

تحضير مركبات سيراميكية نانوية واستعمالها في حفظ المواد المشعة وتدريبها

جود رياض حاجي الشاهر¹، حمود محمد علي العربي²، جمال بدر العبدالله³

¹طالبة ماجستير، جامعة دمشق كلية العلوم، إجازة في الفيزياء،

joud.hajjalshaher@damascusuniversity.edu.sy

²استاذ مساعد، جامعة دمشق، فيزياء الجو، h.alourabi@damascusuniversity.edu.sy

³مدير بحوث، هيئة الطاقة الذرية السورية، الكيمياء التحليلية الإشعاعية، jalabdullah@aec.org.sy

الملخص:

دُرِست إمكانية تصنيع مركبات سيراميكية نانوية وكذلك خواصها التدريجية. بيّنت النتائج وجود تأثير كبير للمكونات المستعملة في تغير الخصائص الميكانيكية للمركبة السيراميكية. استعملت المركبات السيراميكية المحضرة مع نسب مختلفة من العناصر المعدنية (التنغستين والرصاص والباريوم) في توهين أشعة غاما وأشعة إكس. بيّنت النتائج وجود انخفاض ملموس في قيم سماكة النصف مع زيادة نسب المواد المضافة، وبشكل أكثر فعالية في حالة الباريوم والرصاص. كما بيّنت النتائج قدرة العينات السيراميكية على احتجاز غاز الرادون، مما يجعلها ملائمة وبشكل فعال في حفظ المواد المشعة وخاصة المصدرة لغاز الرادون.

الكلمات المفتاحية: مركبة نانوية، أشعة غاما، أشعة إكس، تدريب، الرادون.

تاريخ الإيداع: 2024/04/15

تاريخ القبول: 2024/07/17



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

Preparation of ceramic Nano-composites and their use in radioactive materials storage and shielding

Joud riyad haji Al-shaher¹, Hammoud Mohamed ali Al-ourabi², Jamal badr Al-Abdullah³.

¹MA student, Faculty of Sciences, Damascus University, BA in Physics,
joud.hajialshaher@damascusuniversity.edu.sy

²Assistant professor, Damascus University, Atmospheric physics,
h.alourabi@damascusuniversity.edu.sy

³Research director, Syrian atomic energy commission, Radioanalytical chemistry,
jalabdullah@aec.org.sy

Abstract

The possibility of preparation ceramic nano-composites as well as their shielding properties was studied. The results showed a significant effect of the components used on the variation of the mechanical properties of the ceramic composite. Ceramic composites prepared with different proportions of metallic elements (W, Pb, and Ba) were used to attenuate gamma and X-rays. The results showed a significant decrease in the values of the half-value layer with increasing the amount of additives, more effectively in the case of Ba and Pb. In addition, results showed the ability of ceramic samples to retain radon gas, which makes them suitable and effective in the storage of radioactive materials, especially those that emit radon gas.

Keywords: Nano- composite; Gamma rays; X-rays; Shielding; Radon.

Received: 15/04/2024

Accepted: 17/07/2024



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

1- مقدمة

يتعرض الإنسان للأشعة المؤينة من مصادر مختلفة طبيعية مثل التعرض للنكليديات المشعة الموجودة في التربة من سلاسل تفكك اليورانيوم والثوريوم، فضلاً عن وجود بعض النكليديات المشعة الصناعية الموجودة في البيئة بسبب الحوادث النووية أو التسريب الناتج عن محطات الوقود النووي. يُمكن أن يتعرض الإنسان للأشعة المؤينة بسبب إجراءات التشخيص والمعالجة الطبية. كما تستعمل منابع الأشعة المؤينة في العديد من التطبيقات الصناعية. ساهم التطور الصناعي وغيره في زيادة استعمال الأشعة في الكثير من التطبيقات في مختلف المجالات الزراعية والصناعية والطبية والتعقيم الغذائي والصحي. وعليه فقد ازداد عدد الأفراد الذين يمكن أن يتعرضوا للأشعة [1,3].

تتمثل خطورة الأشعة المؤينة عند عبورها وسط معين فإنها تخسر جزءاً من طاقتها، وتعتمد هذه الخسارة على طبيعة الوسط الذي تمر فيه. يمكن للأشعة المؤينة عند مرورها عبر جسم الإنسان أن تولد أضراراً بيولوجية متعددة، كما إن الجرعات المرتفعة منها يمكن أن تؤدي إلى التسبب بظهور السرطانات. وبالتالي فإن الوقاية من الأشعة المؤينة كان وما يزال من أساسيات التعامل مع كل ما يمكن أن يُصدر مثل هذه الأشعة بما فيها المنابع المشعة والوقود النووي وأجهزة التشخيص الإشعاعية بالإضافة للنفايات المشعة وغيرها [1].

