Journal of Nature, Life and Applied Sciences (JNSLAS) • Vol 9, Issue 3 (2025) • P: 13 – 1
https://journals.ajsrp.com/index.php/jnslas
ISSN: 2522-3356 (Online) • ISSN: 2522-3356 (Print)

Utilization of the Byproduct from Phonolite Rock Exploitation in the Production of Ceramic Bodies

Dr. Halima Al-Shaibani Abusriwil*, Ms. Numidia Fouad Ftis

Higher Institute of Arts Technology | Libya

Received: 06/06/2025

Revised: 23/07/2025

Accepted: 03/08/2025

Published: 15/09/2025

* Corresponding author: halema24@gmail.com

Citation: Abusriwil, H. A., & Ftis, N. F. (2025). Utilization of the Byproduct from Phonolite Rock Exploitation in the Production of Ceramic Bodies. *Journal of natural sciences, life and applied sciences, 9*(3), 1 – 13. https://doi.org/10.26389/AJSRP.M080625

2025 © AISRP • Arab Institute for Sciences & Research Publishing (AISRP), United States, all rights reserved..

• **Open Access**

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY-NC) license

Abstract: This study aims to evaluate the potential use of the byproduct generated from the exploitation of phonolite rocks in the Gharyan region of Libya as an alternative fluxing material in the production of ceramic bodies, with the goal of promoting sustainability and reducing reliance on imported materials. An experimental approach was adopted to prepare ceramic mixtures using local raw materials. Physical, chemical, and mineralogical analyses were conducted for both local feldspar and the phonolite byproduct. Chemical analysis results showed that the combined content of sodium, potassium, and calcium oxides in the phonolite reached approximately 16%, making it effective in enhancing ceramic properties. Six ceramic mixtures with varying proportions of feldspar and phonolite were prepared, and the physical and mechanical properties of the samples were studied before and after firing at 1200°C and 1250°C. The results indicated that the mixture containing 50% feldspar and 50% phonolite (of the fluxing materials) achieved the best performance, with a low water absorption rate (0.1%) and high modulus of rupture, without any deformation or warping. The study recommends expanding the use of phonolite byproducts in ceramic industries due to their positive impact on product quality and reduction of environmental and economic costs. Further research is also encouraged to explore the applications of phonolite in other industries such as glass and ceramic glazes.

Keywords: Phonolite, rock waste, fluxing materials, physical properties, mechanical properties, industrial sustainability.

استخدام المنتج الجانبي لاستغلال صخور الفونولايت في إنتاج اجسام خزفية

الدكتورة / حليمة الشيباني أبوسريويل*، أ. نوميديا فؤاد فطيس

المعهد العالي لتقنيات الفنون | ليبيا

المستخلص: تهدف هذه الدراسة إلى تقييم إمكانية استخدام المنتج الجانبي الناتج عن استغلال صخور الفونولايت في منطقة غريان الليبية كمادة صاهرة بديلة في صناعة الأجسام الخزفية، بهدف تعزيز الاستدامة وتقليل الاعتماد على المواد المستوردة. تم اعتماد المنهج التجريبي لتحضير خلطات خزفية باستخدام مواد خام محلية، حيث أُجريت تحاليل فيزيائية وكيميائية ومعدنية لكل من الفلسبار المحلي والمنتج الجانبي للفونولايت. أظهرت نتائج التحليل الكيميائي أن مجموع نسب الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم في الفونولايت بلغ حوالي 16%، وهي عناصر فعالة في تحسين خصائص الخزف. تم إعداد ست خلطات خزفية بنسب متفاوتة من الفلسبار والفونولايت، وتمت دراسة الخواص الفيزيائية والميكانيكية للعينات قبل وبعد الحرق عند درجتي حرارة 1200°م و1250°م. أظهرت النتائج أن الخلطة التي تحتوي على 50% فلسبار و50% فونولايت (من المواد الصاهرة) حققت أفضل أداء من حيث انخفاض نسبة امتصاص الماء (0.1%) وارتفاع معامل التمزق، مع عدم حدوث تشوهات أو اعوجاج. توصي الدراسة بتوسيع استخدام المنتج الجانبي للفونولايت في الصناعات الخزفية، لما له من أثر إيجابي على جودة المنتج وتقليل التكاليف البيئية والاقتصادية. كما تدعو إلى إجراء دراسات إضافية حول تطبيقات الفونولايت في صناعات أخرى مثل الزجاج والطلاءات الخزفية.

الكلمات المفتاحية: الفونولايت، مخلفات الصخور، مواد صاهرة، الخواص الفيزيائية، الخواص الميكانيكية، الاستدامة الصناعية.

المقدمـة

تعتبر الثروات المعدنية الطبيعية مصدراً مهماً من مصادر الدخل القومي، وأساساً للتنمية الصناعية التي تعتمد على تلك الثروات المعدنية الطبيعية وصولاً إلى دفع عجلة التنمية الصناعية.

إن التطورات الهائلة التي تشهدها البلاد تستلزم توافر العديد من المواد، ومن أجل السعي والعمل على أهمية استغلال الخامات المحلية في تنمية الموارد وضرورة توطين تقنية تعتمد على ما يتوفر من خامات أولية محلية. حيث تحتل المواد الخزفية اليوم مكانة خاصة في ميدان الصناعة نتيجة لاستقرارها الكيميائي والميكانيكي الجيد، حيث شهدت هذه الصناعات تطوراً ملحوظاً في السنوات الأخيرة عالمياً، فقد ظهرت العديد من المجالات المهمة، مثل الأدوات الصحية الخزفية وأدوات المائدة، ومواد البناء، ناهيك عن المجالات الالكترونية، الطاقة، الطب والفضاء، ويواكب هذا التطور في التوظيف الفني لها. الا أن ليبيا مازالت تعتبر بعيدة جداً عما ذكر سالفاً، وهذا راجع الى عدة اعتبارات. ولكن بتوافر المادة الخام الاساسية تعتبر مجالاً للتحدي بتوطين ما ذكر سابقاً في ليبيا وبشكل علمي سليم.

ومن هذا المنطلق فإن الغرض من هذا البحث هو إجراء بعض التجارب على بعض الخامات المحلية، والتي تعتبر أحد المخلفات غير المستغلة بحيث يكون بديلا للمواد الصاهرة المستوردة، ومقارنة النتائج التجارب بالعينات المستخدم فيها المواد المستوردة.

مشكلة الدراسة:

تحتاج ليبيا الحبيبة تطوير في كل الاتجاهات للمراحل القادمة، وتعتمد في تغطية الاحتياج لمواكبة هذا التطور من المواد الخزفية على الاستيراد من الخارج، وهذا بدوره سوف يكلف خزينة الدولة أموالاً طائلة من العملة الصعبة. ونظراً لغياب الدراسات الكاملة، والبحوث التطبيقية حول استخدام الخامات المحلية وإعادة تدوير بعض المخلفات الناتجة عن عملية التعدين لإغراض صناعية أخرى، يمكن الاعتماد عليها في إنتاج أنواع جيدة من المواد الخزفية، الأمر الذي يعطي دافعاً قوياً للقيام بدراسات تجريبية، وفتح فرص استثمارية محلية ودولية في هذا المجال.

