



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

محمد بلعم<sup>\*</sup>، مصطفى الدرويش، أحمد النعيري و محمد انديشة

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

### الكلمات المفتاحية:

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

تضمن هذا البحث دراسة لمجموعة من الخواص الفيزيائية لمادة مركبة مقواة بالألياف ذات أساس بوليمرى معدل بإضافة حبيبات بعض المواد الطبيعية إليه. باستعمال طريقة الرص اليدوى للطبقات تم تحضير ثلاث عينات احتوت جميعها على نسبة وزنية ثابتة من ألياف الزجاج العشوائية الترتيب؛ العينة الأولى اعتبرت 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 وبنسبة وزنية مقدارها 10%) إلى المادة الأساسية 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 الهب، 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 إلا 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. خلصت الدراسة إلى أن إضافة حبيبات بعض المواد الطبيعية المتوفرة محلياً أثناء عملية تصنيع المواد المركبة المقواة بالألياف لم يؤثر في خواصها الفيزيائية التي تميزها عن غيرها من المواد الأخرى ما يجعلها أكثر ملائمة للعديد من التطبيقات الواسعة التي تمتاز بها هذه المواد والتي تتطلب خفة الوزن واستقرارية الأبعاد.

### الملخص

## 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  $\mu\text{m}$ ). 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.ballem@eng.misuratau.edu.ly](mailto:mohamed.ballem@eng.misuratau.edu.ly), (Mustafa Aldarwisha) [mmosab@yahoo.com.au](mailto:mmosab@yahoo.com.au), (Ahmed Alnairi) [annayree@gmail.com](mailto:annayree@gmail.com), (Mohamed Endisha) [mohammadandisha9@gmail.com](mailto:mohammadandisha9@gmail.com).

Article History : Received 12 November 24 - Received in revised form 7 April 25 - Accepted 3 May 25

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.

الخصائص الميكانيكية وبخاصة للمواد المركبة ذات الأساس البوليمرى كمقاومة الشد، مقاومة الانحناء، مقاومة البلي الاحتكاكى، وكذلك لتقليل تكاليف الإنتاج للمواد المركبة بشكل عام [9, 8, 7]. الخواص الفيزيائية للمادة المركبة تتأثر هي الأخرى بالإضافات المستعملة، ولذلك يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار هي الأخرى، فقد يحصل زيادة في مقاومة 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 والفونوليت 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 الصبى هو أحد المعادن الطينية، ذو لون أبيض، وله درجة انصهار عالية، وهو من أشد أنواع الطين مقاومة للحرارة. تركيبه الكيميائى  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$  واسمه مشتق من اسم جبل كاو-لينج الموجود بالصين. الكاولين وبحسب الدراسات التي أجريت من قبل "مركز البحوث الصناعية - طرابلس Libya" يتوفى في المناطق الجنوبية من ليبيا وبالتحديد منطقة سبها وما حولها ومناطق وادي الشاطئ، وهو من أكثر المعادن الحجرية استعمالاً في صناعة السيراميك، ويتميز بقدراته على تبادل الأيونات الموجبة والسلبية وبريقه التراوى، وهو قابل للقولبة عندما يكون رطباً أيضاً [10, 11]. بالنسبة للفونوليت فهو عبارة عن صخر ناري (بركانى) ذو لون رمادي يميل إلى الأخضر الداكن، وبأى اسم الفونوليت من الكلمة اليونانية القديمة (linkstone) والتي تعنى "حجر الصوت" بسبب الصوت المعدنى الذى ينبغى منه عندما تُضرب إحدى صفائحه بمطرقة مثلاً؛ وهو ذو تركيب كيميائى متوسط (ما بين الحمضى والقاعدى)، ويكون أساساً من معادن الفلديسبار؛ يوجد هذا الحجر الناري أيضاً في ليبيا في منطقة قبة غريان في الشمال الغربى من ليبيا في تكتل صخري ناري يُعرف بـ (كاف أبوغنوش)، ويعتبر من أكبر التجمعات الصخرية في ليبيا [12, 13, 14].

