

Comparison between the Effect of Marble Powder and some Metal Oxides on the Flame Resistance of Unsaturated Polyester

Roya Noman*

(Received 16 / 11 / 2023. Accepted 21 / 5 / 2024)

□ ABSTRACT □

The research aims to study the resistance of unsaturated polyester (UPR) containing 4% marble powder to combustion at high temperatures under conditions similar to combustion conditions in industrial facilities, and to compare its behavior with other samples containing the same percentage of aluminum oxide and magnesium oxide. The samples were exposed to the oxyacetylene flame within a distance (6 cm) between the tip of the cone of the moderate oxyacetylene flame and the center of the sample for a time of (1 min). The results showed similarity in the drilling time and mass loss rate for both samples containing marble powder and aluminum oxide, while samples containing magnesium oxide gave the best values. The flame resulting from burning the polyester sample containing aluminum oxide and marble powder spreads heterogeneously over the surface of the sample, and the smoke rising upon burning is dense, While the flame in the magnesium oxide sample maintained its color and nature, with a lower smoke density.

Keywords: unsaturated polyester, marble powder, flame resistance, metal oxides.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

*PHD ; Designing and Production department; Faculty of Electrical & Mechanical Engineering; Tishreen University; Lattakia; Syria. royanoman@gmail.com

مقارنة بين تأثير بودرة الرخام و بعض الأكاسيد المعدنية على مقاومة البولي استر غير المشبع للهب

رؤيا نعمان*

(تاريخ الإيداع 16 / 11 / 2023. قُبِلَ للنشر في 21 / 5 / 2024)

□ ملخص □

يهدف البحث لدراسة مقاومة البولي استر غير المشبع (UPR) الحاوي على نسبة 4% بودرة الرخام للاحتراق بدرجات حرارة مرتفعة ضمن ظروف مشابهة لظروف الاحتراق في المنشآت الصناعية، ومقارنة سلوكها مع عينات أخرى تحوي نفس النسبة من أكسيد الألمنيوم و أكسيد المغنيزيوم.

تم تعريض العينات للهب الأكسي استلين ضمن مسافة (6 cm) بين رأس مخروط لهب الأكسي استلين المعتدل ومركز العينة ولزمن (1 min).

بيّنت النتائج وجود تقارب في زمن النقب ومعدل الفقد الوزني لكل من العينات الحاوية على بودرة الرخام وأكسيد الألمنيوم، بينما أعطت العينات الحاوية على أكسيد المغنيزيوم أفضل القيم. اللهب الناتج عن حرق عينة البولي استر الحاوي على أكسيد الألمنيوم وبودرة الرخام ينتشر بشكل غير متجانس على سطح العينة، والدخان المتصاعد عند الاحتراق كثيف، بينما حافظ اللهب في عينة أكسيد المغنيزيوم على لونه وطبيعته وبكثافة دخان أقل.

الكلمات المفتاحية: بولي استر غير مشبع ، بودرة رخام ، مقاومة اللهب، أكاسيد معدنية.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* دكتوراه، قسم هندسة التصميم والإنتاج، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.
royanoman@gmail.com

مقدمة:

تعرف البوليمرات بقابليتها العالية للاحتراق وتترافق غالباً بإنتاج غازات سامة ودخان، وبما أن متطلبات الأمان أصبحت أكثر تشدداً في هذه الأيام من حيث مقاومة البوليمرات للاشتعال، ونظراً لكون المواد المستخدمة في الإعاقة تملك تأثيراً سلبياً على البيئة كالهالوجينات، فإنّ التحدي اليوم هو كيفية الحصول على مواد معيقة للهب وغير ضارة بيئياً [1]. يتم إيقاف الاحتراق في المواد البوليمرية بإحدى طريقتين تتضمن الأولى تشكيل الفحم الذي يعمل كطبقة وقائية بين اللهب والبوليمر المتبقي، بينما تعتمد الثانية على تخفيف الوقود الصلب (البوليمر) بإضافة مواد مائلة لا عضوية تتفكك لتخفيف الاحتراق.

