



مجلة جامعة سبها للعلوم البحتة والتطبيقية
Sebha University Journal of Pure & Applied Sciences

Journal homepage: <http://www.sebhau.edu.ly/journal/jopas>



تأثير إضافة حبيبات الفونوليت والكاولين على بعض الخواص الفيزيائية لمادة مركبة مقواة بالألياف

محمد بلعم*, مصطفى الدرويش, أحمد النعيري ومحمد انديشة

قسم هندسة وعلوم المواد، كلية الهندسة، جامعة مصراتة، مصراتة، ليبيا.

الكلمات المفتاحية:

الفونوليت.
الكاولين.
الكثافة.
الوسط المحيط.
مادة مركبة.
مقاومة اللهب.

الملخص

تضمن هذا البحث دراسة لمجموعة من الخواص الفيزيائية لمادة مركبة مقواة بالألياف ذات أساس بوليمري معدل بإضافة حبيبات بعض المواد الطبيعية إليه. باستعمال طريقة الرّصّ اليدوي للطبقات تم تحضير ثلاث عينات احتوت جميعها على نسبة وزنية ثابتة من ألياف الزجاج العشوائية الترتيب؛ العينة الأولى اعتُبرت كعينة مرجعية وتم تحضيرها باستعمال الألياف كمادة تقوية والبوليمر كمادة أساس دون أي إضافات أخرى. في العينتين الثانية والثالثة تم إضافة حبيبات من مادتي الكاولين والفونوليت (بحجم حبيبي يتراوح ما بين 75 إلى 125 ميكرومتر ونسبة وزنية مقدارها 10%) إلى المادة الأساس على الترتيب. تم إخضاع جميع العينات لمجموعة من الاختبارات المعملية لمعرفة تأثير هذه الإضافات على بعض خواصها الفيزيائية والتي شملت: الكثافة الحقيقية، الكثافة النظرية، نسبة الفراغات، مقاومة اللهب، بالإضافة إلى تقييم تأثير ماء البحر والماء العذب على وزن وأبعاد العينات. أظهرت نتائج هذه الاختبارات أن إضافة حبيبات الفونوليت والكاولين إلى المادة المركبة كان لها تأثير بسيط على جميع الخواص الفيزيائية التي تمت دراستها دون استثناء، فمثلاً الكثافة ازدادت في حدود 3% فقط، أما نسبة تغير الوزن بسبب امتصاص الماء فلم تبلغ الـ 0.2% لجميع العينات في الأوساط التي تمت دراستها. بالنسبة لمقاومة المواد للهب فازدادت بشكل نسبي للعينات المحتوية على إضافات الكاولين والفونوليت، أما أبعاد العينات فلم تتأثر على الإطلاق. خلُصت الدراسة إلى أن إضافة حبيبات بعض المواد الطبيعية المتوفرة محلياً أثناء عملية تصنيع المواد المركبة المقواة بالألياف لم يؤثر في خواصها الفيزيائية التي تميّزها عن غيرها من المواد الأخرى ما يجعلها أكثر ملائمة للعديد من التطبيقات الواسعة التي تمتاز بها هذه المواد والتي تتطلب خفة الوزن واستقرارية الأبعاد.

Effect of Kaolin and Phonolite Particulates Addition on Some Physical Properties of Glass–Fiber Composites

Mohamed Ballema*, Mustafa Aldarwisha, Ahmed Alnairia and Mohamed Endishaa

Department of Materials Science and Engineering, Faculty of Engineering, Misurata University, Misurata, Libya.

Keywords:

Fonolite.
Kaolin.
Density.
Surrounding environment.
Composite material.
Flame resistance.

ABSTRACT

In this research, some physical properties of a fiber-reinforced composite material with a modified polymer matrix by adding of natural fillers were studied. By using of hand lay-up method three groups of polymer-based composite specimens contained a fixed weight percentage of chopped glass fiber were fabricated. The first group was prepared without any additive particles to serve as a reference, while the other two groups were prepared by incorporating the kaolin and phonolite particles, respectively, into the polyester resin (at weight percentage of 10% and particle size of 75 to 125 μm). The physical properties of the specimens were investigated by carrying out several tests according to ASTM standards to determine the effect of these fillers on the relative density, true density, void content, and fire-resistance properties of the prepared composites. In addition, the effect of distilled water and seawater on the weight and dimensions (thickness swelling) of the specimens were evaluated. The obtained results showed that adding phonolite and kaolin particles to the composite material had a minor effect on all the studied properties. For instance, the density increased by only 3%, while the percentage of weight change due to water absorption did not reach 0.2% for all studied specimens. The Fire-resistance of the materials shows a relatively improvement for the specimens containing kaolin and phonolite fillers, while the dimensions of all the composites

*Corresponding author.

E-mail addresses: mohamed.ballema@eng.misuratau.edu.ly, (Mustafa Aldarwish) mamosab@yahoo.com.au, (Ahmed Alnairi) annayree@gmail.com, (Mohamed Endisha) muhammadandisha9@gmail.com.

were not affected at all. The study concluded that adding of some locally available natural materials as fillers during the manufacturing process of fiber-reinforced composite materials did not affect their physical properties that distinguish them from other materials such as dimensional stability and high ratio of strength to weight, and that making them more suitable for many engineering applications.

1. المقدمة

المواد المركبة هي مواد مؤلفة من نوعين مختلفين أو أكثر من المواد التي تكون مترابطة مع بعضها البعض بحيث تحيط إحدى هاتين المادتين والتي تعرف بالمادة الأساس (Matrix) بالمادة الأخرى والتي تعرف بمادة التقوية (Reinforcement) والتي تستعمل لغرض التقوية وتكون على هيئة ألياف أو حبيبات. إن الغرض الأساسي من دمج مادتين أو أكثر كل منها له ما يميزه من خواص هو الحصول على مادة تتمتع بخواص في مجملها أفضل من خواص مكوناتها، وعادة ما تكون الخواص المطلوبة متمثلة في زيادة المقاومة الميكانيكية، المتانة، الصلابة، ومقاومة الوسط المحيط، بالإضافة لخفة الوزن. يتم تصنيف المواد المركبة بناءً على نوع المادة الأساس (بوليمر، سيراميك، معدن)، أو باعتبار شكل مادة التقوية (ألياف، حبيبات، بنائية التركيب) [1]. من الأنواع المهمة للمواد المركبة والتي لها استعمالات شائعة وكثيرة ما يعرف بالمواد المركبة ذات الأساس البوليميري (polymer matrix composites PMCs) وهناك أنواع مختلفة ومتعددة منها بناءً على نوع مادة التقوية المستعملة، ولعل من أهمها تلك المقواة بالألياف الزجاجية (glass fiber reinforced polymer GFRP)، وهي التي تمت دراستها في هذا البحث، مع العلم أن هناك أنواعاً أخرى تستعمل فيها ألياف الكربون أو الأراميد أو البازلت ... إلخ [1, 2].

المواد المركبة من النوع GFRP تستعمل في مجموعة واسعة من التطبيقات ليس فقط في صناعة الطيران والسيارات، ولكن أيضاً في الصناعات البحرية، الإنشاءات، الدروع، الأدوات الرياضية، النفط والغاز، التطبيقات الطبية كالأطراف الصناعية وما إلى ذلك، ويرجع ذلك لما تتميز به هذه المواد من خصائص ميكانيكية وفيزيائية وكيميائية والتي من أهمها: الكثافة المنخفضة مع المتانة والصلابة العالية، خصائص العزل الكهربائي الجيد، ومقاومة الرطوبة والمواد الكيميائية المختلفة [2, 3]. في الواقع إن خصائص مركبات الـ GFRP تعتمد على خصائص مكوناتها بالإضافة إلى قوة الترابط بين هذه المكونات، وهكذا فإن تعديل هذه المكونات سواءً باستعمال إضافات من مواد أخرى، أو زيادة الترابط بينها مثلاً بمعالجة سطح الألياف بمواد كيميائية يؤدي إلى تعديل خواص المادة المركبة [4, 5].

