المجلة الدولية للهندسة وتقنية المعلومات
journal homepage:www.ijeit.misuratau.edu.ly
IJEIT
جامعة مصراتة MISURATA UNIVERSITY

تأثير إضافة حبيبات الفونولايت والكاولين على ثابت العزل الكهربي ومعامل التوهين الإشعاعي لمادة مركبة مقوّاة بالألياف

محمد علي مفتاح بلعم
جامعة مصراتة، كلية الهندسة
قسم هندسة وعلوم المواد
mohamed.ballem@eng.misuratau.edu.ly

العباس أحمد انديشة
جامعة مصراتة، كلية العلوم
قسم الفيزياء
a.endisha@sci.misuratau.edu.ly

الملخص— **في هذا البحث تمت دراسة ثابت العزل الكهربي ومعامل التوهين الخطي والكتلي لثلاث عينات من مادة مركبة مقوّاة بالألياف ذات أساس بوليمري. تم إعداد العينات باستعمال طريقة الرّصّ اليدوي للطبقات واحتوت جميعها على نسبة وزنية ثابتة من ألياف الزجاج العشوائية الترتيب. العينة الأولى اعتُبرت كعينة مرجعية وتم تحضيرها باستعمال الألياف كمادةٍ تقوية والبوليمر كمادةٍ أساس دون أي إضافات أخرى، بالنسبة للعينتين الثانية والثالثة فتم تحضيرهما بإضافة حبيبات من مادتي الكاولين والفونولايت (بحجم حبيبي يتراوح ما بين 75 إلى 125 ميكروميتر وبنسبة وزنية مقدارها 10%) إلى المادة البوليميرية على الترتيب. لجميع العينات تم حساب ثابت العزل الكهربي، ومعامل التوهين الإشعاعي لأشعة جاما الناتجة عن نظير السيزيوم المشع Cs 137 عند الطاقة 662 كيلو إلكترون-فولت، وأظهرت النتائج أن إضافة حبيبات الفونولايت والكاولين إلى المادة المركبة كان لها تأثيرٌ واضحٌ على قيم معامل التوهين الإشعاعي، فمثلاً ازداد معامل التوهين الخطي والكتلي بحوالي 30% في العينة المحتوية على حبيبات الفونولايت، أمّا ثابت العزل الكهربي فكان تأثُّره محدوداً. خَلُصت الدراسة إلى أن إضافة حبيبات بعض المواد السيراميكية الطبيعية والمتوفرة محلياً أثناء عملية تصنيع المواد المركبة المقوّاة بالألياف يؤثر في خواصها الفيزيائية ويؤدي إلى تحسين بعضها وبشكلٍ ملحوظ ما يجعلها أكثر ملائمة للعديد من التطبيقات الواسعة التي تمتاز بها هذه المواد.**

الكلمات المفتاحية— **التوهين الإشعاعي؛ الفونولايت؛ الكاولين؛ الوقاية الإشعاعية؛ ثابت العزل الكهربي؛ مادة مركبة.**

1. المقدمة

شهد العالم خلال العقود الماضية تقدماً كبيراً في كافة المجالات، واعتمد التطور الصناعي بشكل كبير على التقدم في مجال هندسة وعلوم المواد، لذلك ظهرت الحاجة لإيجاد بدائل للمواد التقليدية أو محاولة تطوير خواصها المختلفة بحيث تكون ذات مواصفات تجعل منها ملائمة لاستخدامها في التطبيقات الصناعية الهامة مثل صناعة السيارات، والطائرات، والسفن ... إلخ. من البدائل التي تم الاتجاه إليها ما يعرف بالمواد المركبة (Composite Materials)، سواءً الطبيعية منها أو الصناعية، حيث أصبحت المواد المركبة واحدة من أهم أصناف المواد الهندسية. المواد المركبة الصناعية تتكون عادة من مادة أساسية قد تكون معدنية أو سيراميكية أو من البوليمر، ومادة ثانية تعرف بمادة التقوية والتي تكون إما على شكل حبيبات أو ألياف وذلك لتعديل وتحسين خواص المادة الأساس. تستعمل المواد المركبة في العديد من التطبيقات وخاصه تلك المتعلقة بالتطبيقات الفضائية (Aerospace)، فمثلاً تستعمل في صناعة أجنحة الطائرات والهوائيات ومحركات المركبات الفضائية وغيرها من هذه التطبيقات. وأيضًا تستعملها شركات السيارات وخاصة في صناعة الأجزاء الخارجية والداخلية للسيارة مثل واقيات الصدمات، كذلك تستعمل في صناعة القوارب والقطارات بالإضافة للصناعات الحيوية كالأطراف الصناعية [1، 2].