معظم المائات اللاعضوية لا تحترق لكنها قادرة على التفكك بتأثير حرارة الاحتراق المرتفعة. فمعيقات اللهب ذات الأساس المعدني كهيدروكسيد الألمنيوم ATH أو هيدروكسيد المغنيزيوم $Mg(OH)_2$ تتفكك وتطرح الماء عند درجات حرارة C^0 (180 - 340)، ثم يعمل الماء الناتج على تخفيض قابلية المادة المركبة للاحتراق وتقليل كثافة اللهب والدخان المنبعث. بينما تستخدم كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ كمائات حجم أو كتلة وبما أنها غير قابلة للاشتعال فهي تخفّض من كمية المادة القابلة للاشتعال، إلا أنها غير فعّالة عند النسب المنخفضة من الإضافة ويلزم أحياناً إضافة % (50-80) للحصول على الأداء المطلوب [2]. المائات الأخرى المتضمنة ذرات الهالوجين مثل (الفلورين - كلور - يود - بروم) تخفّض بشكل كبير من عملية الاحتراق، وقابلية الاشتعال لكنها غالباً ما تزيد من كثافة الدخان المنبعث [3]. تحسّن إضافة المواد الحاوية على الفوسفور والنتروجين (P/N) من مقاومة الاحتراق للبولوي استر غير المشبع وتقلل من انبعاث الحرارة، حيث اجتازت مادة (UPR /30 DOPO-N) اختبار UL-94 بتصنيف V1 (توقف الاحتراق خلال 30 ثانية بدون تقطر) وبلغت النسبة المئوية بين الاكسجين والنتروجين باختبار (LOI) (limiting oxygen index) القيمة (30.8%) [4].

بمقارنة الزمن اللازم للاشتعال (Time To Ignition) لعينات من البولوي استر غير المشبع الصافي (UPR) مع أخرى حاوية على (50%) من كربونات الكالسيوم، تبين أن اشتعال UPR يبدأ بعد (7 sec) بينما العينات التي احتوت على نسبة (50%) من كربونات الكالسيوم بدأت بالاشتعال بعد (8 sec)، وفي اختبار الفقد الوزني (Mass Loss) بلغ الوزن المتبقي لعينة البولوي استر 6.8% بينما الوزن المتبقي من العينة الحاوية على 50% كربونات الكالسيوم 36.7%، إذ تتفكك كربونات الكالسيوم عند درجة حرارة C^0 (800)، بينما يبدأ التفكك الحراري للبولوي استر غير المشبع عند الدرجة C^0 (250) وقد تبين أن الفقد في الكتلة يبدأ عند الدرجة C^0 (300-400) [5]. ينخفض معدل احتراق البولوي استر غير المشبع عند إضافة كل من أكسيد المغنيزيوم (MgO) وكربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) بالنسب (0، 2، 4، 7، 10، 12)، ويزداد الانخفاض الحاصل كلما زادت نسبة الإضافة، أيضاً يتناقص الارتفاع الأعظمي للهب بزيادة نسبة الإضافة ويعود السبب في ذلك إلى تفكك المواد المضافة حرارياً وانتقالها إلى الطبقة السطحية مشكلاً طبقة مقاومة للهب [6].

إنّ إضافة طبقة من Mg-AL تقلل من عملية التفكك الحراري لمادة البولوي إيتلين منخفض الكثافة (LDPE) من خلال تأثيرها المبرد وبالتالي تقلل من كمية الفقد في الوزني للمادة، حيث تعمل طبقة Mg-AL بألية مشابهة لعمل الهيدروكسيدات مثل $Mg(OH)_2$ و $Al(OH)_3$ فيما يتعلق بالتفكك الحراري، وبشكل مشابه لعمل (Nano Filler) فيما يتعلق بالقدرة العالية على تشكيل الفحم، كما يساهم استبدال الفوسفور الأحمر بنسبة (2%) من أكسيد الألمنيوم في تحسين مقاومة الاحتراق لمادة البولوي إيتلين المعاد تدويرها (PET) ومعدل (LOI) كما يخفض من انبعاث الحرارة [7,8].