جاء هذا البحث متىماً لدراسات سابقة تم فيها تحضير مادة مركبة مقواة بالألياف الزجاجية وذات أساس بوليمرى معدّل بإضافة مادتي الكاولين والفونوليت لهما، وتمت دراسة خواصها الميكانيكية وأظهرت نتائجهما تحسّن كبير في تلك الخواص [15, 16]، وهكذا واستكمالاً للفائدة تم في هذا البحث دراسة بعض الخواص الفيزيائية كالكثافة 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 وصيانته القوارب، خزانات المياه، أحواض السباحة، البيوت المتنقلة، ألعاب الأطفال، حافظات التبريد، صناديق السيارات، ... إلخ غالباً ما تتعرض إما المياه عذبة أو مالحة. وبإضافة لما سبق تمت دراسة مدى مقاومة هذه المواد للهب وتأثير إضافات الكاولين والفونوليت على جميع الخصائص المذكورة دون استثناء.

## 1. المقدمة

المادة المركبة هي مواد مؤلفة من نوعين مختلفين أو أكثر من المواد التي تكون متربطة 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، الصلادة، 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، بنائة التركيب) [1]. من الأنواع المهمة للمواد المركبة والتي لها استعمالات شائعة وكثيرة ما يعرف بالمواد المركبة ذات الأساس البوليمرى (polymer matrix) و وهناك أنواع مختلفة ومتنوعة 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 الأramid أو البازلت ... إلخ [2, 1].

المادة 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 وكميائية والتي من أهمها: الكثافة المنخفضة مع المتانة والصلابة العالية، خصائص العزل الكهربائي الجيد، ومقاومة الرطوبة والمواد الكيميائية المختلفة [3]. في الواقع إن خصائص مركبات 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 بماء 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، كالتوسيط الحراري والكهربائي، الانفاس والانكماس، الكثافة، نسبة الفراغات، والخصائص الضوئية والمغناطيسية [6].

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



شكل 1: (أ) المطحنة المعملية، (ب) المزاج الكهربائي مثبت عليه المناخل، (ج) الألياف الزجاجية

لإعداد العينات تم استعمال طريقة الرص اليدوي أو ما يعرف بالقولبة اليدوية (Hand lay-up). وفيها يتم ثبيت قطعة من الورق المشحم على لوح زجاجي كالذي يظهر في الشكل 2 (ناحية اليسار)، وبعد ذلك توضع طبقة من المادة البوليمرية عليه وتتوزع باستعمال فرشاة طلاء، ثم توضع أحد طبقات الألياف التي تم تجهيزها مسبقاً، وتم تسويتها باستعمال فرشاة اسطوانية لضمان توزع البوليمر بشكل متساوٍ وإزالة فقاعات الهواء المحتجسة، 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 وبوضع فوقها قطعة زجاجية أخرى وفوقها ثقل مناسب كما يظهر في الشكل 2 (ناحية اليمين)، وتترك لتجف في درجة حرارة الغرفة. العينات المحتوية على الفونولait والكاولين تم تحضيرها بنفس الطريقة السابقة ولكن تم إعداد الأساس البوليمرى بإضافة حبيبات الفونولait 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 توزع حبيبات المسحوق بشكل متجانس في الخليط، وبعد ذلك تم 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 متقدماً لها هو استعمال إضافة الفونولait للمادة المركبة، حيث أن هذه المادة عادة تستعمل كإضافات لزيادة متانة الكسر للبلاط السيراميكى لأنها تعمل على تكثيف درجة ترابط الحبيبات السيراميكية، وفيما نعلم لم يسبق استعمالها في تصنيع المواد المركبة، أيضاً الفونولait والكاولين هي خامات طبيعية ليس لها أي تأثيرات سلبية على البيئة وقابلة لإعادة التدوير.

