة الصلبة غير المرتشحة (بدون وحدة)، SA: مساحة السطح الهندسية للعينة (m^2).



الشكل (2): نتائج فقدان الكتلة الطبيعية للمكونات الأساسية في النماذج التجريبية (كل نقطة عبارة عن تجربة منفصلة)

إستناداً إلى فهم أن المحلول الأكثر تشبعاً يؤدي إلى فقدان كتلة طبيعية أقل (NL) لمكونات ISG في المحلول، فإن إجمالي NL (الشكل 2) للتكوين العنصري الأساسي لزجاج ISG في أنظمة مسحوق الزجاج (حوالي بين 10–1 جم/ م^2) أقل بكثير مما هو عليه في أنظمة الكوبونات الزجاجية (حوالي 100–10 جم/م^2)، مع تضمين نسبة عدم يقين تبلغ 10%.

تم إستخدام تركيز البورون في المحلول لقياس معدل تآكل الزجاج. إنه مؤشر ممتاز لتآكل الزجاج لأنه لا يتم الاحتفاظ به في طبقة التآكل. تم حساب معدل تآكل زجاج ISG في الشكل 3 من خلال تطبيق المعادلات التالية (3،4):

$$r = \frac{d\left(E_{th(B)}\right)}{dt} \qquad (3)$$

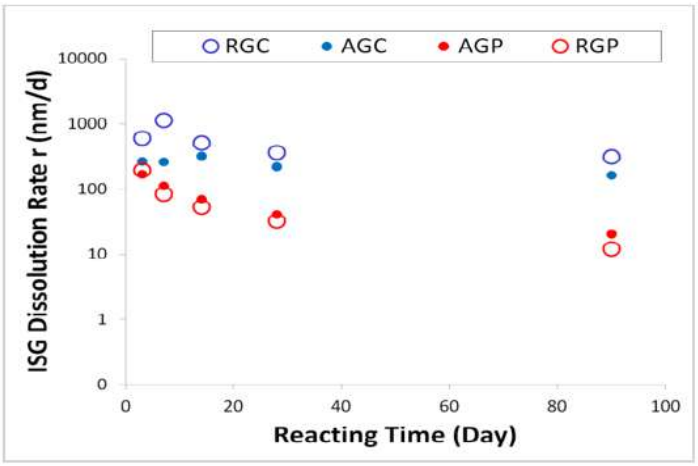
حيث: r هو معدل تآكل زجاج ISG (nm/d) و $E_{th(B)}$ هو السُمك المكافئ للبورون (nm) والذي يمكن حسابه من العلاقة التالية (4):

$$E_{th(i)} = \frac{NL_i}{\rho_{ISG}} \qquad (4)$$

حيث: ρ_{ISG} هي كثافة زجاج ISG (2.5) جم/سم^3.

في أنظمة S/V المنخفضة، يبدو أن الأنكاريت فعال في خفض معدل تآكل ISG في نظام AGC مقارنة بنظام RGC المرجعي، ويرجع ذلك أساساً إلى أن الأنكاريت يحسن الرقم الهيدروجيني بالمعدل الأولي. كان هذا صحيحاً بالنسبة لجميع ملاحظات معدل التآكل بين اليوم 3 واليوم 90، بإفتراض وجود تناسب عكسي بين الرقم الهيدروجيني ومعدل التآكل في نطاق الرقم الهيدروجيني بين (6.2–9.2) مع عدم يقين قدره 0.2 في قيم الرقم الهيدروجيني، ومع ذلك، في يوم 90 من التفاعل، لوحظ أن معدل التآكل في نظام RGC يرتبط مباشرة بدرجة الحموضة (الشكل 4). يشير ذلك إلى حدوث خرق في الإفتراض المذكور مع إقتراب النظام (أو تحقيقه بالفعل) من التشبع فيما يتعلق بالسيليكا غير المتبلورة.

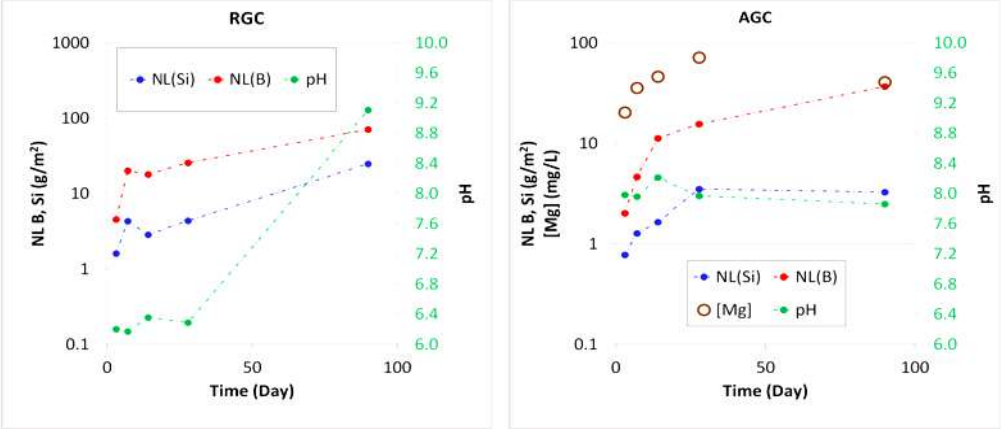
من ناحية أخرى، رفع الأنكاريت معدل التآكل في النظام AGP المشبع بشكل هامشي أكثر من نظام RGP المرجعي، الشكل (2). قد يكون هذا بسبب تأثير الإستهلاك الملحوظ على Si من خلال الإمتصاص أوالترسيب بواسطة عناصر الحديد والمغنيسيوم (Fe, Mg).



الشكل (3): معدل تآكل الزجاج في النماذج التجريبية (كل نقطة عبارة عن تجربة منفصلة)

في اليوم 90 منذ بدء التفاعل، وصل الرقم الهيدروجيني لنظام المياه النقية AGC إلى 7.86 ± 0.2، وهو قريب من عتبة بدء الترسيب الثانوي Mg–Si. يمكن ملاحظة ذلك في الشكل 4، حيث بدأ محتوى Mg في الإنخفاض حوالي اليوم 90.

ونتيجة لذلك، يقلل ترسيب Mg–Si من الرقم الهيدروجيني للمادة المرتشحة مع الحفاظ على إذابة طبقة التخميل الزجاجية، مما يزيد من إنتشارية هذه الطبقة. يؤدي خفض الرقم الهيدروجيني بسبب ترسيب Mg–Si إلى زيادة قابلية ذوبان Ca في المحلول، وقد يتبادل Ca في الطبقة الهلامية مع Mg في المحلول دون تغيير الرقم الهيدروجيني أو كمية الزجاج المتفاعل.



الشكل (4): العلاقة بين التآكل ودرجة الحموضة في أنظمة كوبونات زجاج (كل نقطة عبارة عن تجربة منفصلة)

الإستنتاجات

في هذه الدراسة، تم التحقق من مقاومة التآكل لزجاج HLW لمدة تصل إلى 90 يوماً بإستخدام إختبارات ترشيح النفايات النووية على ISG في وجود الأنكريت. على الرغم من هطول الأمطار البسيط المغنيسيوم في اليوم 90 في نظام المياه النقية، فإن وجود الأنكريت قلل من معدل تآكل ISG بسبب تحسين الرقم الهيدروجيني. ومع ذلك، أظهر الأنكريت تحسناً طفيفاً في معدل تآكل ISG في النظام المشبع، والذي يمكن أن يعزى إلى أنشطة الإمتصاص والترسيب الثانوي. يؤدي هذا إلى إستنتاج مفاده أن حالة التشبع هي شرط أساسي لبدء الترسيبات الثانوية (Mg–Si)، خاصة في الوسائط القلوية (الرقم الهيدروجيني أقل من 8).

التوصيات

الهدف العام لهذا العمل البحثي هو تعزيز أسس المعرفة الدولية المتاحة بشأن ضوابط التخلص العميق للنفايات النووية عالية الإشعاع في مستودعات الدفن العميقة، لدعم القرار الإستراتيجي للدول ذات العلاقة بشأن ما إذا كانت ستتبع هذا الإجراء كجزء من برنامجها الوطني للتخلص، بما في ذلك البلدان التي لا تزال في مراحل مبكرة من التخطيط لبرنامجها النووي المستقبلي.

من وجهة نظر المؤلفين وحسب ما خلصت إليه نتائج البحوث السابقة التي تم تضمينها في قائمة مراجع هذا البحث وحسب توصيات وزارة الطاقة الأمريكية، فإن الأفضلية هي دعم نظرية تخزين وقود المفاعلات المستنفذ سواء في برك مياه التبريد في داخل المفاعلات أو في محطات التبريد الهوائي الجاف لأطول مدة ممكنه وإمكانية تمديد هذه المدة من 50 عام إلى 100 عام. ولكن في ظل أن مستودعات الدفن العميق هي النهاية الحتمية لهذا النوع من النفايات مهما طالت مدد تخزينها فوق الأرض فإن هذه الأبحاث وعلى المدى البعيد ستكون مفيدة جداً في الإجابة على تساؤلات قد يتم طرحها مستقبلاً عن إمكانية إعتبار الدفن العميق للنفايات النووية عالية الإشعاع كأحد الخيارات التي يمكن إعتمادها، إضافة إلى أن هذه النتائج ستعزز النظرة الشمولية لكل جوانب مشاريع بناء محطات الطاقة النووية وإضفاء الموثوقية في تنفيذ هذه المشاريع بأعلى المعايير المهنية العالمية.

Ali AL DABBAS: Faculty of Civil Engineering, Budapest University of Technology and Economics and Jordan Atomic Energy Commission JAEC

Katalin KOPECSKÓ: Faculty of Civil Engineering, Budapest University of Technology and Economics

Ahmad ALKHAWALDEH: Jordan Atomic Energy Commission JAEC

References

1. IAEA Safety Standards Series, Disposal of Radioactive Waste, Specific Safety Requirements No. SSR-5, (2011).
2. IAEA Nuclear Energy Series No. NW-T-1.19, Geological Disposal of Radioactive Waste: Technological Implications for Retrievability, (2009).
3. ANDRA, Evaluation of the feasibility of a geological repository in an argillaceous formation, Report Series, France, Dossier, (2005).
4. M. Collin, S. Gin, B. Dazas, T. Mahadevan, J. Du, I.C. Bourg.(2018), Molecular Dynamics Simulations of Water Structure and Diffusion in a 1 nm Diameter Silica Nanopore as a Function of Surface Charge and Alkali Metal Counterion Identity. *The Journal of Physical Chemistry C*, acs.jpcc.8b03902–. https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.8b03902
5. S. Gin,P. Jollivet,M. Fournier, F. Angeli,P.Frugier, &T. Charpentier.(2015), Origin and consequences of silicate glass passivation by surface layers. *NatureCommunications*, **6**(1). https://doi.org/10.1038/ncomms7360
6. G.S. Frankel, J.D. Vienna, J. Lian, X. Guo, S. Gin, S.H. Kim, J. Du, J.V. Ryan, J. Wang, W. Windl, C.D. Taylor, & J.R. Scully. (2021), Recent Advances in Corrosion Science Applicable To Disposal of High-Level Nuclear Waste. *Chemical Reviews*. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00990
7. L. Chai, A. Navrotsky. (1996), Synthesis, characterisation, and energetics of solid solution along the dolomite-ankerite join, and implications for the stability of orderedCaFe$(CO_3)_2$, *American*

Mineralogist, **81** (9-10)1141–1147.https://doi.org/10.2138/am-1996-9-1012

8. B.B. Ellwood, B. Burkart, K. Rajeshwar, R.L. Darwin, R.A. Neeley, A.B. McCall, G.J. Long, M.L. Buhl,Ch.W. Hickcox.(1989), Are the iron carbonate minerals, ankerite and ferroan dolomite, like siderite, important in paleomagnetism? *Journal of Geophysical Research*, **94**(B6), 7321. https://doi.org/10.1029/JB094iB06p07321
9. G. Bart, H.U. Zwicky, E.T. Aerne, T.H. Graber, D. Z'Berg, M. Tokiwai. (1986), Borosilicate glass corrosion in the presence of steel corrosion products, *Materials Research Society* fall meeting, Boston, MA, USA, 1-5 December 1986, **18**, (22) 459–470. https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:18091173
10. E. Burger, D. Rebiscoul, F. Bruguier, M. Jublot, J. E. Lartigue, S. Gin. (2013), Impact of iron on nuclear glass alteration in geological repository conditions: A multiscaleapproach, *AppliedGeochemistry*,**31**, 159–170. http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2012.12.016
11. C. Carriere, D. Neff, E. Foy, C. Martin, Y. Linard, N. Michau, J. Dynes, P. Dillmann.(2017), Influence of iron corrosion on nuclear glass alteration processes: nanoscale investigations of the iron-bearing phases, Corrosion engineering, *Science and technology*, **52**, (S1) 166–172. https://doi.org/10.1080/1478422X.2017.1306962
12. M. Debure, P. Frugier, L. D. Windt, & S. Gin. (2013), Dolomite effect on borosilicate glass alteration. *AppliedGeochemistry*, **33**, 237-251.https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.02.019
13. P. Dillmann, S. Gin, D. Neff, L. Gentaz, D. Rebiscoul. (2016), Effect of natural and synthetic iron corrosion products on silicate glassalterationprocesses, *GeochimicaetCosmochimicaActa*,**172**287–305. https://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2015.09.033
14. X. Guo, S. Gin, H. Liu, D. Ngo, J. Luo, S.H. Kim, G.S. Frankel. (2020). Near-field corrosion interactions between glass and corrosion resistant alloys. *NpjMaterials Degradation*, **4**(1).

https://doi.org/10.1038/s41529-020-0114-1

15. N. Jordan, N. Marmier, C. Lomenech, E. Giffaut, J.J. Ehrhardt. (2007), Sorption of silicates on goethite, hematite, and magnetite: Experiments and modeling, *Journal of Colloid and Interface Science*, **312** (2)224–229. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2007.03.053
16. A. Michelin, E. Burger, D. Rebiscoul, D. Neff, F. Bruguier, E. Drouet, P. Dillmann, and S. Gin. (2013), Silicate Glass Alteration Enhanced by Iron: Origin and Long-Term Implications, Environmental *Science & Technology*, **47** (2), 750-756. https://doi.org/10.1021/es304057y
17. L. Neill, S. Gin, T. Ducasse, T. De Echave, M. Fournier, P. Jollivet, N.A. Wall. (2017), Various effects of magnetite on international simple glass (ISG) dissolution: implications for the long-term durability of nuclear glasses. *Npj Materials Degradation*, **1**(1).https://doi.org/10.1038/s41529-017-000
18. V. Philippini, A. Naveau, H. Catalette, S. Leclercq. (2006), Sorption of silicon on magnetite and other corrosion products of iron, *Journal of Nuclear Materials*, **348**(1-2) 60–69. https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2005.09.002
19. H. Aréna, D. Rébiscoul, R. Podor, E. Garcès, M. Cabie, J.-P. Mestre, &N. Godon.(2018), Impact of Fe, Mg and Ca elements on glass alteration: Interconnected processes. *Geochimica et CosmochimicaActa*,**239**, 4445. https://doi.org/10.1016/j.gca.2018.08.007
20. P. Jollivet, F. Angeli, C. Cailleteau, F. Devreux, P. Frugier, S. Gin. (2008), Investigation of gel porosity clogging during glass leaching, *Journal of Non-Crystalline Solids*, **354**(45-46) 4952–4958. http://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2008.07.023
21. M. Vilarigues, R.C. da Silva. (2006), Characterisation of potash-glass corrosion in aqueous solution by ion beam and IR spectroscopy. **352**(50-51) 0–5375. https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2006.08.032
22. M. Fournier, T. Ducasse, A. Pérez, A. Barchouchi, D. Daval, & S. Gin. (2019), Effect of pH on the stability of passivating gel layers formed on