وبالنظر إلى صناعة الخزف والزجاج بالمجمل العام في ليبيا تكاد تكون معدومة، وأن وجدت بعض المحاولات فهي معتمدة على المواد الخام المستوردة، إضافة إلى أن دراسات تنويع الخامات الداخلة في هذه الصناعة محصور أغلبها في دراسة الطينات. والامر الأخر أن دراسة هذه المواد يتطلب إمكانيات وتجهيزات لكي يتمكن من تقييم هذه الخامات من منظور علمي اقتصادي يمكن مستقبلا أن يكون داعم للاقتصاد الوطني.

ومما تقدم يمكن أن نترجم هذه المشكلة إلى تساؤل يتطلب إجابات شافية دقيقة، وذلك على النحو التالي:

- هل المنتج الجانبي لصخور الفونولايت المتواجدة في منطقة غريان يمكن أن تستخدم لإنتاج الخزفيات ؟

أهمية الدراسة:

تكمن أهمية هذه الدراسة في كونها دراسة معملية ميدانية نتناول فيها استخدام المنتج الجانبي من استغلال صخور الفونولايت في إنتاج أجسام خزفية.

إن توفر مثل هذه الدراسات من شأنه أن يساعد الجهات المختصة على وضع آلية لاستخدام بعض المواد المحلية وخصوصاً التي تعتمد على إعادة تدوير بعض مخلفات للعمليات التعدينية كبديل المستوردة وذلك بإضفاء القيمة المضافة لاستغلال هذه المواد، إضافة الي العمل بمبدأ الاستدامة البيئية. إن النتائج التي توفرها هذه الدراسة ستمكن الجهات المختصة من وضع آلية عملية تعمل على دراسة تعمقيه لكيفية إعادة استخدام النواتج الجانبية لعملية استغلال بعض الصخور في العمليات الصناعية المختلفة، في ظل التوجه للاستغلال الأمثل والاستدامة للخامات المحلية، وذلك وفق الأساليب العلمية.

بالإضافة إلى إن توافر مثل هذه الدراسات من شأنه أن يساعد على رفع مستوى فرص الاستثمار المحلي لهذه المواد والتقليل من المخلفات التعدينية لغرض دعم الصناعات المحلية. مع الحاجة إلى توطين تقنية الاستخدام الأمثل واستدامة المواد الخام المحلية وفتح فرصة المنافسة للمواد المستوردة.

أهداف الدراسة:

تتلخص أهداف الدراسة بالآتي:

1- التعرف على التركيب الكيميائي والمعدني للمنتج الجانبي لصخور الفونولايت المحلية.
2- التعرف على النسب المثلي من الناتج الجانبي لصخر الفونولايت التي تعطي أفضل نتائج فيزيائية وميكانيكية.
3- الاستغلال الأمثل للموارد الطبيعية والعمل بمبدأ الاستدامة البيئة.

4- النهوض بالصناعة المحلية في إطار استغلال موردنا المحلية بشكل علمي يضمن حق الاجيال القادمة في هذه الثروات.

فروض الدراسة :

من خلال التعرف على نتائج التحليل الكيميائي والمعدني للمنتج الجانبي من استغلال صخور الفونولايت المحلية نفترض الأتي:

1. إمكانية استخدام المنتج الجانبي لصخر الفونولايت من منطقة غريان لإنتاج خزفيات.
2. إمكانية عمل خلطات تتناسب مع الاشتراطات القياسية.
3. استخدام المنتج الجانبي من استغلال صخر الفونولايت كبديل للصواهر المستوردة دون أن تتأثر الخواص الفيزيائية للمنتج.

حدود الدراسة

- **الحدود الموضوعية للدراسة:** استخدام المنتج الجانبي لصخر الفونولايت من منطقة غريان لإنتاج خزفيات.
- **الحدود المكانية:** مدينة غريان محجر البالاست الخاص بمشروع السكة الحديدية.
- **الحدود الزمنية:** سنة 2022 _2024.
- **معدل درجات الحرق:** تتراوح من 1200 – 1250 درجة مئوية.

منهجية الدراسة:

تم إتباع المنهج التجريبي وذلك بإجراء التجارب المعملية اللازمة لهذه الدراسة، والتي تبحث في إمكانية استخدام المنتج الجانبي من استغلال صخر الفونولايت في إنتاج الخزفيات، لذلك سوف نعتمد على المنهج التجريبي في الآتي: -

أولاً- تحديد أي مواقع المنتج الجانبي من استغلال صخر الفونولايت التي سيتم دراستها في منطقة غريان، مع تحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية له.

ثانياً- إجراء تحليل كيميائي ومعدني لغرض معرفة تركيبة المواد من أجل تحديد أفضلها للاستخدام.

ثالثاً- تنفيذ الخلطات بالاعتماد على المواد الخام المحلية بالقدر الممكن.

رابعاً- تحديد أفضل الخلطات التي تعطي أفضل نتائج الفيزيائية والميكانيكية والكيميائية.

الخلفية العلمية:

هناك العديد من الدراسات التي تطرقت الى استخدام الصخور في العمليات الصناعية، حيث وجد في دراسة حول استخدام نيفيلين سينايت في خلطة جسم الأدوات الخزفية حيث خلصت الدراسة إلى أن الأدوات الخزفية المحتوية على نيفيلين سينايت بدلاً من الفلسبار قد أعطت مدى حريق أكبر، وقللت فرصة حدوث الالتواء عند نفس درجة الحرارة، وذلك يعزى إلى إرتفاع نسبة الالومينا الذي ساعد على زيادة لزوجة الطور الزجاجي في أثناء الحرق.(Pranckevičienė+Pundienė.2023)

وبالنظر إلى دراسة حول تأثير استخدام الصواهر على جسم الخزفيات أثناء الحرق. وجد أن النسبة العالية من أكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم الموجودة في النيفيلين تعطي معدل حرق أقل وأكثر قدرة تحمل، وليس درجة الحرق فحسب بل يزيد من معدل الكثافة. (Brasileiro.2021)

في دراسة حديثة تضاف مواد الصهر إلى للأجسام الخزفية لخفض درجة حرارة التلبيد. يجب إضافة مواد الصهر المستخدمة على نطاق واسع الفلسبار بكميات كبيرة، تصل إلى 30٪ لتكون فعالة. تبحث هذه الدراسة في استخدام فلوريد الصوديوم وتيترابورات الصوديوم كمواد صهر، وحرقها في درجات حرارة تصل إلى 1100 درجة مئوية. وكانت النتائج التي تم الحصول عليها جيدة جداً للمنتج النهائي. (B.M.Goltsman .et al.2024)

في ذات الوقت هناك العديد من الأبحاث التي تطرقت الى أهمية استخدام النفلين سيانيت كبديل للفلسبار الصوديوم بنسبة 30% بالوزن كأعلى نسبة من المواد الصاهرة حيث خلصت الى أن إضافته تسبب انخفاض في اللزوجة وهذا بدوره يسبب في التشوه أثناء الحرق ، ومع هذا أعطت النتائج عند درجات الحرارة الأقل قوة تمزق عالية ونسبة امتصاص (Aydin. 2018).