## 2. الجانب العملي:

### 1-2 المواد المستخدمة:

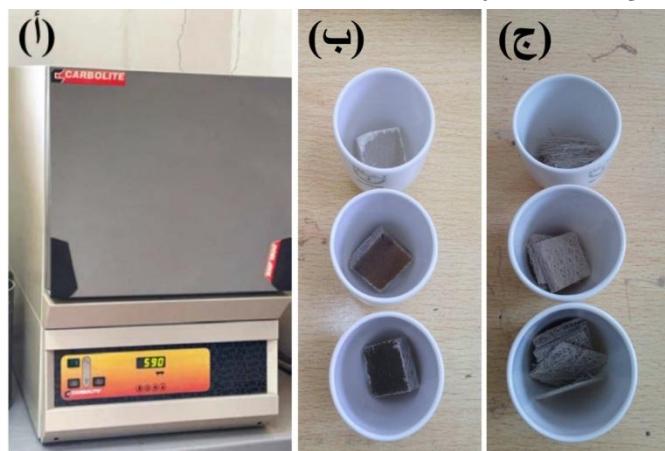
عينات المواد المركبة المقاواة بالألياف وذات الأساس البوليمرى والتي تم دراستها في هذا البحث تم تحضيرها باستعمال ألياف زجاجية عشوائية الترتيب من النوع (EMC 450)، ذات كثافة طولية مقدارها  $450 \text{ g/m}^2$ ، المادة البوليمرية الأساس فهى عبارة عن البوليستر الغير مشبع من النوع (EK 300): أيضاً تم استعمال مجفف (مصد) من النوع (EFOX 30) وهو عبارة عن ثلاثي بوتيل بيروكسي بذروات والذي يكون على شكل سائل شفاف يضاف إلى المادة البوليمرية والتي تكون في الحالة السائلة هي الأخرى في درجة حرارة الغرفة وذلك لإتمام عملية البلمرة (تم توفير هذه المواد من شركة ألياف ليبا-مصراتة). بالنسبة للفونولait والكاولين والتي استعملت كإضافات أو حشوات للمادة البوليمرية الأساس فهى 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 الفونولait والكاولين المستعملة كإضافات وذلك بطحن المادة الخام لهنده الحبيبات أولاً باستعمال مطرقة يدوية ثم باستعمال مطحنة معملية، نوع (FAST MILL modular, Gabrielli Technology) والتي تظهر في الشكل 1(أ)، وبعد ذلك تمت غربلة المسحوق الناتج باستعمال مجموعة من الغربائل (المناخل) من النوع (Linker Test Sieve) والمثبتة على هرّاز 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  $32 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}$  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 100:2 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 للبوليمر في المادة المركبة، والتي منها يمكن تحديد نسبة مادة التقوية والتي ستكون مكونة لهذه النسبة. باستعمال هذه النسبة 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  $2.5 \times 2.5 \times 2.5$  سمك العينة بالستيometer. يتم إجراء الاختبار باستعمال بوائق خزفية يتم تسخينها لدرجة حرارة 600 مئوية لمدة 10 دقائق وترك لتبرد 0.1 دقيقة قبل استعمالها، وبعد ذلك يتم تسجيل وزن البوائق بدقة 0.1 مليجرام، ثم توضع العينات بداخليها وتوزن مرة أخرى، تم توضع في الفرن عند درجة حرارة في حدود 565 تزيد أو تنقص بمقدار 28 درجة مئوية وترك إلى أن يحترق جميع البوليمر، في هذا الاختبار تم التسخين لدرجة 590 مئوية لمدة 3 ساعات. بعد انتهاء عملية الحرق تخرج البوائق ويسجل وزنها وبداخلها ما تبقى بعد عملية الحرق. في الشكل 5 يظهر الفرن المستعمل في عملية الحرق، وبعض البوائق المستعملة في الاختبار وبداخلها العينات وكذلك ما تبقى بعد عملية الحرق.

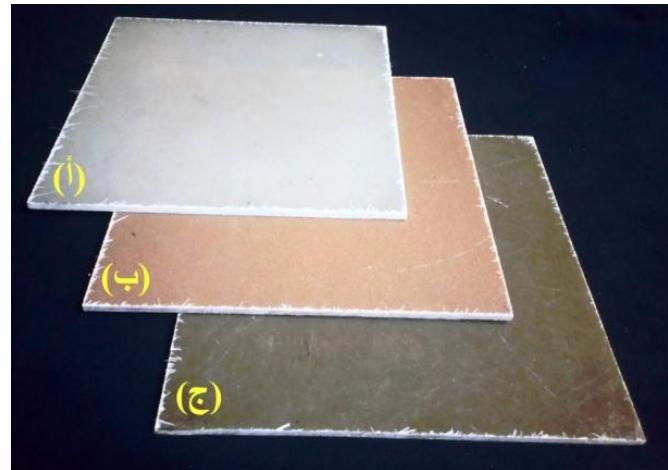


شكل 5: (أ) الفرن المستعمل في عملية الحرق؛ (ب) البوائق الخزفية وبداخلها العينات قبل إدخالها للفرن؛ (ج) البوائق وبداخلها ما تبقى بعد انتهاء عملية الحرق

### 3-3-2 اختبار امتصاص الماء وتأثير الوسط المحيط

تم إجراء هذا الاختبار بحسب المواصفة ASTM D570 [20]، والمواصفة ASTM D543 [21]. حيث تُعني المواصفة الأولى بتحديد بعض الخواص مثل امتصاص الماء (water absorption)، وانتشار السوائل في البوليمر (diffusion of liquids)، ومحظى 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 للمواد المختبرة نفسها تكون 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، وأخر من ماء البحار 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

ظهور 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 الفونوليت وتم الإشارة إليها بالاختصار (Ph-GFRP).