وحيث أن استخدام المواد المركبة يعتمد بشكل كبير على خواصها الميكانيكية والفيزيائية، ولذلك فإن دراسة هذه الخواص تحت تأثير الإجهادات والأحمال المختلفة وفي ظروف وبيئات متنوعة يعد من الأهمية بمكان، ولهذا اهتم به الباحثون والمهتمون بتطوير المواد في محاولة لتحسين تلك الخواص لتلائم بيئات وظروف العمل المختلفة. في الواقع معظم الأبحاث ركزت بالدرجة الأولى على دراسة الخواص الميكانيكية، والقليل منها تناول دراسة الخصائص الفيزيائية لها، كالتوصيل الحراري والكهربائي، الانتفاخ والانكماش، الكثافة، نسبة الفراغات، والخصائص الضوئية والمغناطيسية [6].

إن استعمال الإضافات (الحشوات) المختلفة إلى البوليمر كالتيتانيا (TiO_2)، الألومينا (Al_2O_3)، الزركونيا (ZrO_2)، السيليكا (SiO_2)، والكربون (C)، ... إلخ، أثناء عملية تصنيع المواد المركبة يعد من الطرق الفاعلة والمتبعة لتحسين

الخصائص الميكانيكية وبخاصة للمواد المركبة ذات الأساس البوليميري كمقاومة الشد، مقاومة الانحناء، مقاومة البلى الاحتكاكي، وكذلك لتقليل تكاليف الإنتاج للمواد المركبة بشكل عام [5, 7, 8, 9]. الخواص الفيزيائية للمادة المركبة تتأثر هي الأخرى بالإضافات المستعملة، ولذلك يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار هي الأخرى، فقد يحصل زيادة في المقاومة الميكانيكية للمادة ولكن على حساب الكثافة مثلاً، أو على حساب مقاومة المادة للوسط المحيط، أو على حساب قابلية المادة لإعادة التدوير وكونها صديقة للبيئة من عدمه، وبالتالي فإن هذه الإضافات يجب أن يتم اختيارها بعناية ويجب أن تتم دراسة الخواص الفيزيائية للمادة بعد استعمالها.

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 السمية؛ فالكاولين أو ما يعرف بالصلصال الصيني هو أحد المعادن الطينية، ذو لون أبيض، وله درجة انصهار عالية، وهو من أشد أنواع الطين مقاومة للحرارة. تركيبه الكيميائي $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ واسمه مشتق من اسم جبل كاو-لينج الموجود بالصين. الكاولين وبحسب الدراسات التي أجريت من قبل " مركز البحوث الصناعية - طرابلس ليبيا" يتوفر في المناطق الجنوبية من ليبيا وبالتحديد منطقة سها وما حولها ومناطق وادي الشاطئ، وهو من أكثر المعادن الحجرية استعمالاً في صناعة السيراميك، ويمتاز بقدرته على تبادل الأيونات الموجبة والسالبة وبريقه الترابي، وهو قابل للقولبة عندما يكون رطباً أيضاً [10, 11]. بالنسبة للفونولايت فهو عبارة عن صخر ناري (بركاني) ذو لون رمادي يميل إلى الأخضر الداكن، ويأتي اسم الفونوليت من الكلمة اليونانية القديمة (clinkstone) والتي تعني "حجر الصوت" بسبب الصوت المعدني الذي ينبعث منه عندما تُضرب إحدى صفائح بمطرقة مثلاً؛ وهو ذو تركيب كيميائي متوسط (ما بين الحمضي والقاعدي)، ويتكون أساساً من معادن الفلدسبار؛ يوجد هذا الحجر الناري أيضاً في ليبيا في منطقة قبة غريان في الشمال الغربي من ليبيا في كتلت صخري ناري يعرف بـ (كاف أبوغوش)، ويعتبر من أكبر التجمعات الصخرية في ليبيا [12, 13, 14].

جاء هذا البحث متمماً لدراسات سابقة تم فيها تحضير مادة مركبة مقواة بالألياف الزجاجية وذات أساس بوليمري معدل بإضافة مادتي الكاولين والفونولايت لهما، وتمت دراسة خواصها الميكانيكية وأظهرت نتائجها تحسن كبير في تلك الخواص [15, 16]، وهكذا واستكمالاً للفائدة تم في هذا البحث دراسة بعض الخواص الفيزيائية كالكتافة والتي تعد من الخواص المهمة للمادة المركبة، وكذلك دراسة مدى تأثير هذه المواد بالبيئة المحيطة وأجريت هذه الدراسة على وسط الماء العذب والمالح وذلك لأن العديد من تطبيقات هذا النوع من المواد المركبة وبخاصة التطبيقات المحلية مثل صناعة وصيانة القوارب، خزانات المياه، أحواض السباحة، البيوت المتنقلة، ألعاب الأطفال، حافظات التبريد، صناديق السيارات، ... إلخ غالباً ما تتعرض إما لمياه عذبة أو مالحة. وبالإضافة لما سبق تمت دراسة مدى مقاومة هذه المواد للهب وتأثير إضافات الكاولين والفونولايت على جميع الخصائص المذكورة دون استثناء.



شكل 1: (أ) المطحنة العملية، (ب) الهزاز الكهربائي مثبت عليه المداخل، (ج) الألياف الزجاجية

لإعداد العينات تم استعمال طريقة الرّص اليدوي أو ما يعرف بالقولبة اليدوية (Hand lay-up)، وفيها يتم تثبيت قطعة من الورق المشحم على لوح زجاجي كالذي يظهر في الشكل 2 (ناحية اليسار)، وبعد ذلك توضع طبقة من المادة البوليميرية عليه وتوزّع باستعمال فرشاة طلاء، ثم توضع أحد طبقات الألياف التي تم تجهيزها مسبقاً، وتتم تسويتها باستعمال فرشاة اسطوانية لضمان توزيع البوليمر بشكل متساوٍ وإزالة فقاعات الهواء المحتبسة، وبعد ذلك تتم إضافة بعض البوليمر مرة أخرى وتوضع طبقة أخرى من الألياف، وهكذا يتم تكرار هذه الخطوات إلى أن يتم وضع جميع الطبقات، وأخيراً تتم تغطية العينة بقطعة أخرى من الورق المشحم ويوضع فوقها قطعة زجاجية أخرى وفوقها ثقل مناسب كما يظهر في الشكل 2 (ناحية اليمين)، وتترك لتجف في درجة حرارة الغرفة. العينات المحتوية على الفونولايت والكاولين تم تحضيرها بنفس الطريقة السابقة ولكن تم إعداد الأساس البوليميري بإضافة حبيبات الفونولايت والكاولين والتي تم تجهيزها إلى البوليستر بنسبة وزنية مقدارها 10%، وخلطها معه أولاً لمدة 3 دقائق تقريباً للحصول على خليط متجانس كما يظهر في الشكل 2 (في الوسط) وذلك قبل إضافة المصلد لضمان عدم بدء عملية التصلب قبل توزيع حبيبات المسحوق بشكل متجانس في الخليط، وبعد ذلك تتم إضافة المصلد وخلطه لمدة تتراوح ما بين 2 إلى 3 دقائق.



شكل 2: إلى اليمين أحد العينات بعد الانتهاء من تجهيزها؛ في الوسط خليط حبيبات الكاولين مع البوليمر قبل إضافة المصلد إليه؛ وإلى اليسار لوح زجاجي مثبت عليه قطعة من الورق المشحم وفوقها أحد طبقات الألياف العينات المتحصل عليها بعد أن تم قص وتسوية حوافها بإزالة الزوائد منها

ولعل أهم ما يميز هذا البحث والأبحاث التي جاء متعمماً لها هو استعمال إضافة الفونولايت للمادة المركبة، حيث أن هذه المادة عادة تستعمل كإضافات لزيادة متانة الكسر للبلات السيراميكي لأنها تعمل على تكثيف درجة ترابط الحبيبات السيراميكية، وفيما نعلم لم يسبق استعمالها في تصنيع المواد المركبة، أيضاً الفونولايت والكاولين هي خامات طبيعية ليس لها أي تأثيرات سلبية على البيئة وقابلة لإعادة التدوير.