وقد اتفقت هذه النتائج مع دراسة تفيد أن الجسم الخزفي المحتوي على نيفيلين سينايت بدلاً من الفلسبار كمادة صاهرة تعطي مجال تزجيج أوسع، ويقلل من الاعوجاج عند نفس درجة الحريق مما يعطي أعلى متانة عند مخروط حراري 7، وذلك يعزى إلى ارتفاع نسبة الالومينا والقلويات وانعدام الكوارتز الحر بها، الشيء الذي جعل من نيفيلين سينايت كبديل مرغوب به في مكونات جسم الخزفيات وذلك للخصائص التالية:

1. يخفض زمن ودرجة حرارة الحرق.

2. يزيد الكثافة.
3. يقلل من تكاليف محتويات الأفران.
4. يزيد من معدلات الحرق.
5. يزيد من المقاومة في أثناء الحرق.
6. يخفض كمية الفقد أثناء الحرق. (Conrad+ Jones. 1965)

وبالنظر الى دراسة (Belfiore.et al.2024) حيث تم استخدام الرماد البركاني في خلطة تصنيع البلاط الخزفي وذلك لمساعدة هذا الرماد على تكوين السائل الزجاجي عند الحرق ويمكنه بذلك من ربط مكونات البلاط المكون من الطين والسليكا، حيث اثبتت هذه الإضافية فاعليتها الجيدة من خلال النتائج التي تم الحصول للمنتج النهائي الذي حقق نتائج فيزيائية وميكانيكية بعد الحرق جيدة جداً.

وفي دراسة لتأثير استبدال أكسيد الصوديوم بأكسيد البوتاسيوم على تكوين الطور الزجاجي عند درجات الحرق، اتضح أن البوتاسيوم يعطي لزوجة أعلى من الصوديوم من غير أي تشوهات للجسم الخزفي الامر الذي يتضح معه أن استخدام البوتاسيوم في الجسم الخزفي يعطى قوة تمزق عالية وقوة تحمل عالية مقارنة بالصوديوم. (SEO.2019)

وعلى الجانب الآخر قام أحد الباحثين بدراسة التوزيع الحبيبي حيث أوصى بأن يكون التوزيع الحبيبي متسعاً قدر الإمكان ليساعد على التراص الجيد للجزيئات، وهذا يعطي خواص جيدة للصب. وكذلك يحسن المتانة بعد الجفاف ويقلل الانكماش بالحريق. (Phelps+ McLean. 1982)

وفي دراسة للمواد الطينية في جنوب غرب نيجيريا حيث تتوفر المواد بكميات كبيرة تم استخدام هذه المواد مزجها بالطين الخام مع الكوارتز و الفلسبار بنسب مختلفة للحصول على عينات مختلف يتم حرقها عند معدلات حرارية مختلفة، وذلك من أجل الحصول على الطور الزجاجي مع المحافظة على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمنتج النهائي، حيث توصلت الدراسة الى نتائج جيدة للمواد الخام المحلية، الامر الذي شجع الشركات على فتح الاستثمار فيها. (Chijioke P .et al.2024)

وفي دراسة أخرى لاستخدام الغبار البركاني في مكونات جسم البلاط الخزفي وذلك لغرض المساعدة لتوفير مواد صاهرة تساعد على تكوين الطور الزجاجي عند درجات الحرارة المنخفضة، بشرط المحافظة على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمنتج النهائي، مما يمهد الطريق لصناعة أكثر استدامة وكفاءة في استخدام الموارد. (Brasileiro.et al.2021)

تم تقييم تأثيرات النيفيلين سيانيت فلسبار البوتاسيوم على تلوين الاجسام الخزفية مع إشارة خاصة إلى تكوين الجسم. حيث تم استبدال فلسبار البوتاسيوم بالنفيلين سيانيت في جسم حجري نموذجي من البورسلين بنسبة تصل إلى 15.6٪ بالوزن. تم قياس الخواص الفيزيائية والميكانيكية لهذا الجسم بعد الحرق. تم تحديد تكوين الطور وخصائص البنية المجهرية لفهم دوره في بياض الجسم الخزفي. فقد أظهرت النتائج أن النيفيلين سيانيت كان له تأثيراً كبيراً على تكوين الطور الزجاجي ويؤثر بشكل ملحوظ على سلوكه في درجات الحرارة المنخفضة، مما يزيد من الانكماش ويقلل من المسامية الكلية. من ناحية أخرى، هناك انخفاض في كميات المولايت والكوارتز مع إضافة سينايت النيفيلين. حيث تظهر الأجسام أكثر بياضاً مع نفس ظروف التلبيد. حيث أن خصائص التلوين مرتبطة ارتباطاً مباشراً بمحتوى بلورات الألبيت الحرة. .(A.Salem.et al 2009)

وفي دراسة إعادة تدوير مخلفات الجرانيت وخبث افران الصهر المحتوي على التيتانيوم حيث تم دراسة تأثير هذه المواد على تكون الطور الزجاجي حيث توصلت الدراسة الى أن نسبة 40% بالوزن من مخلفات الجرانيت تعطي طوراً زجاجياً معتدلاً، وهذا بدوره يعطي نسبة امتصاص منخفضة ومعامل تمزق عالي وهذه النتائج مشجعة لإنتاج بلاطات معمارية زخرفية عالية الجودة. (LUO.2022).

قامت احدى الشركات الاجنبية في فترة الثمانينات بدراسة استغلال الخامات المحلية ومن بين المواد التي درستها خام الطينات وخصوصاً طينات وادي الشاطئ، وإمكانية قيام صناعة الخزف المختلفة من بلاط خزفي وحتى المنتجات الخزفية الأخرى، فقد ركزت الدراسة على الاهتمام بدراسة الطينات فقط ولم تهتم بدراسة المواد المضافة، فقد اعتمدت بشكل كامل على مساعدات الصهر المستوردة، وكذلك الطينات المساعدة لعملية الصب مثل (طينة الكرات)، فقد توصلت هذه الدراسة إلى خلطات تم الاعتماد فيها بشكل كبير على الخام المحلي المتوفر في تلك الفترة، اما المواد التي تساعد على الصهر اعتمدت بشكل كامل على مساعدات الصهر المستوردة، ولم تول اهتماماً لما يتوفر من مساعدات الصهر من الخامات المحلية، ربما لعدم استكمال التخريط الجيولوجي في تلك الفترة لكل الخامات المحلية. (GMBH. 1984)

الفونولايت:

يتواجد الفونولايت في أماكن عدة من ليبيا فعلى سبيل المثال في منطقة العوينات الشرقية وخصوصاً في منطقة جبل (اركنو) حيث يحتوي على صخور السيانيت ذات الحبيبيات الخشنة والمتوسطة والسيانيت النفيليني، وبألوان تتدرج من البيضاء إلى الرمادية الفاتحة مع

وجود صخور الفونولايت السوداء اللون، مع بلورات الفلسبار بلون أبيض، ويمكن الحصول على كتل بأحجام مختلفة في العديد من المواقع التي تصل إلى حدود 6 متر مكعب في المتوسط.