International Simple Glass. *Journal of Nuclear Materials.*https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2019.06.029

23. S. Gin, J.P. Mestre. (2001), SON 68 nuclear glass alteration kinetics between pH 7 and pH 11.5. **295**(1),8396. https://doi.org/10.1016/s0022-3115(01)00434-2.
24. K. Kopecskó, &A.A. Dabbas. (2021), Silicate Sorption on Ankerite from a Standard Silicate Solution. *PeriodicaPolytechnicaChemicalEngineering*, **65**(3).https://doi.org/10.3311/ppch.16967
25. A.A. Dabbas, K. Kopecskó.(2019), Corrosion of glass used for radioactive waste disposal – state of the art, *Pollack Periodica*, **14**(1)85-94.https://doi.org/10.1556/606.2019.14.1.9
26. A.A. Dabbas, &K. Kopecskó.(2019), Corrosion of glass used for radioactive waste disposal influenced by iron corrosion products. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **613**,012030. https://doi.org/10.1088/1757-899x/613/1/012030
27. A.A. Dabbas, & K. Kopecskó. (2021), Corrosion of glass used for radioactive waste disposal influenced by Ankerite, *Advanced Aspects of Engineering Research*, **9**, Chapter 10 - Book Publisher International. http://dx.doi.org/10.9734/bpi/aaer/v9/1997F
28. A.A. Dabbas, & K. Kopecskó. (2021), Corrosion of International Simple Glass by Mg-Si Precipitation in Presence of Ankerite, *Pollack Periodica*.https://doi.org/10.1556/606.2021.00410
29. S. Gin, J. Ryan, S. Kerisit, J. Du. (2018), Simplifying a solution to a complex puzzle, *npjMaterials Degradation*. https://doi.org/10.1038/s41529-018-0057-y
30. D. Strachan, R.P. Turcotte, & B.O. Barnes. (1982), MCC-1: A Standard Leach Test for Nuclear Waste Forms. *Nuclear Technology*, **56**(2), 306-312.https://doi.org/10.13182/nt82-a32859

31. W.L. Ebert. (1995), The effects of the glass surface area/solution volume ratio on glass corrosion: A critical review. *United States:* N. p., pp.18-79. https://doi.org/10.2172/67461
32. B.P. McGrail, & K.M. Olson. (1992), Evaluating long-term performance of in situ vitrified waste forms: Methodology and results. *United States:*N.p.https://doi.org/10.2172/10136903
33. S. Liu, K. Ferrand, K. Lemmens. (2015), Transport- and surface reaction-controlled SON68 glass dissolution at 30°C and 70°C and pH=13.7. *Applied Geochemistry*, **61**, 302–311. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.06.014
34. C. Cailleteau, F. Angeli, F. Devreux, S. Gin, J. Jestin, P. Jollivet, & O. Spalla. (2008), Insight into silicate-glass corrosion mechanisms. *NatureMaterials*, **7**(12), 978–983.https://doi.org/10.1038/nmat2301
35. A. A. Dabbas, & K. Kopecskó, (2022). Investigation of silicic acid saturation and gel formation during ISG leaching: 180 days duration reaction at 90 °C. Journal of Physics: Conference Series, 2315(1), 012007. doi:10.1088/1742-6596/2315/1/012007
36. T. De Echave, M. Tribet, P. Jollivet, C. Marques, S. Gin, C. Jégou. (2018), Effect of clayey groundwater on the dissolution rate of SON68 simulated nuclear waste glass at 70 °C. Journal of Nuclear Materials, Volume 503, 279-289. https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2018.03.013.
37. P. Jollivet, P. Frugier, G. Parisot, J. P. Mestre, E. Brackx, S. Gin, &S. Schumacher. (2012), Effect of clayey groundwater on the dissolution rate of the simulated nuclear waste glass SON68. *Journal of Nuclear Materials*, **420**(1-3), 508 518.https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2011.10.026
38. H. Aréna, N. Godon, D. Rébiscoul, P. Frugier, R. Podor, E. Garcès, M. Cabie, J.-P. Mestre. (2017), Impact of iron and magnesium on glass alteration: Characterisation of the secondary phases and determination of their solubility constants. *Applied Geochemistry*,**82**, 119–133. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.04.010

التحضير الإشعاعي لنظام توصيل وتعزيز قابلية ذوبان الكركمين المحمل فى نانو جل متناهى الصغر طبقا لدرجة الحموضة للوسط المحيط للإستخدام فى حفظ الفاكهة

Abstract

Curcumin is a hydrophobic polyphenol derived from turmeric with promising therapeutic potential, but its poor aqueous solubility and bioavailability limit its efficacy. This study develops a gamma radiation-synthesized poly(acrylic acid)/gelatin/polyethylene glycol (PAAc/G/PEG) nanogel system to encapsulate curcumin and enhance solubility. The nanogel adopts a hierarchical flower-like morphology formed through the self-assembly of PAAc/G/PEG spherical micelles into nanorods that further organize into 2-3 μm microstructures with nanogel in diameter of 5 nm, including curcumin in the core. Fourier transform infrared spectroscopy confirms conjugation between PEG and curcumin. pH-dependent curcumin release reaches a maximum at pH 6 as the nanogel complex dissociates under neutral conditions. Comparative analysis shows the nanogel coating preserves fruit quality more effectively than curcumin alone under accelerated high temperature and humidity deterioration. The PAAc/G/PEG nanogel significantly improves curcumin solubility, while the pH-

responsive release profile and fruit preservation efficacy highlight its potential for therapeutic delivery and food protection applications.

مـقـدمة

الكركمين هو بوليفينول كاره للماء مشتق من جذور نبات الكركم (كركم لونغا) الذي إكتسب مؤخراً إهتماماً بحثياً كبيراً بسبب خصائصه العلاجية المتنوعة بما في ذلك تأثيرات مضادة للأكسدة ومضادة للإلتهابات ومضادة للميكروبات ومضادة للسرطان. ومع ذلك، فإن ضعف قابلية الذوبان المائي وإنخفاض التوافر البيولوجي للكركمين يمثلان تحديات كبيرة تحد من فعاليته ونشاطه الحيوي. ولمعالجة هذه القيود، ركزت الجهود المكثفة على تطوير أنظمة توصيل فعالة لتعزيز قابلية ذوبان الكركمين والتوافر البيولوجي بإستخدام الأساليب القائمة على تكنولوجيا النانو بما في ذلك الجسيمات النانوية البوليمرية، والناقلات القائمة على الدهون، والتشعبات، وأنظمة الهلام النانوي، والتي أظهرت وعداً خاصاً كمصفوفات متعددة الإستخدامات للتغليف. والتحكم في حركية إطلاق المواد الكارهة للماء مثل الكركمين. تشتمل النانوجيلات على شبكات بوليمر متشابكة يمكن أن تنتفش في البيئات المائية وتوفر خزاناً متوافقاً حيوياً لدمج بنية الكركمين الكارهة للماء وربما تحسين توافره البيولوجي. من بين تقنيات تصنيع الهلام النانوي المختلفة، تقدم البلمرة المستحثة بالإشعاع طريقاً أخضراً ومباشرًا لتصنيع الهلام النانوي ببنية خاضعة للرقابة حيث يمكن للإشعاع المؤين أن يولد جذورًا تفاعلية تتيح البلمرة والتشابك المتزامن في المحاليل المائية، ويوفر تشعيع جاما على وجه الخصوص مزايا الإختراق العميق وإنخفاض تحلل البوليمر والقدرة على الإنتاج النظيف غير مضر للبيئة يجعلها مناسبة تماماً لتحضير المواد الهلامية النانوية من البوليمرات المتوافقة حيوياً للتطبيقات الطبية الحيوية على الرغم من أن إدماج الكروكمين مع النانوجل مستحدث نسبياً. لا يزال ضمان السلامة الميكروبية وإطالة العمر الإفتراضي للأغذية الطازجة، وخاصة الفواكه والخضروات سريعة التلف، يمثل تحدياً مستمراً لصناعة الأغذية وتوفير طعام مع الزيادة السكانية.

وقد تم إعتماد تقنيات حفظ مختلفة لزيادة العمر الإفتراضي للمنتجات وتعزيز سلامة الأغذية، ولكن كل نهج يعاني من قيود وسلبيات. يمكن للتخزين المبرد والتعبئة في الغلاف الجوي المعقم أن يبطئا النضج والشيخوخة، لكنهما ينطويان على تكاليف طاقة عالية ويغيران الخصائص الحسية للطعم. توفر المعالجة الحرارية تعطيلاً للميكروبات ولكنها تؤدي إلى تدهور العناصر الغذائية الحساسة للحرارة وتؤثر على جودة المنتج كلون والطعم. أيضاً توفر المواد الحافظة المضافة مثل ثاني أكسيد الكبريت تأثيرات مضادة للفطريات ومضادة للبكتيريا ولكنها تثير تصورات المستهلك السلبية فيما يتعلق بالمواد المضافة الإصطناعية. وبالتالي، هناك حافز لتطوير إستراتيجيات حفظ بديلة يمكنها التغلب على هذه العيوب من خلال توفير حماية متعددة الأهداف مضادة للبكتيريا ومضادة للفطريات دون المساس بجودة الغذاء. وفي هذا السياق، أظهرت أنظمة التسليم المعتمدة على تكنولوجيا النانو إمكانات واعدة كمنصات جديدة لحفظ الأغذية. إن التغليف النانوي للمواد الكيميائية النباتية المضادة للميكروبات المستخرجة من الأعشاب الطبية التقليدية والتوابل في حاملات الجسيمات النانوية البوليمرية الحيوية يمكن أن يسمح بإطلاقها المتحكم فيه على أسطح الطعام لمنع تكاثر الميكروبات دون تغيير الخصائص الطبيعية للمنتج. على وجه التحديد، جذبت المواد المحملة بالكركمين الإنتباه بإعتبارها طلاءات نانوية مضادة للميكروبات للفواكه والخضروات من خلال توفير إطلاق مستدام للكركمين مع تعزيز قابليته للذوبان وإستقراره الكيميائي. إن تغليف الكركمين في المواد النانوجيل، وهي عبارة عن شبكات بوليمر محبة للماء متشابكة ولاتذوب في الماء، يمكن أن يتغلب على هذا القيد. يوفر تغليف النانوجيل مصفوفة رطبة لدمج الكركمين وتعديل حركية إطلاقه إستجابة للمحفزات البيئية مثل الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة ووجود الإنزيم على سطح الطعام. يمكن تغليف جزيئات النانوجيل كأغشية رقيقة صالحة للأكل على أسطح المنتجات. يؤدي إطلاق الكركمين الناتج عن المحفزات إلى إحداث تأثير مضاد للميكروبات عن طريق الإنتشار في المصفوفة الغذائية والتفاعل مع مسببات الأمراض على السطح الغذاء قبل تمكنة من إختراق أنسجة الفاكهة وإتلافها. كما يقوم

الكركمين المنطلق بتثبيط الأكسجين المتولدة أثناء تلف الطعام من خلال قدرته المضادة للأكسدة. ومع ذلك، فإن هندسة خصائص حامل النانوجيل بدقة أمر ضروري لضمان تحميل جيد وفعال للكركمين مع تحقيق مميزات تؤهلة للإستخدامات الواعدة. يجب على الباحث الأخذ فى الاعتبار بعض الشروط لتحسين المواد المستخدمة فى تطبيق التغليف وحفظ الأغذية مثل تكوين البوليمر من مركبات طبيعية غير مضرة للإنسان، وكثافة الإرتباط المتبادل بين المواد المستخدمة فى التحضير يكون كبير، وتوزيع حجم الجسيمات فى حيز النانو، وحساسية المواد المحضرة للمحفزات مثل الأنزيمات والاس الهيدروجينى يكون كبير لتحقيق التوازن بين كفاءة التغليف العالية مع حركيات إطلاق الكركمين المصممة بما يتناسب مع مدة صلاحية الطعام. تمثل المواد النانوية المستجيبة للبيئة والتي يمكنها إطلاق الكركمين إستجابة للمحفزات الفيزيائية أو الكيميائية التي يتم إنتاجها جوهرياً أثناء إنتشار الميكروبات وتلف الطعام مواد مثالية. على سبيل المثال، يمكن أن توفر المواد النانوجيل المصنعة من بوليمرات حساسة للأس الهيدروجيني إطلاق الكركمين الناجم عن إنخفاض الأس الهيدروجيني المصاحب لفساد الطعام. وبالمثل، فإن المواد النانوجيل المصممة للتحلل إستجابة للإنزيمات التي تفرزها الكائنات الحية الدقيقة المسببة للتلف يمكنها أيضاً تحقيق إطلاق الكركمين المتزامن. تعمل خاصية الإطلاق المستجيب للجيلات النانوية على تقليل إنتشار الكركمين في الأطعمة حتى بداية الفساد، مما يوفر عملاً مضاداً للميكروبات أكثر استهدافاً وفعالية. يعمل تغليف النانوجيل أيضاً على تحسين الثبات الكيميائي للكركمين مقارنة بشكله الحر، مما يعزز فعالية الحفظ. بالإضافة إلى ذلك، يمكن تحسين توزيع حجم الجسيمات لنظام توصيل النانوجيل بحيث يوفر مساحة سطحية كافية لتحميل الكركمين العالي مع السماح بالطلاء الفعال والإنتشار في شقوق ومسام الطعام. تهدف هذه الدراسة إلى تطوير نظام نانوجيل مُصنَّع بإشعاع جاما من عديد (حمض الأكريليك) /جيلاتين/ عديد إيثيلين جلايكول (**PAAc/G/PEG**) لتغليف الكركمين وتعزيز قابليته للذوبان مع تقييم كمية إطلاقه المستجيب لدرجة الحموضة وفعاليته في تطبيقات حفظ الفاكهة مثل الفراولة.

البوليمرات المستخدمة عبارة عن بوليمرات متوافقة حيوياً قادرة على تكوين مجمعات بوليمرية من خلال الترابط الهيدروجيني تحت ظروف الأس الهيدروجيني الحمضية مما يسهل تكوين النانوجيل بإستخدام الإشعاع المؤين مثل أِشعة جاما. يساعد عديد ايثيلن جليكول أيضاً في إذابة الكركمين فى الماء من خلال دمجهم مع بعض بإستخدام تقنية (التشتت الصلب المتوسط). تتضمن الأهداف المحددة تصنيع المواد النانوية **PAAc/G/PEG** مع تحميل الكركمين بإستخدام أشعة جاما متبوعاً بمطيافية تحويل فوريه للأشعة تحت الحمراء (**FTIR**) لتأكيد إقتران **PEG**–الكركمين. سيتم تقييم ملفات تعريف إطلاق الكركمين المعتمدة على الرقم الهيدروجيني لتحديد خصائص الإستجابة للمحفزات في نظام النانوجيل. سوف يوضح المجهر الإلكتروني النافذ (**TEM**) حجم وشكل وبنية النانو للجيلات النانوية بينما يقترح الآليات المحتملة التي تحكم تكوين مجموعات النانوجيل المعقدة الشبيهة بالزهرة بناءً على الخصائص الهيكلية المجهرية. وأخيراً، سيتم مقارنة فعالية تغليف الكركمين النانوية بالكركمين وحده لحفظ الفاكهة ضد التلوث الفطري في ظل ظروف التدهور المتسارع. الفرضية المركزية هي أن نظام **PAAc/G/PEG** النانوي المُصنَّع بأشعة جاما يمكنه تغليف الكركمين وتسهيل الإطلاق المستدام الناتج عن الرقم الهيدروجيني لتعزيز قابلية ذوبان الكركمين والفعالية العلاجية.