2. الجانب العملي:

2-1 المواد المستخدمة:

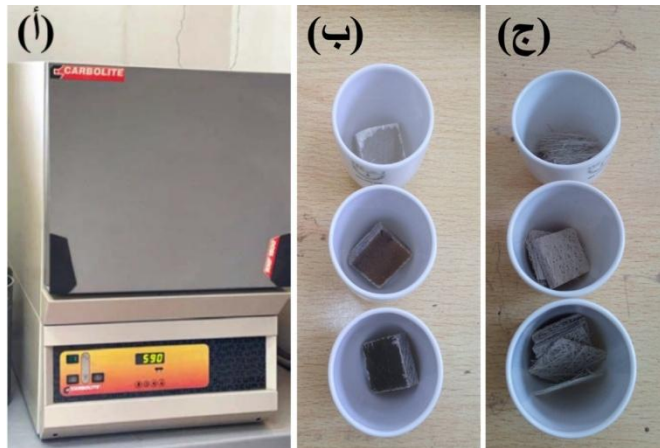
عينات المواد المركبة المقوّاة بالألياف وذات الأساس البوليميري والتي تم دراستها في هذا البحث تم تحضيرها باستعمال ألياف زجاجية عشوائية الترتيب من النوع (EMC 450)، ذات كثافة طولية مقدارها 450 g/m^2 . أما المادة البوليميرية الأساس فهي عبارة عن البوليستر الغير مشبع من النوع (EK-300 Tix)؛ أيضاً تم استعمال مجفف (مصلد) من النوع (EFOX 30) وهو عبارة عن ثلاثي بوتيل بيروكسي بنزوات 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-مصراتة). بالنسبة للفونولايت والكاولين والتي استعملت كإضافات أو حشوات للمادة البوليميرية الأساس فهي مواد خام محلية المنشأ تم توفيرها من المجمع الليبي الاستثماري لصناعة مواد البناء.

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، نوع (FAST MILL modular, Gabbrielli Technology) والتي تظهر في الشكل 1 (أ)، وبعد ذلك تمت غربلة المسحوق الناتج باستعمال مجموعة من الغربال (المداخل) من النوع (Linker Test Sieve) والمثبتة على هزاز كهربائي (Endecotts Octagon Sieve Shaker) كما يظهر في الشكل 1 (ب)، وهكذا تم الحصول على الحبيبات المراد استعمالها والتي كانت بحجم حبيبي ما بين 75 إلى 125 ميكرومتر. بعد ذلك تم تجهيز الألياف بقصها على شكل مربعات بأبعاد في حدود (32 سم × 32 سم) كما يظهر في الشكل 1 (ج)، وتم قص عدد 7 طبقات لكل عينة من العينات التي تم تحضيرها. بالنسبة للمادة الأساس للعينات تم تجهيزها بإضافة المجفف إلى البوليستر بنسبة 2:100 وذلك بحسب توصية الشركة الموردة، وتم الخلط يدوياً وبشكل جيد لمدة تتراوح ما بين 3 إلى 5 دقائق لضمان تجانس الخليط.

2-3-2 اختبار الحرق

يستخدم اختبار الحرق (Ignition loss or Burn-off test) لتحديد النسبة الوزنية للبولىمر في المادة المركبة، والتي يمكن تحديد نسبة مادة التقوية والتي ستكون مكملة لهذه النسبة. باستعمال هذه النسب يمكن حساب الكثافة النظرية للمادة، وكذلك نسبة الفراغات بها. تم إجراء الاختبار بحسب مواصفة الجمعية الأمريكية ASTM D2584 [19]، على عدد 3 عينات كتلك المستعملة في اختبار الكثافة بوزن في حدود 5 جرام، وأبعاد لا تتجاوز الـ $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ سمك العينة بالسنتيمتر. يتم إجراء الاختبار باستعمال بوتاق خزفية يتم تسخينها لدرجة حرارة 600 مئوية لمدة 10 دقائق وتترك لتبرد وذلك قبل استعمالها، وبعد ذلك يتم تسجيل وزن البوتاق بدقة 0.1 مليجرام، ثم توضع العينات بداخلها وتوزن مرة أخرى، ثم توضع في الفرن عند درجة حرارة في حدود (565 تزيد أو تنقص بمقدار 28 درجة مئوية) وتترك إلى أن يحترق جميع البولىمر، في هذا الاختبار تم التسخين لدرجة 590 مئوية لمدة 3 ساعات. بعد انتهاء عملية الحرق تخرج البوتاق ويسجل وزنها وبداخلها ما تبقى بعد عملية الحرق. في الشكل 5 يظهر الفرن المستعمل في عملية الحرق، وبعض البوتاق المستعملة في الاختبار وبداخلها العينات وكذلك ما تبقى بعد عملية الحرق.

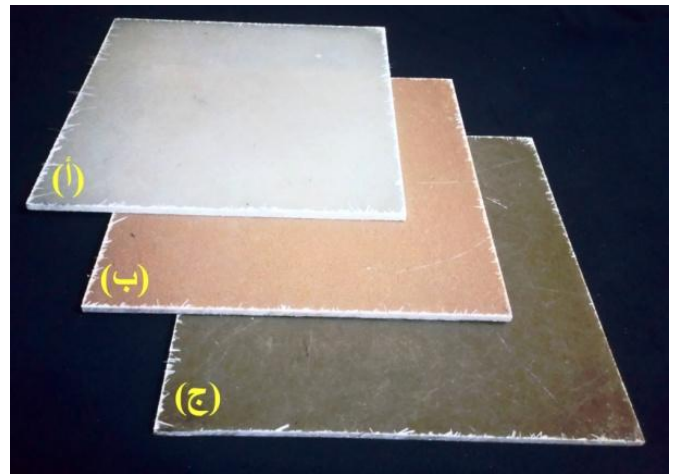


شكل 5: (أ) الفرن المستعمل في عملية الحرق؛ (ب) البوتاق الخزفية وبداخلها العينات قبل إدخالها للفرن؛ (ج) البوتاق وبداخلها ما تبقى بعد انتهاء عملية الحرق

2-3-3 اختبار امتصاص الماء وتأثير الوسط المحيط

تم إجراء هذا الاختبار بحسب المواصفة ASTM D570 [20]، والمواصفة ASTM D543 [21]، حيث تُعنى المواصفة الأولى بتحديد بعض الخواص مثل امتصاص الماء (water absorption)، وانتشار السوائل في البولىمر (diffusion of liquids)، ومحتوى الرطوبة (moisture content)؛ في حين أن المواصفة الثانية تهتم بتأثير الوسط المحيط على وزن (weight)، وأبعاد (dimensions)، ومظهر (appearance)، وخصائص المقاومة (strength properties) للعينات المختبرة. عينات الاختبار للمواصفتين هي نفسها وتكون بطول 76.2 ملم، وعرض 25.4 ملم وبسمك المادة المختبرة كما تظهر في الشكل 6(أ)، يتم اختبار عدد 3 عينات على الأقل لكل نوع من أنواع المواد المختبرة، في هذا الاختبار تم غمر العينات في وسط ماء عذب، وآخر من ماء البحر كما في الشكل 6(ب)، تم قياس أوزان جميع العينات المختبرة بدقة 0.1 مليجرام قبل غمرها في الماء، كما تم قياس أبعادها (الطول والعرض) باستعمال القدمة ذات الورنية بدقة 0.1 ملم، وقياس سمكها عند

تظهر جميعها في الشكل 3، وهي على الترتيب: العينة المرجعية والغير محتوية على أي إضافات سيراميكية وتم الإشارة إليها في هذا البحث 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).