من الأسباب التي دفعت بالمواد المركبة إلى أن تتصدر المراتب الأولى في معظم التطبيقات الهندسية هي مقاومتها للتآكل والأحمال الميكانيكية المختلفة بالإضافة إلى خفة الوزن وقلة تكلفتها مقارنة بالمواد المعدنية التقليدية. البلاستيك أو البوليمر المقوى بالألياف والذي يشار إليه بالاختصار (Fiber Reinforced Plastic) (FRP)، يعتبر أحد أصناف المواد المركبة التي أظهرت فعالية واقتصادية عالية وخاصة في عمليات صيانة الإنشاءات والبنى المتدهورة، وكذلك في الإنشاءات الجديدة حيث حلّت محل الفولاذ وسبائكه في كثيرٍ من التطبيقات الهندسية [3]. وعلى أي حال فإن استخدام المواد المركّبة كغيرها من المواد الأخرى يعتمد بشكل كبير على خواصها الميكانيكية والفيزيائية، ولذلك فإن دراسة هذه الخواص تحت تأثير القوى والإجهادات المختلفة وفي ظروف وبيئات متنوعة اكتسب أهمية كبيرة وحظي باهتمام الباحثين والمهتمين بتطوير المواد في محاولة لتحسين خواصها لتلائم بيئة وظروف عمل هذه المواد؛ وعلى الرغم مما ذُكر فإن معظم الأبحاث ركّزت بالدرجة الأولى على الخواص الميكانيكية لهذه المواد، والقليل منها نسبياً عُنِي بدراسة الخصائص الفيزيائية لها مثل: خواص التوصيل الحراري، والتوصيل الكهربائي، والانتفاخ والانكماش في الأوساط المائية أو الأوساط الأخرى، وكذلك الخصائص المغناطيسية والضوئية وغير ذلك من الخواص التي لا تقل أهمية عن الخواص الميكانيكية والتي في تحسينها وتطويرها إمكانية لابتكار مواد ذات سلوكٍ مُمَيَّز وفريد [4]

إن تحسين خواص المواد المركبة يتم بعدة طرق تبعاً لتصنيفها، ومن الطرق المتبعة في حالة المواد المركبة ذات الأساس البوليمري، استعمال الإضافات المختلفة إلى البوليمر وذلك لتحسين بعض خصائصه أو إدخال بعض الميّزات المرغوبة عليه؛ هذه الإضافات تصنف إمّا باعتبار مصدرها (عضوية أوغير عضوية)، أو باعتبار تركيبها الكيميائي، أو باعتبار شكلها الهندسي، ومن أمثلتها الملونات، مانعات الشحنة المستقرة، العوامل الملدنة، المثبتات، وغيرها؛ وبشكل عام فإن المواد البوليميرية تعتبر مواد عازلة لامتلاكها خصائص كهربائية جيدة، ولكن هذه الخصائص كالسماحية (Permittivity) مثلاً، وفقد العزل الكهربائي (Dielectric Loss) ... إلخ، تتأثر بعدة عوامل كالحرارة، الزمن، الفولتية المستخدمة، والمواد المضافة وغيرها [5]، وهكذا الحال بالنسبة لخصائص التوهين الإشعاعي فإنها تتأثر بشكل كبير بالإضافات المستعملة أيضاً [6]

يعتبر موضوع الوقاية من الأشعة المؤينة ذو أهمية كبيرة في مجال الوقاية والحماية من الإشعاع المؤين خصوصًا في المستشفيات والعيادات والمراكز البحثية التي تحوي أجهزة تستخدم الأشعة السينية (X-rays) وأشعة جاما (Gamma rays)؛ وهكذا تبرز أهمية التدريع وتغليف هذه الغرف بمواد ذات معامل توهين عالٍ كالرصاص مثلاً، وهذا يزيد من تكلفة التجهيز لمثل هذه المراكز [7].

في هذا البحث تم استخدام إضافات الكاولين والفونولايت وهي مواد سيراميكية ذات كلفة منخفضة ومتوفرة في ليبيا، وهي عبارة عن خامات طبيعية ليس لها أي تأثير على البيئة، ولا تعد من المواد السميّة مقارنة بالرصاص وغيرها من مواد التدريع المستخدمة في الوقاية الاشعاعية ؛ فالكاولين هو أحد المعادن الطينية والتي تتوفر بحسب الدراسات التي

استلمت الورقة بالكامل في 23 يوليو 2024م، وروجعت في 15 فبراير 2025م، وقبلت للنشر في 07 مارس 2025م.
متاحة على الشبكة العنكبوتية في 13 أبريل 2025م.
DOI: 10.36602/ijeit.v13i2.561

أجريت من قِبَل " مركز البحوث الصناعية – طرابلس ليبيا" في المناطق الجنوبية من ليبيا وبالتحديد منطقة سبها وما حولها ومناطق وادي الشاطئ، ويمتاز الكاولين بلونه الأبيض ودرجة انصهاره العالية، وهو من أكثر المعادن الحجرية استعمالاً في صناعة السيراميك، ويمتاز أيضاً ببريقه الترابي، وقدرته على تبادل الأيونات الموجبة والسالبة ولكن بشكل منخفض نوعًا ما، وهو قابل للقولبة عندما يكون رطباً [8]. بالنسبة للفونولايت فهو عبارة عن صخر ناري (بركاني) ذو تركيب كيميائي متوسط (ما بين الحمضي والقاعدي)، ويتكون أساسًا من معادن الفلدسبار، ويستعمل في صناعة البلاط لتكثيف درجة ترابط الحبيبات السيراميكية ويعتبر الفونولايت من المؤثرات المباشرة على مقاومة الكسر للسيراميك المصنع وذلك بحسب زيادة أو نقص الكمية المضافة. يتوفر هذا الحجر الناري بكثرة في ليبيا أيضاً، فبحسب دراسات سابقة يقع في منطقة قبة غريان في الشمال الغربي من ليبيا، و يسمى ذلك التكتل الصخري الناري (كاف أبوغنوش)، عن عمر يقدر بـ 40 مليون سنة، ويبلغ امتداده من الشرق إلى الغرب حوالي 5.2 كم، وامتداده من الشمال إلى الجنوب ما يقارب 25.1 كم، ويرتفع على مستوى سطح البحر بحوالي 634 م، ويعتبر من أكبر التجمعات الصخرية في ليبيا [9].