تحسّن إضافة كربونات الكالسيوم مع الميكا (CC/M) من الاستقرار الحراري لمادة البولي بروبلين، وتخفض من معدل الاحتراق بزيادة النسبة المضافة منها، أيضاً تساهم إضافة كربونات الكالسيوم بنسبة (1%) مع مادة (titanate coupling agent) في تقليل معدل انبعاث الحرارة لمادة (polyoxymethylene) بمقدار 81% وتزيد قيمة (LOI) من (46.6%) حتى (58.2%) [10,9].

تلجأ بعض الدراسات إلى تخفيض كمية مادة الأساس بهدف تقليل كمية الغازات القابلة للاشتعال وإنتاج طبقة من الفحم مع تحويل المادة المضافة لطبقة سيراميكية تعمل ذاتياً على إيقاف الاشتعال كما هو الحال في مانعات التسرب المصنعة من مادة (Poly Vinyl Acetate)، حيث يتم استخدام كل من هيدروكسيد المغنيزيوم كمادة معيقة للهب (fire- retardant) وبورات الزنك كمادة مثبطة (fire- barrier)، ويعتمد مقدار التخفيض في كمية (PVAC) على التخفيض الحاصل في كمية حمض (vinyl acetate) عند نفس درجة حرارة تفكك هيدروكسيد المغنيزيوم مطلقاً الماء، ثم تتشكل طبقة فحم لينة كمرحلة انتقالية، الأكسيد المتبقي من هيدروكسيد المغنيزيوم مع الأكسيد الناتج عن مادة الأساس يندمجان بوجود بورات الزنك مشكلان طبقة سيراميكية تعمل على حماية المادة من اللهب [11].

يمكن استخدام المائتات السيراميكية كمركبات الكالسيوم والعديد من المائتات السيراميكية الأخرى ذات الأساس المعدني كمعوقات للهب في المواد المركبة التي أساسها (Silicone – rubber) المستخدمة في صناعة الكابلات والأسلاك الكهربائية حيث يقترن استخدامها باستخدام أكسيد البورون (B₂O₃)، ويتم تعويض التأثير الحامضي لأكسيد البورون باستخدام نسب من أكسيد المغنيزيوم MgO بشكل مطحون مع مادة الأساس [12].

تحسّن إضافة بودرة الرخام بنسبة (50%) من المقاومة الحرارية لألواح الأسقف والأرضيات المصنّعة من البولي استر غير المشبع المسلح بـ(3%) ألياف الزجاج القصيرة وذلك عند تعريضها لدرجة حرارة 900 °C لمدة 20 دقيقة ضمن أفران (Bunsen burner) مع توقف الاحتراق مباشرةً بعد اطفاء شعلة اللهب [13].

أهمية البحث وأهدافه:

تكمن أهمية البحث في إمكانية استخدام مواد لا عضوية مثل (نفايات عملية قص الرخام) مع مواد ذات أساس بوليميري كمواد عازلة ومقاومة للاحتراق في المنشآت الصناعية والتطبيقات الإنشائية والتجهيزات الكهربائية، مما يساهم في تقليل تكاليف العزل وزيادة عمر استثمار المواد ذات الأساس البوليميري.

طرائق البحث ومواده:

❖ المواد المستخدمة في البحث:

مادة الأساس البوليميرية: تم استخدام البولي استر غير المشبع نوع (TOPAZ-1110TP) من إنتاج شركة (Industrial Chemicals & Resins Co. Ltd). له المواصفات الموضحة بالجدول (1):

جدول (1) - مواصفات البولي استر غير المشبع المستخدم

PROPERTIS	TOPAZ-1110TP
Viscosity	575-675 CPS
Flash point	34 centigrade
Gel time(1.5%MEKP)	15-20 minutes

المادة البادئة: تم استخدام مادة بيروكسيد الميثيل إيثل كيتون كمادة بادئة لحدوث التفاعلات في المزيج المستخدم وهي من نوع (Butanox – M- 50)

المادة المسرعة: تم استخدام محلول الكوبالت نفتات الحاوي على نسبة 6% كوبالت كوسيط معالجة مسرع لمزيج البولي استر المستخدم.