من أهم الوسائل المعتمدة في الوقاية من الأشعة المؤينة هي احتواء مصادر هذه الأشعة ضمن حاويات تمنع مرور الأشعة أو تقلل من عبورها إلى الوسط المحيط وهو ما يُعرف بالتدريع الإشعاعي. إذ تعد الحماية من الإشعاع أمراً أساسياً بالنسبة لجميع العاملين في المجال الإشعاعي والذين تتطلب طبيعة عملهم التعامل مع الإشعاع. أكدت المنشورات الدولية والمحلية على أهمية خفض التعرضات الإشعاعية، إذ يؤكد مبدأ أlara (As Low As Reasonably Achievable) (ALARA) على ضرورة تخفيض جميع التعرضات الإشعاعية إلى أقل ما يمكن الوصول إليه بشكل معقول آخذين بالحسبان العوامل الاقتصادية والاجتماعية [3,4].

يعتمد اختيار المواد المستعملة في التدريع الإشعاعي بشكل كبير على نوع الأشعة وطاقاتها، بالإضافة إلى الخواص الفيزيوكيميائية للمواد ومقاومتها الإشعاعية. يعد الرصاص من أهم المواد المستعملة بشكل فعال للحماية من التأثيرات الضارة المرتبطة بالتطبيقات المختلفة للإشعاع. من جهة أخرى فقد أصبح استعمال الرصاص مقيداً بموجب التوجيه الصادر عن البرلمان الأوروبي بسبب سميته المرتفعة. استعملت أيضاً الخرسانة في التدريع وتعد أقل سمية بكثير مقارنة بالرصاص ويمكن استعمالها بأشكال مختلفة وتلبي متطلبات التدريع بشكل أفضل. كما تعد الخرسانة الخيار الأول في بناء الجدران والأرضيات في الإنشاءات التي تتواجد فيها التجهيزات الإشعاعية، كما أنها تتميز بتكلفتها المادية المنخفضة نسبياً. من جهة أخرى، فإن استعمال الخرسانة يتطلب وجود مساحات عمل كبيرة وتكون هناك حاجة لاستعمال سماكات أكبر مقارنة بالرصاص [5,6].

ساهم التطور الحديث في علم المواد في زيادة الخيارات من المواد التي يمكن استعمالها في التدريع الإشعاعي وحفظ المواد المشعة. من أهم المواد التي يتم العمل على تطوير استعمالها في مجال التدريع الإشعاعي: المواد السيراميكية وأكاسيد المعادن. يستعمل السيراميك في تطبيقات مختلفة منها الاتصالات الضوئية وجدران عزل الأفران ذات الحرارة العالية والمكثفات، كما يستعمل في بناء مفاعلات الاندماج وحاويات تخزين النفايات المشعة [7,8].

كما ساهم تطور تكنولوجيا النانو في تحضير مواد نانوية يمكن أن تساهم في تحسين الخواص التدريرية للمواد المستعملة من خلال زيادة مساحة السطح الفعال وتغير الخواص الفيزيائية والكيميائية مثل درجة الانصهار والذوبانية والنقل الحراري وسرعة التفاعل وغيرها [5,6,9]. تتميز المواد السيراميكية بعدم تأثرها بالرطوبة أو تغيرات درجة الحموضة والصلابة العالية ومقاومة التآكل، مما يساهم في الحصول على مواد ذات عمر طويل ومقاومة إشعاعية مرتفعة. وعليه فإن البحث الحالي يهدف إلى تحضير متركبة سيراميكية نانوية يمكن استعمالها في حفظ المواد المشعة وتدريبها، مع إمكانية التحكم بشكلها النهائي بما يتناسب مع المواد المراد تدريعها وتكلفتها مادية منخفضة والاستفادة من خواص المواد النانوية التي يمكن أن تساهم في خفض حجم المسامات المتشكلة ضمن البنية مما يساهم في خفض انبعاث الغازات المشعة.