جاء هذا البحث متمّماً لبحثين سابقين استُعملت فيهما إضافات مادتي الكاولين والفونولايت بنسبة محددة، وبحجم حبيبي محدد وذلك لتعديل خصائص المادة البوليميرية الداخلة في تصنيع مادة مركبة مقوّاة بالألياف، حيث تناول البحث الأول دراسة تأثير هذه الإضافات على الخواص الميكانيكية [10]، أمّا الثاني فتناول تأثيرها على بعض الخواص الفيزيائية [11]؛ وفي هذا البحث تمت دراسة تأثير هذه الإضافات على خصائص العزل الكهربي وخصائص التوهين لأشعة جاما للمادة المركبة نفسها، وبذلك تكون أغلب خصائص هذه المادة قد تمت تغطيتها ما يسهل عملية المفاضلة بينها وبين غيرها من البدائل المحتملة لمن يرغب في استعمالها في أحد التطبيقات الكثيرة والمتنوعة لهذه المواد.

2. الجانب العملي

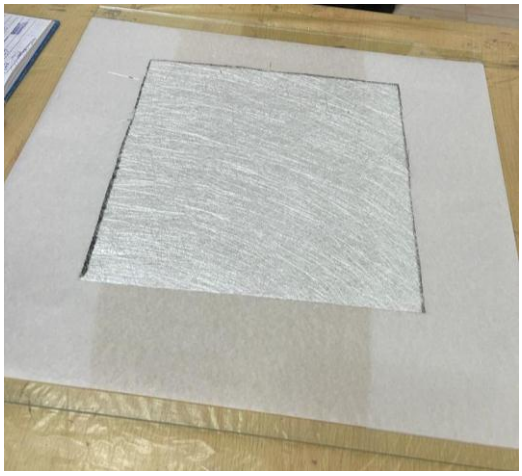
2-1 المواد المستخدمة:

تم تحضير عينات المواد المركبة المقوّاة بالألياف وذات الأساس البوليميري والتي تم دراستها في هذا البحث في معمل قسم هندسة وعلوم المواد بكلية الهندسة مصراتة وذلك باستعمال الألياف الزجاجية عشوائية الترتيب (**chopped strand mat**) من النوع (**EMC450**) ذات كثافة طولية مقدارها **450 g/m^2**. أمّا المادة البوليمرية الأساس فهي عبارة عن البوليستر الغير مشبع (**Unsaturated Polyester Resin**) من النوع (**EK-300 Tix**)؛ أيضاً تم استعمال المجفف (المصلد) من النوع (**EFOX 30**)، وهو عبارة عن ثلاثي بوتيل بيروكسي بنزوات (**Tert Butyl Peroxybenzoate**)، والذي يكون على شكل سائل شفاف يضاف إلى المادة البوليميرية والتي تكون في الحالة السائلة هي الأخرى في درجة حرارة الغرفة وذلك لإتمام عملية البلمرة (تم توفير هذه المواد من شركة ألياف ليبيا بمدينة مصرتة). بالنسبة للفونولايت والكاولين- والتي استعملت كإضافات أو حشوات (**Fillers**) للمادة البوليميرية الأساس- فهي مواد خام محلية المنشأ تم توفيرها من المجمع الليبي الاستثماري لصناعة مواد البناء، والكائن أيضاً بمدينة مصراتة.

2-2 تحضير العينات:

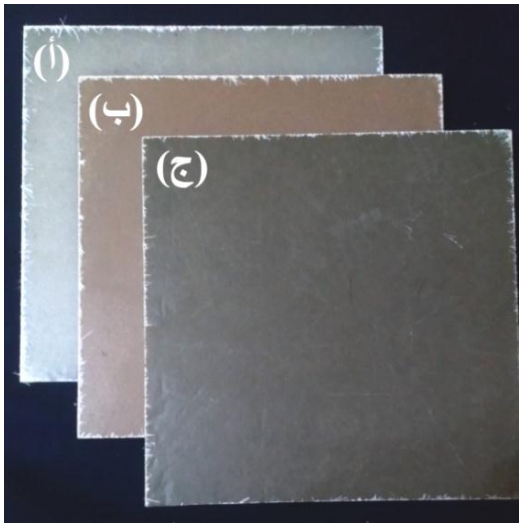
قبل البدء في عملية تصنيع المواد المركبة تم تجهيز المواد المستعملة، حيث تم تجهيز حبيبات الفونولايت والكاولين المستعملة كإضافات وذلك بطحن المادة الخام لهذه الحبيبات أولاً باستعمال مطرقة يدوية ثم باستعمال مطحنة معملية، وبعد ذلك تمت غربلة المسحوق الناتج باستعمال مجموعة من الغرابيل (المناخل) المثبتة على هزّاز كهربائي، وهكذا تم الحصول على الحبيبات المراد استعمالها والتي كانت بحجم حبيبي ما بين 75 إلى 125 ميكروميتر. تم أيضاً تجهيز الألياف بقصها على شكل مربعات بأبعاد (30 سم × 30 سم) كالموضحة بالشكل1، وتمّ قص عدد 7 طبقات لكل عينة من العينات التي تم تحضيرها. بالنسبة للمادة الأساس للعينات تم تجهيزها بإضافة المجفف إلى البوليستر بنسبة 100:2 وذلك بحسب توصية الشركة الموردة، وتم الخلط يدوياً وبشكل جيد لمدة تتراوح ما بين ما بين 3 إلى 5 دقائق لضمان تجانس الخليط.