شكل 3: العينات التي تم تحضيرها: (أ) العينة المرجعية؛ (ب) العينة المحتوية على الكاولين؛ (ج) العينة المحتوية على الفونولايت

2-3-3 اختبارات المعملية:

2-3-1 اختبار تحديد الكثافة الحقيقية أو الكثافة النسبية (Relative Density)

تم إجراء الاختبار بحسب مواصفة الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد [17] ASTM D792 وذلك لحساب الكثافة الحقيقية للعينات. يعتمد الاختبار طريقة الإزاحة للسائل والمبنية على طريقة الطفو (Buoyancy method)، والتي تعرف أيضاً بطريقة أرخميدس لاعتمادها مبدأ أرخميدس (Archimedes' principle) للطفو [18]، وهي من الطرق البسيطة والمستعملة في تحديد كثافة المواد المختلفة وتحتاج ميزان بدقة 0.1 مليجرام، وسلك لتعليق العينات بقطر لا يتجاوز 0.4 ملم، بالإضافة إلى وعاء لسائل الغمر. في هذه الطريقة يتم قياس وزن الجسم أو المادة المراد حساب كثافتها في الهواء كما يظهر في الشكل 4(أ)، ثم يقاس وزنها وهي مغمورة في الماء كما في الشكل 4(ب)، وتحسب الكثافة الحقيقية للعينات بتطبيق العلاقة التالية:

$$\rho_{\text{actu}} = [W_a / (W_a - W_w)] \times 0.9976 \quad \text{g/cm}^3$$

حيث:

ρ_{actu} ترمز للكثافة الحقيقية، W_a : وزن العينة في الهواء، W_w : وزن العينة في الماء، والمقدار 0.9976 يمثل كثافة السائل المستعمل عند درجة حرارة 23 مئوية وهو في هذا الاختبار الماء.



شكل 4: (أ) وزن العينة وهي معلقة في الهواء؛ (ب) وزن العينة مغمورة في الماء؛ (ج) شكل العينات المختبرة

25 ملم يبدأ حساب الزمن بالثواني مرة أخرى فإذا توقف الاشتعال قبل أن يصل إلى خط الـ 100 ملم يتم قياس المسافة والزمن المستغرق من خط الـ 25 ملم إلى لحظة التوقف؛ في حال استمر الاشتعال إلى أن وصل إلى خط الـ 100 ملم يتم تسجيل الزمن الذي استغرقه اللهب من خط الـ 25 ملم إلى خط الـ 100 ملم، ومنه يحسب المعدل الخطي للاحتراق (linear burning rate) (V) بوحدات المليمتر لكل دقيقة باستعمال العلاقة:

$$V = 60L/t$$

حيث:

L المسافة التي يقطعها اللهب بالمليمتر وتساوي 75 ملم، t الزمن المستغرق بالثواني.

بعد حساب المعدل الخطي يتم أخذ المتوسط الحسابي له ليتم تصنيف المادة من حيث مقاومتها للهب بناءً على ذلك. إذا تم اختبار ثلاث عينات من نفس المادة وأعطت نفس نمط الاحتراق فإنه لا يتم اختبار باقي العينات، ولكن إذا اختلف نمط احتراق أحد العينات لنفس المادة عن العينة التي تليها فإنه يتم اختبار العينات العشر. الشكل 8 يوضح التجهيزات التي تم استعمالها للاختبار.



شكل 8: تجهيز العينة والموقد لاختبار الاحتراق

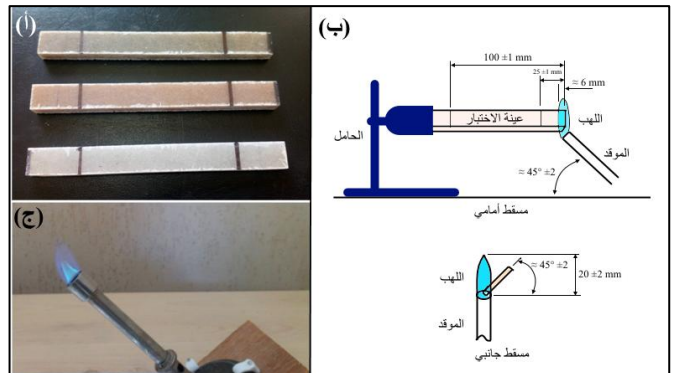
الوسط والطرف الأيمن والأيسر باستعمال ميكروميتر بدقة 0.01 ملم وأخذ المتوسط. بعد انتهاء فترة الغمر وبحسب الاختبار المطبق تخرج العينة وتجفف بقطعة قماش أو منديل وتوزن بدقة وتعاد جميع القياسات السابقة، وبعد ذلك تطبق العلاقات التي تحسب منها المعاملات أو الخواص المطلوبة.



شكل 6: (أ) عينات الاختبار بعد تجهيزها حسب مواصفة الاختبار؛ (ب) العينات مغمورة في وعاء ماء البحر (إلى اليمين) ووعاء الماء العذب (إلى اليسار)

2-3-4 اختبار الاحتراق

وهو من الاختبارات المتبعة لتحديد مدى مقاومة المادة للهب (Fire - resistance properties)، وتم إجراء الاختبار بحسب المواصفة الأمريكية ASTM D635 [22]، والتي عن طريقها يتم تحديد إما معدل الاحتراق الأفقي، أو مدى وزمن الاحتراق للمواد البوليميرية. تم تجهيز عدد 10 عينات لكل نوع من المواد المركبة التي تم تصنيعها، وبحسب المواصفة تكون العينات بطول 125 ملم (يزيد أو ينقص بمقدار 5 ملم)، ويعرض مقداره 13 ملم (يزيد أو ينقص بمقدار 0.5 ملم)، وبسمك لا يتجاوز الـ 13 ملم، يتم وضع خطين على العينة، الأول على مسافة 25 ملم من النهاية التي سيتم إشعالها، والآخر على مسافة 100 ملم من نفس النهاية كما في الشكل 7(أ). يتم تثبيت العينة كما هو موضح في الرسم التوضيحي شكل 7(ب) بحيث تكون أفقية بالنسبة للمحور الطولي، ومائلة بزاوية 45 درجة بالنسبة للمحور العرضي لها. قبل بدء الاختبار يتم ضبط اللهب بالتحكم في مقدار الهواء الداخل للموقد، فيضبط أولاً للحصول على لهب بلون أزرق طرفه أصفر، ثم يعاد ضبطه ليصير باللون الأزرق فقط وبطول حوالي 20 ملم، ويترك لمدة 5 دقائق ليستقر كما يظهر في الشكل 7(ج).



شكل 7: (أ) عينات الاختبار يظهر عليها خط مسافة الـ 25، و 100 ملم؛

(ب) رسم توضيحي لكيفية تثبيت العينة (مقتبس ومعدل من المرجع [22])؛

(ج) اللهب بعد أن تم ضبطه حسب المواصفة المتبعة في الاختبار

للبدء في الاختبار يقرب اللهب من النهاية الحرة للعينة ويبدأ حساب الزمن ويترك اللهب لمدة 30 ثانية، وبعدها يتم إبعاده عن العينة بمسافة كافية (على الأقل مسافة 150 ملم) حتى لا يؤثر على عملية الاشتعال؛ إذا توقف الاشتعال قبل خط الـ 25 ملم يتم إنهاء الاختبار، وإذا وصل اللهب إلى خط الـ

جدول 1: أوزان العينات المختبرة في الهواء والماء، وكثافتها ومتوسط الكثافة لكل نوع منها

Specimen Type	Specimen No.	w_a (g)	w_w (g)	$(w_a - w_w)$ (g)	$[w_w / (w_a - w_w)] \times 0.9976$	Average Actual (Relative) Density (g/cm ³)
GFRP	1	5.2362	1.7660	3.4702	1.5053	1.498
	2	5.2703	1.7770	3.4933	1.5051	
	3	3.5709	1.1821	2.3888	1.4913	
	4	4.6800	1.5517	3.1283	1.4924	
	5	3.2828	1.0921	2.1907	1.4949	
K-GFRP	1	5.5417	1.9244	3.6173	1.5283	1.537
	2	5.5188	1.9680	3.5508	1.5505	
	3	4.3683	1.5734	2.7949	1.5592	
	4	5.2755	1.8663	3.4092	1.5437	
	5	2.6232	0.8797	1.7435	1.5009	
Ph-GFRP	1	5.9142	2.0695	3.8447	1.5346	1.531
	2	5.9170	2.0697	3.8473	1.5343	
	3	3.2041	1.1180	2.0861	1.5322	
	4	5.3979	1.8737	3.5242	1.5280	
	5	3.2946	1.1383	2.1563	1.5242	