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

### 3-2 الاختبارات المعملية:

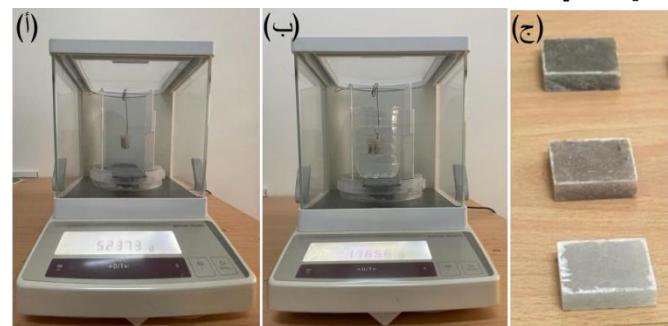
#### 3-2-1 اختبار تحديد الكثافة الحقيقية أو الكثافة النسبية (Relative Density)

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 المستعملة 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:

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

حيث:

$\rho_{actu.}$  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 الخطى للاحتراق (linear burning rate) 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 الخطى يتمأخذ المتوسط الحسابى له ليتم تصنيف المادة من حيث مقاومتها للهب بناءً على ذلك. إذا تم اختبار ثلاثة عينات من نفس المادة وأعطت نفس نمط الاحتراق فإنه لا يتم اختبار باقى العينات، ولكن إذا اختلف نمط الاحتراق أحد العينات لنفس المادة عن العينة التي تلتها فإنه يتم اختبار العينات العشر. الشكل 8 يوضح التجهيزات التي تم استعمالها للاختبار.



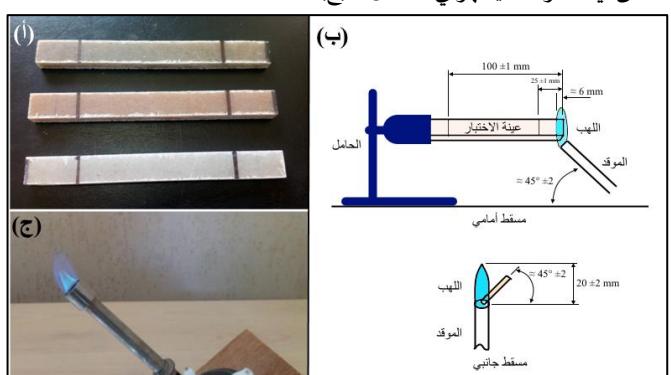
شكل 8: تجهيز العينة والموقد لاختبار الاحتراق

الوسط والطرف الأيمن والأيسر باستعمال ميكرومتر بدقة 0.01 ملم وأخذ المتوسط. بعد انتهاء فترة الغمر ويحسب 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 تجيزها حسب مواصفة الاختبار؛ (ب) العينات مغمورة في وعاء ماء البحر (إلى اليمين) ووعاء الماء العذب (إلى اليسار) 4.3-4 اختبار الاحتراق

وهو من الاختبارات المتبعة لتحديد مدى مقاومة المادة للهب (Fire - resistance properties) [22]، وتم إجراء الاختبار بحسب المواصفة الأمريكية ASTM D635 [22]، والتي عن طريقها يتم تحديد إما معدل الاحتراق الأفقي، أو مدى زمن الاحتراق للمواد البوليمرية. تم تجيز عدد 10 عينات لكل نوع من المواد المركبة التي تم تصنيعها، وبحسب المواصفة تكون العينات بطول 125 ملم (يزيد أو ينقص بمقدار 5 ملم)، وبعرض 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، والأخر على مسافة 100 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 الطولى، ومائلة بزاوية 45 درجة بالنسبة للمحور العرضي لها. قبل بدء الاختبار يتم ضبط اللهب بالتحكم في مقدار الهواء الداخل للموقد، فيضبط أولًا للحصول على اللهب بلون أزرق طرفة أصفر، ثم يعاد ضبطه ليصير باللون الأزرق فقط وبطول حوالي 20 ملم، ويترك لمدة 5 دقائق ليستقر كما يظهر في الشكل 7(ج).