2- المواد والطرائق

2.1 المواد المستعملة

استعملت المواد التالية في تجارب تحضير المتركبة السيراميكية: تراخيت (بازلت قلوي، مجموعة من أكاسيد السيليكا والألمنيوم والصوديوم والبوتاسيوم)، فلدسبار ($KAlSi_3O_8$)، مكيمن (صخور كلسية)، كاولين ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)، غضار (Clay). كما استعملت المواد الكيميائية التالية في تحضير أكاسيد الرصاص والباريوم: $Ba(NO_3)_2$ ، $Pb(CH_3COO)_2$ ، واستعملت تنغستات الصوديوم المائية دون أي معالجة ($Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$). كما استعمل متعدد الإيثيلين غليكول-1000 (PEG) لخفض نسبة الماء المستعملة في التحضير.

2.2 تحضير العينات

2.2.1 دراسة تأثير المواد المستعملة على الخواص الميكانيكية للمتركبة

بيّنت الدراسة الأولية وجود تأثير واضح لكل من نوع الغضار المستعمل ونسبته على الخواص الميكانيكية للمتركبة المحضرة، وبناءً عليه فقد وضعت خطة عمل لتحضير مجموعة من المتركبات السيراميكية باستعمال أنواع مختلفة من الغضاريات وينسب مختلفة كما هو مبين في الجدول (1).

حضرت المتركبات السيراميكية المختلفة وفق مايلي:

1- خلط المكونات الغضارية الجافة حسب النسب المحددة.

2- تشكيل عجينة غضارية من هذه المواد بإضافة كمية ثابتة من الماء (أقل نسبة تكون كافية لتشكيل العجينة).

3- إجراء عملية القولبة ضمن قوالب بلاستيكية دائرية نصف قطرها 4.0 cm.

4- تجفف العينات عند درجة حرارة الغرفة لمدة 24 ساعة للتخلص من أكبر كمية ممكنة من الماء دون حدوث تشققات في بنية العينة.

5- إجراء عملية الشبي للعينات باستعمال المرمدة حسب البرنامج الحراري الذي يضمن عدم تصدع العينة (تسخين حتى الدرجة $110^\circ C$ خلال ساعة ونصف، ثم تسخين حتى الدرجة $1100^\circ C$ خلال أربع ساعات).

6- وتترك العينات في المرمدة حتى انخفاض درجة حرارة المرمدة إلى أقل من $50^\circ C$ ، لتجنب تعرض العينة لتغيرات كبيرة في درجة الحرارة يمكن أن تؤدي إلى تخرب العينة أو ضعف خواصها الفيزيائية.

7- تحفظ العينات ضمن عبوات بلاستيكية لحين إجراء التجارب.



الجدول (1): نسب المواد المستعملة في تحضير العينات السيراميكية (%).

النسب المئوية للمواد المستعملة في تحضير العينات الأولية*							رقم العينة
كاولين	PEG	مكمن	غضار زبداني	غضار أردني	فدسبار	تراخيت	
		12		24	36		1
	0.2						2
		20	20	10	10	30	3
			30			40	4
		25	40	10	10	5	5
		10	50	5	5	25	6
			5		25	50	7
		25	30			40	8
		50	25	20			9
		25	50		5		10
		25	20	40			11
25		40	15	15			12

* يتم اكمال النسبة حتى 100% باستعمال الماء المقطر.

2.2.2 استعمال المواد النانوية في تحضير العينات

بالاعتماد على نتائج المرحلة الأولى من البحث، حضرت العينات النهائية من المتركبات السيراميكية بالاعتماد على تركيبة العينة رقم 9، وذلك كونها تميزت بخواص ميكانيكية أفضل مقارنة بالتركيبات الأخرى. حضرت ثلاث مجموعات (3 عينات في كل مجموعة) من المتركبة السيراميكية مع نسب مئوية مختلفة من أجل كل من أكسيد الرصاص وأكسيد الباريوم وأكسيد التنغستن. استعملت ثلاث نسب مختلفة من كل أكسيد (20 و 10 و 5%) ليصبح العدد الإجمالي للعينات المحضرة 9 عينات بالإضافة إلى عينة شاهد (دون إضافة أكاسيد). يبين الجدول (2) ترميز العينات المحضرة ونسبة الأكسيد المستعمل في كل عينة.

الجدول 2 نسب الأكاسيد المستعملة في المتركبات السيراميكية (%).