3. النتائج والمناقشة:

1-3 اختبار تحديد الكثافة الحقيقية (الكثافة النسبية) (Relative Density)

كثافة العناصر أو المواد تعد واحدة من أهم الخواص الفيزيائية التي بالإمكان قياسها وهي من الخواص التي قد تستعمل في تحديد نوع العنصر أو المادة وترتبط ارتباطاً وثيقاً بالتغيرات الفيزيائية لها، ويمكن عن طريقها تحديد مدى تجانس المادة أو المركب. تؤثر الكثافة بشكل كبير أيضاً على مقاومة المادة وهي من العوامل المهمة في اختيار المواد للتطبيقات المختلفة [17]. تعرف الكثافة بأنها خارج قسمة كتلة المادة على حجمها، والكثافة المحسوبة بهذه الطريقة هي الكثافة الحقيقية للمادة، وبحسب المواصفة ASTM D792 فإنها تحدد من العلاقة:

$$\rho_{\text{actu.}} = [w_a / (w_a - w_w)] \times 0.9976 \quad \text{g/cm}^3$$

الفرق بين وزن العينة في الهواء ووزنها عند غمرها في سائل يعادل قوة الطفو والتي بحسب مبدأ أرخميدس تساوي وزن السائل المزاح، فإذا ما قسم هذا الوزن على كثافة السائل المستعمل فإنه يعطي حجم مساوٍ لحجم الجسم المغمور.

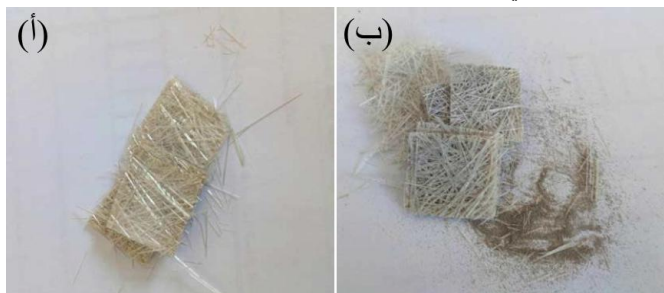
الجدول 1 يعرض القيم المسجلة معملياً لأوزان العينات المختبرة في الهواء والماء، تم حساب الكثافة لعدد 5 عينات لكل نوع من الأنواع الثلاثة، وتم حساب المتوسط الحسابي لها. كما يظهر من الجدول إن استعمال الكاولين والفونولايت كإضافات للبوليمر أدى إلى زيادة طفيفة في كثافة العينات المصنعة مقارنة بكثافة العينة المرجعية الخالية من هذه الإضافات، هذه الزيادة في الكثافة كانت حوالي 2.6% للعينات المحتوية على الكاولين، وحوالي 2.2% للعينات المحتوية على الفونولايت. وحيث أن النسبة الوزنية لإضافة هذين المكونين إلى البوليمر المستعمل في تصنيع العنيتين هي نفسها (10%)، يمكن أن يُرد سبب هذا الاختلاف في نسبة الزيادة في الكثافة إلى كون كثافة الكاولين والتي هي في حدود 2.6 جرام/سم³ [24, 23]، أعلى بقليل من كثافة الفونولايت والتي تكون ما بين 2.31 إلى 2.52 جرام/سم³ [25].

وبشكل عام فإن هذه الزيادة في الكثافة تعد طفيفة ولا تؤثر في قيمة المادة المنتجة وخاصة إذا ما قورنت بالتحسن الكبير في جميع الخواص الميكانيكية والذي نتج عن إضافة الكاولين والفونولايت للمادة المركبة المقوّاة بالألياف كما أظهرت ذلك دراسات سابقة [15, 16].

2-3 اختبار الحرق

هذا الاختبار يستعمل في تحديد نسب المكونات للمادة المركبة، من خلال هذه

النسب وبمعلومية الكثافة الحقيقية للمادة المركبة يمكن حساب الكثافة النظرية لها (Theoretical or Bulk Density) وكذلك حساب نسبة الفراغات بداخلها (Void content). كما هو معلوم فإنه عند رفع درجة حرارة المادة المركبة ذات الأساس البولييميري إلى حوالي 600 درجة مئوية لفترة زمنية كافية فإن المادة البولييميرية ستحترق، وتبقى مادة التقوية والتي في العادة تكون ثابتة عند هذه الدرجة من الحرارة. في حالة العينات المختبرة فإن كلاً من ألياف الزجاج وحبيبات الكاولين والفونولايت لا تتأثر بهذه الدرجة من الحرارة، كما يظهر في الشكل 9 ما تبقى من احتراق بعض العينات، حيث تظهر في إحداها الألياف فقط، وفي الأخرى الألياف والحبيبات المضافة.



شكل 9: بقايا احتراق بعض العينات، (أ) أحد العينات المرجعية؛ (ب) أحد العينات المحتوية على حبيبات مضافة

جدول 2: القيم اللازمة لإجراء حسابات الكثافة النظرية

Specimen Type	Specimen No.	Crucible weight (g)	Crucible and Specimen weight (g)	Specimen weight [W ₁] (g)	Crucible and Residue weight (g)	Residue weight [W ₂] (g)
GFRP	1	26.6451	31.8813	5.2362	28.4702	1.8251
	2	26.4356	31.7059	5.2703	28.2408	1.8052
	3	25.6610	29.2319	3.5709	26.8552	1.1942
	4	27.0459	31.7198	4.6739	28.5805	1.5346
	5	27.7202	30.9980	3.2778	28.8529	1.1327
K-GFRP	1	25.5625	31.1042	5.5417	27.6394	2.0769
	2	27.7198	33.2386	5.5188	29.8802	2.1604
	3	27.0459	31.4142	4.3683	28.7541	1.7082
	4	26.4368	31.7042	5.2674	28.4744	2.0376
	5	25.5629	28.1792	2.6163	26.615	1.0521
Ph-GFRP	1	25.5390	31.4532	5.9142	27.7806	2.2416
	2	27.3670	33.2840	5.9170	29.5797	2.2127
	3	25.4819	28.6860	3.2041	26.6955	1.2136
	4	26.6448	32.0344	5.3896	28.6246	1.9798
	5	25.4818	28.7696	3.2878	26.7137	1.2319

الحقيقية فإن استعمال الكاولين والفونولايت كإضافات للبولىمر أدى إلى زيادة طفيفة في كثافة العينات المصنعة مقارنة بكثافة العينة المرجعية الخالية من هذه الإضافات، هذه الزيادة في الكثافة كانت حوالي 3.2% للعينات المحتوية على الكاولين، وحوالي 2.1% للعينات المحتوية على الفونولايت.

يظهر في الجدول 3 أيضاً عامل آخر مهم عند دراسة الخواص الفيزيائية للمادة المركبة ألا وهو النسبة الحجمية للفراغات، هذه الفراغات أو الجيوب الهوائية قد تحتجز بين طبقات الألياف أثناء عملية تصنيع المادة المركبة أو بداخل البولىمر عند خلطه بسرعة مثلاً، وعلى أي حال فمحتوى الفراغ في المركب يؤثر بشكل سلبي على بعض خواصه الميكانيكية، فعادةً ما تؤدي نسبة الفراغ الأعلى إلى مقاومة أقل للكلل، وقابلية أكبر لامتصاص وتغلغل الماء وتأثير عوامل البيئة المحيطة الأخرى. أيضاً من خلال معرفة محتوى الفراغات في المادة يمكن الحكم على جودة المادة وجودة عملية التصنيع، فالمادة المركبة جيدة التصنيع تكون فيها نسبة الفراغات في حدود الـ 1% أو تزيد بمقدار طفيف [2, 26]. من الجدول يلاحظ أن جميع العينات كانت فيها نسبة الفراغات منخفضة ما يعكس أن عملية تصنيعها كانت جيدة، ويلاحظ أيضاً أن أعلى نسبة فراغات كانت في عينات الكاولين ولعل ذلك راجع للطبيعة المسامية لهذه المادة [23, 28, 29]، وأقل نسبة كانت في عينة الفونولايت وهذا قد يكون أحد الأسباب التي جعلت من عينات الفونولايت تعطي أفضل خواص ميكانيكية بحسب الدراسة السابقة لهذه المركبات [15, 16].