لإعداد العينات تم استعمال طريقة الرّص اليدوي أو ما يعرف بالقولبة اليدوية (**Hand lay-up**)، وهي من الطرق البسيطة والمستعملة في تصنيع المواد المركبة المقوّاة بالألياف، حيث تم تثبيت قطعة من الورق المشحم على لوح زجاجي كالذي يظهر في الشكل1، وبعد ذلك تم وضع طبقة من المادة البوليميرية عليها وتوزيعها باستعمال فرشاة الطلاء، ثم وضعت أحد طبقات الألياف التي تم تجهيزها مسبقاً، وتم تسويتها باستعمال فرشاة اسطوانية لضمان توزيع البوليمر بشكل متساوٍ وإزالة فقعات الهواء المحتبسة، بعد ذلك تمت إضافة بعض البوليمر مرة أخرى ووضعت طبقة أخرى من الألياف، وهكذا تم تكرار هذه الخطوات إلى أن تم وضع جميع الطبقات، وأخيراً تم تغطية العينة بقطعة من الورق المشحم ووضع فوقها قطعة زجاجية أخرى وفوقها ثقل مناسب، وتركت العينات لتجف في درجة حرارة الغرفة لمدة 24 ساعة.



شكل1 أحد طبقات الألياف المستعملة في تحضير العينات بعد عملية القص

العينات المحتوية على حبيبات الفونولايت والكاولين تم تحضيرها بنفس الطريقة السابقة ولكن تم إعداد الأساس البوليمري بإضافة الحبيبات إلى البوليستر بنسبة وزنية مقدارها 10%، وخلطها معه أولاً لمدة 3 دقائق تقريباً للحصول على خليط متجانس وذلك قبل إضافة المصلد لضمان عدم بدء عملية التصلب قبل توزع حبيبات المسحوق بشكل متجانس في الخليط، وبعد ذلك تمت إضافة المصلد وخلطه لمدة تتراوح مابين 2 إلى 3 دقائق إضافية. العينات المتحصل عليها بعد أن تم قص وتسوية حوافها بإزالة الزوائد منها تظهر جميعها في الشكل2، وهي على الترتيب: العينة المرجعية والغير محتوية على أي إضافات سيراميكية وتم الإشارة إليها بالاختصار (**GFRP**)؛ العينة المحتوية على حبيبات الكاولين وتم الإشارة إليها بالاختصار (**K-GFRP**)؛ وأخيراً العينة المحتوية على حبيبات الفونولايت وتم الإشارة إليها بالاختصار (**Ph-GFRP**). تفاصيل أكثر عن كيفية تجهيز وتحضير العينات موجودة في دراسات سابقة [10، 11].



شكل2 العينات التي تم تحضيرها: (أ) العينة المرجعية، (ب) العينة المحتوية على الكاولين، (ج) العينة المحتوية على الفونولايت

شكل3 مكونات الدائرة المستعملة في اختبار حساب ثابت العزل الكهربي

2-3 الاختبارات المعملية:

2-3-1 حساب ثابت العزل الكهربي:

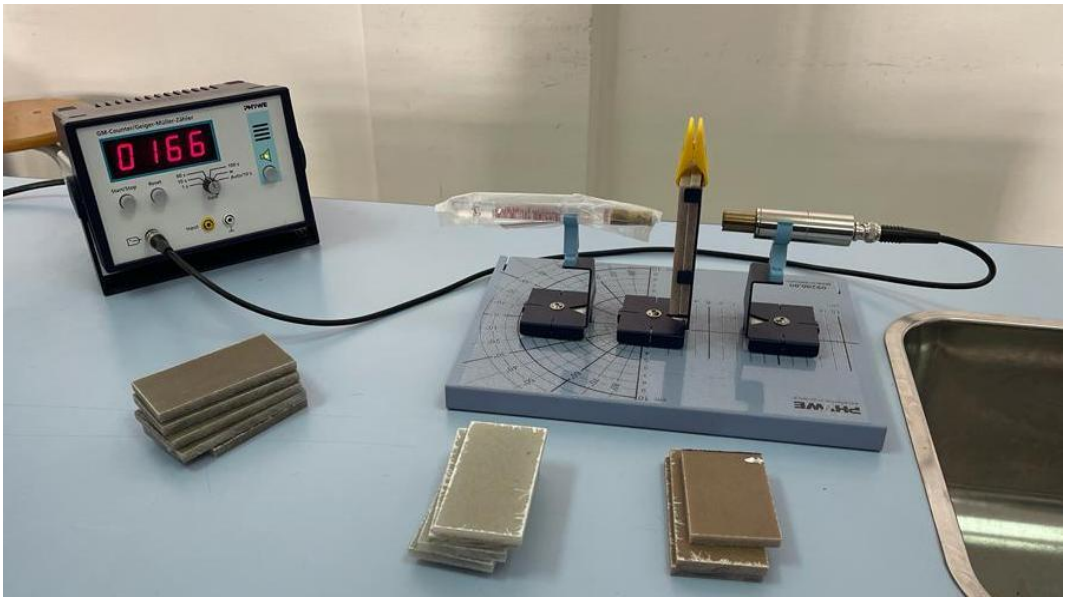
تم استخدام جهاز قياس ثابت العزل الكهربي باستعمال دائرة رنين التوالي والموجود بمعامل قسم الفيزياء بكلية العلوم-جامعة مصراتة. تتألف الدائرة من مولد ذبذبات من شركة (**LEYBOLD**) يعطي ترددات من 10 هيرتز إلى 100 كيلوهيرتز، ومتسعة ذات لوحين توضع بينهما عينة المادة المراد قياس ثابت العزل لها؛ تربط باقي مكونات الدائرة وهي المقاومة (في حدود 500 أوم)، وملف ذو حث ذاتي (3 ميللي هنري)، وجهاز الأميتر لقياس التيار، ومقياس التردد لحساب التردد بشكل دقيق كما هو موضح بالشكل3. وحيث أن أبعاد لوحي المتسعة 30 سم × 30 سم، فإن هذا الاختبار تم إجراؤه أولاً على العينات المصنعة والتي كانت أبعادها متوافقة مع أبعاد لوحي المتسعة وذلك قبل أن يتم تقطيعها لتناسب اختبار التوهين. ولحساب ثابت العزل الكهربي (***K***) تم استعمال العلاقة التالية [12، 13]:

$$K = (f_0^2 . d_m)/(f_d^2 . d_0) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

حيث: f_0 تردد الرنين في حالة الهواء (سماحية الهواء ≈ سماحية الفراغ)، و f_d تردد الرنين عند وضع المادة العازلة (العينة المراد اختبارها)، d_m سمك المادة العازلة، d_0 المسافة بين الصفيحتين في حالة الهواء.