الجزء التجريبي

1- المواد:

بولي إيثيلين جلايكول (PEG 6000 M.wt من شركة BASF Japan) الموجودة في طوكيو, اليابان. كما تم شراء الكركمين، الذي يحمل الرقم " CAS "458-37-7 من Sigma-Aldrich، وهي شركة مقرها في سانت لويس، الولايات المتحدة الأمريكية. وتمت عملية شراء الجيلاتين، التي يكون رقمها CAS 9000-70-8، من شركة Loba Chemie في مومباي الهند. أما مونومر

حمض الأكريليك 99%، فتم توفيره من قبل شركة Sigma–Aldrich جميع المواد الكيميائية والمذيبات والكواشف الأخرى التي تم إستخدامها في الدراسة تم إستخدامها دون مزيد من التنقية.

2- التحضير بإستخدام الإشعاع الجامى لمتراكبات نانومترية شبيه بالزهرة من PAAc/G/PEG:

إن تحضير نانوجيل الغروي في شكل يشبه الزهرة يتبع في المقام الأول تفاعل البلمرة الجذري الناجم عن تشعيع جاما. تتضمن العملية تعريض خليط التفاعل إلى 30 كيلو جراي من أشعة جاما بمعدل جرعة 0.88 كيلو جراي. تم التشعيع فى وحدة التشعيع الجامى ، بإستحدام خلية Co60، في المركز القومي لبحوث وتكنولوجيا الإشعاع (NCRRT) ، هيئة الطاقة الذرية المصرية، القاهرة، مصر. تعتمد الطريقة على تكوين مجمعات بوليمرية من البوليمرات النانوية متعددة من (حمض الأكريليك) مع بعض البوليمرات غير الأيونية في المحاليل المائية. يُظهر إستخدام تشعيع جاما كآلية تحفيز دور البلمرة المستحثة بالإشعاع في تحقيق بنية جيل النانو الغروية المرغوبة. توفر هذه الطريقة وسيلة محكمة وفعالة لتصنيع المواد جيل النانوية، مما يوفر خصائص فريدة وتطبيقات محتملة في مختلف المجالات. تتضمن العملية إذابة 0.07 جم من مادة مشتتة صلبة تحتوي على بولي إيثيلين جليكول و الكركمين، (PEG/Cur) يُشار إليه بالمحلول أ، في 100 مل من الماء. هذه الخطوة أمر بالغ الأهمية لتسهيل حل مكون الكركمين عن طريق تقنية التشتت الصلب. لإنشاء طريقة التشتت الصلب، يتم حل 0.5 جرام من PEG و 0.1 جرام من الكركمين في البداية في 10 مل من الأيزوبروبانول. بعد الذوبان الكامل، يُسكب المحلول الناتج من (PEG/Cur) في طبق بيتري ويُترك ليتبخر، مما ينتج عنه مسحوق جاف من

(PEG/Cur). تهدف تقنية التشتيت الصلب المستخدمة في هذه العملية إلى تعزيز قابلية الذوبان والتوافر الحيوي للكركمين، وهو مركب كاره للماء كما هو معلوم، من خلال دمجه في مصفوفة PEG المحبة للماء. ثم تم إذابة 0.1% (وزن/حجم) من الجيلاتين (G) في 100 مل من الماء لتكوين محلول الجيلاتين. تم إضافة 2.5 مل من مونومر حمض الأكريليك قطرة قطرة إلى محلول الجيلاتين مع التحريك، ويشار إليه بالمحلول ب. ضبط الرقم الهيدروجيني للمحلول ب إلى 1 بإستخدام حمض الهيدروكلوريك (حمض الهيدروكلوريك، 35.5 ٪ بالوزن). تصفية الخليط فى مرشح لإزالة أي شوائب. إدخال المحلول ب إلى خلية التشعيع الجامى بجرعة 30 كيلو جراي. سيبدأ البادئ في تفاعل البلمرة بمجرد التعرض للإشعاع. ومع تقدم تفاعل البلمرة، يتحول المحلول الصافى إلى محلول عكر، مما يشير إلى تكوين النانوجيل من p(AAc /G). تم ضبط الرقم الهيدروجيني بإستخدام قطرات من حمض الهيدروكلوريك (35.5٪ بالوزن) أو (30٪) KOH ليكون 6. عند الرقم الهيدروجيني 6، سيصبح المحلول واضحاً بسبب فتح وإلغاء الترابط بين خيوط pAAc و G . في هذه المرحلة، يتم خلط محلول أ الى ب تحت تأثير الموجات الفوق صوتية. بعد ذلك يتم ضبط الرقم الهيدروجيني للمحلول الذي تم الحصول عليه ليكون 4.5 عند هذا الرقم الهيدروجيني، يتكون مرة اخرى المركب النهائى النانوجيل لـ p(AAc/G/PEG)/Cur . يوفر هذا النهج طريقة لتحضير المواد النانوجيل الشبيهة بالزهور، والتي يمكن إستخدامها في تطبيقات مختلفة نظراً لبنيتها وخصائصها الفريدة.

3- تطبيق حفظ الفاكهة بواسطة إستخدام p(AAc /G/PEG)/Cur:

يعتبر PEG والكركمين معترف بهما بشكل عام على أنهما آمنان (GRAS) من قبل إدارة الغذاء والدواء. يمكن أن يساعد طلاء الفاكهة بمادة PEG والكركمين قبل التجفيف في الحفاظ على جودة الفاكهة المجففة وتغذيتها لتخزينها لفترة أطول.

يمكن أن يبطئ PEG فقدان الرطوبة ويساعد على منع جفاف الفاكهة بشكل مفرط. ومن ناحية أخرى، يعمل الكركمين كعامل مضاد للأكسدة ومضاد للميكروبات. فهو يساعد على منع الأكسدة ونمو الميكروبات على سطح الفاكهة، مما قد يساهم في وقف تدهور جودة الفاكهة أثناء التخزين. بالإضافة إلى ذلك، وجد أن الكركمين له فوائد صحية محتملة، مما يجعله عنصراً مرغوباً فيه للحفاظ على القيمة الغذائية للفاكهة. من خلال الجمع بين خصائص الإحتفاظ بالرطوبة لـ PEG مع خصائص الكركمين المضادة للأكسدة والمضادة للميكروبات، يمكن أن يساعد الطلاء في الحفاظ على لون الفاكهة ونكهتها وملمسها ومحتواها الغذائي لفترة أطول. من المهم ملاحظة أن التركيزات المحددة وطرق تطبيق PEG والكركمين قد تختلف إعتماداً على النتيجة المرجوة ونوع الفاكهة التي يتم حفظها. وينبغي أيضاً مراعاة ظروف التخزين المناسبة، مثل درجة الحرارة والرطوبة، لضمان نتائج الحفظ المثلى.

تصف التعليمات التالية تطبيق طلاءات((PEG/PAAc/G)/Cur nanogel لحفظ الفاكهة. على النحو التالى:

أ– . يتم نثر 0.2 مل من المحلول الغروي (PEG/ PAAc /G/Cur) في 200 مل من الماء المقطر لتحضير المحلول الذي سيتم استخدامه لطلاء الثمرة.

ب– . غسل الفاكهة وتحضيرها: يتم تنظيف قطع الفاكهة وتحضريها كالمعتاد. يتم أزالة أي أجزاء غير مرغوب فيها والتأكد من أنها جاهزة للطلاء.

ت– يتم غمس الفاكهة بمحلول :Curcumin/ pAAc /G/PEG لمدة دقيقتين، مع التأكد من أنها مغلفة بالتساوي. سيساعد مكونPEG الموجود في المحلول على ربط الكركمين بسطح الفاكهة لتوفير حماية أفضل.

ث– يتم وضع وتخزين الفواكه المغلفة في ظروف شديدة السوء (منطقة غير جيدة التهوية عند درجة حرارة تتراوح بين 27–40 درجة مئوية ورطوبة من 55 الى

86%). مع التأكد من عدم تطبيق أي إجراءات تعقيم أو حفظ إضافية لتقليد ظروف التخزين المعتادة.

ج- مراقبة حفظ الفاكهة: بمجرد تغطية الفاكهة المغلفة بالكامل. يتم التقاط صوراً للفاكهة يومياً لمراقبة التغيرات في اللون والملمس والمظهر حتى تفسد الفاكهة في النهاية. وهذا سيسمح لنا بتقييم فعالية طلاء PEG مع الكركمين في الحفاظ على جودة الفاكهة.

4- التوصيف:

تم فحص التركيب الكيميائي للكركمين والبولي إيثيلين جلايكول (PEG) بإستخدام التحليل الطيفي للأشعة تحت الحمراء (ATR-FTIR) للإنعكاس الكلي المخفف وتحويل فوريه (ATR-FTIR) للتأكد من قابليتهما للإمتزاج. تم إجراء التحليل الطيفي ATR-FTIR على مطياف Vertex 70 FTIR بإستخدام مجهر سلسلة HYPERION™ من شركة Bruker Optik GmbH، ألمانيا، ويغطي نطاقاً يتراوح بين 4000-400 سم$^{-1}$ وبدقة 4 سم$^{-1}$. بالإضافة إلى ذلك، تم فحص شكل وحجم حمض (البولي أكريليك/الجيلاتين/عديد ايثلين جليكول /الكركمين Cur nanogel/(G/PEG/ PAAc) بإستخدام المجهر الإلكتروني للإرسال (TEM) على جهاز JEOL JEM 2100 عند جهد تسارع قدره 200 كيلو فولت. تم تحضير العينات عن طريق تشتيتها في الإيثانول من خلال المعالجة بالموجات فوق الصوتية لمدة 6 دقائق، وتم تطبيق المعلقات الناتجة على شبكات الكربون/النحاس القياسية للمراقبة. تم تصميم وتصنيع نموذج المجهر الإلكتروني الماسح ZEISS EVO 15 (SEM) بواسطة Carl Zeiss Microscopy، الشركة الرائدة في مجال توفير حلول الفحص المجهري لفحص مورفولوجية مسحوق الكورومين وعينات (PEG/Cur). تعد كاميرا EVO 15 SEM جزءًا من سلسلة

ZEISS EVO، المعروفة بقدراتها التصويرية عالية الأداء وتعدد إستخداماتها في مختلف التطبيقات

النتائج والمناقشة:

1–تأكيد الإقتران بين كركمين وعديد ايثيلين جليكول بإستخدام FTI:

تصف المعلومات المقدمة فى شكل 1 تحليل أطياف الأشعة تحت الحمراء لتحويل فورييه لـ الكركمين/ PEG. تشير النتائج إلى تغيرات في القمم المميزة لـ PEG والكركمين بعد الاقتران، مما يؤكد التكوين والإندماج التام بينهم. وفيما يلي ملخص لبيانات النتائج. الشكل 1 أ يمثل القمم المميزة لجزيئات الكركمين الموجودة في 3501 سم–1. من المحتمل أن ترتبط هذه الذروة بإهتزاز و تمدد OH لمجموعة الهيدروكسيل . تتوافق الذروة مع إهتزاز التمدد غير المتماثل والمتماثل لمجموعات الهيدروكربونات الأليفاتية (غير العطرية) CH عند 2976 سم–1 و2768 سم–1 على التوالي. تتوافق ذروة FTIR مع إهتزاز التمدد C=O والعطري C=C، مما يشير إلى وجود روابط مزدوجة مترافقة في الحلقات العطرية للكركمين عند 1592 سم–1 و1631 سم–1، على التوالى. تتوافق الذروة مع إهتزاز إنحناء روابط CH العطرية وتقع عند 1422 سم–1 . ترتبط الذروة بإهتزاز C=O الممتد لمجموعة الإستر (O–C=O) ومجموعة الأثير (COC) ومجموعة الفينول (C–OH) وتقع عند 1271 سم –1 و1194 سم–1 و1024 سم–1 على التوالى. تتوافق الذروة مع إهتزاز إنحناء CH لمجموعات الهيدروكربونات الأليفاتية عند 1150 سم–1 أيضاً، قد تترافق الذروة مع إهتزاز إنحناء CH لمجموعات الهيدروكربونات الأليفاتية، الموافق لإهتزاز إنحناء CH خارج الحلقات العطرية الموجودة عند 959 سم–1 و855 سم–1 على التوالي. تشير قيمة الذروة الجديدة عند 3389 سم–1 في الشكل 1ب إلى وجود رابطة هيدروجينية أو ربما التفاعل بين مجموعة OH من PEG ومجموعات OH

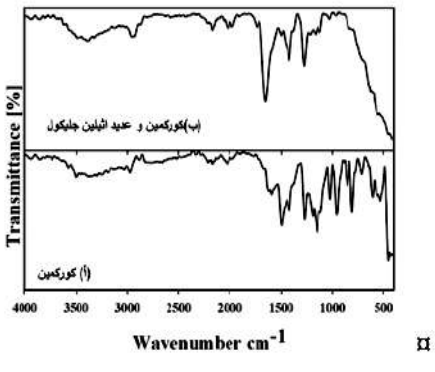
وC=O من الكركمين. تتوافق الذروة الواقعة عند 1736 سم−1 مع إهتزاز التمدد C=O لمجموعة الكربونيل (C=O) الموجودة في أي من الكركمين. هذا التحول في مجموعات C=O يعني تغيرات بسبب تفاعل الكركمين مع PEG توفر هذه الملاحظات في طيف FTIR دليلاً على تفاعلات بين مجموعة الهيدروكسيل في PEG ومجموعة الهيدروكسيل أو كربونيل في الكركمين، ربما من خلال الروابط الهيدروجينية. يمكن أن تلعب هذه التفاعلات دوراً مهماً في إستقرار وخصائص إتحاد PEG مع الكركمين. ومن الجدير بالذكر أن الطبيعة المحددة للتفاعل وقوة الرابطة الهيدروجينية يمكن أن تختلف تبعا للظروف التجريبية وطريقة الإقتران المستخدمة.