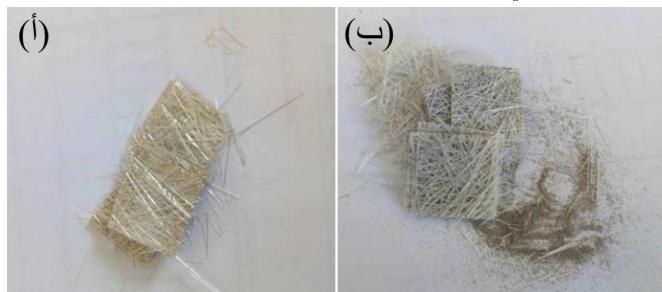


شكل 7: (أ) عينات الاختبار يظهر عليها خط مسافة الـ 25، و100 ملم؛  
(ب) رسم توضيحي لكيفية تثبيت العينة (مقبس ومقبس ومعدل من المرجع [22])؛  
(ج) اللهب بعد أن تم ضبطه حسب المواصفة المتبعة في الاختبار  
للبدء في الاختبار يقرب اللهب من النهاية الحرجة للعينة ويبداً حساب الزمن ويترك اللهب لمدة 30 ثانية، وبعدها 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 إنتهاء الاختبار، إذا وصل اللهب إلى خط الـ

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

Specimen Type	Specimen No.	W <sub>a</sub> (g)	W <sub>w</sub> (g)	(W <sub>a</sub> -W <sub>w</sub> ) (g)	[W <sub>a</sub> /(W <sub>a</sub> -W <sub>w</sub> )] × 0.9976	Average Actual (Relative) Density (g/cm <sup>3</sup> )
<b>GFRP</b>	1	5.2362	1.7660	3.4702	1.5053	<b>1.498</b>
	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	
<b>K-GFRP</b>	1	5.5417	1.9244	3.6173	1.5283	<b>1.537</b>
	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	
<b>Ph-GFRP</b>	1	5.9142	2.0695	3.8447	1.5346	<b>1.531</b>
	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	

النسبة 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 البوليمر إلى حوالي 600 درجة مئوية لفترة زمنية كافية فإن المادة البوليمرية ستتحرق، وتبقى مادة التقوية والتي في العادة تكون ثابتة عند هذه الدرجة من الحرارة. في حالة العينات المختبرة فإن كلاً من ألياف الرجاج وحببيات الكاولين والفوโนلايت 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 والحببيات المضافة.



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

### 3. النتائج والمناقشة:

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

كثافة العناصر أو المواد تعد واحدةً من أهم الخواص الفيزيائية التي بالإمكان قياسها وهي من الخواص التي قد تستعمل في تحديد نوع العنصر أو المادة وترتبط ارتباطاً وثيقاً بالتغييرات 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 المعاصفة ASTM D792 فإنها تحدد من العلاقة:

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

الفرق بين وزن العينة في الهواء وزورها عند غمرها في سائل يعادل قوة الطفو والتي يحسب مبدأ أرخميدس تساوي وزن السائل المزاح، فإذا ما قسم هذا الوزن على كثافة السائل المستعمل فإنه يعطي حجم متساوٍ 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 والفوونلايت 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 الفونلايت. وحيث أن النسبة الوزنية لإضافة هذين المكونين إلى البوليمر المستعمل في تصنيع العينتين 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/سم<sup>3</sup> [24,23]، أعلى بقليل من كثافة الفونلايت والتي تكون ما بين 2.31 إلى 2.52 جرام/سم<sup>3</sup> [25]. وبشكل عام فإن هذه الزيادة في الكثافة تعد طفيفة ولا تؤثر في قيمة المادة المنتجة وخاصة إذا ما قورنت بالتحسين الكبير في جميع الخواص الميكانيكية والذي نتج عن إضافة الكاولين والفوونلايت للمادة المركبة المقواة بالألياف كما أظهرت ذلك دراسات سابقة [16,15].

#### 3-2 اختبار الحرق

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

جدول 2: القيم اللازمة لإجراء حسابات الكثافة النظرية

Specimen Type	Specimen No.	Crucible weight (g)	Crucible and Specimen weight (g)	Specimen weight [W <sub>1</sub> ] (g)	Crucible and Residue weight (g)	Residue weight [W <sub>2</sub> ] (g)
<b>GFRP</b>	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
<b>K-GFRP</b>	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	26.6115	1.0521
<b>Ph-GFRP</b>	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

الحقيقة فإن استعمال الكاولين والفونولait كإضافات للبوليمر أدى إلى زيادة طفيفة في كثافة العينات المصنعة مقارنة بكتافة العينة المرجعية الخالية من هذه الإضافات، هذه الزيادة في الكثافة كانت حوالي 3.2% للعينات المحتوية على الكاولين، وحوالي 2.1% للعينات المحتوية على الفونولait.