وفي غرب مدينة غريان على امتداد الحافة الشمالية للصخور البركانية. تتكون صخور على هيئة هضاب مخروطية الشكل، وقد درست هذه المناطق بشكل من التفصيل بعكس المناطق الأخرى، ففي عام 1964 درس كل من بيكولو وسباديا (Piccolo & Spadea) هذه المنطقة، وقاما بوصف موجز لعلاقة هذه الصخور بعضها ببعض، وهذه الدراسة تتوافق مع دراسة جري (Gray) التي قام بها في عام 1971 الذي استند في هذه الدراسة على دراسة لابني(Lippaini) التي تمت سنة 1940 والخاصة بدراسة تكوين الصخور القاعدية لتكوين (مزدة ،غريان).

وهناك عدة مناطق في غريان تتواجد بها هذه الخامة على سبيل المثل (كاف تكوت)، راس التليب (Ras Thulayb، Kaf Tekut)، و من خلال نتائج التحاليل لكافة المواقع يتضح أن موقع كاف تكوت هو أحد أهم المواقع لصخر الفونولايت وذلك بناءً على أرتفاع نسبة عناصر الصوديوم، البوتاسيوم والكالسيوم حيث وصلت نسبة تلك العناصر حتى 16 % في تلك المواقع والتي اتضحت من خلال دراسة الصخور البركانية لمنطقة (غريان) والتي يصل سمكها في بعض الأماكن إلى 30 متر، وهى ذات احتياطي مهم يمكن الاعتماد عليه في بعض الصناعات . (ابوسريويل.1974)

وفي مرحلة لاحقة من اعمال التخريط الجيولوجي بالجنوب الليبي في منطقة (دور القصة)، حيث أوضحت هذه الدراسة على وجود شواهد الفلسبار ومن خلال نتائج العينات التي تم تحليلها أتضح أن نسبة كل من الصوديوم، والبوتاسيوم، والكالسيوم في أغلب العينات تتراوح من 6 - 11 % الأمر الذي أجل إمكانية استخدامها في تلك الفترة. (عون .1998)

أوجه الشبه والاختلاف بين الدراسات السابقة والدراسة الحالية

كل الدراسات التي تم الإشارة لها تعتمد بشكل كبير على معرفة الاكاسيد المكونة للمواد الصاهرة وباقي المكونات الأخرى حيث نجد استخدام النفلين سيانيت بشكل كبير حيث تم استخدامه كبديل للفلسبار في تركيبة الجسم الخزفي وذلك يعتمد على مدى توفر هذه الخامات ، مع استخدام بعض الصخور المحتوية على نسبة عالية من الاكاسيد القلوية(مواد صاهرة)، وكانت اغلب نتائج الدراسات جيدة في خصائصها الفزيائية والميكانيكية، ومع توافر الإمكانيات والتجهيزات الحديثة تم تحديد كمية وشكل الطور الزجاجي عند درجات الحرارة العالية، الامر الذى تعذر علينا القيام به وذلك لعدم توفر الإمكانيات اللازمة لتحديد كل المتغيرات، إضافة إلى ذلك لا توجد دراسة محلية توضح استخدام مخلفات صخور الفونولايت أو إعادة تدوير الناتج عن الاستغلال.

وعلاقة هذه الدراسة بالدراسات التي تم ذكرها هي التركيز على كمية الاكاسيد القلوية الموجودة في الفونولايت، والتي تم الاعتماد على استخدامه كمواد صاهرة في صناعة الخزفيات كبديل للفلسبار وذلك لقلة تواجده محلياً.

التجارب والاختبارات: معايير الجودة والتقييم

تُعد الاختبارات، سواء كانت قياسية أو غير قياسية، بمثابة الشروط الأساسية التي تُحدد قبول أو رفض المواد والمنتجات على اختلاف أنواعها. تتضمن هذه الاختبارات أساليب تقييمية ترتكز على الخواص الفيزيائية والميكانيكية .تُحدد هذه الخواص وتُعتمد من قِبل الجمعيات والمؤسسات العلمية، التجارية، الصناعية، والبحثية المتخصصة، بالإضافة إلى الهيئات العلمية ذات الصلة.

1- الفلسبار.

وهو أحد معادن الصخور النارية، يعتبر الفلسبار المصهر المثالي لأجسام الخزف ذات درجات الحرارة المرتفعة حيث ينصهر ببطء وله مجال حريق طويل بين النقطة التي يبدأ في الليونة إلى الانصهار التام إلى تكوين كتلة زجاجية ومن هذه الناحية فهو أفضل الصواهر. وأهم مصادر الفلسبار هو صخور الجرانيت، وتتراوح نسبة القلويات في الفلسبار الطبيعي مابين 10-15%. وآيا كان المصدر أو النوع فان الأنواع الرئيسية للفلسبار التي يستخدم في صناعة الخزف هي: الاروثوكلاز($K_2O,Al_2O_3,6SiO_2$)، والالبايت ($N_2O,Al_2O_3,6SiO_2$)، والانوزايت ($Ca_2O,Al_2O_3,6SiO_2$).

ويستخدم الفلسبار في العديد من الصناعات مثل الخزف والزجاج ويستخدم أيضا بشكل بسيط كمادة رابطة لطوب السيليكا والماغنيزيا.(Ariffin. 2003)

1-1 الفلسبار المحلى.

تكسر كتل الفلسبار التي تم الحصول عليها من أحد الفرق الجيولوجية المختصة بدراسة منطقة أقي بمركز البحوث الصناعية ، إلى قطع صغيرة وطحنها في طاحونة الكرات إلى درجة النعومة المطلوبة وتمرير المسحوق المتحصل عليه من منخل 120 ميكرون وتم تجفيفه عند درجة حرارة 110 م° ولمدة 24 ساعة وحفظ في وعاء محكم وتم تحليل العينة بالمركز نفسه. والصور التالية توضح شكل عينة الفلسبار المحلي.

- **التحليل الفيزيائي** لعينة الفلسبار المحلي وذلك لمعرفة خصائصها بعد عملية التكسير والطحن وتحديد نسبة الرطوبة مع مجموع الاملاح الذائبة بها.

الصورة رقم (1) توضح شكل الفلسبار المحلي

الجدول رقم (1) الخصائص الفيزيائية للفلسبار المحلي.

البيان	النتيجة
النوع	فلسبار محلي
اللون	أبيض مائل إلى الكريمي
مجموع الأملاح الذائبة (ppm)	2.3
نسبة الرطوبة %	0.02
% المتبقي على منخل 63 ميكرون	10.21
% المتبقي على منخل 45 ميكرون	20.78

الصورة رقم (2) توضح شكل الفلسبار المحلي بعد الطحن

- التحليل الكيميائي للعينة

بعد عملية التحليل الفيزيائي يتم إحالة عينة للتحليل الكيميائي لغرض معرفة الاكاسيد المكونة منها وذلك باستخدام جهاز الاشعة السينية (XRF)، حيث نلاحظ ارتفاع نسبة البوتاسيوم مع نسبة متوسطة من الصوديوم والكالسيوم وهي العناصر المهمة لعملية الصهر.