2-3-2 حساب معامل التوهين الخطي والكتلي لأشعة جاما:

تم إجراء الاختبار في معمل الفيزياء بكلية العلوم باستعمال جهاز عداد جايجر مولر الذي يظهر في الشكل4 والمصنع من قبل الشركة الألمانية (**PHYWE**)، ويتكون من أنبوب مثبت بحامل على قاعدة معدنية ومتصل بجهاز العد والذى يُظهر قراءات العد والتي تمثل شدة الأشعة. وحيث أن معامل التوهين في المادة يعتمد على نوع المادة وسمكها وكذلك طاقة الفوتون المستخدم، فإنه تم استخدام مصدر أحادي الطاقة وهو نظير السيزيوم **Cs 137**، ذو نشاط إشعاعي **370 kBq**، ويعطي فوتونات ذات طاقة 662 كيلو إلكترون-فولت، تم تثبيت المصدر على حامل موضوع على مسافة ثابتة من عداد جايجر، وتم وضع حامل العينات بين العدّاد وأنبوب المصدر المشع. تم تجهيز عدد 5 عينات وبأبعاد 5 سم × 10 سم × سمك العينة بالسنتيمتر، وذلك لكل نوع من المواد المركبة التي تمت دراستها.



شكل 4 عدّاد جايجر، جهاز العدّ، والعينات المختبرة

جدول1 القيم المسجلة أثناء اختبار حساب ثابت العزل الكهربي

Air		GFRP		K-GFRP		Ph-GFRP	
d_0 = 6.9 mm		d_m = 6.24 mm		d_m = 7.14 mm		d_m = 6.81 mm	
I(μA)	f(Hz)	I(μA)	f(Hz)	I(μA)	f(Hz)	I(μA)	f(Hz)
2.0	10.00	8.3	10.00	7.7	10.00	8.6	10.00
3.0	15.00	15.5	15.00	12.9	15.00	14.5	15.00
3.6	20.00	26.9	20.10	21.1	20.00	24.0	20.00
4.9	25.00	56.0	25.00	39.2	25.00	46.0	25.00
7.1	30.00	366.0	30.00	125.4	30.00	179.2	30.00
11.7	35.00	483.0	30.37	366.1	31.80	395.0	31.75
26.7	40.00	70.5	35.00	123.9	35.00	96.7	35.00
236.0	44.37	22.9	40.00	30.0	40.00	27.3	40.00
235.0	45.00	7.8	45.00	9.6	45.00	9.1	45.00
11.9	50.00	1.8	50.00	2.3	50.00	2.1	50.00

لإجراء الاختبار تم أخذ ثلاث قراءات لعداد جايجر خلال ثلاث فترات زمنية كل فترة مدتها دقيقة واحدة، متوسط هذه القراءات كانت قيمته مساوية لـ (11 عدّة في دقيقة) والذي يمثل شدة إشعاع الخلفية (I_{BG})، ولدراسة العينات تمّ أولاً تثبيت العنصر المشع وأخذ عدد ثلاث قراءات للمصدر المشع دون وضع أي عينة في الحامل، مدة كل قراءة دقيقة واحدة، وبطرح قيمة إشعاع الخلفية من متوسط هذه القراءات تم الحصول على شدة أشعة جاما للمصدر المشع (I_0). بعد ذلك تم دراسة العينات بوضعها أمام المصدر المشع وعند قيم مختلفة للسمك يتم التحكم فيها بزيادة عدد العينات، ولكل سمك تم أخذ عدد ثلاث قراءات وأخذ متوسطها وطرح قيمة إشعاع الخلفية منه للحصول على شدة الإشعاع النافذ (I)، وهكذا تم تكرار هذه الخطوة مع الأنواع الثلاثة للعينات ورصدت القيم اللازمة لإجراء الحسابات المطلوبة.

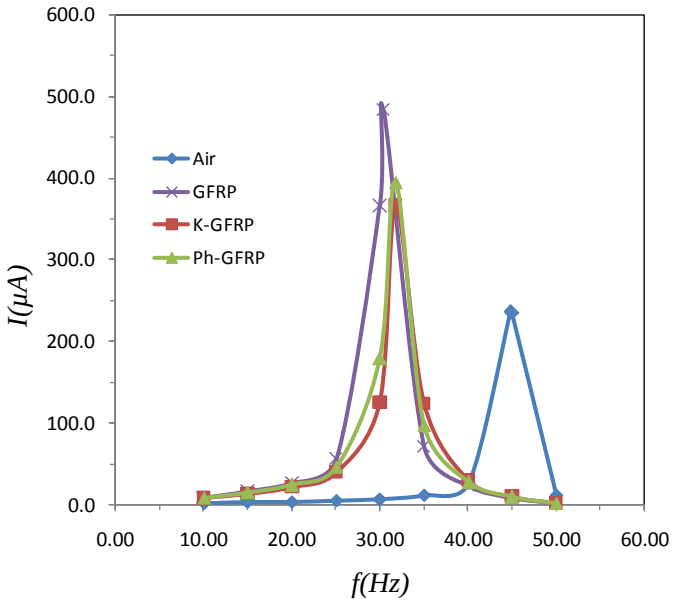
3. النتائج والمناقشة

3-1 ثابت العزل الكهربي:

لحساب ثابت العزل الكهربي (K) للعينات باستعمال دائرة الرنين تم تسجيل قيم التيار والتردد أثناء الاختبار وذلك لتحديد تردد الرنين للهواء والعينات المختبرة، وتم أيضاً قياس المسافة بين الصفيحتين دون وجود أي مادة بينهما، وأُخِذ المتوسط الحسابي لعدد 10 قراءات لسمك كل عينة وتم تدوين جميع هذه القيم في الجدول1.

من الجدول1 وكذلك من الشكل5 الذي يعرض منحنيات رنين التوالي للعينات المختبرة، تم تحديد قيمة تردد الرنين للهواء بـ 44.8 هيرتز، وللعينة المرجعية بـ 30.4 هيرتز، بينما للعينة المحتوية على الكاولين بـ 31.8 هيرتز، وأخيراً لعينة الفونولايت 31.75 هيرتز.

باستعمال العلاقة الخاصة بحساب ثابت العزل الكهربي (معادلة 1) والتي تمت الإشارة إليها سابقاً، وجد أن قيمة ثابت العزل للعينة المرجعية مساوٍ لـ 1.966، ولعينة الكاولين 2.053، ولعينة الفونولايت 1.964. يلاحظ أن القيم متقاربة وجميعها في حدود 2. لعل السبب في عدم حدوث تأثير كبير في قيمة ثابت العزل هو أن نسبة الإضافات كانت محدودة، حيث أظهرت بعض الدراسات أن زيادة نسبة الإضافات تؤدي إلى زيادة قيمة ثابت العزل [5]. بشكل عام فإن القيم النموذجية لثابت العزل أكبر من الواحد، وليس له وحدة قياس حيث أنه نسبة عددية بين سماحية الفراغ إلى أي وسط آخر. القيم النموذجية للزجاج مثلاً في حدود من 4 إلى 9، أما الميكا فتكون في حدود من 6 إلى 8 [12، 13].



شكل 5 منحنيات رنين التوالي للعينات المختبرة

جدول 2 القيم المسجلة أثناء اختبار حساب معامل التوهين الإشعاعي

Materials	Number of Specimens	x (cm)	R_1 (Count/min)	R_2 (Count/min)	R_3 (Count/min)	$R_{av.}$ (Count/min)	I ($R_{av.}$- I_{BG})	ln (I_0/I)
Air			432	427	467	442	$I_{0=}$ 431	
GFRP	1	0.713	391	433	437	420	409	0.05
	2	1.426	383	397	396	392	381	0.12
	3	2.139	386	378	390	538	437	0.14
	4	2.852	367	360	394	437	336	0.17
	5	3.565	349	328	367	348	337	0.24
Air			456	496	490	148	70$I_{0=}$ 4	
K-GFRP	1	0.713	411	411	433	418	407	0.14
	2	1.426	376	406	410	397	386	0.19
	3	2.139	367	340	370	359	348	0.29
	4	2.852	364	317	331	337	326	0.35
	5	3.565	329	331	352	337	326	0.35
Air			466	483	478	647	5$I_{0=}$ 46	
Ph-GFRP	1	0.681	424	411	382	640	539	0.16
	2	1.362	391	388	377	385	374	0.21
	3	2.042	357	333	349	346	335	0.32
	4	2.722	334	330	325	303	931	0.37
	5	3.402	321	335	310	322	311	0.39

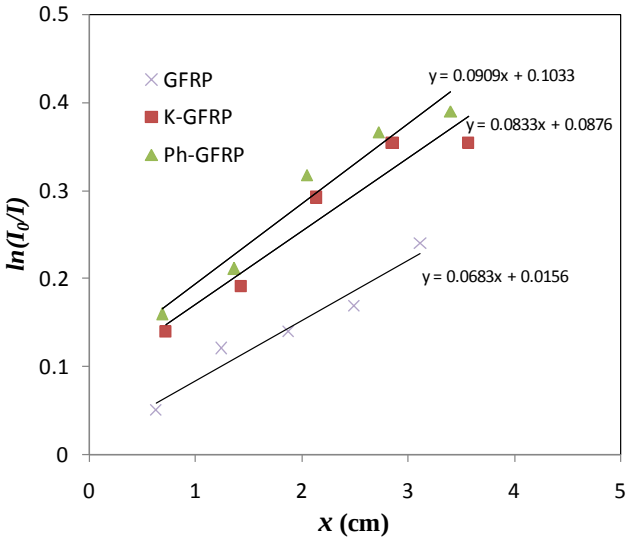
2-3 معامل التوهين الخطي والكتلي لأشعة جاما:

توهين الأشعة يقصد به تناقص شدتها عند مرورها خلال مادة ما، ويحصل هذا التوهين أو التضاؤل (attenuation) لسببين هما التشتت (scattering) والامتصاص (absorption). لحساب معامل التوهين الخطي (linear attenuation coefficient) تم استعمال العلاقة التالية:

$$ln(I_0/I) = \mu x \quad \text{..... (2)}$$

حيث: μ هي معامل التوهين الخطي، x المسافة التي تقطعها الأشعة في وسط معين (السمك بالسنتيمتر)، I_0، I هي شدة إشعاع المصدر، وشدة الإشعاع النافذ على الترتيب [14، 15].