بودرة الرخام: تنتج عن عملية قص الرخام في مناشر الرخام الشكل (1)، تم تخيلها بالبداية لتخليصها من النفايات والقطع كبيرة الحجم، ثم فرزها لأقطار مختلفة بواسطة مناخل واستخدام حبيبات بقطر أقل من (212 μm).



الشكل (1) - بودرة الرخام، والمناخل المستخدمة

- أكسيد الألمنيوم (Al_2O_3): تم استخدام أكسيد الألمنيوم بشكل مسحوق حبيبي ناعم إنتاج (Lobachemie) وبنقاوة 99.5 % وحجم حبيبي (53- 50 μm). درجة انصهاره تصل إلى حوالي $2000\text{ }^\circ\text{C}$.

- أكسيد المغنيزيوم (MgO): من الأكاسيد السيراميكية التي تتمتع بدرجة انصهار عالية حوالي $2800\text{ }^\circ\text{C}$. تم استخدام أكسيد المغنيزيوم إنتاج شركة (Qualikems) بنقاوة 99.5 %.

❖ طريقة تحضير العينات:

تم تحضير العينات بطرق تقليدية وبجو غير معزول حرارياً بدرجة حرارة للوسط المحيط بين $20-25\text{ }^\circ\text{C}$ ، حيث تم خلط مادة UPR مع المادة المائلة والتحرك يدوياً حتى تمام التجانس، ثم تم إضافة كل من المادة البادئة (1%) والمادة المسرعة (0.5%) مع استمرار التحريك لمدة لا تتجاوز دقيقة، بعد ذلك تم صب المزيج في قالب ذو شكل دائري بقطر (87 \pm 0.5)mm وسماكة (10 \pm 0.5)mm، تركت بعدها العينات حتى تمام التصلب الشكل (2)، بعد تصلب العينات تم نزعها من القالب وأخذ قراءات للوزن بواسطة ميزان دقيق بدقة قياس تصل إلى 0.001gr.



الشكل (2) - طريقة تحضير عينات الاختبار

❖ الأدوات والتجهيزات المستخدمة في البحث:

- اختبار المقاومة الحرارية:

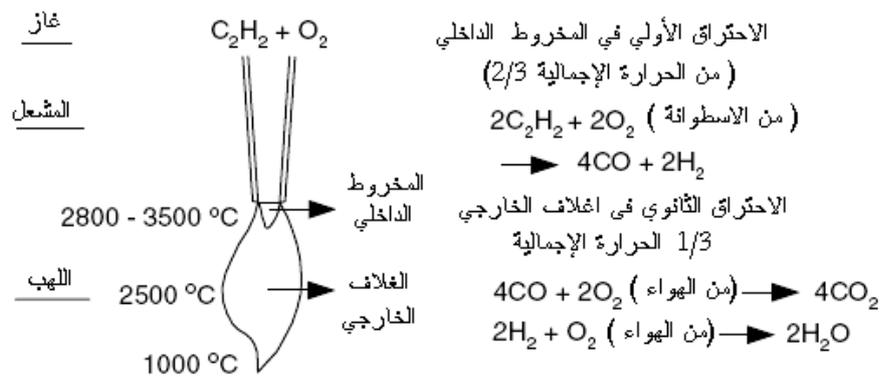
تم إجراء جميع الاختبارات في مخابر كلية الهندسة بجامعة تشرين، وتتكون أداة الاختبار من قاعدة تحوي منزلقة تسمح بحركة حامل العينة بسهولة ضمن مسافات محددة من حامل حملاج الأكسي استلين، بحيث يتم تركيز شعلة لهب الأكسي استلين في مركز العينة ذات الشكل الدائري الشكل(3).