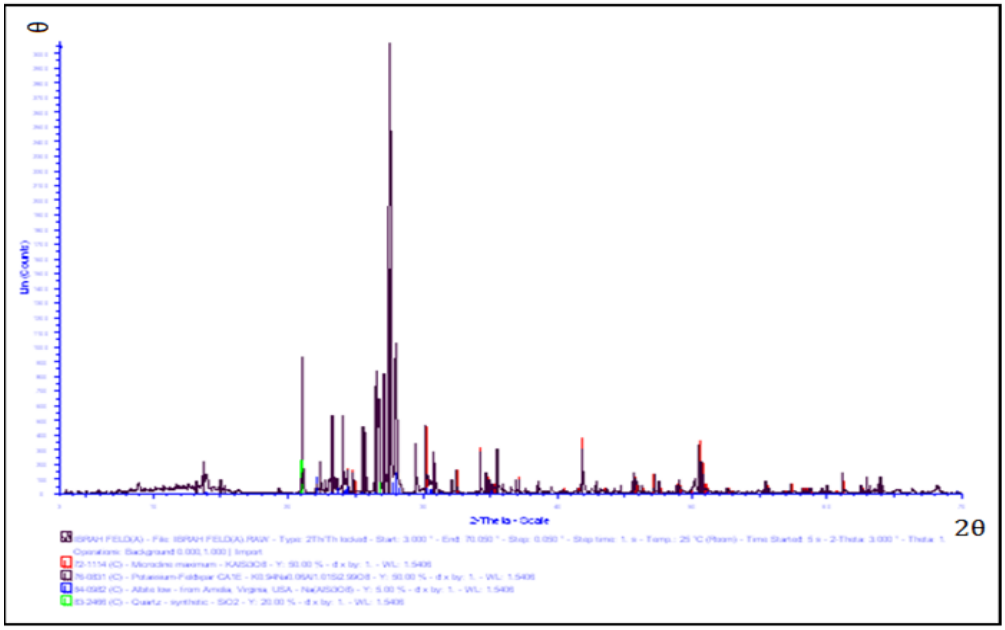
الجدول رقم (2) يوضح التحليل الكيميائي للفلسبار المحلي.

العنصر	النسبة المئوية
Na_2O	3.16
Mg O	0.13
Al_2O_3	17.12
SiO_2	66.27
Cl^-	0.058
K_2O	11.03
Ca O	0.858
TiO_2	0.05
Fe_2O_3	0.489
SO_3	0.012
L.O.I	0.69

- التحليل المعدني للفلسبار المحلي (XRD).

تم إحالة عينة لغرض معرفة المعادن المتكون منها الفلسبار المحلي.

من خلال التحليل باستخدام حيود الأشعة لهذه العينة نلاحظ وجود معدن الكاولينايت، معدن الفلسبار متمثل في بوتاسيوم فلسبار (الأورثوكلاز) وكذلك معدن الألبايت ومعدن الكوارتز، وبالمجمل العام كل المكونات تؤهل المادة للاستخدام في صناعة الخزفيات.



الشكل رقم (1) التحليل المعدني للفلسبار المحلي

الفونولايت : تحويل النفايات إلى موارد قيمة

ركز هذه الدراسة على المنتج الجانبي من عمليات استغلال صخور الفونولايت، والذي تم جمعه من محجر البالاست الخاص بمشروع السكة الحديدية في مدينة غريان. لقد استُخدمت تحديدًا الأجزاء الناعمة جدًا الناتجة عن عمليات التكسير في المحجر.

عادةً، لا يتم الاستفادة من هذا الجزء الناعم من الفونولايت نظرًا لرقته الشديدة. ليس هذا فحسب، بل إنه يشكل أيضًا مصدرًا للتلوث البيئي، حيث يتطاير مع الرياح وينتشر في جميع أنحاء المنطقة. انطلاقًا من مبدأ الاستدامة البيئية، سعينا إلى دراسة إمكانية الاستفادة

من هذه المادة في صناعات ناشئة في ليبيا، مثل صناعة الخزفيات على سبيل المثال لا الحصر. تهدف هذه المبادرة إلى تحويل مشكلة بيئية إلى فرصة صناعية واعدة.

- التحليل الفيزيائي للعينة

لابد من معرفة نسبة الرطوبة ومجموع الاملاح الذائبة، بالإضافة الى بعض الخصائص الفيزيائية الأخرى كما هي موضحة بالجدول المرفق.

الصورة رقم (3) شكل المنتج الجانبي من استغلال صخور الفونولايت

الجدول رقم (3) الخصائص الفيزيائية المنتج الجانبي من استغلال صخور الفونولايت

البيان	النتيجة
النوع	فونولايت
اللون	رمادي خفيف
مجموع الأملاح الذائبة (ppm)	2.04
نسبة الرطوبة %	0.01
% المتبقي على منخل 63 ميكرون	13.60
% المتبقي على منخل 45 ميكرون	20.53

- التحليل الكيميائي للعينة

إجراء التحليل الكيميائي لصخور الفونولايت لغرض معرفة الاكاسيد المكونة منها وذلك باستخدام جهاز الاشعة السينية (XRF)، وبالنظر إلى النتائج نلاحظ ارتفاع كبير لعنصر الصوديوم مقارنة بعينة الفلسبار مع نسبة بسيطة من الكالسيوم والبوتاسيوم، والجدول المرفق يوضح نتائج تحليل العينة.

الجدول رقم (4) يوضح التحليل الكيميائي المنتج الجانبي من استغلال صخور الفونولايت

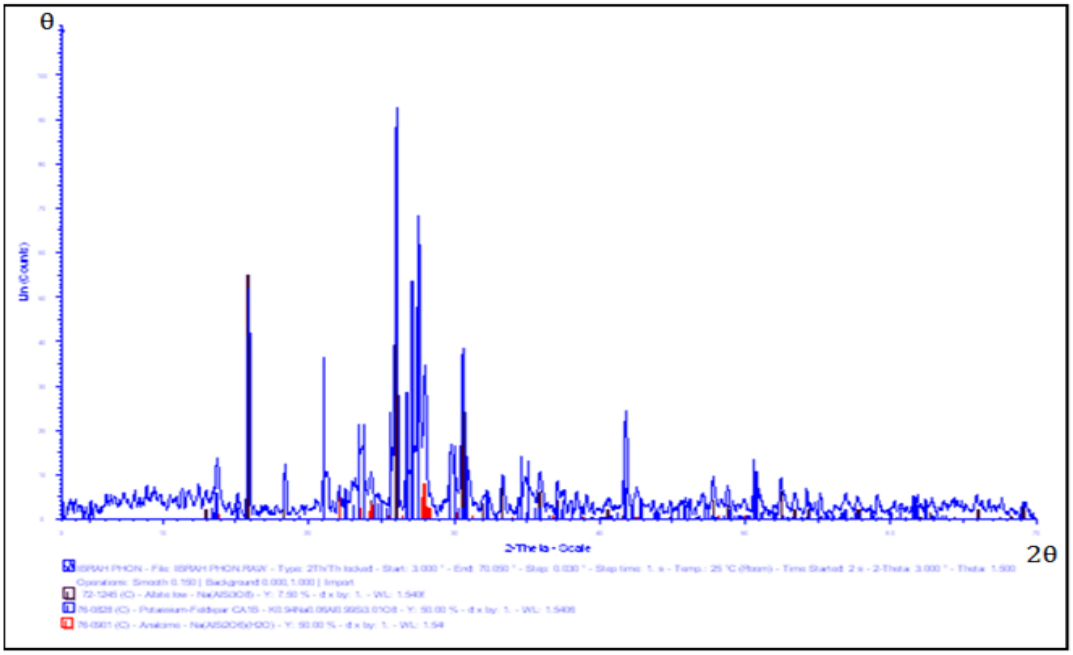
العنصر	النسبة المئوية
Na_2O	7.84
Mg O	1.23
Al_2O_3	15.8
SiO_2	67.5
Cl^-	0.09
K_2O	0.52
Ca O	1.32