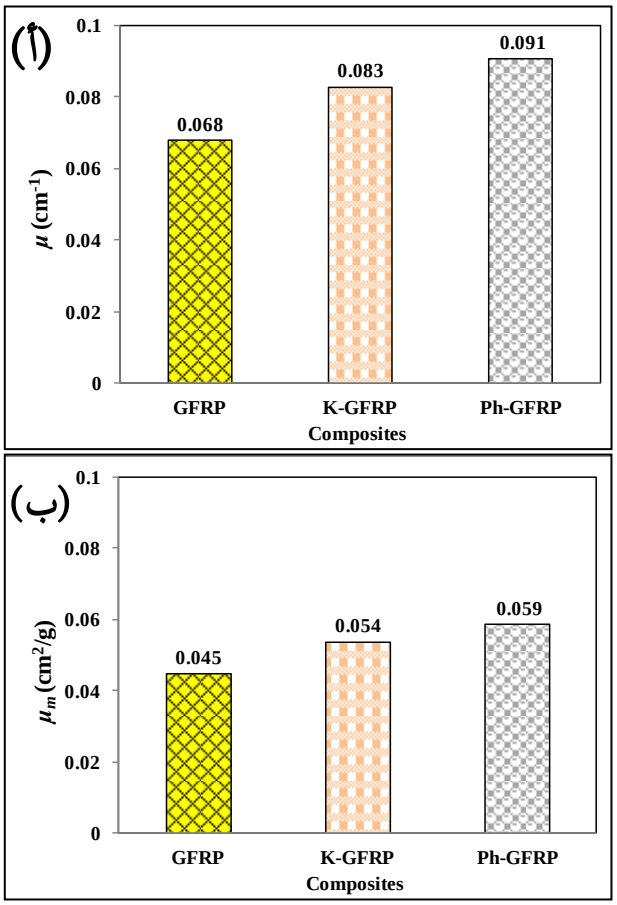
الجدول2 يعرض قراءات العدّاد التي تم تسجيلها والتي يرمز لها بالرمز (R)، وكذلك متوسط هذه القيم ($R_{av.}$)، وأيضاً شدة الإشعاع النافذ وإشعاع المصدر عند كل عينة، وبرسم العلاقات بين المسافة x (cm) ، و $ln(I_0/I)$ للعينات المختبرة كما يظهر في الشكل6 وبأخذ ميل الخطوط المستقيمة نحصل على قيمة معامل التوهين الخطي (μ) لكل عينة. كما يظهر من الشكل6 فإن قيمة معامل التوهين للعينة المرجعية (GFRP) هي 0.068 cm^{-1}، وللعينة المحتوية على الكاولين (K-GFRP) هي 0.083 cm^{-1}، ولعينة الفونولايت (Ph-GFRP) كانت قيمته مساوية لـ 0.091 cm^{-1}.



شكل6 العلاقة بين المسافة x (cm)، و $ln(I_0/I)$ للعينات المختبرة

بالنسبة لقيم معامل التوهين الكتلي (μ_m)، فكانت مساوية لـ 0.045 cm^2/g، 0.054 cm^2/g و 0.059 cm^2/g **للعينات الثلاث على الترتيب، وتم حساب هذه القيم بقسمة معامل التوهين الخطي على كثافة العينات الحقيقية والتي كانت وبحسب دراسة سابقة مساوية لـ** 1.498 g/cm^3 **للعينة المرجعية، و** 1.537 g/cm^3 **للعينة المحتوية على الكاولين، و** 1.531 g/cm^3 **لعينة الفونولايت [11].**

من النتائج المتحصل عليها لقيم معامل التوهين الخطي والكتلي، نجد أن إضافة حبيبات الكاولين والفونولايت أدّت إلى زيادة قيمة معامل التوهين الخطي لهذه العينات، وكانت نسبة الزيادة مقارنة بالعينة المرجعية حوالي 22.1%، 33.8% على الترتيب كما يظهر من الشكل7أ. بالنسبة لمعامل التوهين الكتلي هو الآخر ازدادت قيمته عند استعمال الإضافات السابقة وكانت نسبة الزيادة هي 20%، 31.1% على الترتيب كما يظهر من الشكل7ب.



شكل7 قيم معامل التوهين: (أ) الخطي، (ب) الكتلي للعينات المختبرة.

يلاحظ أن الزيادة في معاملات التوهين والناتجة عن إضافة الفونولايت أكبر من تلك الناتجة عن زيادة الكاولين، ولعلّ سبب هذا التباين راجع لاختلاف التركيب الكيميائي لكل منهما والذي يظهر في الجدول3 بحسب المعلومات المرفقة من المورِّد [16]، حيث أوضحت دراسة أجريت على بعض مواد البناء وهي مواد سيراميكية مشابهة في تركيبها لإضافات الكاولين والفونولايت أن هناك تفاوت واضح بينها في قيم معامل التوهين الخطي والكتلي على حدٍّ سواء بسبب اختلاف العناصر الداخلة في تراكيبها الكيميائية [17]. أما السبب في أن هذه الإضافات أدّت إلى زيادة معامل التوهين بشكل عام فهو راجع إلى أن حزمة الأشعة الساقطة عندما تصدم بالبوليمر المدعم بالحبيبات فإن جزءً من الفوتونات (طاقة الشعاع) سوف تزال من الحزمة داخل العينة بسبب تشتتها أو امتصاصها من هذه الحبيبات وهذا يؤدي إلى إزالة قسم منها بشكل نهائي وبالتالي يحصل توهين للإشعاع [6].