2- تأكيد الإقتران بين كوركمين وعديد ايثيلين جليكول بإستخدام تحليل حيود الأشعة السينية XRD :

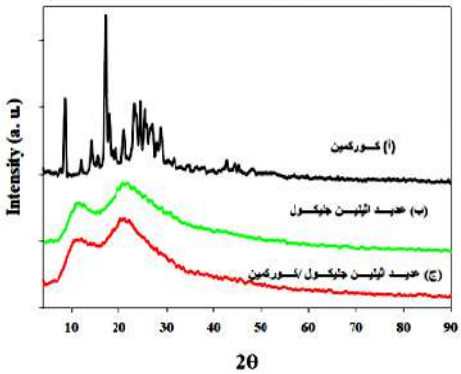
أظهر الشكل 2 قمم XRD لعينات الكركمين عند قيم θ2 بلغ 7.7 درجة، 8.67 درجة، 11.93 درجة، 14.28 درجة، 15.5 درجة، 17.13 درجة، 17.87 درجة، 18.55 درجة، 19.21 درجة، 21.00 درجة، 23.16 درجة، 23.64 درجة، 24.39 درجة، 25.92 درجة، 26.56 درجة، 27.10 درجة، 27.9 درجة و28.82 درجة. تقع قمم XRD منخفضة الكثافة عند 7.7 درجة، 11.93 درجة، 15.5 درجة، 18.55 درجة، 19.21 درجة، 25.92 درجة، 26.56 درجة، 27.10 درجة، 27.9 درجة. بالإضافة إلى ذلك، تقع قمم XRD عالية الكثافة عند 8.67 درجة و23.16 درجة و23.64 درجة و24.39 درجة و28.82 درجة. هذه القمم تعني أن التركيب البلوري أحادي الميل للكركمين 1 هو الاكثر إتاحة. تم التأكد عن أن الكركمين له بنية بلورية أحادية الميل. النظام البلوري أحادي الميل هو أحد الأنظمة البلورية السبعة في علم البلورات. ويتميز بوجود ثلاثة محاور بلورية غير متساوية، حيث يوجد محوران متعامدان مع بعضهما البعض والمحور الثالث يميل

بزاوية 90 درجة على المحورين الآخرين. ينتج التركيب البلوري أحادي الميل للكركمين عن ترتيب جزيئاته مع أقوى الروابط الهيدروجينية داخل الجزيئات بين مجموعات OH و C=O في الشبكة البلورية، المسؤولة عن شكلها الشبيه بالقضيب. بالإضافة إلى ذلك، فإن حيود الأشعة السينية لعينة الكركمين عند قيم 02 =18.55 درجة و25.92 درجة و26.56 درجة يتوافق مع نمط XRD المُبلغ عنه في الكركمين 2 في بعض الدراسات. القمم المميزة للكركمين 3 عند قيم θ2 تبلغ 14.28 درجة، 17.13 درجة، 17.87 درجة، 21.00 درجة في دراسات حيود الأشعة السينية (XRD). تتوافق هذه القمم مع زوايا الحيود التي تظهر فيها الشبكة البلورية للكركمين 3 إنعكاسات قوية الشدة مقارنة بالشكل 2. وهذا يعني أن الكركمين II (النظام البلوري المعيني التقويمي) أقل وجوداً من الكركمينIII. يُظهر النموذجان مورفولوجيا تشبه الورقة. من خلال تحليل نمط XRD لعينة الكركمين، يمكننا أن نستنتج أن الكركمين له ثلاثة أشكال متعددة الأشكال. لقد ورد في الأدبيات أن الشكلين 2 و3 من الكركمين وجد أنهما أقل إستقراراً ويتحولان إلى الشكل 1 الأكثر إستقراراً. ويمكن أن يعزى إستقرار النموذج 1 إلى العدد الأكبر من تفاعلات الترابط الهيدروجيني بين جزيئات الكركمين. في بنيتها البلورية أحادية الميل، يعد الترابط الهيدروجيني أمراً بالغ الأهمية في تحديد إستقرار الجزيئات وترتيب التعبئة في الشبكة البلورية. في حالة الكركمين، تؤدي المزيد من تفاعلات الروابط الهيدروجينية في الشكل 1 إلى بنية بلورية أكثر إستقراراً من الشكلين 2 و3. تساهم أنماط وترتيبات الترابط الهيدروجيني المحددة في الشكل 1 من الكركمين في تعزيز القوى بين الجزيئات، مما يعزز إجمالي إستقرار البلورة وجعلها أقل قابلية للذوبان على مدى واسع من قيم الأس الهيدروجيني، وتميل الأشكال المعينية التقويمية والثلاثية إلى أن تكون ذات قابلية ذوبان أعلى في المذيبات. تم عرض نمط حيود الأشعة السينية (XRD) لعديد اثيلن جليكول (PEG)

في الشكل 2 ب. تقع قمم XRD المميزة لـ PEG عند قيم θ2 تبلغ 10.92 درجة و20.78 درجة و21.52 درجة. تتوافق هذه القمم مع بنية غير متبلورة لـ PEG، وهي بنية غير متبلورة ولها وحدة متكررة عديد بولى اثيلين. يوضح الشكل 2 ج نمط حيود الأشعة السينية (XRD) لمركبPEG/الكركمين، والذي يعتمد على الطبيعة البلورية وترتيب كل من PEG والكركمين داخل المركب. من المعروف أن PEG له بنية غير متبلورة أو شبه بلورية، بينما يوجد الكركمين في أشكال بلورية متعددة الأشكال، كما ذكرنا سابقاً. من المحتمل أن يظهر نمط XRD لمركب PEG/Curcumin غير متبلور مع مجال قمم XRD المميزة لـ PEG في هذه الحالة، فإن نمط XRD لمركب/PEG الكركمين سيُظهر في الغالب التشتت الواسع من مكون PEG غير المتبلور، دون قمم مميزة مميزة للكركمين. تعني الطبيعة غير المتبلورة لـ PEG أنها تقلل من الترتيب ومستويات الشبكة البلورية المحددة جيدًا للكركمين، مما يؤدي إلى عدم وجود قمم حيود حادة في نمط XRD الخاص به.



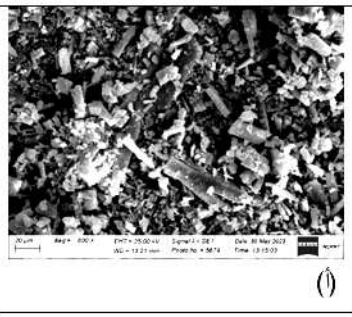
شكل 1 طيف FTIR لـ (أ) الكركمين و (ب) الكركمين المترافق مع جزيئات PEG.



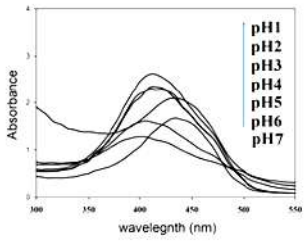
شكل 2 نمط XRD لـ (أ) الكركمين (ب) عديد أثيلين جليكول و (ج) الكركمين المترافق مع جزيئات عديد أثيلين جليكول

3- تحليل الميكرسكوب الإلكترونى الماسح SEM لـ (Cur) و (PEG/Cur):

يوضح الشكل 3 البلوري لمسحوق الكركمين، ويعرض تركيبه البلوري المميز. في المقابل، يعرض الشكل 3 ب صورة SEM للكركمين مقترناً بجزء عديد اثيلين جليكول، مما يؤدي إلى حبيبات غير متبلورة. يعزز هذا التعديل قابلية ذوبان الكركمين في الماء مقارنة بالكركمين وحده. يساهم الهيكل غير المتبلور للشكل المترافق في تحسين خصائص الذوبان، مما يوفر تقدماً واعداً في التوافر البيولوجي وإمكانية تطبيق الكركمين في المحاليل المائية."



الشكل 3 : صورة SEM لـ (أ) الكركمين و (ب) الكركمين مع عديد أثيلين جليكول



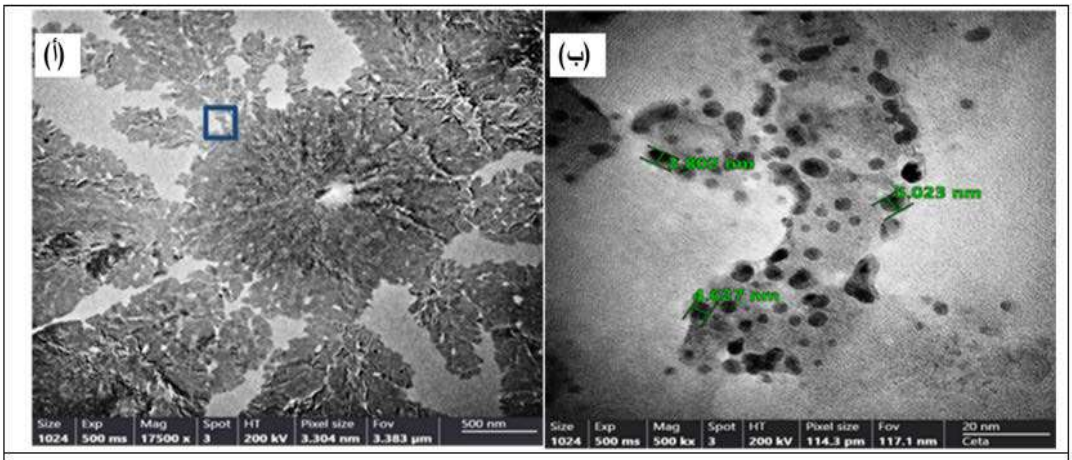
الشكل 4: التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية المرئية لإطلاق الكركمين المعتمد على الرقم الهيدروجيني

4- إطلاق الكركمين المعتمد على الرقم الهيدروجيني من Nanogel (PAAc/G/PEG).

5- تحليل الميكرسكوب الإلكترونى النافذ TEM لـ (PAAc/PEG/G)

صور TEM في الشكل 5 يُظهر بنية تشبه الزهرة تتشكل من خلال التجميع الذاتي لبنات البناء النانو التي تشتمل على الكركمين الكاره للماء في القلب. أشكال

الزهرة موحدة نسبياً وتتراوح أقطارها من 2 إلى 3 ميكرومتر (الشكل 5 أ). إن العصي النانوية المركبة المكونة من عدة مئات من جزيئات النانوجيل الكروية التي تشكل شكل الزهرة لها أقطار في نطاق عدة مئات من النانومترات ولها نهايات منحنية. والجدير بالذكر أن الصورة المجهرية TEM تكشف عن وجود جزيئات كروية فردية من النانوجيل يبلغ حجمها 5 نانومتر داخل هياكل الزهرة هذه، مما يشير إلى التجميع الذاتي لنمو القضبان على طول الإتجاه الأساسي (الشكل 5 ب). يقدم الشكل 5 ب دليلاً على عملية التجميع الذاتي متعددة الخطوات، حيث تشكل الجسيمات الكروية النانوية أعواداً نانوية تنتظم بعد ذلك في هياكل فوقية أكثر إتساعاً تشبه الزهرة. يبدو أن Cur nanogel/ (PAAc/PEG/G) يلعب دوراً مهماً في التحكم في التشكل في كل مستوى هرمي للتجميع. توفر هذه الملاحظات دليلاً على أن جزيئات النانوجيل تخضع للنمو والتجمع على طول الإتجاه الأساسي، مما يؤدي إلى تكوين مورفولوجيا تشبه الزهرة.



الشكل 5: تحليل TEM لـ Cur/)PAAc/PEG/G(

6- تقيم PAA /G/PEG/Curcumin في حفظ الفاكهة (الفراولة):

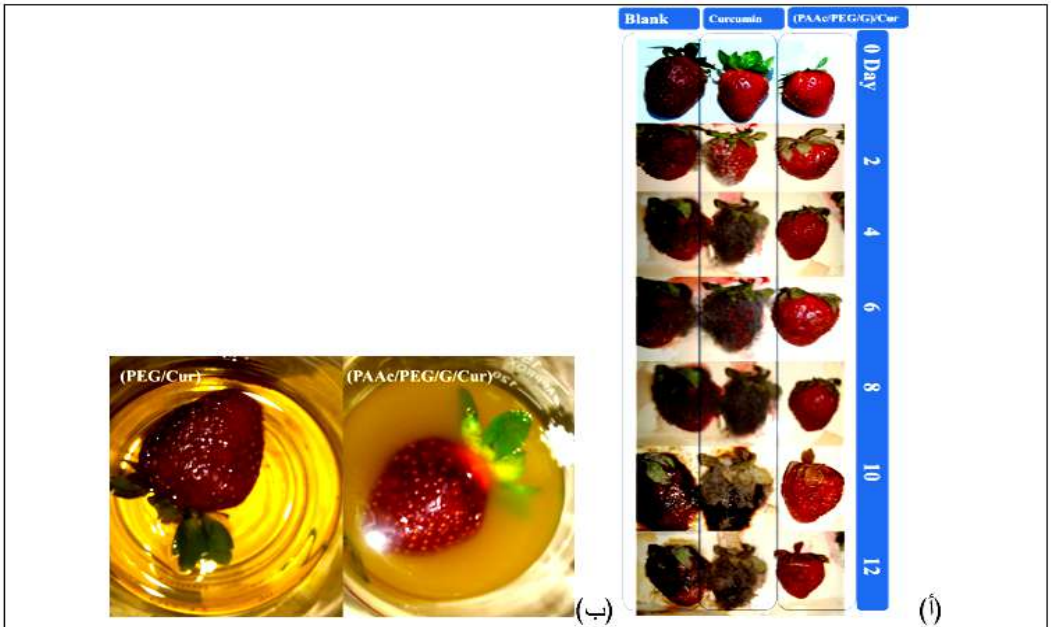
يوضح الشكل 6 عملية تغليف ثمرة الفراولة بنقعها في محلول (PEG/Cur) و(PAAc/PEG/G/Cur) دراسة مقارنة بين الفعالية والحماية في ظروف التخزين غير المثالية. إن وضع وتخزين الثمار المغلفة في منطقة غير جيدة التهوية عند درجة حرارة تتراوح بين 27–40 درجة مئوية دون تعقيم أو إجراءات حفظ. يمكن أن يؤدي تخزين الثمار المغلفة في منطقة غير جيدة التهوية وفي درجات حرارة أعلى إلى خلق بيئة تؤدي إلى تسريع تدهور الثمرة. الشكل 6 ب أظهر أن وضع الثمار المطلية بمادتى (كركمين مع البولى اثيلين جليكول) و (PAAc/PEG/G/Cur) تحت ظروف تخزين أقل من مثالية يمكن أن يكون مناسباً كتحدي تجريبي لتقييم فعالية الطلاء مقارنة بعينة التحكم. شروط الحفظ مغلفة بـ (PAAc/PEG/G/Cur) توفير نتائج حفظ أفضل وأكثر فعالية من المعالجة نفسها وكان زمن الحفظ (12) يوماً. يمكن أن يرجع ذلك إلى العوامل التالية:

أ- من المحتمل أن يخترق محلول النانوجيل بشكل أعمق في الثمار أثناء الطلاء. وهذا يؤدي إلى توزيع أكثر توازناً لمضادات الأكسدة الكركمين داخل أنسجة الفاكهة.

ب- قد يظهر طلاء النانوجيل ملف تعريف إطلاق مختلف مقارنةً بالكرومين بسبب طبيعة المواد وتفاعلاتها مع الكركمين. في حالة طلاء الهلام النانوي، قد يكون للكركمين ميل أكبر للتحرر من الطلاء أثناء التخزين. يمكن أن يوفر هذا الإطلاق المستمر للكركمين حماية مستدامة مضادة للأكسدة للفواكه المغلفة مع مرور الوقت. يمكن أن يتفاعل الكركمين المنطلق مع الأكسجين والأنواع التفاعلية الأخرى، مما يساعد على منع الأكسدة والحفاظ على جودة الثمار.

ت- يعتبر PEG والكركمين أكثر توافقاً مع سطح ثمرة الفراولة، مما يسمح لهما بتكوين طبقة أكثر تجانساً وثباتاً.