العنصر	النسبة المئوية
TiO_2	0.678
Fe_2O_3	1.37
P_2O_5	0.31
SO_3	0.029
L.O.I	0.87

- التحليل المعدني المنتج الجانبي من استغلال صخور الفونولايت.

تم تحليل العينة وذلك لمعرفة المعادن المتكونة منها صخور الفونولايت وذلك لتحديد نسبة الإضافة المثلى في الخلطات الاجسام الخزفية.

يوضح التحليل وجود معدن الألبايت ومعدن ننترونايت مع وجود معدن الفلسبار وهذه المعادن لا تشكل خطورة اثناء اضافتها للأجسام الخزفية بالنسب الصحيحة.



الشكل رقم (2) التحليل المعدني لخام الفونولايت

2- تحضير خلطات الجسم الخزفي ودور الفونولايت

في هذه الدراسة، استندنا إلى خلطة أساسية جاهزة وقمنا بحساب النسب المثلى لكل مكون من مكونات الجسم الخزفي. كان هدفنا تحديد النسبة المناسبة من الفلسبار بناءً على النتائج الفيزيائية والميكانيكية النهائية التي حصلنا عليها بعد عملية الحرق على درجات حرارة مختلفة. هذا سمح لنا بالوصول إلى أفضل الخلطات التي حققت النتائج المرجوة عند درجات حرق معينة.

المحور الأساسي في هذه الدراسة هو إدخال المنتج الجانبي من استغلال صخور الفونولايت واستخدامه كبديل للفلسبار، ليعمل كمادة مساعدة على الصهر.

تم تحضير الخلطات بطريقة الصب، مع قياس اللزوجة والخصائص الريولوجية لكل خلطة بدقة. هذا الإجراء كان ضروريًا للغاية؛ لأن وجود بعض المعادن في الفونولايت قد يؤثر على هذه الخصائص ويتطلب تعديلات في نسب مكونات الجسم الخزفي. لذا، كان من الواجب علينا حساب هذه المتغيرات وضبطها لضمان الحصول على أفضل أداء للخلطات.

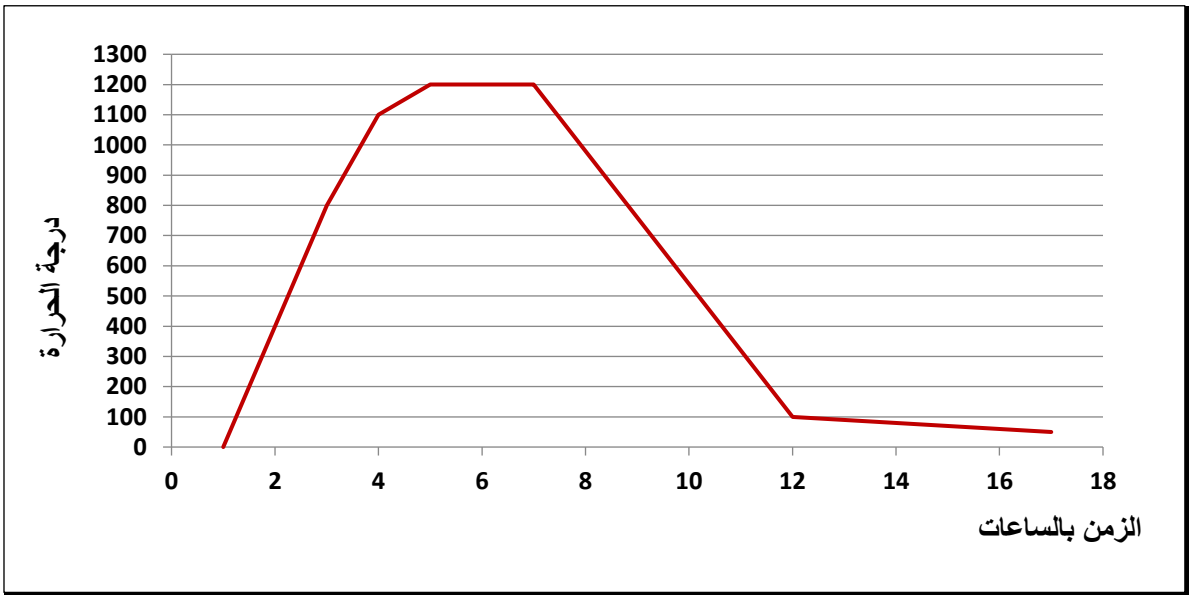
من هذا المنطلق تم إحلال نسبي من كمية الفلسبار بكمية مساوية من الفونولايت وذلك وفق النسب المرفقة في الجدول التالي:

الجدول رقم (5) يوضح الخلطات التي تم تنفيذها

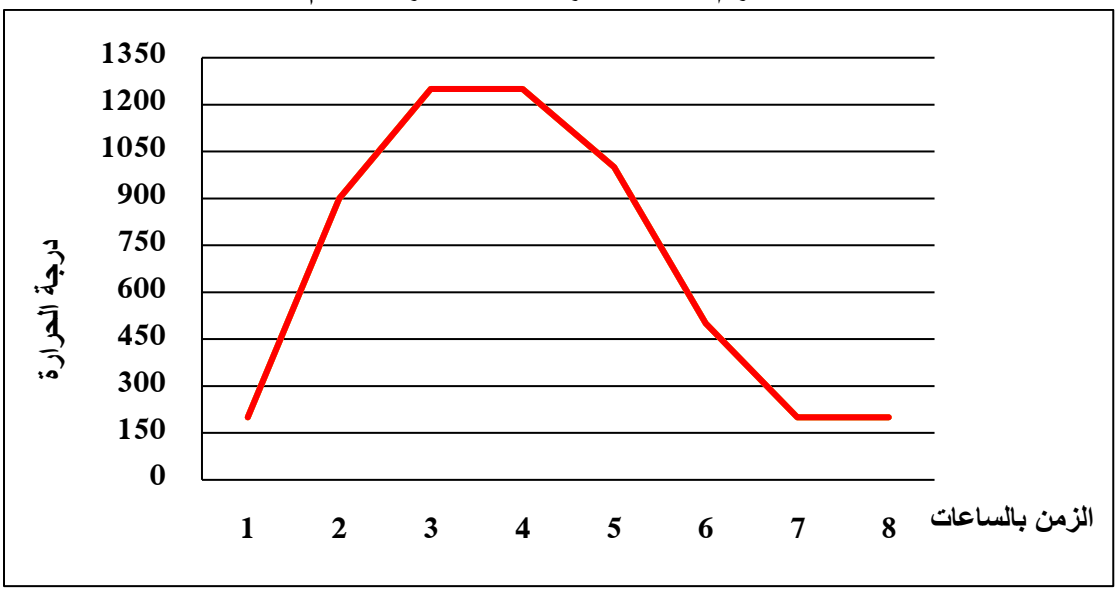
الخلطة / المواد المستخدمة %	1	2	3	4	5	6
مكونات الجسم الخزفي	90	80	80	80	75	75
فلسبار محلي	10	20	10	-	25	12.5
المنتج الجانبي من استغلال صخور الفونولايت	-	-	10	20	-	12.5

3- برنامج الحرق

بعد تجفيف العينات على نحو كامل وعدم وجود أية رطوبة فيها وذلك بوضع العينات في مجفف بدرجة حرارة (5 ±100 م°) مدة 24 ساعة. تم إعتماد برنامجي حرق عند درجة 1200 م° ’1250 م° وهي درجات الحرارة المستهدفة، وعند وصول درجة الحرق النهائية تثبت الدرجة ساعتين ليمثل وقت إنضاج (Soaking Time). وذلك لمعرفة قدرة العينة على تحمل هذه الدرجة، بعدها يتم إطفاء الفرن ويترك لمدة (24 ساعة) ليبرد. وفي اليوم التالي تستخرج العينات وترتب حسب رموزها لدراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية، الشكل التالي يوضح معدل الحرق عند درجة حرارة 1200 درجة مئوية وهو كما هو موضح بالرسم التالي:



الشكل رقم (3) معدل الحرق للعينات عند درجة 1200 م°



الشكل رقم (4) معدل الحرق للعينات عند درجة 1250 م°

تحليل النتائج

تم تنفيذ الخلطات حسب النسب المذكورة بحيث تم تجهيز ثمانية عينات بطريقة الصب لكل خلطة وذلك لضمان السيطرة على المتغيرات في اعداد الخلطات، ومن أجل توفر العدد الكافي من دراسة التأثير الحراري عند درجة حرارة 1200، 1250 درجة مئوية، وحت نتمكن من دراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية بعد الحرق بالشكل المطلوب، من خلال التجارب المتعددة التي أجريت على العينات لكل خلطة، تم الحصول على النتائج التالية ويمكن تلخيصها في الاتي:

1. المجموعة الأولى: الحاجة لتحسين النضوج

أظهرت هذه المجموعة نتائج ريولوجية وتقنية مقبولة، باستثناء انخفاض طفيف في اللزوجة. بعد التجفيف، كانت النتائج جيدة، لكن عند الحرق عند 1200°م، كانت النتائج أقل من المطلوب. عند رفع درجة الحرارة إلى 1250°م، تحسنت النتائج لتصبح ضمن الحدود المقبولة، إلا أن نسبة الامتصاص ظلت أعلى من الحد المسموح به. يُعزى ذلك إلى انخفاض نسبة المادة الصاهرة، مما لم يسمح باكتمال عملية النضوج. قد يتطلب الأمر رفع درجة الحرارة أكثر لتحقيق الخصائص المطلوبة.

2. المجموعة الثانية: أداء متميز ونضوج مثالي

تميزت هذه المجموعة بتوافق ريولوجي ممتاز مع الحدود المطلوبة في جميع خلطاتها، بالإضافة إلى خصائص جيدة بعد التجفيف. عند الحرق عند 1200°م، كانت النتائج مقبولة بشكل عام. عند رفع درجة الحرارة إلى 1250°م، كانت النتائج ممتازة، بما في ذلك درجة اللون بعد الحريق. حققت هذه المجموعة أعلى نسب في معامل التمزق وأقل نسبة امتصاص للماء، ولم يُسجل أي اعوجاج أو تشوه في العينات. يُرجح أن ذلك يعود إلى أن نسبة المادة الصاهرة (20%) كانت مناسبة جدًا وسمحت بالنضوج الكامل.

3. المجموعة الثالثة: تحسن ملحوظ بزيادة درجة الحرارة

كانت النتائج الريولوجية والتقنية بعد التجفيف ضمن الحدود المطلوبة. عند الحرق عند 1200°م، كانت النتائج مقبولة بسبب ارتفاع نسبة المواد الصاهرة إلى 20% (باستخدام الفلسبار المحلي مع المنتج الجانبي من استغلال صخور الفونولايت). ومع ذلك، كانت النتائج الإجمالية خارج الحدود المطلوبة من حيث ارتفاع نسبة الامتصاص وانخفاض معامل التمزق، مما يشير إلى عدم اكتمال درجة النضوج .عند رفع درجة الحرارة إلى 1250°م، لوحظ تحسن كبير في معامل التمزق ودرجة اللون، وانخفضت نسبة امتصاص الماء إلى 0.1%.

4. المجموعة الرابعة: مشكلة التشوه عند 1200°م

جاءت النتائج في هذه المجموعة ضمن الحدود المطلوبة بعد التجفيف. لكن عند الحرق عند 1200°م، لوحظ تشوه واعوجاج بسيط في العينات .نتيجة لذلك، لم يتم حرق العينات عند 1250°م، مما أدى إلى استبعاد إضافة الفونولايت بشكل منفرد كمادة صاهرة عند معدل الحرق في حدود 1200°م.

5. المجموعة الخامسة: خصائص جيدة ولكن غير اقتصادية

أظهرت جميع الخصائص في هذه المجموعة نتائج مقبولة بعد التجفيف وعند 1200°م، حيث كانت خصائص ما بعد الحرق جيدة من حيث نسبة الامتصاص ومعامل التمزق. ومع ذلك، تشير الدراسة إلى أن إضافة هذه النسبة من الفلسبار المحلي بشكل منفرد للجسم الخزفي ليست اقتصادية.

6. المجموعة السادسة: نضوج كامل وخصائص مثالية

كانت جميع الخصائص في هذه المجموعة ضمن الحدود المقبولة بعد التجفيف. عند 1200°م، وصلت العينات إلى درجة النضوج الكامل وحصلت على خصائص فيزيائية وميكانيكية جيدة بعد الحرق. يُعزى ذلك إلى تعادل نسبة المواد الصاهرة بين الفلسبار المحلي والفونولايت .هذا المزيج يمكن استخدامه لإنتاج الأجسام الخزفية ذات الامتصاص المنخفض ومعامل التمزق العالي، بالإضافة إلى درجة اللون الأبيض المائل إلى الرمادي، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات مثل الأدوات الصحية.