الجدول 2 يحوي القيم التي يجب أن ترصد قبل وبعد الاختبار وذلك للحصول على القيم اللازمة لإجراء الحسابات المتعلقة بحساب الكثافة النظرية ونسبة الفراغات.

بحسب المواصفة المستعملة لهذا الاختبار (ASTM D2584) فإن النسبة الوزنية للبولىمر تحسب من العلاقة:

$$W_R\% = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100$$

حيث:

$W_R\%$ النسبة الوزنية للبولىمر (Resins)، W_1 وزن العينة قبل الاختبار (قبل الحرق)، W_2 وزن المادة المتبقية بعد الاختبار (بعد الحرق). أما نسبة مادة التقوية (Reinforcements) $W_F\%$ فتكون مساوية لـ $(100 - W_R\%)$.

بالنسبة للكثافة النظرية فإنه وبحسب المواصفة ASTM D2734 [26] تحسب من العلاقة التالية:

$$\rho_{Theor.} = 100 / [W_R\% / R + W_F\% / r] \text{ g/cm}^3$$

حيث:

$\rho_{Theor.}$ الكثافة النظرية، و R كثافة البولىمر، و r كثافة مادة التقوية. وحيث أن عينات الكاولين والفونولايت تحوي بالإضافة إلى ألياف الزجاج على حبيبات الكاولين والفونولايت، فإن العلاقة أعلاه يمكن تعديلها على النحو:

$$\rho_{Theor.} = 100 / [W_R\% / R + W_F\% / F + W_P\% / P]$$

حيث:

$W_F\%$ النسبة الوزنية للألياف (Fibers)، و F كثافة الألياف، و $W_P\%$ النسبة الوزنية للمسحوق أو للحبيبات المضافة (Powder or Particulate filler)، و P كثافة الحبيبات.

نسبة الفراغات تم حسابها أيضاً بحسب المواصفة ASTM D2734 باستعمال العلاقة:

$$V_v\% = 100 \times (\rho_{Theor.} - \rho_{actu.}) / \rho_{Theor.}$$

في الحسابات تم اعتبار أن: $R=1.25 \text{ g/cm}^3$ ، و $F=2.54 \text{ g/cm}^3$ ، وذلك بحسب ما في المراجع [2, 26, 27]، أما كثافة الكاولين فاعتبرت مساوية لـ 2.6 g/cm^3 ، وكثافة الفونولايت 2.5 g/cm^3 وذلك كما في المراجع المذكورة سابقاً [23, 24, 25].

نتائج الحسابات السابقة تم إدراجها في الجدول 3. من الجدول يلاحظ أن قيم الكثافة النظرية لجميع العينات هي أكبر من قيم الكثافة الحقيقية، وذلك لأن الكثافة النظرية مبنية على كون المادة لا تحوي أي فراغات (Bulk) وبالتالي فإن نفس الوزن من المادة سيشغل حجم أصغر مما لو كان محتوياً على فراغات، وبالتالي تزداد قيمة الكثافة. أيضاً كما هو الحال في الكثافة

جدول 3: حسابات الكثافة النظرية ونسب الفراغات والقيم المتوسطة لها

Specimen Type	Specimen No.	Wr%	Aver. Wr%	WR%	Aver. WR%	Wp%	Aver. Wp%	ρ_{Theor}	Aver. ρ_{Theor}	$V_v\%$	Aver. $V_v\%$
GFRP	1	34.86		65.14		0.00		1.519		0.89	
	2	34.25		65.75		0.00		1.513		0.54	
	3	33.44	33.99	66.56	66.01	0.00	0.00	1.506	1.511	0.96	0.86
	4	32.83		67.17		0.00		1.500		0.51	
	5	34.56		65.44		0.00		1.516		1.40	
K-GFRP	1	37.48		62.52		3.49		1.545		1.05	
	2	39.15		60.85		5.16		1.561		0.69	
	3	39.10	38.92	60.90	61.08	5.11	4.93	1.561	1.559	0.11	1.44
	4	38.68		61.32		4.69		1.557		0.83	
	5	40.21		59.79		6.22		1.572		4.53	
Ph-GFRP	1	37.90		62.10		3.91		1.547		0.83	
	2	37.40		62.60		3.41		1.543		0.54	
	3	37.88	37.48	62.12	62.52	3.89	3.49	1.547	1.543	0.96	0.82
	4	36.73		63.27		2.74		1.536		0.54	
	5	37.47		62.53		3.48		1.543		1.23	

وسط الاختبار أو بمعنى آخر $TS\% = 0$ للعينات المختبرة، ويلاحظ أيضاً أن إضافة حبيبات الكاولين والفونوليت لم يكن لها تأثير يذكر على خواص الامتصاص أو خواص استقرارية الأبعاد.

4-3 اختبار الاحتراق

هناك عدة أنواع من اختبارات الاحتراق التي تستعمل لتحديد مدى مقاومة المادة للهب، فمثلاً اختبار الاحتراق الأفقي (Horizontal Burning)، اختبار الاحتراق العمودي (Vertical Burning)، اختبار الاحتراق السطحي (Surface Burning). لكل نوع من هذه الأنواع استخداماته والمواد التي يمكن أن يطبق عليها. في هذا البحث تم استعمال اختبار الاحتراق الأفقي وهو من الاختبارات الشائعة لتحديد معدل الاحتراق ومدى الاحتراق للمواد البلاستيكية [22].

تم تجهيز عدد 10 عينات من كل نوع من أنواع المواد التي تمت دراستها، ولكن وبحسب المواصفة المستعملة ASTM D635 فإنه يوقف الاختبار إذا أظهرت ثلاث عينات نفس النمط من الاحتراق، أي إما أنها: (أ) تتوقف عن الاحتراق بمجرد إبعاد اللهب، (ب) يتوقف الاحتراق قبل خط الـ 25 ملم، (ج) يتوقف الاحتراق بعد خط الـ 25 ملم، (د) تستمر في الاحتراق حتى خط الـ 100 ملم. وللنمط الأخير يتم حساب معدل الاحتراق الخطي بوحدات المليمتر لكل دقيقة باستعمال العلاقة:

$$V = 60L/t$$

حيث: L المسافة التي يقطعها اللهب بالمليمتر وتساوي 75 ملم، t الزمن المستغرق بالثواني.

3-3 اختبار امتصاص الماء وتأثير الوسط المحيط

بحسب المواصفة ASTM D570 [20] هناك سبعة أنواع من اختبارات الغمر وهي: الغمر لمدة 24 ساعة؛ الغمر لمدة ساعتين؛ الغمر لمدة ساعتين و 24 ساعة في اختبار واحد وهو ما يعرف بإعادة الغمر؛ الغمر طويل الأمد؛ الغمر في ماء يغلي لمدة ساعتين؛ الغمر في ماء يغلي لمدة نصف ساعة؛ والغمر في درجة حرارة 50 مئوية لمدة 48 ساعة.

من خلال هذا الاختبار وبحسب المواصفة سابقة الذكر والمواصفة ASTM D543 [21] يمكن تتبع التغيرات الحاصلة في العينة المختبرة من حيث امتصاصها للماء أو السوائل الأخرى، التغيرات في الوزن، الأبعاد، المظهر، خواص المقاومة الميكانيكية. في هذا البحث تم تطبيق اختبار إعادة الغمر، حيث تم قياس الأبعاد الثلاثة وقيم الأوزان للعينات المختبرة قبل الاختبار، وبعد الغمر لساعتين، ثم بعد الغمر لـ 24 ساعة، والجدول 4 يعرض القيم اللازمة لإجراء الحسابات والتي تسجل قبل وأثناء الاختبار.