الشكل (3) - أداة اختبار المقاومة الحرارية

- شعلة لهب الأكسي استلين :

اللهب المستخدم في البحث هو لهب محايد ، يتشكل من مزج كمية من الأوكسجين (O2) مع كمية مساوية من الاستيلين (C2H2)، ونتيجة الاشتعال يتشكل عند رأس المشعل مخروط داخلي قصير ، وغلاف خارجي أطول يميز هذا النوع من اللهب. تساوي الحرارة الناتجة عن هذا التفاعل حوالي ثلثي (2/3) الحرارة الإجمالية الناتجة، وتعود نواتج الاحتراق الأولي (CO) و (H2) للتفاعل مع أوكسجين هواء الوسط المحيط لتشكل (CO2) و (H2O) وهذا هو التفاعل الثاني الذي يولد ثلث (1/3) الحرارة الإجمالية ويوضح الشكل (4) التفاعلات الكيميائية وتوزع درجة الحرارة في هذا اللهب.



الشكل (4) - التفاعلات الكيميائية وتوزع درجة الحرارة في اللهب المحايد.

النتائج والمناقشة:

يوضح الشكل (5) عملية الاحتراق الحاصلة على سطح العينات أثناء تعريضها للهب الأكسي استلين. بشكل عام يبدأ اللهب في بداية الاحتراق بالانتشار على سطح العينات، ثم ونتيجةً لوجود مواد الإضافة، يبتعد عن السطح متجهاً نحو الأعلى يرافقه دخان يظهر بكثافة قبيل تقب العينة.

يلاحظ من الشكل (5) أنّ عملية احتراق العينات الحاوية على بودرة الرخام تبدأ بانتشار اللهب على كامل السطح ثم يتعد متصاعداً نحو الجزء العلوي من العينة، بعد الثقب يحيط اللهب بالعينة ويزداد صعوده نحو الأعلى بشكل واضح. في العينة الحاوية على أكسيد الألمنيوم ينتشر اللهب على النصف العلوي من السطح بشكل قوس متوهج، وبترافق مع تصاعد واضح للأبخرة طوال مدة تطبيق شعلة الأكسي استلين لحين ثقب العينة، بعد ثقب العينة يتصاعد اللهب للأعلى ويقل انتشاره على السطح. في العينة الحاوية على أكسيد المغنيزيوم ينتشر اللهب في البداية على السطح ثم يزداد توجّهه وابتعاده كلما تقدم زمن تطبيق الشعلة، مترافقاً مع تصاعد غير كثيف وبنحو متدرج للأبخرة، ويمكن من الشكل (5) ملاحظة البقعة المشيرة إلى مركز تأثير اللهب على سطح عينة أكسيد المغنيزيوم دون حدوث الثقب. من خلال المقارنة نلاحظ تباين شكل اللهب تبعاً لنوع مادة الإضافة، ويبدو بشكل واضح أنّ اللهب كان أقل تصاعداً وترافقاً للأبخرة عند إضافة 4% أكسيد المغنيزيوم.



الشكل (5) - صور عينات UPR المضاف إليها 4% من بودرة الرخام، أكسيد المغنيزيوم، أكسيد الألمنيوم أثناء الاحتراق .
 بقياس زمن تشكل الثقب نتيجة التعرض للهب الأكسي استلين المعتدل تبين أن عينات أكسيد الألمنيوم تعرضت للثقب بعد زمن قدره (34 sec)، وبودرة الرخام (42 sec)، في حين أن العينات الحاوية على أكسيد المغنيزيوم لم تثقب. هذه النتيجة تؤكد قدرة أكسيد المغنيزيوم كمادة معيقة لانتشار اللهب حتى عند النسب المنخفضة.
 يظهر الشكل (6) الصور الفوتوغرافية والميكروسكوبية المأخوذة لسطح عينات البحث بعد تعريضها للهب الأكسي استلين المعتدل لمدة دقيقة.



الشكل (6) - صور فوتوغرافية وميكروسكوبية بتكبير (500X) لسطح عينات UPR مضاف إليها 4% لكل من بودرة الرخام، أكسيد الألمنيوم، وأكسيد المغنيزيوم بعد تعريضها للهب لمدة دقيقة.