جدول 3 التركيب الكيميائي لمادتي الفونولايت والكاولين

المكوّن	الكاولين	الفونولايت
	النسبة الوزنية (%)	النسبة الوزنية (%)
SiO_2	64.60	57.17
Al_2O_3	30.33	21.30
Na_2O	0.23	8.12
K_2O	0.82	7.25
Fe_2O_3	1.82	2.17
CaO	0.39	2.16
MgO	0.26	0.46
TiO_2	1.48	0.32
ZrO_2	-	0.17
MnO	-	0.17
Cl	0.07	0.22

4. الخلاصة

من خلال هذا البحث والذي تم فيه تحضير عينات من مادة مركبة ذات أساس بوليمري ومقوّاة بألياف الزجاج، ودراسة تأثير إضافة حبيبات الفونولايت والكاولين إلى الأساس البوليميري على قيم ثابت العزل الكهربي ومعامل التوهين الخطي والكتلي لأشعة جاما، يمكن استنتاج أن إضافة هذه الحبيبات لم يؤثر بشكل كبير على قيم ثابت العزل الكهربي، في حين أنها أدّت إلى تحسُّن ملحوظ في قيم معامل التوهين الخطي والكتلي للعينات بشكل عام. أيضاً أظهرت الدراسة أن العينات المحتوية على حبيبات الفونولايت أعطت نتائج أفضل من تلك المتحصل عليها من إضافة الكاولين في قيم كل من معامل التوهين الخطي والكتلي لأشعة جاما، وتم ارجاع هذا التفاوت بين هاتين العينتين إلى اختلاف التركيب الكيميائي لحبيبات كل من الفونولايت والكاولين. وحيث أن البحث الحالي اقتصر على دراسة هذه المعاملات عند إضافة مادتي الفونولايت والكاولين إلى الأساس البوليمري بنسبة محددة وبحجم حبيبات محدد، عليه نرى أنه بالإمكان مواصلة البحث في هذا الاتجاه وإجراء دراسات مشابهة بتغيير نسب الإضافات مع تثبيت حجم الحبيبات أو العكس، وكذلك يمكن استخدام حبيبات من مواد أخرى كالسيليكا، أو التربة الحمراء، أو القرانيت، أو غيرها من الخامات والمواد الطبيعية المتاحة والمتوفرة محلياً.

المراجع

[1] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Materials science and engineering: an introduction*, 9th ed.: Wiley New York, 2013.

[2] D. R. Askeland and W. J. Wright, *Essentials of materials science and engineering*: Cengage Learning, 2018.

[3] P. K. Bajpai and I. Singh, *Reinforced Polymer Composites: Processing, Characterization and Post Life Cycle Assessment*: John Wiley & Sons, 2019.

[4] D. Hale, "The physical properties of composite materials," *Journal of materials science,* vol. 11, pp. 2105-2141, 1976.

[5] A. W. Watan and S. H. Aleabi, "Studing some effective parameter on the dielectric properties of composite materials containing of un saturated polyester resin," *Eng Technol J,* vol. 33, pp. 83-90, 2015.

[6] A. J. Mohammed, " حساب معامل التوهين الخطي ومعدل المسار الحر للأشعة السينية للبولي إثيلين واطئ الكثافة المدعم بمسحوق قشور الجوز," *University of Aden Journal of Natural and Applied Sciences,* vol. 23, pp. 343-353, 2019.

[7] مدخل إلى الحماية الإشعاعية: *An Introduction to Radiation Protection*, آلن مارتن، وصومائيل هاريسون، ترجمة محمد بن إبراهيم العبيكان للنشر، 2012.

[8] "الخامات الطبيعية بجنوب ليبيا واستخدامها كمواد للبناء", أ. ا. الحضيري presented at the International Conference on Technical Sciences (ICST2019), 2016.

[9] "العلاقة بين الكثافة والقابلية المغناطيسية والتركيب ,ا. رمضان وآخرون الكيميائي في صخور الفونولايت والتراكايت بجبل كاف أبوغنوش في منطقة المجلة الجامعة, غريان بشمال غرب ليبيا"، vol. 4, pp. 227-248, 2016.

[10] M. A. Ballem and R. R. Khalifa, "Effect of Kaolin and Phonolite Particulates Addition on the Mechanical Properties of Glass−Fiber Composites," *Submitted Manuscript, 2025.*

[11] M. A. Ballem, M. Aldarwisha, A. M. Alnairi, and M. S. Endisha, " Effect of Kaolin and Phonolite Particulates Addition on Some Physical Properties of Glass−Fiber Composites" *Accepteed for publication in The Journal of Pure and Applied Sciences (JOPAS), Sebha University.*

[12] ع. س. موسى، التجارب العملية في الفيزياء. ليبيا: منشورات جامعة 7أكتوبر، 2002.

[13] L. v. Alvensleben, Experimental literature, Physics: PHYWE, 2001.

[14] G. F. Knoll, Radiation detection and measurement: John Wiley & Sons, 2010.

[15] R. A. Powsner, M. R. Palmer, and E. R. Powsner, Essentials of Nuclear Medicine Physics, Instrumentation, and Radiation Biology: John Wiley & Sons, 2021.

[16] مختبر البحث والتطوير بشركة المجمع الاستثماري لصناعة مواد البناء-" مصراتة/ليبيا،" 2021.

[17] L. A. Najim and I. M. Hassan, "Studying the Linear and the Mass Attenuation Coefficient of Gamma Rays for Certain Building Materials used in Iraq," Rafidain Journal of Science, vol. 25, pp. 75-85, 2014.