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 البوليمر 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 للككل، وقابلية أكبر لامتصاص وتغليط الماء وتتأثير 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 1% أو تزيد بمقدار طفيف [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 الفونولait وهذا قد يكون أحد الأسباب التي جعلت من عينات الفونولait 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 المعاصفة المستعملة لهذا الاختبار (ASTM D2584) فإن النسبة الوزنية للبوليمر تحسب من العلاقة:

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

حيث:

W<sub>R</sub>% النسبة الوزنية للبوليمر (Resins)، W<sub>1</sub> وزن العينة قبل الاختبار(قبل الحرق)، W<sub>2</sub> وزن المادة المتبقية بعد الاختبار (بعد الحرق). أما نسبة مادة التقوية (Reinforcements) W<sub>R</sub>% ف تكون متساوية لـ (100 - WR%).

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

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

حيث:

ρ<sub>Theor.</sub> الكثافة النظرية، و R كثافة البوليمر، و r كثافة مادة التقوية. وحيث أن عينات الكاولين والفونولait تحوي بالإضافة إلى ألياف الزجاج على حبيبات الكاولين والفونولait، فإن العلاقة أعلاه يمكن تعديليها على النحو:

$$\rho_{Theor.} = 100/[WR\%/R + Wr\%/F + W_p\%/P]$$

حيث:

W<sub>F</sub>% النسبة الوزنية للألياف (Fibers)، و F كثافة الألياف، W<sub>P</sub>% النسبة الوزنية للمسحوق أو للحبيبات المضافة (Powder or Particulate filler)، و P كثافة الحبيبات.

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

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

في الحسابات تم اعتبار أن: R=1.25 g/cm<sup>3</sup>, F=2.54 g/cm<sup>3</sup>, و F=2.54 g/cm<sup>3</sup>, و ذلك بحسب ما في المراجع [27, 26, 2], أما كثافة الكاولين فاعتبرت متساوية لـ 2.6 g/cm<sup>3</sup> وكثافة الفونولait 2.5 g/cm<sup>3</sup> وذلك كما في المراجع المذكورة سابقاً [24, 23, 25].

نتائج الحسابات السابقة تم إدراجها في الجدول 3. من الجدول يلاحظ أن قيم الكثافة النظرية لجميع العينات هي أكبر من قيم الكثافة الحقيقة، 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 محتواً على فراغات، وبالتالي تزداد قيمة الكثافة. أيضاً كما هو الحال في الكثافة

## جدول 3: حسابات الكثافة النظرية ونسبة الفراغات والقيم المتوسطة لها

Specimen Type	Specimen No.	Wr%	Aver. Wr%	WR%	Aver. WR%	Wp%	Aver. Wp%	$\rho_{Theor.}$	Aver. $\rho_{Theor.}$	Vr%	Aver. Vr%
<b>GFRP</b>	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	<b>1.511</b>	0.96	<b>0.86</b>
	4	32.83		67.17		0.00		1.500		0.51	
	5	34.56		65.44		0.00		1.516		1.40	
<b>K-GFRP</b>	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	<b>1.559</b>	0.11	<b>1.44</b>
	4	38.68		61.32		4.69		1.557		0.83	
	5	40.21		59.79		6.22		1.572		4.53	
<b>Ph-GFRP</b>	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	<b>1.543</b>	0.96	<b>0.82</b>
	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 والفوโนلايت 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 والممواد 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 المعايير المستعملة ASTM D635 فإنه يوقف الاختبار إذا أظهرت ثلاثة عينات نفس النمط من الاحتراق، أي إما أنها: (أ) تتوقف عن الاحتراق بمجرد إبعاد الهب، (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، وللنقطة الأخيرة يتم حساب معدل الاحتراق الخطى بوحدات المليمتر لكل دقيقة.

باستعمال العلاقة:

$$V = 60L/t$$

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

## 3-3 اختبار امتصاص الماء وتأثير الوسط المحيط

بحسب المعايير ASTM D570 [20] هناك سبعة أنواع من اختبارات الغمر وهي: الغمر لمدة 24 ساعة؛ الغمر لمدة ساعتين؛ الغمر لمدة ساعتين و24 ساعة في اختبار واحد وهو ما يعرف بإعادة الغمر؛ الغمر طول 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 المعايير السابقة الذكر والمعايير ASTM D543 [21] يمكن تتبع التغيرات الحاصلة في العينة المختبرة من حيث امتصاصها للماء أو السوائل الأخرى، التغيرات في الوزن، الأبعاد، المظهر، خواص مقاومة الميكانيكية. في هذا البحث تم تطبيق اختبار إعادة الغمر، حيث تم قياس الأبعاد الثلاثة وقيمة الأوزان للعينات المختبرة قبل الاختبار، وبعد الغمر لساعتين، ثم بعد الغمر 1 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:

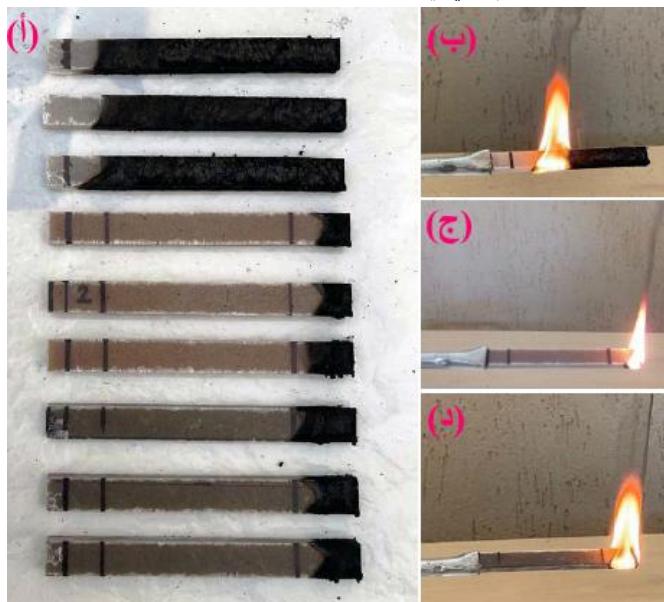
$WA\%$  النسبة المئوية لامتصاص الماء أو الرطوبة؛  $W_0$  وزن العينة قبل الغمر؛  $W_1$  وزن العينة بعد الغمر؛  $TS\%$  نسبة الزيادة في السمك؛  $h_1$  سمك العينة بعد الغمر؛  $h_0$  سمك العينة قبل الغمر؛ أيضاً تمأخذ قياس الطول (w<sub>0</sub>) للعينات قبل الاختبار كما يظهر في الجدول 4.

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%， وهذا تعد جميع العينات مستقرة في هذه الأوساط (الماء العذب، وماء البحر)، حيث أنه وبحسب المعايير المتتبعة إذا كانت نسبة الامتصاص أقل من 1% تعد المادة مستقرة في وسط الاختبار. بالنسبة لأبعاد العينة فإنه عند قياسها بعد الغمر لساعتين ولـ 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)	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
		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
		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
		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
		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
		3	7.33	22.6	72	17.2405	17.2467	17.2618	0.04		0.16
	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
		3	7.11	22.4	71.9	16.9779	16.996	17.0064	0.11		0.15

البوليمر للاحتراق وبالتالي زيادة مقاومة العينات للهب.



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

#### 4. الخلاصة:

من خلال هذا البحث والذي تم فيه تحضير عينات من مادة مركبة ذات أساس بوليمرى ومقاومة بألياف الزجاج، ودراسة تأثير إضافة حبيبات الفونولait والكاولين إلى الأساس البوليمرى 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 لوزتها، 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 الحالى اقتصر على دراسة بعض الخصائص الفيزيائية عند إضافة مادتي الفونولait والكاولين إلى الأساس البوليمرى بنسبة محددة وبحجم حبيبات محدد، عليه نرى أنه بالإمكان مواصلة البحث باستخدام حبيبات من مواد أخرى كالسيلىكا، أو التربة الحمراء، أو القرانيت، أو غيرها من الخامات والممواد الطبيعية المتاحة

بحسب المعاصفة المذكورة آنفأً فإن الأتماط 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 (HB)، أما مواد النقط (د) فإنهما تلتحق بهذا التصنيف (HB) فقط إذا كان معدل الاحتراق الخطى لها لا يتجاوز الـ 40 ملليمتر في الدقيقة وكان سمك العينة ما بين 3 إلى 13 ملم، أو كان معدل الاحتراق الخطى 70 ملليمتر 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 احترقت حتى خط الـ 100 ملم ولذلك تم حساب معدل الاحتراق الخطى لها والذي يظهر في الجدول 5، أما العينات المحتوية على حبيبات أو إضافات الكاولين والفونولait 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 الفونولait. بالنسبة للون للهب فهو متباين لجميع العينات ويتضاعف من جميع العينات دخان أسود كما يظهر في الشكل 10(ب)، (ج)، (د).