يلاحظ من الشكل (6) وجود طبقة فحمية (هاب الفحم) متفاوتة السماكة على سطح العينات، كثافة الطبقة الفحمية على سطح العينات المضاف إليها بودرة الرخام وأكسيد الألمنيوم غير منتظمة، بينما توزعت بشكل قشري ومتشقق على سطح العينة المضاف إليها أكسيد المغنيزيوم. يمكن القول أنّ هذه الطبقة هي التي عملت على إعاقة اللهب بشكل أكبر من مثيلاتها في العينات المضاف إليها بودرة الرخام وأكسيد الألمنيوم، ويفسر عدم انتظام الطبقة الفحمية على سطح العينات المضاف إليها بودرة الرخام وأكسيد الألمنيوم بعدم تجانس المادتين بشكل جيد مع المادة الأساس أثناء الصب والتصلب. بمقارنة النسبة المئوية للفقد الوزني الحاصل في العينات بعد احتراقها، تبين أن العينات الحاوية على بودرة الرخام لها النسبة المئوية الأعلى من الفقد الوزني وتبلغ (10.5%)، تليها العينات الحاوية على أكسيد الألمنيوم (10%)، بينما أقل قيمة للفقد الوزني تعود للعينات الحاوية على أكسيد المغنيزيوم (8%).

يمكن ملاحظة التقارب في النتائج العائدة لنفايات بودرة الرخام وأكسيد الألمنيوم، على مستوى معدل الاحتراق الحاصل في العينة إلا أن نتائج زمن حدوث الثقب تشير إلى أن نفايات بودرة الرخام أكسبت عينات UPR زمناً أكبر من أكسيد الألمنيوم وهذه نتيجة غير متوقعة كون الدراسات العلمية تشير إلى أفضلية أكسيد الألمنيوم في إعاقة اللهب، أيضاً نلاحظ أنّ الاختبار لدقيقة واحدة غير كافي لحدوث الثقب في عينة UPR الحاوية على 4% أكسيد المغنيزيوم.

يظهر الشكل (7) الصور الميكروسكوبية المأخوذة لسطح العينات المختبرة بعد تنظيفها من هباب الفحم، ويمكن من خلالها توصيف آلية احتراق الرقائق البلاستيكية، إذ يحدث في البداية تحول الطبقة السطحية المعرضة بشكل مباشر للهب إلى فحم، تليها منطقة رقيقة تسمى منطقة التحطم فيها يسخن البوليمر إلى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة التحطم لكنها أقل من الدرجة اللازمة لتحويله إلى فحم. تحت هذه المنطقة تظهر منطقة تحوي تشققات بين الطبقات، أما المنطقة القريبة من السطح البارد (الوجه الخلفي غير المعرض للهب بشكل مباشر) لا يحدث فيها أي تحطم لأن درجة

حاررتها أقل من الدرجة اللازمة لذلك. بزيادة زمن التعرض للهب فإنّ منطقة التفتح والتحطم تتحولان بشكل تدريجي إلى سطح منقطع و يتحول البوليمر إلى فحم.



الشكل (7) - صور ميكروسكوبية بتكبير (500X) تظهر التشققات الحاصلة على سطح عينات UPR المختبرة نتيجة تعرضها للهب

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- ينتشر اللهب الناتج عن حرق عينة البولي استر الحاوي على أكسيد الألمنيوم وبودرة الرخام بشكل غير متجانس على سطح العينة ويأخذ شكلاً طويلاً تصاعدياً، والدخان المتصاعد عند الاحتراق كثيف. بينما يحافظ اللهب في عينة أكسيد المغنيزيوم على لونه وطبيعته وبكثافة دخان أقل.
- أكسبت نفايات بودرة الرخام عينات UPR تأثيراً أكبر في إعاقة اللهب من أكسيد الألمنيوم عند النسبة المضافة (4%) من حيث الفقد في الوزن ومقاومة الثقب بتأثير الأوكسي استلين.
- أعطى أكسيد المغنيزيوم أفضل النتائج من حيث الفقد في الوزن ومقاومة الثقب بتأثير الأوكسي استلين.