في هذا البحث تمت دراسة امتصاص الماء (Water Absorption)، والتغير في السمك (Thickness Swelling) وذلك لحالة الماء العذب وماء البحر لأن العديد من تطبيقات هذا النوع من المواد المركبة غالباً ما تتعرض فيه إما لمياه عذبة أو مالحة، وتم استعمال العلاقات التالية في الحسابات:

$$WA\% = [(W_1 - W_0)/W_0] \times 100$$

$$TS\% = [(h_1 - h_0)/h_0] \times 100$$

حيث:

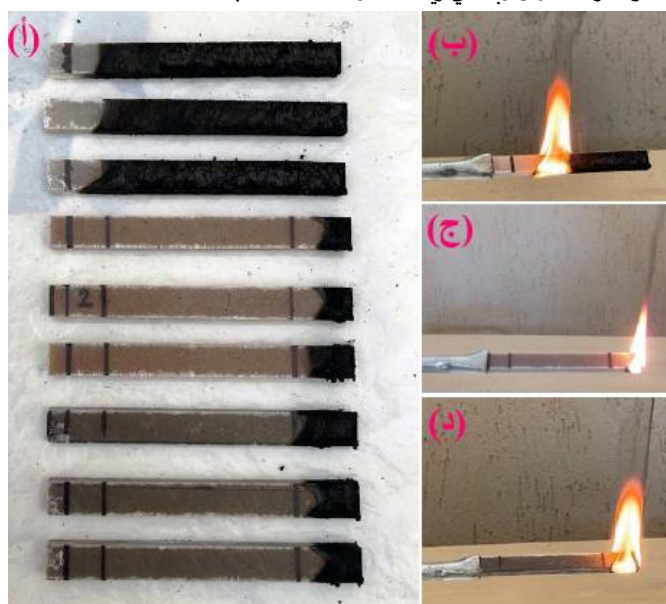
$WA\%$ النسبة المئوية لامتصاص الماء أو الرطوبة؛ W_0 وزن العينة قبل الغمر؛ W_1 وزن العينة بعد الغمر؛ $TS\%$ نسبة الزيادة في السمك؛ h_1 سمك العينة بعد الغمر؛ h_0 سمك العينة قبل الغمر؛ أيضاً تم أخذ قياس الطول (l_0) والعرض (w_0) للعينات قبل الاختبار كما يظهر في الجدول 4.

النتائج المتحصل عليها من الاختبار تم تضمينها في الجدول 4. يلاحظ أنه بمرور الزمن تزداد نسبة امتصاص الماء لجميع العينات، وأن نسبة الزيادة بعد 24 ساعة أعلى منها بعد ساعتين من الغمر. يلاحظ أيضاً أن جميع العينات دون استثناء كانت نسبة امتصاصها للماء منخفضة جداً وهي لجميع العينات لم تبلغ الـ 0.2%، وبهذا تعد جميع العينات مستقرة في هذه الأوساط (الماء العذب، وماء البحر)، حيث أنه وبحسب المواصفة المتبعة إذا كانت نسبة الامتصاص أقل من 1% تعد المادة مستقرة في وسط الاختبار. بالنسبة لأبعاد العينة فإنه عند قياسها بعد الغمر لساعتين و 24 ساعة لم يسجل أي تغير ولو طفيف في قيمها عن القيم الأولية والمسجلة قبل بداية الاختبار، ولذلك لم يتم إدراجها في الجدول، وهكذا تعد هذه العينات ذات أبعاد مستقرة في

جدول 4: القيم اللازمة لإجراء حسابات نسب امتصاص الماء، والتغير في السمك، ونتائج اختبار نسبة الامتصاص والمتوسط الحسابي لها

Specimen Type	Medium	Spec. No.	h ₀ (mm)	w ₀ (mm)	l ₀ (mm)	W ₀ (g)	W ₁ (2h)	W ₁ (24h)	WA% (2h)	Aver. WA% (2h)	WA% (24h)	Aver. WA% (24h)
GFRP	Distilled water	1	6.30	22.7	76.1	15.8524	15.8578	15.874	100.		0.14	
		2	6.25	22.4	72	15.0451	15.0483	15.0625	0.02	50.0	0.12	0.14
		3	6.34	22.3	71.7	14.7941	14.8	14.8169	0.04		0.15	
	Sea water	1	6.17	22.7	76.1	15.9712	15.9834	16.0047	0.08		0.21	
		2	6.11	22.4	72	14.6003	14.6137	14.6226	20.0	70.0	0.15	0.18
		3	6.23	22.3	71.7	14.7262	14.7407	14.7537	0.10		0.19	
K-GFRP	Distilled water	1	6.72	22.9	76.2	17.0965	17.1013	17.1472	0.03		0.30	
		2	6.72	22.4	71.7	16.5941	16.5963	16.6295	0.01	0.02	0.21	190.
		3	6.68	22.2	71.7	16.5957	16.599	16.6196	0.02		0.50	
	Sea water	1	6.78	22.6	76.2	17.4128	17.4271	17.4386	0.08		0.15	
		2	6.82	22.4	72	17.0228	17.0382	17.0464	0.09	0.08	0.14	0.14
		3	6.76	22.4	72	16.4953	16.5088	16.518	0.08		0.14	
Ph-GFRP	Distilled water	1	7.33	22.7	76.2	18.1632	18.1731	18.201	0.05		0.21	
		2	7.25	22.7	72.1	17.2457	17.2467	17.271	0.01	0.03	0.15	0.16
		3	7.33	22.6	72	17.2405	17.2467	17.2618	0.04		0.12	
	Sea water	1	7.06	22.6	76	18.0985	18.1168	18.1242	0.10		0.14	
		2	7.01	22.4	72	16.9153	16.9284	16.9377	0.08	0.10	0.13	0.15
		3	7.11	22.4	71.9	16.9779	16.996	17.0064	0.11		0.17	

البوليمر للاحتراق وبالتالي زيادة مقاومة العينات للهب.



شكل 10: العينات المختبرة: (أ) بعد انتهاء الاختبار؛ (ب)، (ج)، و(د) أثناء الاختبار للعينات المرجعية، الكاولين، والفونولايت على الترتيب.

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 بعض الخواص الفيزيائية، يمكن استنتاج أن إضافة هذه الحبيبات لم تؤثر بشكل كبير على كثافة المادة المركبة والتي تعد من أهم خواصها كونها تتمتع بمقاومة مرتفعة بالنسبة لوزنها، أيضاً هذه الإضافات لم تؤثر في استقرارية الأبعاد، ونسبة الفراغات، وكذلك نسبة زيادة الوزن عند تعرض المادة لوسط الماء العذب وماء البحر وبالتالي تبقى هذه المواد ملائمة للتطبيقات التي تتعرض فيها لهذه الأوساط. بالإضافة لما ذكر فإن هذه الإضافات لم تؤثر على مقاومة هذه المواد للهب، بل إنها أدت إلى تحسن نسبي فيها. وحيث أن البحث الحالي اقتصر على دراسة بعض الخصائص الفيزيائية عند إضافة مادتي الفونولايت والكاولين إلى الأساس البوليميري بنسبة محددة وبحجم حبيبات محدد، عليه نرى أنه بالإمكان مواصلة البحث باستخدام حبيبات من مواد أخرى كالسيليك، أو التربة الحمراء، أو القرانيت، أو غيرها من الخامات والمواد الطبيعية المتاحة

بحسب المواصفة المذكورة آنفاً فإن الأنماط الثلاثة الأولى (أ)، (ب)، (ج) والتي يتوقف احتراقها قبل خط الـ 25 ملم، أو بعده أو قبل خط الـ 100 ملم تصنف موادها على أنها مقاومة للهب أو مواد ذاتية الإطفاء أو الإخماد (Self extinguishing)، وتعطى الرمز (HB) اختصاراً لنوع الاختبار وهو (Horizontal Burning)، أما مواد النمط (د) فإنها تُلحق بهذا التصنيف (HB) فقط إذا كان معدل الاحتراق الخطي لها لا يتجاوز الـ 40 ملمتر في الدقيقة وكان سمك العينة ما بين 3 إلى 13 ملم، أو كان معدل الاحتراق الخطي 70 ملمتر في الدقيقة لعينات بسمك أقل من 3 ملم.