ث- من المحتمل أن يشكل طلاء PEG أحادي البوليمر طبقة أرق وأكثر سلاسة وأكثر توازناً على الثمار. بالإضافة إلى ذلك، يظهر الجانب الأيسر، الذي يواجه عينة المراقبة، تلوثاً بفطر Botrytis cinerea، والذي يشير إليه نمو الفطريات. تشير هذه النتيجة إلى أن طبقة (PEG/G)/Cur توفر حاجزاً وقائياً ضد عدوى Botrytis cinerea، مما قد يمنع نمو الفطريات ويحافظ على جودة الفراولة.



الشكل 6: تأثير الحفاظ على ثمار الفراولة باستخدام عينتى الكركمين والبولى اثيلين جليكول وعينة (PAAc /PEG/G/Cur) (أ) بتقنية النقع، في منطقة غير جيدة التهوية عند درجات حرارة تتراوح بين 27-40 درجة مئوية، من المحتمل أن تكون دافئة ورطبة للغاية لتخزين الثمار على المدى الطويل، مما قد يؤدي إلى تسريع تلفها كما هو موضح في الشكل (ب) .

الخلاصة

توضح هذه الدراسة التطوير الناجح لحامل جل نانوي PAAc/G/PEG تم تصنيعه بواسطة تقنية التشعيع الجامى لتغليف الكركمين الكاره للماء وتعزيز قابليته للذوبان وتوافره البيولوجي. يؤكد التحليل الهيكلي تكوين بنى مجهرية هرمية تشبه الزهرة من خلال التجميع الذاتي المرحلي لمذيلات PAAc/G/PEG الكروية في أعواد نانوية مع الكركمين المدمج في القلب. يتحقق تحليل FTIR من تفاعلات محددة بين PEG والكركمين، مما يتيح الإقتران. يُظهر إطلاق الكركمين المعتمد على الرقم الهيدروجيني والذي يصل إلى الحد الأقصى عند الرقم الهيدروجيني 6 التوصيل القابل للضبط بناءً على الظروف البيئية. أثبتت دراسات حفظ الفاكهة المقارنة الحماية الفائقة التي توفرها طبقة الكركمين النانوية على الكركمين وحده في ظل ظروف التدهور المتسارع. بشكل عام، فإن قدرة نظام PAAc/G/PEG nanogel على تعزيز قابلية ذوبان الكركمين مع توفير إطلاق متحكم به بواسطة درجة الحموضة وتحسين الحفاظ على الفاكهة يسلط الضوء على تعدد إستخداماته في التوصيل العلاجي وتطبيقات حماية الأغذية. يمكن أن تساعد الجهود الإضافية لتحسين تصميم النانوجيل وتقييم فعاليته في النماذج الطبية الحيوية في ترجمة هذه المنصة الواعدة إلى إعدادات سريرية وصناعية. يوضح نهج التوليف الأخضر أيضاً إمكانات تقنيات تشعيع جاما لتصنيع المواد النانوية بسهولة ويسر.

محمد محمدى غباشى

البحوث الإشعاعية لقسم كيمياء البوليمرات، شعبة التشعيع الصناعي

المركز القومى لبحوث وتكنولوجيا الإشعاع (NCRRT)

هيئة الطاقة الذرية المصرية

References

.1 El-Saadony, M.T., et al., Impacts of turmeric and its principal bioactive curcumin on human health: Pharmaceutical, medicinal, and food applications: A comprehensive review. Frontiers in Nutrition, 2023. 9: p. 1040259.

.2 Wen, C., et al., Advances in lipo-solubility delivery vehicles for curcumin: bioavailability, precise targeting, possibilities and challenges. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023: p. 1-20.

.3 Mukherjee, D. and A. Krishnan, Therapeutic potential of curcumin and its nanoformulations for treating oral cancer. World Journal of Methodology, 2023. 13(3): p. 29-45.

.4 Ashwani, P.V., et al., Stimuli-Responsive and Multifunctional Nanogels in Drug Delivery. Chemistry & Biodiversity, 2023: p. e202301009.

.5 Hamzah, Y.B., S. Hashim, and W.A.W.A. Rahman, Synthesis of polymeric nano/microgels: a review. Journal of Polymer Research, 2017. 24: p. 1-19.

.6 Nunes, C., et al., Edible coatings and future trends in active food packaging–fruits' and traditional sausages' shelf life increasing. Foods, 2023. 12(17): p. 3308.

.7 Panou, A. and I.K. Karabagias, Biodegradable Packaging Materials for Foods Preservation: Sources, Advantages, Limitations, and Future Perspectives. Coatings, 2023. 13(7): p. 1176.

.8 Sang, X., et al., New passive modified atmosphere packaging to extend peaches shelf life at ambient TEMperature to reduce economic losses. British Food Journal, 2023. 125(4): p. 1504-1515.

.9 Singh, B., N. Pavithran, and R. Rajput, Effects of Food Processing on Nutrients. Current Journal of Applied Science and Technology, 2023. 42(46): p. 34-49.

.10 Rathee, P., et al., Polyphenols: natural preservatives with promising applications in food, cosmetics and pharma industries; problems and toxicity associated with synthetic preservatives; impact of misleading advertisements; recent trends in preservation and legislation. Materials, 2023. 16(13): p. 4793.

.11 Malik, S., K. Muhammad, and Y. Waheed, Nanotechnology: A revolution in modern industry. Molecules, 2023. 28(2): p. 661.

.12 Parham, S ,.S.-S. Parham, and H. Nur, Plant extracts: Antioxidant and antimicrobial properties and their effect of nanoencapsulation, in Nanotechnology in Herbal Medicine. 2023, Elsevier. p. 195-219.

.13 Satvekar, R., et al., Nanoformulations of natural compounds for herbicide and agri-food application, in New Horizons in Natural Compound Research. 2023, Elsevier. p. 427-443.

.14 Sabaghi, M., et al., Controlling release patterns of the bioactive compound by structural and environmental conditions: a review. Journal of Food Measurement and Characterization, 2023. 17(3): p. 2261-2284.

.15 Moghadam, F.A.M., et al., Preparation and physicochemical evaluation of casein/basil seed gum film integrated with guar gum/gelatin based nanogel containing lemon peel essential oil for active food packaging application. International Journal of Biological Macromolecules, 2023. 224: p. 786-796.

.16 Wu, J., et al., Recent nanotechnology-based strategies for interfering with the life cycle of bacterial biofilm. Biomaterials Science, 2023.

.17 Seididamyeh, M., et al., Photodynamic inactivation of Botrytis cinerea spores by curcumin—effect of treatment factors and characterization of photo-generated reactive oxygen species. Food and Bioprocess Technology, 2023: p. 1-16.

.18 Tao, R., et al ,.Recent advances in the design of controlled-and sustained-release micro/nanocarriers of pesticide. Environmental Science: Nano, 2023.

.19 Huang, H., et al., Polymer Complex Fiber: Property, Functionality, and Applications. ACS Applied Materials & Interfaces, 2023. 15(6): p. 7639-7662.

.20 Torbat, N.A., et al., Curcumin-Incorporated Biomaterials: In silico and in vitro evaluation of biological potentials. Coordination Chemistry Reviews, 2023. 492: p. 215233.

.21 Dong, Y., et al., Enzyme-responsive controlled-release materials for food preservation and crop protection-A review. International Journal of Biological Macromolecules, 2023: p. 128051.

.22 Said, N.S., I.F. Olawuyi, and W.Y. Lee, Pectin hydrogels: Gel-forming behaviors, mechanisms, and food applications. Gels, 2023. 9(9): p. 732.

.23 Ramesh, T.N., et al., Structure and morphological studies of curcuminoids and curcuminoid mixture. Journal of Crystal Growth, 2020. 547: p. 125812.

.24 Sanphui, P., et al., New polymorphs of curcumin. Chemical Communications, 2011. 47(17): p. 5013-5015.

.25 Ukrainczyk, M., B.K. Hodnett, and Å.C. Rasmuson, Process parameters in the purification of curcumin by cooling crystallization. Organic Process Research & Development, 2016. 20(9): p. 1593-1602.

.26 Thorat, A.A .and S.V. Dalvi, Solid-state phase transformations and storage stability of curcumin polymorphs. Crystal Growth & Design, 2015. 15(4): p. 1757-1770.

.27 Yuan, L., et al., Solvate formation of bis (demethoxy) curcumin: Crystal structure analyses and stability investigations. Crystal Growth & Design, 2018. 19(2): p. 854-867.

أخبار عربية وعالمية

كيف يمكن للتكنولوجيا النووية أن تحدث ثورة في مجال إعادة تدوير المواد البلاستيكية*

أنتج العالم 400 مليون طن من النفايات البلاستيكية في العام الماضي وحده. وفي حين أن العديد من المنتجات البلاستيكية ليست مصممة لإعادة الإستخدام وإعادة التدوير، فهناك منتجات أخرى لا يمكن إعادة تدويرها إلا مرة أو مرتين على الأكثر. كذلك فالمواد البلاستيكية المهملة ليست قابلة للتحلل البيولوجي، أي أنها لا تتفكك إلى مكونات كيميائية أبسط، بل تتكسر إلى جسيمات صغيرة تُعرف بالمواد البلاستيكية الدقيقة يمكن أن تكون سامة للبشر والبيئة.

إلى أن جاء حل مبتكر من خلال العلوم النووية، حيث تعكف الوكالة على تسخير التكنولوجيا النووية لفهم أزمة التلوث بالمواد البلاستيكية ومعالجتها في نفس الوقت. وتعمل مبادرة نيوتيك للمواد البلاستيكية التي أُطلقت في عام 2021 على مساعدة البلدان على إجراء بحوث عن المواد البلاستيكية الدقيقة الموجودة بالفعل في البحار وإستخدام التقنيات النووية لتحسين إعادة التدوير، ومن ثم التقليل في نهاية المطاف من تدفق النفايات البلاستيكية إلى المحيطات.

شاركت سيلينا هوراك خلال فعالية جانبية عن مبادرة نيوتيك للمواد البلاستيكية على هامش المؤتمر الدولي الثالث لتطبيقات العلوم والتكنولوجيا الإشعاعية.

حيث أشارت إلى أن الوكالة تعمل على جبهتين بالإستعانة بتكنولوجيات متطورة: فأولا، نعمل على إستخدام الإشعاع لصنع مواد بلاستيكية حيوية، ومن ثم توفير بديل مستدام للمواد البلاستيكية التقليدية المشتقة من البترول.

* المصدر: الوكالة الدولية للطاقة الذرية بتاريخ 2025/06/05.

بعبارة أبسط، نحن نعمل على إستحداث مواد جديدة تجمع بين القابلية للتحلل البيولوجي وسهولة إعادة التدوير. ولا يقلل هذا النهج من الإعتماد على الوقود الأحفوري فحسب، بل يدعم أيضاً إرساء إقتصادات دائرية من خلال تحويل النفايات العضوية إلى موارد قيمة.

وثانياً، نعمل على إستخدام التكنولوجيا الإشعاعية لتحويل النفايات البلاستيكية إلى منتجات أفضل على صعيد الإستدامة والمتانة والقيمة. فعلى سبيل المثال، يمكن إستخدام الإشعاع لتحسين أداء الخرسانة عن طريق الإستعاضة جزئياً عن الأسمنت بمواد بلاستيكية معاد تدويرها. وتُستخدم التقنيات النووية لتحسين فرز البوليمرات وفصلها في دوافق النفايات البلاستيكية المختلطة. ونحن نستكشف أيضاً إمكانية إستخدام التحلل الحراري بمساعدة الإشعاع لتحويل المواد البلاستيكية إلى أنواع مختلفة من الشمع والوقود وإضافات كيميائية قيمة أخرى.

من بين البلدان التي تتعاون مع الوكالة في إطار مبادرة نيوتيك للمواد البلاستيكية، والبالغ عددها 52 بلداً، أنشأت تسعة بلدان بالفعل محطات تجريبية لهذا الغرض، لتحول الأفكار إلى حقيقة واقعة. وتحرز هذه البلدان تقدماً سريعاً على صعيد مقياس مستويات الجاهزية التكنولوجية – وهو إطار متعارف عليه عالمياً من تسع مراحل يتتبع مستوى نضج التكنولوجيات من المفهوم إلى النشر التجاري.

ونحن نشهد بالفعل نتائج تبعث على الحماس وملموسة. وفي إندونيسيا والفلبين، يجري تطوير مركبات من الخشب والمواد البلاستيكية لأغراض البناء المستدام. وفي ماليزيا، يجري تحويل النفايات البلاستيكية إلى وقود. وفي الأرجنتين، أستُخدمت المواد البلاستيكية المعاد تدويرها في صنع عوارض متينة لقضبان السكك الحديدية أثبتت أداءً فعالاً في التجارب المبكرة.

وهذه المشاريع الرائدة ليست مجرد دليل على قابلية المفهوم للتنفيذ، بل هي دليل على التقدم صوب التنفيذ. ونتوقع أن تصل العديد من هذه التقنيات إلى المراحل

النهائية من مستويات الجاهزية التكنولوجية وتتحرك نحو التنفيذ على نطاق واسع في وقت مبكر من العام المقبل.

أوابك: 20% فجوة إستثمارات الوقود الأحفوري حتى 2050*

صرح جمال عيسى اللوغاني، أمين عام منظمة الأقطار العربية المصدرة للبترول "أوابك." بأن فجوة الإستثمارات المطلوبة في الوقود الأحفوري تبلغ حتى عام 2050 نحو 20%، لتظل إمدادات الطاقة التقليدية بنفس المستويات الحالية.

وأوضح اللوغاني أن مقومات الإستثمار في الوقود الأحفوري بالمنطقة قائمة، فالبنية التحتية موجودة، والتدفقات المالية متوفرة، كما أن "النفط سيبقى أهم مصدر للطاقة على مستوى العالم، حيث إن مصادر الطاقة المتجددة لن تتمكن من تلبية الطلب العالمي بالكامل".

تواصل الدول العربية تعزيز إستثماراتها في قطاع الوقود الأحفوري، مع التركيز على تطوير البنية التحتية وتوسيع نطاق الإنتاج. وضخت السعودية إستثمارات كبيرة في قطاع الوقود الأحفوري بالصين، أكبر مشترٍ لصادراتها النفطية. وفي الإمارات ستتمكن شركة بترول أبو ظبي الوطنية (أدنوك)، بفضل الإستثمارات، من تحقيق هدفها بزيادة إنتاجها من النفط الخام إلى 5 ملايين برميل يومياً قبل الموعد المحدد بحلول 2030 بعدة سنوات. كما أطلقت قطر مشاريع لزيادة إنتاجها من الغاز الطبيعي المسال بنسبة 64% بحلول عام 2027. على الجانب الآخر، تشهد الدول العربية تحولاً ملحوظاً نحو الإستثمار في مشاريع الطاقة المتجددة، مدفوعة برؤية إستراتيجية تهدف إلى تنويع مصادر الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.

في هذا السياق، أعلنت السعودية عن خطط طموحة لتطوير مشاريع الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ضمن رؤية 2030، حيث تهدف إلى توليد 50% من إحتياجاتها الكهربائية من مصادر متجددة بحلول عام 2030.

* المصدر: موقع إقتصاد الشرق مع بلومبرغ.