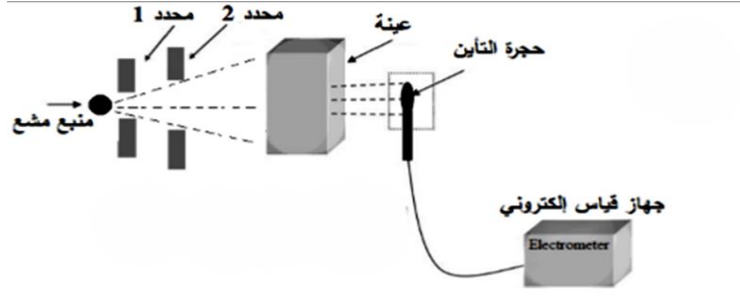
رمز العينة	الأكسيد المستعمل	نسبة الأكسيد (%)
Cer-Ba-1	أكسيد الباريوم	5
Cer-Ba-2		10
Cer-Ba-3		20
Cer-W-1	أكسيد التنغستن	5
Cer-W-2		10
Cer-W-3		20
Cer-Pb-1	أكسيد الرصاص	5
Cer-Pb-2		10
Cer-Pb-3		20
Cer-0	عينة شاهد	0

2.2.3 دراسة الخواص الفيزيوكيميائية

يمكن للرطوبة أن تساهم سلباً في تغير الخواص الميكانيكية للمتركبة السيراميكية، وعليه فقد درس تأثير الرطوبة على العينات العشرة المحضرة وذلك من خلال غمسها بشكل كامل في الماء المقطر لمدة شهر (30 يوم). جرى اختبار تغير الخواص الميكانيكية للعينات (الصلادة) مرة أسبوعياً، وذلك حسب مقياس موهس (Mohs Hardness Scale).

2.2.4 قياس معامل التوهين الخطي (μ)

جرى قياس معامل التوهين الخطي للعينات باستعمال منبع أشعة غاما (^{137}Cs) (156.67 GBq)، وأنبوب أشعة سينية (120kv). يعتمد المبدأ العام للطريقة على قياس الشحنة الكهربائية المتولدة في حجرة تأين ناتجة عن أشعة غاما الصادرة عن منبع السيزيوم. يمثل الشكل (1) رسم تخطيطي لمنظومة قياس معامل التوهين.



الشكل (1): رسم توضيحي يبين منظومة قياس معامل التوهين.

يحسب معامل التوهين الخطي من العلاقة الآتية:

$$\mu = \frac{1}{x} \ln \frac{N_0}{N}$$

حيث، μ : معامل التوهين الخطي (cm^{-1})، N هو عدد الفوتونات التي تصل الكاشف خلال فترة زمنية محددة عندما يتم وضع مادة بسماكة محددة (x) بين المصدر والكاشف، N_0 هو عدد الفوتونات بدون وجود أي مادة.

وتحسب سماكة النصف (HVL) من العلاقة الآتية:

$$\text{HVL} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

كما قيست معاملات التوهين للأشعة السينية، في دائرة المخبر العياري، هيئة الطاقة الذرية السورية. اعتمد قياس الأشعة السينية على قياس الشحنة الكهربائية المتولدة في حجرة التأين.

2.2.5 قياس نفوذية غاز الرادون

يهدف هذا الإجراء إلى قياس نفوذية غاز الرادون (^{222}Rn) عبر العينات المدروسة، باستعمال الطريقة التكاملية المنفصلة. حيث تدرس قدرة العينات على حجب كواشف الأثر النووي (CR-39) عن الرادون.

استعملت خلية الرادون المعيارية في قسم الوقاية والأمان، هيئة الطاقة الذرية السورية. تحتوي الخلية على منبع من الراديوم-226 (^{226}Ra) نشاطيته المرجعية 122 kBq.

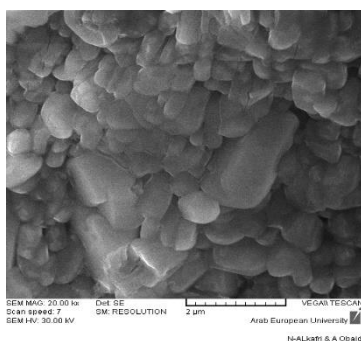
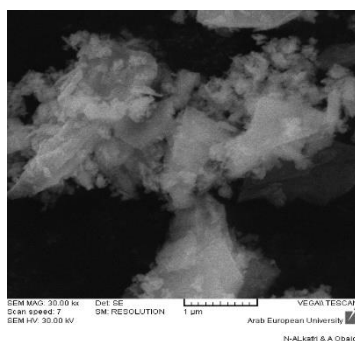
تصميم التجربة

أجريت التجربة ضمن عبوات بلاستيكية سعة 250 mL، حيث يوضع الكاشف البلاستيكي داخل العبوة البلاستيكية وتعلق العبوة باستعمال العينة المدروسة. عندما يكون الرادون قادراً على العبور عبر مسامات العينة، فإنه يصل إلى سطح الكاشف البلاستيكي محدثاً ضرراً في سطح الكاشف. يعبر العدد الكلي للأثار المتوضعة على سطح الكاشف عن تركيز غاز الرادون داخل العبوة البلاستيكية. أجريت التجربة من خلال تعريض العينات ضمن خلية الرادون لمدة أربع ساعات.