الخلاصة: آفاق جديدة لصناعة الخزف الليبي

تُظهر هذه الدراسة بوضوح أن اختيار النسبة الصحيحة للمواد الصاهرة ودرجة حرارة الحرق أمر بالغ الأهمية للحصول على خصائص مثالية في المنتجات الخزفية. على الرغم من التحديات التي واجهتها بعض الخلطات فيما يتعلق بالنضوج أو التشوه، فقد برزت خلطات أخرى، لا سيما المجموعتان الثانية والسادسة، كحلول واعدة لإنتاج مواد خزفية عالية الجودة ذات خصائص فيزيائية وميكانيكية ممتازة.

- **بدائل محلية واعدة** :يمكن استخدام المنتج الجانبي من استغلال صخور الفونولايت المحلية في مدينة غريان كبديل فعال بنسبة 100% للخامات المستوردة.
- **إنتاج محلي بمعايير عالمية** :من الممكن إنتاج خلطات خزفية متنوعة الاستخدام من خامات محلية بنسبة 90%، مع تحقيق الاشتراطات القياسية المطلوبة.

- **حلول مبتكرة للمواد المهملة** :تم تحقيق أفضل النتائج عند إضافة نسبة متساوية من الفلسبار المحلي والفونولايت، مما يحول هذه المادة المهملة إلى فرصة صناعية مستقبلية واعدة، خاصة في ظل نقص الاهتمام بصناعة الخزف في ليبيا على الرغم من توفر المواد الخام.
- **تحديات الفلسبار المحلي** :على الرغم من أن استخدام الفلسبار المحلي أعطى نتائج جيدة، فإن قلة تواجده وعدم معرفة احتياطياته المتوفرة حالياً حد من التركيز على استخدامه بكميات كبيرة. تُعتبر هذه الدراسة المحاولة الأولى لاستخدامه في صناعة الأجسام الخزفية.
- **النسب المثلى للفونولايت**:
  - إضافة نسبة أعلى من 20% من المنتج الجانبي للفونولايت بشكل منفرد أدت إلى تشوه العينات، ويُعزى ذلك إلى ارتفاع نسبة الصوديوم في صخور الفونولايت.
  - عند استخدام نسبة أقل من 20% من المنتج الجانبي للفونولايت، لم يصل الجسم الخزفي إلى درجة التزجيج والنضوج المطلوبة، ولم يحقق الخصائص الفيزيائية والميكانيكية المرجوة.
- **تحسين الأداء بدمج الخامات** :استبدال نصف كمية الفلسبار المضافة بالمنتج الجانبي من الفونولايت يعطي أفضل النتائج من حيث الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للجسم الخزفي بعد الحرق.
- **جودة عالية عند 1200°م** :أظهرت الدراسة إمكانية إنتاج خزفيات ذات جودة عالية عند درجة حرارة 1200°م.
- **ألوان مناسبة لتطبيقات خاصة** :يتراوح تدرج ألوان الأجسام الناتجة من البيج الفاتح إلى الرمادي الفاتح المائل إلى الأخضر مع رفع درجة حرارة الحرق، وهذه الشروط مناسبة جدًا لصناعة الأدوات الصحية.

التوصيات

1. **توسيع دراسة الفونولايت** :نوصي بتوسيع نطاق الدراسات حول استخدام المنتج الجانبي لاستغلال صخور الفونولايت، نظراً لوجود كميات كبيرة منه وامتلاكه درجة نعومة عالية.
2. **تطبيقات جديدة للفونولايت** :تُظهر التحاليل التي أُجريت على المنتج الجانبي لصخور الفونولايت احتواءه على نسبة عالية من الصوديوم، مما يؤهله للاستخدام في صناعة الزجاج وصناعة الطلاءات الخزفية.

المراجع

المراجع العربية:

- ابوسريويل، م. (1974). تصنيف الصخور البركانية بمنطقة غريان (رسالة دكتوراه). جامعة لندن.
- عون، خ. م. (1998). التطور الجيولوجي والجيوكيميائي والجيوكرونولوجي والتكتوني لصخور القاعدة بدور القصة. دبلن.

المراجع الأجنبية:

- AGROB Anlagenbau GMBH. (1984). Prefeasibility study for the sanitary ware, glazed wall tile plant, and glazed and unglazed floor tile plants at Sebha (Final report, Part 5, p. 4).
- Ariffin, Z. (2003). Feldspathic minerals: Introduction—Apakah itu Feldspar. *EBS 425/3 Mineral Perindustrian*, 1–16.
- Aydin, E., et al. (2018). The effect of nepheline syenite addition on pyroplastic deformation of sanitarywares. *Science of Sintering, 50*, 85–94. https://doi.org/10.2298/SOS1801085A
- Belfiore, C., Randazzo, L., & Pezzino, A. (2024). Use of volcanic ash and chamotte as substitute temper in the production of ceramic tiles. *Applied Clay Science, 262*, 107603. https://doi.org/10.1016/j.clay.2024.107603
- Brasileiro, M. I., et al. (2021). Effect of strong mineral fluxes on sintering of porcelain stoneware tiles. *Journal of the European Ceramic Society, 41*(11), 5755–5767. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2021.06.061
- Chijioke, P., et al. (2024). Quartz and feldspar-blended clay composites for thermal and structural applications. *Results in Materials, 23*, 100584. https://doi.org/10.1016/j.rinma.2024.100584

- Conrad, K. L., & Jones, P. R. (1965). Factorial design of experiments in ceramics: IV. Effect of composition, firing rate and firing temperature. *American Ceramic Society Bulletin, 44*, 44–50.
- Goltsman, B. M., Yatsenko, E. A., & Smoliy, V. A. (2024). Study of structural changes during firing of clays with flux additives. *Open Ceramics, 100540*. https://doi.org/10.1016/j.oceram.2024.100540
- Luo, Y., et al. (2022). Preparation and characterization of glass-ceramics with granite tailings and titanium-bearing blast furnace slags. *Journal of Non-Crystalline Solids, 581*, 121429. https://doi.org/10.1016/j.jnoncrysol.2022.121429
- Phelps, G. W., & McLean, M. G. (1982). Particle size distribution and slip properties. In G. X. Onada Jr. & L. L. Hunch (Eds.), *Ceramic Process before Firing* (pp. 5–7). John Wiley & Sons.
- Pranckevičienė, J., & Pundienė, I. (2023). Effect of mechanically activated nepheline-syenite additive on the physical–mechanical properties and frost resistance of ceramic materials composed of illite clay and mineral wool waste. *Materials, 16*(14), 4943. https://doi.org/10.3390/ma16144943
- Salem, A., et al. (2009). Effect of nepheline syenite on the colorant behavior of porcelain stoneware body. *Journal of Ceramic Processing Research, 10*(5), 621–627.
- Seo, J., et al. (2019). Substitutional effect of Na2O with K2O on the viscosity and structure of CaO-SiO2-CaF2-based mold flux systems. *Journal of the American Ceramic Society, 102*(10), 6275–6283. https://doi.org/10.1111/jace.16597