بيان بشأن الوضع في إيران*

أُعلمَت الوكالة الدولية للطاقة الذرية (الوكالة) بالعملية العسكرية التي شنتها إسرائيل والتي تشمل هجمات على مرافق نووية في جمهورية إيران الإسلامية. وهي الآن على إتصال بسلطات الأمان النووي الإيرانية للحصول على معلومات عن حالة المرافق النووية المعنية وتقييم أي آثار أوسع نطاقاً قد تترتب على صعيد الأمان والأمن النوويين. وفي الوقت الحالي، أكدت السلطات الإيرانية المختصة أن موقع الإثراء في ناتانز قد تأثر بالعملية وأنه لا توجَد مستويات إشعاع عالية. وأفادت هذه السلطات أيضاً بأن موقعَي أصفهان وفوردو لم يتأثرا حتى الآن بالعملية.

وتثير هذه التطورات قلقاً بالغاً. ولقد أشارت الوكالة الدولية للطاقة الذرية مراراً وتكراراً أنه يجب ألا تتعرض المرافق النووية أبداً للهجوم، بصرف النظر عن السياق أو الظروف، لأن ذلك قد يلحق أضراراً بالناس والبيئة على حد سواء. وتترتب على هذا النوع من الهجمات آثار خطيرة فيما يخص الأمان والأمن النوويين والضمانات، وكذلك فيما يخص السلام والأمن على الصعيدين الإقليمي والدولي.

وفي هذا الصدد، تذكِّر الوكالة بالقرارات العديدة التي إتخذها المؤتمر العام بشأن موضوع الهجمات العسكرية على المرافق النووية، ولا سيما القرارين GC(XXIX)/RES/444 وGC(XXXIV)/RES/533 اللذين ينصان على جملة أمور منها أن أي هجوم مسلح وأي تهديد ضد المرافق النووية المخصصة للأغراض السلمية يمثِّلان إنتهاكاً لمبادئ ميثاق الأمم المتحدة والقانون الدولي والنظام الأساسي للوكالة. وفضلاً عن ذلك، ما برحت الوكالة تشدِّد على أن الهجمات المسلحة على المرافق النووية قد تؤدي إلى إنبعاث مواد مشعة وقد تترتب عليها عواقب وخيمة داخل حدود الدولة التي شُنَّ عليها الهجوم وخارج حدودها، مثلما جاء في القرار GC(XXXIV)/RES/533.

دعى المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية، وإتساقاً مع أهداف الوكالة المنصوص عليها في نظامها الأساسي، جميع الأطراف إلى التحلي بأقصى

* المصدر: الوكالة الدولية للطاقة الذرية بتاريخ 2025/06/13.

درجات ضبط النفس وتجنب المزيد من التصعيد. وأكد مجدداً أن أي عمل عسكري يخلُّ بأمان المرافق النووية وأمنها قد يؤدي إلى عواقب وخيمة تؤثِّر في الشعب الإيراني والمنطقة والخارج.

وإعتمد مجلس المحافظين البارحة قراراً هاماً بشأن إلتزامات إيران المتعلقة بالضمانات. وإضافةً إلى ذلك، شدَّد المجلس في قراره على أنه يدعم التوصل إلى حل دبلوماسي للمشاكل التي يثيرها البرنامج النووي الإيراني.

وتواصِل الوكالة رصد الوضع عن كثب، وهي على إستعداد لتقديم المساعدة التقنية، وتبقى ملتزمة بولايتها في مجال الأمان والأمن النوويين والضمانات في جميع الظروف. وأنها على إستعداد للتواصل مع جميع الأطراف المعنية للمساعدة على ضمان حماية المرافق النووية وإستمرار الإستخدام السلمي للتكنولوجيا النووية طبقاً لولاية الوكالة، بما يشمل نشر خبراء الوكالة المختصين بالأمن والأمان النوويين (إضافةً إلى مفتشي الضمانات التابعين للوكالة في إيران) كلما كان ذلك ضرورياً لضمان الحماية الكاملة للمنشآت النووية وإستمرار إستخدامها للأغراض السلمية حصراً.

وعلى الرغم من الأعمال العسكرية الحالية والتوترات المتصاعدة، من الواضح أن المسار المستدام الوحيد للمضي قدماً — بالنسبة إلى إيران وإسرائيل والمنطقة بأكملها والمجتمع الدولي — هو مسار يقوم على الحوار والدبلوماسية لضمان السلام والإستقرار والتعاون.

وتظل الوكالة الدولية للطاقة الذرية، بوصفها المؤسسة التقنية الدولية المكلفة بالإشراف على الإستخدام السلمي للطاقة النووية، المحفل الفريد والحيوي للحوار، وبخاصة في الوقت الراهن.

وتوفِّر الوكالة، وفقاً لنظامها الأساسي والولاية التي تضطلع بها منذ زمن طويل، الإطار والمنبر الطبيعي حيث تسود الحقائق على الأقوال وحيث يمكن للتواصل أن يحل محل التصعيد. وأكد المدير العام رافائيل ماريانو غروسي مجدداً إستعداد الوكالة لتيسير المناقشات التقنية ودعم الجهود التي تعزز الشفافية والأمان والأمن والحل السلمي للمسائل المتعلقة بالمجال النووي في إيران.

أخبار الهيئة

إجتماعات الخبراء

1 ـ تقرير عن الإجتماع السادس عشر للهيئات الرقابية العربية (النور): (مدينة الحمامات – الجمهورية التونسية - (حضورياً وعن بُعد) خلال الفترة: 22– 2025/04/24)

يعتبر هذا الإجتماع متابعة للإجتماعات السابقة للمسؤولين عن الرقابة النووية والإشعاعية في الدول العربية، بهدف التطرق إلى القضايا المهمة والإحتياجات الملحّة في مجال الرقابة الإشعاعية والنووية بما في ذلك بناء القدرات الفنية والبشرية والمؤسساتية بفعالية وكفاءة والتأهيل والتدريب وتحديد الإجراءات الملموسة التي تعكس الإحتياجات الآنية والمستقبلية والتي سوف تساعد الدول العربية على تأسيس و/أو تحسين البنية الأساسية للهيئة الرقابية الوطنية. وقد ساهمت الشبكة العربية للهيئات الرقابية النووية (النور)، إسوة بمثيلاتها من الشبكات الإقليمية الأخرى، في تعزيز البنية الأساسية للأطر الرقابية العربية بفاعلية في مجالات الوقاية من الإشعاع والأمان والأمن النوويين بين الدول الأعضاء في الشبكة.

لقد أثبتت شبكة النور على أنها منتدى مؤثّر وفعّال ومعترف به دولياً لتبادل الخبرات والممارسات الرقابية الجيدة والدروس المستفادة بين الهيئات الرقابية العربية، وتواصل الوكالة الدولية للطاقة الذرية والشبكات الرقابية المماثلة ومنظمات الأمان الإقليمية والدولية ذات الصلة دعم الشبكة العربية للهيئات الرقابية النووية التي تعتبر جزءاً رئيسياً من الشبكة العالمية للأمان والأمن النوويين (GNSSN). حيث تهدف أساساً إلى توحيد، تحليل، تبادل المعلومات، وتبادل المعرفة المتاحة والجديدة والتجارب

العملية بين الأقطار العربية. لتكون هذه الشبكة أساساً لتسهيل التعاون الإقليمي المستدام وخلق مناخ للتواصل الطبيعي والإفتراضي بين الهيئات الرقابية النووية والإشعاعية العربية ودعم النظام العالمي للأمان والأمن النوويين.

هدف هذا الإجتماع بشكل أساسي إلى تقييم أنشطة شبكة الهيئات الرقابية النووية العربية (النور)، ومناقشة سبل تطوير أدائها والتعاون مع المنظمات الدولية والإقليمية ذات الصلة، وبشكل خاص تناول الإجتماع المواضيع الرئيسية التالية:

- تحديث معلومات البنية التشريعية والرقابية لكل دولة عضو.
- متابعة وتقييم تقدم شبكة ANNuR ومجموعات العمل الفنية ومناقشة خطة النشاط لعام 2025–2026.
- تعزيز التنسيق والتعاون بين ANNuR والوكالة الدولية للطاقة الذرية والمنظمات الإقليمية والدولية ذات الصلة، وإقتراح أنشطة ومشاريع مشتركة جديدة.
- تحديث ومناقشة المشاريع الجارية أو قيد التنفيذ، بما في ذلك:

1. الشبكة العربية للرصد الإشعاعي البيئي والإنذار المبكر.
2. المشروع العربي لضباط الوقاية من الإشعاع والخبراء المؤهلين.
3. المشروع العربي للأمن النووي.
4. (INT9188) تعزيز وتوحيد التعاون والتنسيق الإقليمي العربي في التأهب للطوارئ والإستجابة لها.

وفي ختام جلسات الإجتماع السادس عشر للهيئات الرقابية العربية، في سعيهم لوضع نهج شامل لتلبية الإحتياجات الإقليمية للشبكة العربية للأمن النووي (ANNuR) في

مجالات السلامة والأمن والضمانات النووية والإشعاعية، إعتمد ممثلو الدول العربية الأعضاء بنود العمل التالية:

1. تُشجَّع الدول الأعضاء في الشبكة العربية للأمن النووي على تحديد المنسقين الوطنيين لمشروع الأمن النووي لوضع مذكرة مفهوم المشروع للدورة القادمة من التعاون الفني للوكالة الدولية للطاقة الذرية؛

2. إنشاء لجنة توجيهية للشبكة العربية للأمن النووي وفقًا لشروط إختصاصاتها، لضمان كفاءة وفعالية تخطيط وتنفيذ أنشطة الشبكة، وتتولى الهيئة العربية للطاقة الذرية أمانة هذه اللجنة التوجيهية؛

3. تحديد مجموعة من الخبراء للعمل على وضع إطار تنظيمي موحد في الدول العربية الأعضاء لإصدار شهادات واعتماد مسؤولي الحماية من الإشعاع، ومراجعة وتحسين مفهوم المشروع الإقليمي المقترح بعنوان "إنشاء برنامج تأهيل لمسؤولي الحماية من الإشعاع في الدول العربية".

4. تُنشئ الدول العربية الأعضاء آليةً للتعاون والتنسيق المشترك لتنفيذ بعض الفعاليات والأنشطة التدريبية ذات الاهتمام المشترك، والإستفادة من تبادل المعرفة والخبرات التنظيمية بين الهيئات التنظيمية النووية في الدول العربية لتطوير الجوانب ذات الصلة في الدول الأخرى؛

5. تُشجَّع الدول الأعضاء في (ANNuR) مثل المملكة العربية السعودية على ترشيح منسق جديد لفريق العمل التقني الأول. كما تُشجَّع ليبيا على ترشيح منسق جديد لفريق العمل التقني السادس.

6. يُطلب بشدة من الدول العربية الأعضاء (مصر، والسودان، والمغرب، والأردن، وموريتانيا) إضافة منسقي فريق العمل التقني المعينين إلى وفودها الوطنية في الإجتماعات المستقبلية لـ ANNuR لعرض التقدم المحرز في تنفيذ خطة العمل.

7. لتجنب التداخل أو التكرار في خطط العمل، وللحصول على أقصى إستفادة من الدعم الفني المُقدم، يُشجَّع منسقو فرق العمل الفنية على تنظيم إجتماع افتراضي بحضور المسؤولين الفنيين في الوكالة والممثلين الوطنيين لكل مجموعة.

8. إعادة التأكيد على بنود العمل التالية من الإجتماع السنوي الخامس عشر:

أ) يُطلب بشدة من الدول العربية الأعضاء تحديث قائمة أعضائها في فرق العمل المواضيعية وتعيين فريق نشط للمشاركة في فرق العمل المواضيعية التي تهتم بها، (يجب أن يكون الترشيح من السلطة التنظيمية الوطنية المُعينة فقط).

ب) إنشاء آلية تواصل مستدامة وموثوقة للتواصل بين منسقي فرق العمل المواضيعية وممثلي الدول الأعضاء في ANNuR.

ج) ينشئ ANNuR آلية رسمية لطلب دعم الوكالة الدولية للطاقة الذرية لفريق العمل المواضيعي السادس في مجال الضمانات النووية.

9. تعقد كل مجموعة عمل مواضيعية إجتماعات دورية لمناقشة التقدم المُحرز في تنفيذ خطة العمل. يُدعى مسؤولو مكتب رئيس الوزراء والمسؤولون الفنيون (TOs) التابعون للوكالة الدولية للطاقة الذرية، والمُعيَّنون لكل مجموعة، ومنسق (ANNuR) الدكتور فراس راضي، للمشاركة في الاجتماعات المقترحة.

10. إقترح ممثلو الدول الأعضاء عقد إجتماعات ANNuR القادمة باللغة العربية، وتوفير مترجمين فوريين مباشرين للخبراء الدوليين.

2 - المنتدى الإقليمي العربي السادس للحد من مخاطر الكوارث (الكويت: 09-2025/02/12)

شاركت الهيئة العربية للطاقة الذرية ممثلة في مديرها العام الأستاذ الدكتور سالم حامدي في فعاليات المنتدى الإقليمي العربي السادس للحد من مخاطر الكوارث بدولة الكويت خلال الفترة: 09–2025/02/12، وقد شارك في هذه الفعاليات الوزراء

ورؤساء الوفود وممثلو الدول العربية الأعضاء في الأمم المتحدة، وممثلو الحكومات المحلية والمنظمات الإقليمية والدولية الحكومية وغير الحكومية.

قدم المدير العام الأستاذ الدكتور سالم حامدي عرضاً حول دور الهيئة العربية للطاقة الذرية من خلال برامجها في مجال الحد من مخاطر الكوارث والتي تتمثل في "خارطة الطريق العربية للتعاون في مجال التأهب والإستجابة للطوارئ النووية والإشعاعية"، مشروع تعزيز وموائمة التعاون العربي في مجال الإستعداد الإستجابة للطوارئ النووية والإشعاعية، تأسيس مركز تدريب عربي على محطات القوى النووية، مشروع تعزيز أنظمة الأمن النووي في الدول العربية، مشروع تأسيس برنامج لضباط الوقاية الإشعاعية والخبراء المؤهلين في المنطقة العربية، المشروع العربي في مجال طاقة الإندماج النووي. وقد تم على إثر هذه الفعاليات عقد إجتماعات ومشاورات أعلن فيها الوزراء ورؤساء الوفود وممثلو الدول العربية الأعضاء في الأمم المتحدة، وممثلو الحكومات المحلية والمنظمات الإقليمية والدولية الحكومية وغير الحكومية خلالها العديد من النقاط حول الحد من مخاطر الكوارث:

1. وعينا الكامل بزيادة تواتر وشدة الكوارث بكافة أنواعها والتي تسبب خسائر بشرية واقتصادية كبيرة وتحد من تحقيق أهداف التنمية المستدامة في المنطقة العربية.
2. تأكيدنا بأهداف وأولويات إطار عمل سنداي للحد من مخاطر الكوارث 2015 –2030 والإستراتيجية العربية للحد من مخاطر الكوارث 2030 ومخرجات الإعلانات الاقليمية والدولية السابقة والإعلان السياسي الصادر عن الإجتماع رفيع المستوى للجمعية العامة للأمم المتحدة بشأن إستعراض منتصف المدة لإطار عمل سنداي.
3. دعمنا للتحول من إدارة الكوارث إلى إدارة شاملة لمخاطر الكوارث من خلال ممارسات تتوافق مع سياسات التنمية المستدامة ووفقا لأولويات اطار سنداي 2015–2030.