التوصيات:

- استخدام نفايات بودرة الزجاج كمادة إضافة لدراسة تأثيرها على إعاقة ومقاومة اللهب.
- دراسة اللزوجة لمادة الأساس البوليميرية لمعرفة تأثيرها على توزع مادة الإضافة.
- دراسة تأثير اللهب على الخواص الميكانيكية للعينات بعد الاحتراق.

References:

- [1]- BRENT STRONG, A. *Flammability testing*. Brigham Young University. SAMPE Journal, vol.2, 2008,10-22.
- [2]- MORGAN, A. B. *Polymer Flame Retardant Chemistry*, Ph.D. University of Dayton Research Institute, vol.30, 2009, 1-32.
- [3]- LAOUTID, F., BONNAUD, L., ALEXANDRE, M., LOPEZ-CUESTA, J.M. *New prospects in flame retardant polymer materials: from fundamentals to nano composites*. Ph. Dubois. Center of Innovation and Research in Materials and Polymers (CIRMAP), 2007,5-218.
- [4]- DOU, Y., JU, A., ZHONG, Z., HUO, Y and YAO, W. *Flame-Retardant and Transparent Unsaturated Polyester Based on P/N Liquid Flame Retardants and Modified Halloysite Nanotubes*. Materials 2024, 17, 761. <https://doi.org/10.3390/ma17030761>
- [5]- HAPUARACHCHI, T. D; PEIJS, T. *Aluminum trihydroxide in combination with ammonium as polyphosphate flame retardants for unsaturated polyester resin*. EXPRESS Polymer Letters. Vol.3, No.11, 2009, 743–751
- [6] – UGAL, J. R; JIMAA, R. B. *Study of the Activity of Some Metal Oxides and Salts as Flame Retardants for Unsaturated Polyester Resin*. Second Scientific Conference – Science College. Tikrit University, 2012,658-721.
- [7]- COSTA, F. R. *Mg-Al Layered Double Hydroxide: A Potential Nano filler and Flame-Retardant for Polyethylene*. PhD thesis. Calcutta. India, 2007,6-215.
- [8] - LAOUTID, F., FERRY, L., LOPEZ-CUESTA, J.M., CRESPIY, A. *Red phosphorus/aluminium oxide compositions as flame retardants in recycled poly(ethylene terephthalate)*. Polymer Degradation and Stability, 2021, 82 (2), pp.357-363. <https://imt-mines-ales.hal.science/hal-03269471>
- [9]- VINCEN, Sh. R; JAAFR, M; PALANIANDY, S. A. *Properties of Calcium Carbonate/Mica. and Calcium Farbonate /Talc Filled Polypropylene Composites*. Journal of Engineering Science. Vol. 10, 2014, 41– 47.

- [10]- YANG, Z., CHEN, X ., LU ,S., WANG, Z ., LI, J ., LIU, B., FANG , X., DING, T and XU,Y. *Synergistic Flame Retardant Properties of Polyoxymethylene with Surface Modified Intumescent Flame Retardant and Calcium Carbonate*. *Polymers* 2023, 15, 537. <https://doi.org/10.3390/polym15030537>
- [11]- AI-HASSANY, Z ; GENOVESE , A; SHANKS, R. A . *Fire-retardant and fire-barrier poly(vinyl acetate) composites for sealant application*. *EXPRESS Polymer Letters*. Vol.4, No.2, 2010, 79–93.
- [12]- BIELINSKI, D. M; ANYSZKA , R; PEDZICH ,Z; DUL, J. *Ceramizable Silicone Rubber-Based Composites*. EU Integrity Fund project POIG. vol. 1,no.3, 2012,3-28.
- [13]- ABENOJAR, J., MARTINEZ , M., LOPEZ DE AMENTIA, S., PAZ, E., DWL REAL,J., VELASCO, F. *Mechanical Properties and fire- resistance of composites with marble particles*. *Journal of materials research and technology*, Volume 12, 2021, 1403-1417.