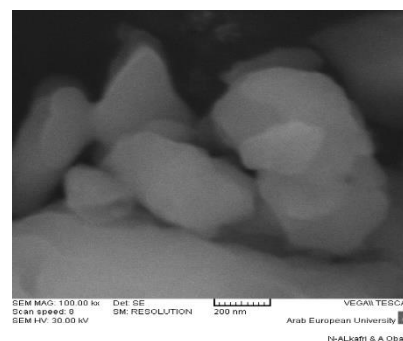
تتضمن عملية عد الأثار مرحلة حك كيميائي (Chemical etching) لزيادة حجم الأثر وجعله قابلاً للملاحظة باستعمال المجهر الضوئي. تتم عملية الحك الكيميائي للكاشف البلاستيكي باستعمال محلول من هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) تركيزه 6.25 N، عند درجة حرارة 70°C لمدة 7 ساعات.

2.2.6 التقانات التحليلية المستعملة

جرى تسجيل أنماط انعراج أشعة X عن المسحوق (XRD) عن طريق مقياس الانعراج النافذ (STADI-P, STOE Darmstadt) ألمانيا) من إشعاع $CuK\alpha$ ($\lambda=1.54060$ أنغستروم) ومقياس أحادي اللون من الجرمانيوم الذي يعمل عند 50 كيلوفولت و30 ميلي أمبير. كما درست بنية المواد النانوية والمتركة السيراميكية باستعمال المجهر الإلكتروني الماسح (Tescan Vega II XMU, USA) الذي يعمل عند 20 كيلوفولت.

 $Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$ 

PbO



BaO

3- النتائج والمناقشة

3.1 توصيف المواد المستعملة في التحضير والمتركة المحضرة

وصفت المواد الأولية باستعمال مطيافية انعراج الأشعة السينية (XRD) ولخصت النتائج بعد مقارنتها بالمراجع العلمية في الجدول (3)

الجدول (3): نتائج تحليل XRD للمواد الأولية المستعملة في تحضير المتركبات السيراميكية.

الصيغة الكيميائية	المكونات الرئيسية	اسم العينة
$Si O_2$	أكسيد السيلكون	تراخيت
$Al Si_3 O_8$	فلدسبار	
$Si O_2$	أكسيد السيلكون	رمل مزار
$Al_4 (OH)_8 (Si_4 O_{10})$	كاولين	كاولين
$Si O_2$	أكسيد السيلكون	
$Al Si_3 O_8$	فلدسبار	
$Si O_2$	أكسيد السيلكون	مكيم
$Ca Mg_2 Al Si_4 (OH)_2 \cdot H_2 O$	مونتموريلونيت	
$Al_4 (OH)_8 (Si_4 O_{10})$	كاولين	غضار زيداني
$Ca Mg_2 Al Si_4 (OH)_2 \cdot H_2 O$	مونتموريلونيت	
$Al Si_3 O_8$	فلدسبار	فلدسبار
$Si O_2$	أكسيد السيلكون	
$Ca Mg_2 Al Si_4 (OH)_2 \cdot H_2 O$	مونتموريلونيت	
$Al_4 (OH)_8 (Si_4 O_{10})$	كاولين	غضار أردني
$Ca Mg_2 Al Si_4 (OH)_2 \cdot H_2 O$	مونتموريلونيت	
$Si O_2$	أكسيد السيلكون	

3.2 تأثير المواد المستعملة على خصائص المتركة المحضرة

بيّنت النتائج الأولية المخبرية أن زيادة نسبة التراخيت والفلدسبار ساهم في زيادة صلادة العينة وأصبحت أكثر قابلية للكسر، وبناء على نتائج XRD يمكن التأكيد على أنّ وجود الكاولين في هذه الفلزات ساهم في الحصول على هذه النتائج لأنه يتميز بقساوة مرتفعة.

من جهة ثانية، ساهم إضافة المكيمن في زيادة المقاومة الميكانيكية للعينات والذي يمكن أن يعزى بشكل رئيس لوجود المونتموريلونيت فيها. كما كانت الخواص الميكانيكية للعينات المحضرة باستعمال الغضار الأردني متماسكة بشكل أفضل مقارنة مع العينات المحضرة باستعمال غضار الزبداني، ويمكن أن تعزى هذه النتائج لوجود نسبة أعلى من المونتموريلونيت في الغضار الأردني.