4. تأكيدنا على ضرورة تقديم الدعم اللازم والعاجل للدول العربية المتضررة من الاحتلال الاسرائيلي وعلى وجه الخصوص دولة فلسطين من خلال المساهمة الفاعلة في دعم جهود الحكومة الفلسطينية في إعادة إعمار المناطق المتضررة في قطاع غزة والضفة الغربية من خلال خطة الاغاثة والتعافي المبكر في قطاع غزة المعدة من قبل الحكومة الفلسطينية والمنظمات الاقليمية والدولية.
5. تأكيدنا على أهمية الإستفادة من قرارات قمم المناخ والتصحر ذات الصلة، بما في ذلك آليات التمويل المناخي لتعزيز الوقاية والإستعداد والإستجابة والتعافي من الكوارث في المنطقة العربية.
6. تاكيدنا على أهمية تعزيز التنسيق والتشاور بين الدول العربية من خلال آلية التنسيق العربية للحد من مخاطر الكوارث (ACMDRR) لتنسيق الجهود مع الإستراتيجيات الإقليمية والعالمية ونثمن دور الجامعة العربية في هذا المجال، وإدراج الحد من مخاطر الكوارث من جدول أعمال كل المجالس الوزارية المندرجة تحتها بغرض تعزيز حوكمة المخاطر وتحقيق القدرة على الصمود.
7. تاكيدنا على أهمية تطوير نهج شامل يتضمن الحكومات والمجتمع المدني والأوساط الأكاديمية والمكونات الشبابية والفئات الاكثر قابلية للتضرر والقطاع الخاص ووسائل لإعلام للحد من مخاطر الكوارث في المجتمعات العربية.
8. دعوتنا للإستفادة من نتائج الدراسة التي نفذتها الشبكة العربية للبيئة والتنمية "رائد" عن النزوح الناتجة عن الكوارث في المنطقة العربية.
9. دعوتنا إلى زيادة إستخدام العلوم والتكنولوجيا والابتكار لتحسين تقييم المخاطر وأنظمة الإنذار المبكر، والعمل على تنفيذ مخرجات المؤتمر العربي الافريقي للعلوم والتكنولوجيا للحد من مخاطر الكوارث (تونس–2030).
10. دعمنا لجهود المجموعة الإستشارية العربية للعلوم والتكنلوجيا النووية للحد من مخاطر الكوارث لتوفير المعلومات العلمية وتقديم المشورة التنقنية لصناعة القرار بهدف تعزيز أنشطة الحدّ من مخاطر الكوارث الإقليمية والوطنية.

11. تشجيعنا على الاستفادة من إستخدام نظام حساب خسائر الكوارث الخاص بالأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث.
12. تأكيدنا على أهمية زيادة الاستثمار في أنشطة الحد من مخاطر الكوارث بالتعاون بين القطاعين العام والخاص ومنظمات المجتمع المدني، مع ضرورة دعم الدول الإستفادة من آليات التمويل الدولية وبرامج التخفيف من آثار تغير المناخ والتمويل الأخضر، والاستفادة من صناديق التمويل ذات الصلة.
13. دعوتنا للأمانة الفنية لألية التنسيق العربية للحد من مخاطر الكوارث بجامعة الدول العربية لإعداد مسودة دراسة تعنى بتأسيس مركز أزمات عربي معني بالإستجابة للازمات والكوارث في الدول العربية.

وبموجب هذه الإعلان دعت الوفود المشاركة إلى صياغة بروتوكول حول الرصد الإشعاعي البيئي والإنذار المبكر وقد تم صياغة هذه النقاط على النحو التالي:

1. التسريع في تنفيذ إطار سنداي للحد من مخاطر الكوارث والإستراتيجية العربية للحد من مخاطر الكوارث ومخرجات الإعلانات الإقليمية والدولية والإعلان السياسي الصادر عن الاجتماع رفيع المستوى للجمعية العامة للأمم المتحدة بشأن إستعراض منتصف المدة لإطار سنداي خلال الفترة المتبقية من الإطار.
2. تعزيز حوكمة وإدارة الحد من مخاطر الكوارث من خلال إنشاء وتطوير أدوار وآليات تنسيق واضحة بين أصحاب المصلحة على المستويات المحلية والوطنية والاقليمية.
3. زيادة الإستثمارات المالية في الحد من مخاطر الكوارث، خصوصاً في مشاريع البنية التحتية القادرة على الصمود، وتعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص.

4. تطوير وتحديث قواعد بيانات وإحصاءات متكاملة للخسائر الناجمة عن الكوارث، وتحليل وتقييم تلك المخاطر، لدعم متخذي القرار في وضع السياسات القائمة على الأدلة.

5. إستخدام التقنيات المتقدمة، بما في ذلك الأدوات الجغرافية المكانية وتحليل البيانات، لتحسين رسم خرائط المخاطر وأنظمة الإنذار المبكر ووسائل الذكاء الإصطناعي من خلال تنفيذ مخرجات المنتدى العربي الإفريقي للعلوم والتكنولوجيا ونؤكد على أهمية إنعقاد المنتدى دورياً كل سنتين.

6. تعزيز التعاون بين أصحاب المصلحة لتنفيذ حلول مبتكرة، بما في ذلك الحلول القائمة على الطبيعة لإدارة مخاطر الكوارث.

7. العمل على تعزيز المراجعات الدورية للتقدم المحرز في تنفيذ إطار سنداي والإستراتيجية العربية للحد من مخاطر الكوارث.

8. تعزيز دور الحكومات و/أو الهيئات المحلية في القدرة على المجاهة والحد من مخاطر الكوارث الناجمة عن الأخطار الطبيعية أو تلك التي من صنع الانسان في إطار الإستراتيجيات الوطنية المعنية بالحد من مخاطر الكوارث.

وفي إختتام فعاليات المنتدى الإقليمي العربي السادس للحد من مخاطر الكوارث أكد المشاركون من الوزراء ورؤساء الوفود وممثلو الدول العربية الأعضاء في الأمم المتحدة وجامعة الدول العربية، وممثلو الحكومات المحلية والمنظمات الإقليمية والدولية الحكومية وغير الحكومية، عزمهم الجماعي على الحد من مخاطر الكوارث، وبناء مجتمعات قادرة على الصمود، وحماية الأرواح والممتلكات وتوفير سبل العيش الكريمة لكافة فئات المجتمع. وقد تم إعتماد هذا البروتوكول من قبل رئيس المنتدى الاقليمي العربي السادس للحد من مخاطر الكوارث في دولة الكويت بتاريخ 12 فبراير/ شباط 2025.

الأنشطة التدريبية

1 ـ تقرير علمي عن ورشة العمل في مجال البحث عن المصادر المشعة اليتيمة وإستردادها

(عمان – المملكة الأردنية الهاشمية: 18 – 2025/5/22)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع هيئة الطاقة الذرية الأردنية ورشة عمل حول "البحث عن المصادر المشعة اليتيمة وإستردادها"، وذلك في عمان – المملكة الأردنية الهاشمية في الفترة: 18 – 2025/5/22.

هدفت هذه الورشة إلى تمكين وتطوير مهارات المشاركين في التعرف على كيفية تحديد هذه المصادر وإستردادها بأمان، مع تعزيز الأمان الإشعاعي من خلال تحسين إجراءات الوقاية والسلامة. كما تهدف إلى تعريف المشتركين بالمصادر الإشعاعية اليتيمة والمشكلات التاريخية المرتبطة بها، وتصنيف المصادر المشعة المختومة وطرق تحديدها في الميدان. كما إتاحة الفرصة للمشاركين للإطلاع على الطرق المتبعة في إجراءات البحث الإداري والميداني عن هذه المصادر، وللتعرف على أجهزة الكشف عن الإشعاع وإستخدامها بشكل عملي.

وتضمّن البرنامج المحاور الرئيسية التالية:

- نظرة عامة عن المصادر الإشعاعية اليتيمة والمشكلات التاريخية المرتبطة بها.
- تصنيف المصادر المشعة المختومة وطرق تحديدها في الميدان.
- إجراءات البحث الإداري عن المصادر الإشعاعية اليتيمة.
- مبادئ الوقاية الإشعاعية وأسسها.
- أجهزة الكشف الميدانية عن الإشعاع.
- إجراءات البحث الميداني عن المصادر الإشعاعية اليتيمة.

- الإجراءات المتبعة بعد إكتشاف مصدر مشع يتيم: الإسترداد، النقل، التكييف، والتخزين.
- إستخدام أجهزة الكشف عن الإشعاع (مع التركيز على الأدوات المتاحة وإستخدامها في التمارين العملية).
- تمرين عملي: البحث الإداري عن المصادر الإشعاعية اليتيمة.
- تمرين عملي: البحث الميداني عن المصادر الإشعاعية اليتيمة.

حضرها رئيس هيئة الطاقة الذرية الأردنية معالي الدكتور خالد طوقان والدكتور خالد زهرمان ممثل الهيئة العربية للطاقة الذرية. وقد ألقى كل منهما كلمة ترحيبية بالسادة المشاركين من الدول العربية، وتم توجيه الشكر للهيئة العربية للطاقة الذرية على النشاط الذي تقوم به من أجل نشر الثقافة والمعرفة في العلوم المرتبطة بالإستخدامات السلمية للطاقة الذرية، وكذلك توجيه الشكر لهيئة الطاقة الذرية الأردنية على إستضافتها البرنامج وعلى كل من بذل جهداً لإنجاح هذه الورشة.

وقد تضمّن البرنامج العلمي للورشة 18 ساعة من المحاضرات النظرية و8 ساعات من الدروس العملية وفق برنامج الورشة العلمي المرفق. تضمن البرنامج تدريب عملي على كيفية العثور على مصادر مشعة متروكة، وعلى كيفية تخزينها في منشأة النفايات المشعة في مقر هيئة الطاقة الذرية الأردنية. شارك في هذه الورشة 18 متدرباً من مختلف الأقطار العربية: الأردن، السعودية، سوريا، العراق، لبنان، ليبيا، موريتانيا واليمن. وقد سمحت لهم بالتزود بالمعلومات العلمية الضرورية في هذا المجال. فيما خصّ إستمارات التقييم، فكانت إيجابية بشكل عام مع تنويه المشاركين بالمستوى العالي لمحتوى المحاضرات، وطالبوا بزيادة مساحة التدريب العملي والزيارات الميدانية، وأيضاً زيادة الفترة الزمنية للورشة.

2 ـ أعمال ورشة العمل الإقليمية حول الأمن النووي في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا: مواكبة عالم التطور (عمان – المملكة الأردنية الهاشمية: 28-2025/04/30)

في إطار حرص الهيئة العربية للطاقة الذرية على دعم وتعزيز الأمن النووي في الدول العربية، وتلبية للدعوة الموجهة لي من معالي الدكتور خالد طوقان رئيس هيئة الطاقة الذرية الأردنية، فقد شاركت في أعمال ورشة العمل الإقليمية التي انعقدت في عمّان خلال الفترة من 28 إلى 30 أبريل 2025، بتنظيم من هيئة الطاقة الذرية الأردنية والمبادرة العالمية للتهديد النووي (NTI)، وبمشاركة واسعة من ممثلي 12 دولة عربية وتركيا، إضافة إلى جانب منظمات دولية وإقليمية كالوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA)، وجامعة الدول العربية، والهيئة العربية للطاقة الذرية ومركز فيينا لنزع السلاح وعدم الانتشار (VCDNP). وقد هدفت هذه الورشة التي عقدت تحت رعاية سمو الأمير الحسن بن طلال إلى مناقشة أبرز التحديات المتصاعدة في مجال الأمن النووي، والإستخدامات السلمية للطاقة النووية، وتعزيز التعاون الإقليمي، إلى جانب إستكشاف تأثيرات التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي وأمن المعلومات على البنية التحتية النووية.

أفتُتحت الورشة بجلسة رفيعة المستوى أُلقيت فيها كلمات من سمو الأمير الحسن بن طلال، والدكتور إرنست مونيز المدير التنفيذي لـ(NTI)، والسيد رافائيل غروسي المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية (عبر الفيديو)، إلى جانب الأمين العام الأسبق لجامعة الدول العربية السيد عمرو موسى. وقد أكدت الكلمات الإفتتاحية على أهمية تكريس التعاون الإقليمي والدولي لمواجهة التهديدات المستجدة وضمان الإستخدام الآمن للطاقة النووية.

شهدت الورشة عددًا من الجلسات الفنية والحوارية التي تناولت التحديات الناشئة في مجال الأمن النووي، حيث تم تسليط الضوء على التهديدات المرتبطة بالطائرات غير المأهولة والتهديدات الداخلية، وقد قدم عدد من الخبراء الأردنيين والدوليين حلولًا مبتكرة وإستراتيجيات للحد من هذه المخاطر. كما تناولت الورشة بعمق محور الذكاء الاصطناعي، من حيث كونه أداة مزدوجة تُستخدم في تعزيز حماية المنشآت النووية

وفي الوقت ذاته قد تُستغل في تنفيذ هجمات سيبرانية معقدة، مما يستدعي وجود أطر تنظيمية مرنة وشاملة.

ومن أبرز محاور النقاش كذلك، عرض وجهات نظر وتجارب الدول المشاركة، بما فيها الأردن، ومصر، وتركيا، والإمارات، والعراق، ولبنان، والمغرب، في مجال تطوير برامجها النووية السلمية وتعزيز الأمن النووي، حيث أجمعت الدول على أهمية التعاون الإقليمي وتبادل الخبرات كعنصر رئيسي لضمان أمن المنشآت وإستخدام آمن للطاقة النووية. وفي هذا السياق، قدمت عرضا ركزت فيه على الجهود المبذولة من قبل الهيئة لتعزيز الأمن النووي في المنطقة، حيث إستعرضت الدور الرائد للهيئة في إنشاء الشبكة العربية للرصد الإشعاعي البيئي، وهي مبادرة تسعى إلى بناء منظومة عربية مترابطة لمراقبة النشاط الإشعاعي البيئي وتبادل البيانات بشكل لحظي بين الدول العربية، بما يعزز قدرة الإستجابة السريعة والتنسيق الفوري عند الطوارئ.

كما إستعرضت خارطة الطريق العربية للتأهب والإستجابة للطوارئ النووية والإشعاعية، التي تهدف إلى وضع أسس للتعاون العربي في هذا المجال، من خلال تطوير خطط وطنية موحدة، وتدريب الكوادر الفنية، وتحديث البنية التحتية الفنية والقانونية، بما يضمن قدرة فعالة على التعامل مع الحوادث النووية والإشعاعية المحتملة ضمن إطار تكاملي.

لاقت هذه المبادرات إهتمامًا وتقديرًا من المشاركين، كونها تُجسد روح التعاون العربي المشترك، وتسهم في تعزيز منظومة الأمن النووي الإقليمي. وأكد المشاركون على أهمية إستمرار دعم الهيئة لهذه المبادرات، وتوسيع نطاق التعاون مع المنظمات الدولية مثل الوكالة الدولية للطاقة الذرية.

ختامًا، تُعد هذه الورشة محطة مهمة لتعزيز الحوار الإقليمي وتبادل أفضل الممارسات، كما أنها عززت من حضور الهيئة العربية للطاقة الذرية كمظلة إقليمية داعمة لتوجهات الأمن والسلامة النووية في العالم العربي، بما يحقق أهداف التنمية المستدامة ويحفظ الأمن والإستقرار في المنطقة.