الأنواع الثلاثة من المواد المختبرة في هذا البحث تظهر عيناتها في الشكل 10، يلاحظ أن العينات المرجعية وهي الثلاث الأولى من أعلى في الشكل 10 قد احتترقت حتى خط الـ 100 ملم ولذلك تم حساب معدل الاحتراق الخطي لها والذي يظهر في الجدول 5، أما العينات المحتوية على حبيبات أو إضافات الكاولين والفونولايت وهي التي تظهر بعد العينات المرجعية على الترتيب في الشكل 10 (أ) فإنها توقفت عن الاحتراق قبل خط الـ 25 ملم، ويلاحظ أيضاً أن احتراق عينات الكاولين أقل من الفونولايت. بالنسبة للون للهب فهو متشابه لجميع العينات ويتصاعد من جميع العينات دخان أسود كما يظهر في الشكل 10 (ب)، (ج)، و(د).

جدول 5: حسابات معامل الاحتراق الخطي للعينات المرجعية

Specimen Type	Specimen No.	Specimen Thickness (mm)	Burning Time (Sec.)	V (mm/min)	Average V (mm/min)
GFRP	1	6.2	732.5	6.1	
	2	6.3	670.0	6.7	6.5
	3	6.1	672.5	6.7	

من الجدول 5 يلاحظ أن متوسط معدل احتراق العينات المرجعية (والتي سمكها يقع ما بين 3 ملم و13 ملم) يساوي 6.5 ملم في الدقيقة. هذا المعدل أقل من القيمة المنصوص عليها في المواصفة وهي 40 ملم في الدقيقة، وهكذا فإن جميع العينات دون استثناء تتبع التصنيف (HB)، أي أنها جميعها مقاومة للهب وإن كان ذلك بنسب متفاوتة حسب ما يظهر في الشكل 10، حيث يظهر أن إضافة حبيبات الكاولين والفونولايت أدت لتوقف تقدم اللهب في زمن أقل إذا ما قورنت بالعينات المرجعية، ولعل ذلك راجع لكون الكاولين والفونولايت هي مواد سيراميكية غير قابلة للاشتعال وبالتالي فإن إضافتها للبوليمر بنسبة 10% أثناء عملية تصنيع العينات أدى إلى تقليل قابلية

ASTM D. 792; Standard Test Method for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 2007.

ASTM D. 3800; Standard Test Method for Density of High-Modulus Fibers. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 1999.

ASTM D. 2584; Standard Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 1994.

ASTM D. 570; Standard Test Method for Water Absorption of Plastics. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 1998.

ASTM D. 543; Standard Test Method for Evaluating the Resistance of Plastics to Chemical Reagents. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 1995 (Reapproved 2001).

ASTM D. 635; Standard Test Method for Rate of Burning and/or Extent and Time of Burning of Plastics in a Horizontal Position. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 2003.

Varga G. The structure of kaolinite and metakaolinite. *Epitoanyag.* 2007;59(1):6-9.

Mohammed JH. Evaluation the Mechanical Properties of Kaolin Particulate Reinforced Epoxy Composites. *Al-Khwarizmi Engineering Journal.* 2018;14(1):29-38.

Seifert R, Malfait W, Petitgirard S, Sanchez-Valle C. Density of phonolitic magmas and time scales of crystal fractionation in magma chambers. *Earth and Planetary Science Letters.* 2013;381:12-20.

ASTM D. 2734; Standard Test Method for Void Content of Reinforced Plastics. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 1994 (Reapproved 2003).

Composite Materials Handbook, Volume 1 - Polymer Matrix Composites - Guidelines for Characterization of Structural Materials (CMH-17): SAE International on behalf of CMH-17, a division of Wichita State University; 2012.

Mustafa SN. Effect of kaolin on the mechanical properties of polypropylene/polyethylene composite material. *Diyala Journal of Engineering Sciences.* 2012;162-78.

[29] قراب س، بلعم م، البرتولي ص، أبوليفة أ. دراسة خواص المواد الخام لخلطات البلاط السيراميكي وتأثير الفونولايت على مقاومة الكسر. *Journal of Sharwes.* 2022;2(2):222-35.

والتوفرة محلياً، كذلك يمكن تغيير نسبة الإضافات أو حجمها الحبيبي. أيضاً يمكن دراسة خصائص أخرى كخصائص التوصيل الكهربائي، والعزل الحراري، والخصائص الضوئية، وغيرها.

5. المراجع:

Callister WD, Rethwisch DG. *Materials science and engineering: an introduction.* 9th ed: Wiley New York; 2013 December 4, 2013.

Bajpai PK, Singh I. *Reinforced Polymer Composites: Processing, Characterization and Post Life Cycle Assessment:* John Wiley & Sons; 2019.

Ngo T-D. *Composite and nanocomposite materials: From knowledge to industrial applications: BoD-Books on Demand;* 2020.

Varga C, Miskolczi N, Barthá L, Lipóczy G. Improving the mechanical properties of glass-fibre-reinforced polyester composites by modification of fibre surface. *Materials & Design.* 2010;31(1):185-93.

Prasad V, Joseph M, Sekar K. Investigation of mechanical, thermal and water absorption properties of flax fibre reinforced epoxy composite with nano TiO₂ addition. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.* 2018;115:360-70.

Hale D. The physical properties of composite materials. *Journal of materials science.* 1976;11:2105-41.

Shi G, Zhang MQ, Rong MZ, Wetzel B, Friedrich K. Sliding wear behavior of epoxy containing nano-Al₂O₃ particles with different pretreatments. *Wear.* 2004;256(11-12):1072-81.

Medina R, Hauptert F, Schlarb AK. Improvement of tensile properties and toughness of an epoxy resin by nanozirconium-dioxide reinforcement. *Journal of materials science.* 2008;43:3245-52.

Zheng Y, Zheng Y, Ning R. Effects of nanoparticles SiO₂ on the performance of nanocomposites. *Materials Letters.* 2003;57(19):2940-4.

[10] الحضيري إ.أ. الخامات الطبيعية بجنوب ليبيا واستخدامها كمواد لبناء International Conference on Technical Sciences (ICST2019) 2016.

Kumari N, Mohan C. Basics of clay minerals and their characteristic properties. *Clay and Clay Miner.* 2021;24(1).

[12] رمضان ا، الأشخم ع، إمباشي م. العلاقة بين الكثافة والقابلية المغناطيسية والتركيب الكيميائي في صخور الفونولايت والتراكيت بجبل كاف أبوغوش في منطقة غريان بشمال غرب ليبيا. *المجلة الجامعة.* 48-4:227;2016

Masoud A, Elshaafi A, Karaoğlu Ö, Abousif A, Lustrino M. [13] Geochemistry and 40Ar/39Ar ages of late Cenozoic basaltic rocks from Gharyan Volcanic Province, NW Libya. *Ital J Geosci.* 2023;142(3):449-73.

Le Maitre RW, Streckeisen A, Zanettin B, Le Bas M, Bonin B, Bateman P. *Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks:* Cambridge University Press; 2005.

Ballem MA, Khalifa RR. Effect of Kaolin and Phonolite Particulates Addition on the Mechanical Properties of Glass-Fiber Composites. Submitted Manuscript. 2024.

Ballem MA, Garrab SA, Eldwaib K, Aldarwish M. Effect of Kaolin and Phonolite Particulates Addition on Hardness and Abrasive Wear of Glass-Fiber Composites. Submitted Manuscript. 2024.