3.3 توصيف المتراكبات السيراميكية

حضرت المتراكبات السيراميكية بالاعتماد على نسب ثابتة من الغضاريات وفقاً لتركيبة العينة رقم 9، وبنسب مختلفة من أكسيد الرصاص وأكسيد الباريوم وأكسيد التنغستين. إذ استعملت ثلاث نسب مختلفة من كل أكسيد (20 و 10 و 5%). على الرغم من أنّ جميع العينات المحضرة كانت متماسكة قبل الشئ، إلا أنّ خواصها الميكانيكية كانت متفاوتة بشكل ملحوظ بعد الشئ. يبين الجدول (4) نتائج اختبار العينات المحضرة وفقاً لسلم موهس (Mohs scale)، وذلك بهدف دراسة تأثير الأكاسيد المعدنية المضافة على الخواص الميكانيكية للمتركة السيراميكية. بيّنت النتائج عدم تغير الخصائص الميكانيكية للعينة عند إضافة نسب مختلفة من التنغستين، ولكنها كانت أقل مقاومة للخدش مع زيادة كمية الرصاص في العينة.

الجدول (4): نتائج اختبار المتراكبات السيراميكية وفق سلم موهس (Mohs scale).

رقم العينة	القساوة سلم موهس
Cer-Ba-1	7
Cer-Ba-2	7
Cer-Ba-3	6
Cer-W-1	7
Cer-W-2	7
Cer-W-3	7
Cer-Pb-1	6
Cer-Pb-2	4
Cer-Pb-3	4
Cer-0	7

من خلال الجدول (4) لم يلاحظ وجود تغير في الشكل النهائي بعد الشئ جميع العينات متماسكة بشكل جيد دون وجود أي تشققات، وكانت المسامية الظاهرية للسطح معدومة.

3.4 قياس توهين أشعة غاما

أجريت تجربة قياس مقدرة العينات المحضرة في توهين أشعة غاما الصادرة عن منبع ^{137}Cs ، بالاعتماد على المخطط الموضح في الشكل (1). يبين الجدول (5) نتائج حساب معامل التوهين الخطي وسماكة النصف (HVL)، حيث يلاحظ وجود زيادة واضحة في قيم معامل التوهين الخطي مقارنة بالعينة الشاهدة (Cer-0)، مما يؤكد على الدور الفعّال للمواد المضافة في زيادة قدرة المتراكبات في توهين أشعة غاما.

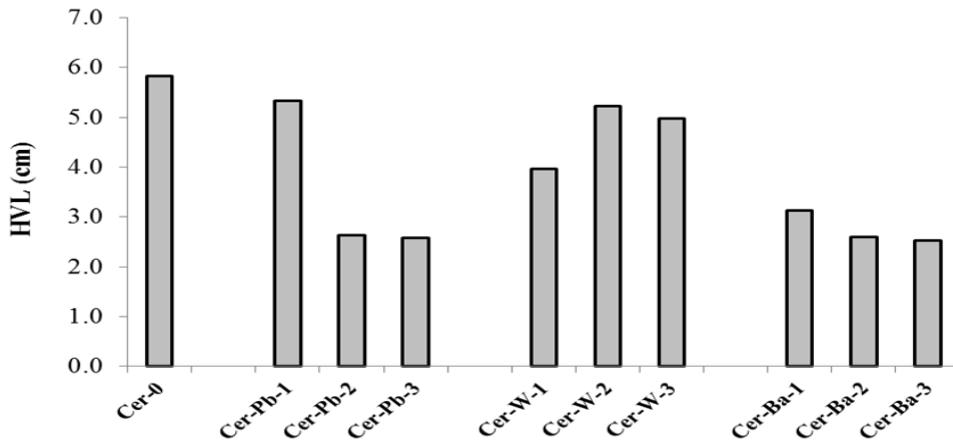
من جهة أخرى، يبين الشكل (2) وبشكل واضح انخفاض قيم طبقة سماكة النصف مع زيادة كمية المواد المضافة، وبشكل أكثر فعالية في حالة الباريوم والرصاص. على الرغم من أن إضافة التنغستين ساهمت في زيادة توهين الأشعة، إلا أن زيادة تركيز المعدن في المتركة ساهم في خفض الكفاءة وإن كانت ما تزال أكثر فعالية مقارنة بالعينة الشاهدة.