3 ـ تقرير عن برنامج تدريبي حول الإستشعار عن بعد والتقنية النووية المتقدمة لدعم الإدارة الذكية للمياه لاستدامة الأمن الغذائي في الدول العربية: (قاهرة-جمهورية مصر العربية: 06-2025/04/10)

نظمت الهيئة العربية للطاقة الذرية بالتعاون مع هيئة الطاقة الذرية بجمهورية مصر العربية برنامج تدريبي حول "الإستشعار عن بعد والتقنية النووية المتقدمة لدعم الإدارة الذكية للمياه لاستدامة الأمن الغذائي في الدول العربية" خلال الفترة: 6-2025/4/10.

تم إفتتاح البرنامج التدريبي من قبل الأستاذ الدكتور هداية أحمد كامل نائب رئيس هيئة الطاقة الذرية لشئون التدريب والتعاون الدولي والأستاذ الدكتور طارق المغربي ممثل الهيئة العربية للطاقة الذرية والأستاذ الدكتور أحمد حجازي والدكتور عمر صلاح المشرفان المحليين وبحضور المشاركين وعدد من السادة المحاضرين.

يهدف هذا البرنامج إلى التعريف بكيفية تحسين كفاءة إستخدام المياه وتقليل الهدر وتحسين جودة المياه ودعم التنمية المستدامة وتعزيز الأمن المائي عن طريق رصد جودة المياه وتحليل التغييرات المناخية ودعم اتخاذ القرار بإستخدام تطبيقات الإستشعار عن بعد والتقانات النووية في رصد المسطحات المائية وتحديد أوقات الري الأمثل والكشف عن تسربات المياه وتحليل التغيرات في الغطاء النبات. التعرف على الوضع المائي الغذائي للدول العربية، توضيح حجم التأثير السلبي للتغيرات المناخية على هذا الوضع.

وقد غطت المحاضرات النظرية والتدريب العملي والزيارة الميدانية لمزرعة الهيئة بالفيوم المحاور الأتية

- توضيح إمكانيات الإدارة المائية والزراعية الحديثة –والذكية منها خاصة –

شارك في ورشة العمل 14 محاضرا مرموقًا يمثلون هيئة الطاقة الذرية المصرية والجامعات المصرية والمراكز البحثية المصرية. وقد حضر ورشة العمل مجموعة متنوعة من 19 مشاركًا، منهم 12 مشاركا من الدولة المستضيفة و7 من الدول العربية.

وفي الجلسة الختامية، تم عقد الجلسة الختامية للدورة التدريبية بنهاية يوم الخميس الموافق 2025/4/10 وذلك بحضور أ.د. الدكتور طارق المغربي ممثلاً عن الهيئة العربية للطاقة الذرية والأستاذ الدكتور هداية أحمد كامل نائب رئيس هيئة الطاقة الذرية لشئون التدريب والتعاون الدولي والمشاركين وعدد من السادة المحاضرين. تمت مناقشة نتائج الإستبيان الذي تم توزيعه على السادة المشاركين في اليوم الأخير وتوضيح النقاط الإيجابية ونقاط الضعف في برنامج الدورة. وقام المشرف المحلي وممثل الهيئة العربية بالإجابة على الاستفسارات والملاحظات التي قدمها المشاركون. وتبين من خلال إستعراض آرائهم، الإجماع على نجاح الدورة من حيث التنظيم والإدارة ونوعية ومستوى المحاضرات مع الأخذ في الإعتبار المقترحات التالية:

- إقتراح وجود زيادة للزيارات العلمية للمزارع التجريبية ومحطات الطاقة الشمسية.
- إقتراح أمداد المتدربين بمطبوعات الدورة مسبقا.
- إمكانية زيادة مدة الدورة.
- الإستمرار في تبادل الخبرات والمعارف بين الدول العربية.

قائمة مطبوعات الهيئة العربية للطاقة الذرية

الرقم	عنوان الكتاب	عدد الصفحات	إسم المؤلف	لغة الكتابة	تاريخ الصدور	السعر بالدولار الأمريكي
1	الهيئة في أربعة أعوام	264	الهيئة العربية	عربية	1993	–
2	وقائع المؤتمر العربي الأول للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	780	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	1993	20
3	إستخدام الاشعاع والنظائر المشعة في الزراعة وعلوم الأحياء	531	مجموعة مؤلفين	عربية	1993	20
4	فيزياء وتقانة المفاعلات	728	مجموعة مؤلفين	إنجليزية	1993	20
5	إستخدام الحاسوب في الفيزياء النظرية	197	مجموعة مؤلفين	عربية	1993	10
6	تداول ومعالجة النفايات المشعة	مجلدان	مجموعة مؤلفين	عربية وانجليزية	1993	20
7	الطب النووي تشخيصاً وعلاجاً	289	مجموعة مؤلفين	عربية وانجليزية	1994	15
8	طرق إعداد تقريري الأمان الأولي والنهائي لمفاعلات البحوث	مجلدان	مجموعة مؤلفين	إنجليزية	1994	20
9	إستخدام التقنيات النووية في تحليل المواد	420	مجموعة مؤلفين	إنجليزية	1994	15
10	مصادر الطاقة في الوطن العربي والعالم : الواقع والآفاق المستقبلية	180	د. نواف الرومي	عربية	1994	10
11	الرادون والتلوث البيئي الإشعاعي	218	مجموعة مؤلفين	عربية وانجليزية	1994	15
12	إعداد برامج الرقابة البيئية	618	مجموعة مؤلفين	عربية وانجليزية	1995	20
13	الإستعداد الطبي للحوادث الإشعاعية والنووية	652	مجموعة مؤلفين	عربية وانجليزية	1995	20
14	تعقيم وحفظ المواد الغذائية بالإشعاع	237	مجموعة مؤلفين	عربية	1995	10
15	إنتاج النظائر المشعة واستخداماتها الطبية	828	مجموعة مؤلفين	إنجليزية	1995	20
16	إستخدام أجهزة الكشف عن الإشعاعات المؤينة ومعايرتها	435	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	1995	نفد
17	إستخدام المصادر المشعة في الصناعة	387	مجموعة مؤلفين	عربية وانجليزية	1995	15
18	أجهزة القياس والإلكترونيات النووية	469	مجموعة مؤلفين	عربية	1995	20
19	إستخدام التقنيات النووية في تحسين الإنتاج النباتي	687	مجموعة مؤلفين	عربية	1995	20
20	وقائع المؤتمر العربي الثاني للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	3 أجزاء	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	1995	30
21	النقل الآمن للمواد ذات النشاط الإشعاعي	374	مجموعة مؤلفين	عربية	1996	15
22	تكنولوجيا الإشعاع في الأغذية والزراعة	599	د. محمود شرباش	عربية	1996	20
23	معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤينة	349	الوكالة الدولية	عربية	1996	15
24	الهيئة في أربعة أعوام 93 . 1996	مجلدان	الهيئة العربية	عربية	1997	–
25	دورة الوقود النووي من الخام حتى الركاز الأصفر	635	مجموعة مؤلفين	عربية	1997	20
26	الخامات الذرية في الوطن العربي	386	مجموعة مؤلفين	عربية	1997	15
27	تصميم وإنشاء مرافق حفظ النفايات المشعة	328	مجموعة مؤلفين	عربية	1998	15
28	الإشعاعات المؤينة وحفظ الغذاء من الحشرات	143	أ. د. محمد سعيد هاشم	عربية	1998	10
29	وقائع المؤتمر العربي الثالث للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	3 أجزاء	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	1998	30

الرقم	عنوان الكتاب	عدد الصفحات	إسم المؤلف	لغة الكتابة	تاريخ الصدور	السعر بالدولار الأمريكي
30	نظام الضمانات الدولي وأسلوب تطبيقه على المستويين القطري والإقليمي	392	مجموعة مؤلفين	عربية	1998	15
31	البرنامج النظري والعملي للتدريب في عمليات التصوير الشعاعي (المستوى الأول)	243	مجموعة مؤلفين	عربية	1999	20
32	الحفاظ على الحبوب ومشتقاتها بالإشعاعات المؤينة	130	د. محفوظ البشير	عربية	2000	15
33	الأسس العامة لتكنولوجيا معالجة الأغذية بالإشعاع	148	أ. د. علي راضي	عربية	2000	15
34	وقائع المؤتمر العربي الرابع للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	5 أجزاء	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2000	40
35	نظام الضمانات النووية الدولي "الآفاق والآليات والمشاكل"	419	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2000	20
36	الهيئة في أربعة أعوام 97 ـ 2000	مجلدان	الهيئة العربية	عربية	2000	ـ
37	البرنامج النظري والعملي للتدريب في الإختبارات بالأمواج فوق الصوتية (المستوى الأول)	278	مجموعة مؤلفين	عربية	2001	20
38	البرنامج النظري والعملي للتدريب في الإختبارات بالسوائل النافذة والجسيمات المغنطيسية (المستوى الأول)	214	مجموعة مؤلفين	عربية	2001	20
39	التقنيات النووية وتقدير الهرمونات	330	د. أحمد عصام فكري	عربية	2002	20
40	وقائع المؤتمر العربي الخامس للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	5 أجزاء	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2002	نفد
41	وقائع المؤتمرالعربي السادس للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	4 أجزاء	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2003	نفد
42	وقائع المؤتمر العربي السابع للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	3 أجزاء	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2004	نفد
43	مستقبل توليد الكهرباء بالطاقة النووية	56	أ. د. ضو مصباح أ. د. م. نصر الدين	عربية	2006	10
44	وقائع المؤتمر العربي الثامن للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2007	10
45	النشاط الإشعاعي البيئي من المصادر الطبيعية والصناعية والعسكرية	816	(مترجم) أ. د. بهاء الدين معروف	عربية	2007	50
46	Research Reactors Types & Utilization	88	أ. د. إبراهيم داخلي عبد الرازق	إنجليزية	2008	10
47	المفاعلات البحثية : أنواعها واستخداماتها	88	(مترجم) م. نهلة نصر	عربية	2008	10
48	إستخدام التقنيات النووية والذرية في التحليل العناصري والنظائري	176	مجموعة مؤلفين	عربية	2008	20
49	الهيئة العربية للطاقة الذرية في ثماني سنوات 2001 . 2008	174	الهيئة العربية	عربية	2008	ـ
50	الأشعة السينية وبعض تطبيقاتها	190	أ. د. م. نصر الدين	عربية	2008	20

الرقم	عنوان الكتاب	عدد الصفحات	إسم المؤلف	لغة الكتابة	تاريخ الصدور	السعر بالدولار الأمريكي
51	الإستراتيجية العربية للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية حتى العام 2020	160	الهيئة العربية	عربية	2008	20
52	وقائع المؤتمر العربي التاسع للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2009	10
53	توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع ICRP-105 "الوقاية من الإشعاع في الطب"	69	(مترجم) مجموعة خبراء	عربية	2011	10
54	الفحص البصري للملحومات . المستوى الثاني	352	أ. د. محمود أحمد شافعي	عربية	2011	25
55	الأشعة غير المؤينة : طبيعتها والوقاية من مخاطرها	60	(مترجم) مجموعة خبراء	عربية	2011	10
56	وقائع المؤتمر العربي العاشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2011	10
57	أسئلة امتحان التأهيل للإختبارات اللاّإتلافية وعلم المواد . المستوى الأول	178	أ. د. حسن إبراهيم شعبان أ. د. جمال محمد عاشور الدرويش	عربية	2013	20
58	البرنامج النظري والعملي في الإختبارات اللاّإتلافية بالتيارات الدوامية ـ المستوى الأول	248	أ. د. حسن إبراهيم شعبان أ. د. جمال محمد عاشور الدرويش	عربية	2014	20
59	وقائع المؤتمر العربي الحادي عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2015	20
60	وقائع المؤتمر العربي الثاني عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2015	20
61	وقائع المؤتمر العربي الثالث عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2017	20
62	وقائع المؤتمر العربي الرابع عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص مدمج (CD)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2019	20
63	وقائع المؤتمر العربي الخامس عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية	قرص ذاكرة (Flash)	مجموعة مؤلفين	عربية وإنجليزية	2022	20
64	التحليل بالتنشيط النتروني ومطيافية أشعة جاما	454	أ.د إبراهيم أبوقصة	عربية	2022	30

للحصول على المطبوعات المذكورة يرجى مخاطبة الهيئة العربية للطاقة الذرية على العنوان أدناه وإرفاق شيك باسم الهيئة بمبلغ المطبوعة يضاف إليه قيمة البريد الجوي عن كل نسخة حسب الوزن. عنوان المراسلة : الهيئة العربية للطاقة الذرية نهج المؤازرة حي الخضراء . تونس . الجمهورية التونسية . هاتف : 71.808.400 . فاكس : 71.808.450 . البريد الإلكتروني: aaea_org@yahoo.com و aaea@aaea.org.tn

أو إجراء تحويل بالمبلغ إلى حساب الهيئة العربية للطاقة الذرية لدى الشركة التونسية للبنك – (STB) الفرع المركزي، نهج الهادي نويرة – تونس، مع إخطار الهيئة بالفاكس بصورة من مستندات التحويل.

رقم الحساب: 840-3-4173-90-100 404 10 // **IBAN:** TN 59 1040 4100 9041 7338 4007

BIC: STBKTNTTXXX

دعوة للعلماء والإختصاصيين العرب

ندعوكم لإرسال مقالات علمية مبسّطة مؤلفة أو مترجمة في مجالات العلوم النووية والاستخدامات السلمية للطاقة الذرية حسب القواعد التالية :

1 ـ تكون المقالات موجهة لزيادة تعريف أبناء الوطن العربي بأساسيات العلوم والتقنيات النووية واستخداماتها في مختلف المجالات التطبيقية .

2 ـ يكتب ملخص باللغة الإنجليزية السليمة في بداية المقالة على ألاّ يتجاوز عدد كلماته 200 كلمة، وتضاف قائمة بالمراجع في نهاية المقالة على ألاّ تزيد على 5 مراجع .

3 ـ صياغة المقالات تكون باللغة العربية الفصحى، على أن تكون المصطلحات العلمية المتضمنة مطابقة لما ورد في المعاجم الموحدة لمصطلحات الفيزياء العامة والنووية والكيمياء والبيولوجيا الصادرة عن مكتب تنسيق التعريب بالمنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (الألكسو) .

4 ـ مراعاة تجنّب التفاصيل العلمية الدقيقة أو الإستنتاجات الرياضية المعقدة التي تفوق مستوى القارىء غير المتخصص باعتباره القارىء المفضل لنشرة الذرة والتنمية .

5 ـ يجب أن تكون الموضوعات المطروحة لم تسبق معالجتها بشكل مشابه في الأعداد السابقة وملائمة لأغراض النشرة ومتوافقة مع سياسة النشر بها ولا تتضمّن أية إشارات سياسية أو خصوصيات أمنية لأي من الدول العربية.

6 ـ يشترط في المقالات المترجمة أن تكون مرفقة بالأصل الذي ترجمت منه، علماً بأنه عند نشر المقالات المترجمة في نشرتنا يشار إلى إسم صاحب المؤلف الأصلي بالإضافة إلى ذكر اسم الوثيقة المنشور فيها سابقاً مع تحديد العدد وتاريخ النشر .

7 ـ يمكن للسادة المؤلفين أو المترجمين إرسال استفساراتهم بشأن المواضيع التي يرغبون في تقديمها للنشرة للحصول على رأي لجنة التحرير قبل إرسالها للنشر.

ISSN : 0330-7123