جدول 5: حسابات معامل الاحتراق الخطى للعينة 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 س מקها يقع ما بين 3 ملم و13 ملم) يساوى 6.5 ملم في الدقيقة، هذا المعدل أقل من القيمة المنصوص عليها في المعاصفة 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 والفونولait أدت لتوقف تقدم الهب في زمن أقل إذا ما قورنت بالعينة المرجعية، ولعل ذلك راجع لكون الكاولين والفونولait هي مواد سيراميكية غير قابلة للاشتعال وبالتالي فإن إضافتها للبوليمر بنسبة 10% أثنتان عملية تصنيع العينات أدى إلى تقليل قابلية

ASTM D. 792; Standard Test Method for Density and Specific [17] Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 2007.

ASTM D. 3800; Standard Test Method for Density of High-[18] Modulus Fibers. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 1999.

ASTM D. 2584; Standard Test Method for Ignition Loss of [19] Cured Reinforced Resins. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 1994.

ASTM D. 570; Standard Test Method for Water Absorption of [20] Plastics. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 1998.

ASTM D. 543; Standard Test Method for Evaluating the [21] 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 [22] 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. [23] Epitoanyag. 2007;59(1):6-9.

Mohmmed JH. Evaluation the Mechanical Properties of Kaolin [24] Particulate Reinforced Epoxy Composites. Al-Khwarizmi Engineering Journal. 2018;14(1):29-38.

Seifert R, Malfait W, Petitgirard S, Sanchez-Valle C. Density of [25] 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 [26] Reinforced Plastics. ASTM International: West Conshohocken, PA, USA. 1994 (Reapproved 2003).

Composite Materials Handbook, Volume 1 - Polymer Matrix [27]. Composites - Guidelines for Characterization of Structural Materials (CMH-17): SAE International on behalf of CMH-17, a division of Wichita State University; 2012 2012.

Mustafa SN. Effect of kaolin on the mechanical properties of [28] polypropylene/polyethylene composite material. Diyala Journal of Engineering Sciences. 2012:162-78.

[29] قراب س, بلعم م, البرتولي ص, أبوليفه أ. دراسة خواص المواد الخام لخلطات البلاط السيراميكى وتأثير الفونولait على مقاومة الكسر . Journal of Sharwes. 2022;2(2):222-35.

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

## 5. المراجع:

Callister WD, Rethwisch DG. Materials science and engineering: [1] an introduction. 9th ed: Wiley New York; 2013 December 4, 2013.

Bajpai PK, Singh I. Reinforced Polymer Composites: Processing, [2] Characterization and Post Life Cycle Assessment: John Wiley & Sons; 2019.

Ngo T-D. Composite and nanocomposite materials: From [3] knowledge to industrial applications: BoD-Books on Demand; 2020.

Varga C, Miskolczi N, Bartha L, Lipócz G. Improving the [4] 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, [5] thermal and water absorption properties of flax fibre reinforced epoxy composite with nano TiO<sub>2</sub> addition. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2018;115:360-70.

Hale D. The physical properties of composite materials. Journal [6] of materials science. 1976;11:2105-41.

Shi G, Zhang MQ, Rong MZ, Wetzel B, Friedrich K. Sliding wear [7] behavior of epoxy containing nano-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles with different pretreatments. Wear. 2004;256(11-12):1072-81.

Medina R, Haupert F, Schlarb AK. Improvement of tensile [8] 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 SiO<sub>2</sub> on the [9] performance of nanocomposites. Materials Letters. 2003;57(19):2940-4.

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

Kumari N, Mohan C. Basics of clay minerals and their [11] characteristic properties. Clay and Clay Miner. 2021;24(1).

[12].أ رمضان ا, الأشخ عم, إمباشي م. العلاقة بين الكثافة والقابلية المغناطيسية والتراكيب الكيميائي في صخور الفونولait والتراكايت بجبل كاف أبوغنوش في منطقة غريان بشمال غرب ليبيا. المجلة الجامعية .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, [14]. Bateman P. Igneous rocks: a classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks: Cambridge University Press; 2005.

Ballem MA, Khalifa RR. Effect of Kaolin and Phonolite [15] Particulates Addition on the Mechanical Properties of Glass–Fiber Composites. Submitted Manuscript. 2024.

Ballem MA, Garrab SA, Eldwaib K, Aldarwish M. Effect of [16] Kaolin and Phonolite Particulates Addition on Hardness and Abrasive Wear of Glass–Fiber Composites. Submitted Manuscript. 2024.