قورنت النتائج مع المراجع العلمية وبيّنت المقارنة أن زيادة المعادن المضافة تساهم في خفض قيم معامل التوهين الخطي وبالتالي تناقص قيم HVL [10]. كما أن التتغستن لم يسجل أي تحسن معنوي في زيادة قدرة المركبة على توهين أشعة غاما عند الطاقات المرتفعة (أكبر من 661 KeV) [10,11].

يبين الجدول (6) مقارنة بن نتائج توهين أشعة غاما الصادرة عن منبع (^{137}Cs) (661 KeV) باستعمال المركبات السيراميكية المحضرة في هذه الدراسة ومقارنتها مع بعض النتائج في المراجع العلمية. بيّنت المقارنة قدرة المركبات المحضرة وبشكل أكثر فاعلية في توهين الأشعة مقارنة بعينات من الإيبوكسي والمضاف لها تركيز مرتفع من المعادن (الرصاص واليزموت والتتغستن)، كما أن المركبات أبدت في معظم الحالات وخاصة باستعمال الرصاص والباريوم قدرة أكبر على التوهين مقارنة بالخرسانة الإسمنتية (concrete).

الجدول (5): نتائج قياس قدرة المركبات السيراميكية في توهين أشعة غاما.

رقم العينة	معامل التوهين الخطي (cm^{-1})	HVL (cm)
Cer-0	0.119	5.8
Cer-Ba-1	0.130	5.3
Cer-Ba-2	0.263	2.6
Cer-Ba-3	0.269	2.6
Cer-W-1	0.175	4.0
Cer-W-2	0.133	5.2
Cer-W-3	0.140	5.0
Cer-Pb-1	0.221	3.1
Cer-Pb-2	0.267	2.6
Cer-Pb-3	0.274	2.5



الشكل (2): تغير سماكة النصف مع تغير تركيب العينات.

الجدول (6): مقارنة بين نتائج توهين أشعة غاما (661 KeV) باستعمال العينات المحضرة والمراجع العلمية.

المرجع	سماكة النصف (cm)	اسم العينة وتركيبها الكيميائي
الدراسة الحالية	5.8	Cer-0
	2.6	Cer-Ba-3
	5.0	Cer-W-3
	2.5	Cer-Pb-3
[12]	8.1	Epoxy
	3.2	Epoxy+60 % Bi ₂ O ₃
	3.0	Epoxy+60 % Pb ₃ O ₄
	3.7	Epoxy+60 % WO ₃
[13]	4.1	الخرسانة الإسمنتية
[14]	1.3	الستانلس ستيل
[12]	0.7	الرصاص

3.5 قياس توهين الأشعة السينية

أجري اختبار قدرة المركبات السيراميكية المحضرة في توهين الأشعة السينية، والتي تعد أكثر استعمالاً في التطبيقات الطبية ويمكن أن تساهم في تعريض المرضى والأطباء للأشعة أثناء عمليات التشخيص الطبي.

تبين النتائج في الجدول (7) قدرة المركبات على توهين الأشعة السينية والتي تتراوح طاقتها بين 0-120 KeV.

المركبات السيراميكية المحضرة مع الباريوم كانت أكثر قدرة على توهين الأشعة السينية وخاصة عند التركيز المنخفض من الباريوم. من الملاحظ في جميع قياسات التوهين أن نسبة العنصر المضاف تساهم في زيادة قدرة المركبة في توهين الأشعة السينية، ولكن زيادة التركيز من العنصر كان لها دور سلبي في بعض الحالات مثل زيادة التتغستن، والذي يمكن أن يفسر بسبب زيادة مسامية العينة المحضرة.

الجدول (7): نتائج قياس قدرة المركبات السيراميكية في توهين الأشعة السينية (0-120 Kv).

رقم العينة	معامل التوهين الخطي (cm ⁻¹)	HVL (cm)
Cer-0	3.58	0.194
Cer-Ba-1	4.27	0.162
Cer-Ba-2	5.17	0.134
Cer-Ba-3	5.35	0.130
Cer-W-1	5.05	0.137
Cer-W-2	4.27	0.162
Cer-W-3	4.59	0.151
Cer-Pb-1	4.25	0.163
Cer-Pb-2	4.71	0.147
Cer-Pb-3	5.01	0.138

3.6 نفوذية غاز الرادون

يهدف قياس نفوذية غاز الرادون (^{222}Rn) عبر العينات المدروسة إلى تقييم مسامية العينات المحضرة للغازات، وخاصة إذا ما استعملت مثل هذه المتركبات في حفظ المواد المشعة التي يمكن أن ينبثق منها غاز الرادون. بيّنت النتائج وجود 130 أثر على الكاشف الإشعاعي للكواشف الشاهدة (غير معزولة عن غاز الرادون)، بينما لم يسجل أي أثر على الكواشف المغطاة بالمتركبات السيراميكية مؤكدة عدم عبور غاز الرادون عبر العينات، مما يجعلها ملائمة وبشكل فعّال في حفظ المواد المشعة وخاصة المصدرة لغاز الرادون.

4- الاستنتاجات

بيّنت نتائج البحث إمكانية تحضير متركبات سيراميكية نانوية باستعمال مواد محلية، ووضحت النتائج دور كل من المكونات في تغيير الخصائص الميكانيكية للمتركبة السيراميكية. استعملت العناصر المعدنية (التنغستين والرصاص والباريوم) في تحسين الخصائص التدريجية للمتركبة المحضرة من أجل تدريع أشعة غاما وأشعة إكس، وبيّنت النتائج وجود انخفاض ملموس في قيم طبقة سماكة النصف مع زيادة كمية المواد المضافة، وبشكل أكثر فعالية في حالة الباريوم والرصاص. من جهة ثانية، ساهمت إضافة التنغستين في زيادة توهين الأشعة، إلا أن زيادة تركيز المعدن في المتركبة ساهم في خفض الكفاءة مقارنة بالنسبة الأقل من المعدن. كما بيّنت النتائج قدرة العينات السيراميكية على احتجاز غاز الرادون، مما يجعلها ملائمة وبشكل فعّال في حفظ المواد المشعة وخاصة المصدرة لغاز الرادون.

5- المراجع

1. Frane, N. and Bitterman, A (2020), Radiation safety and protection.
2. Suortti, P. and Thomlinson, W (2003), Medical applications of synchrotron radiation. *Physics in Medicine & Biology*, 48.
3. Cooper, W.J., Curry, R.D. and O'Shea, K.E (1998), *Environmental applications of ionizing radiation*; John Wiley & Sons.
4. Baekelandt, L. and Louvat, D (2008), ALARA in the IAEA safety standards which are applicable to the management of radioactive waste. *ALARA in radioactive waste management*, 9-11.
5. Darwesh, R., Sayyed, M., Al-Hadeethi, Y., Alasali, H.J. and Alotaibi, J.S (2023), Enhanced radiation shielding performance of epoxy resin composites with Sb_2O_3 and Al_2O_3 additives. *Radiation Physics and Chemistry*, 213, 111247.
6. Thibeault, S.A., Kang, J.H., Sauti, G., Park, C., Fay, C.C. and King, G.C (2015), Nanomaterials for radiation shielding. *Mrs Bulletin*, 40, 836-841.
7. Jones, R., Steiner, D., Heinisch, H., Newsome, G. and Kerch, H (1997), Radiation resistant ceramic matrix composites. *Journal of Nuclear Materials*, 245, 87-107.
8. Jawad, A., Demirkol, N., Gunoğlu, K. and Akkurt, I (2019), Radiation shielding properties of some ceramic wasted samples. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 5039-5042.
9. More, C.V., Alsayed, Z., Badawi, M.S., Thabet, A.A. and Pawar, P.P (2021), Polymeric composite materials for radiation shielding: a review. *Environmental chemistry letters*, 19, 2057-2090.
10. Elsafi, M., Al-Ghamdi, H., Sayyed, M., Antar, A., Almuqrin, A.H., Mahmoud, K., Cornish, K., Shalaby, T.I. and El-Khatib, A.M (2022), Optimizing the gamma-ray shielding behaviors for polypropylene using lead oxide: A detailed examination. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 1862-1872.
11. Al-Ghamdi, H., Elsafi, M., Sayyed, M., Almuqrin, A.H. and Tamayo, P (2022), Performance of newly developed concretes incorporating WO_3 and barite as radiation shielding material. *Journal of Materials Research and Technology*, 19, 4103-4114.
12. Joshi, S (2022), Epoxy-based Light Weight Gamma Ray Shielding Materials. *Indian Journal of Pure & Applied Physics (IJPAP)*, 60, 274-282.
13. Kharita, M., Takeyeddin, M., Alnassar, M. and Yousef, S (2008), Development of special radiation shielding concretes using natural local materials and evaluation of their shielding characteristics. *Progress in Nuclear energy*, 50, 33-36.
14. Sadawy, M. and El Shazly, R (2019), Nuclear radiation shielding effectiveness and corrosion behavior of some steel alloys for nuclear reactor systems. *Defence Technology*, 15, 621-628.