المجلــة الأردنيــة للفنــون، مجلد 12، عدد 2، 2019،159-173

معطيات إعادة تدوير الزجاج في تكوين خلطات المزججات

حيدر عبدالقادر عبدالله، قسم الخزف، كلية الفنون الجميلة والتطبيقية، جامعة السودان للعلوم، السودان

تاريخ الاستلام: 2018/5/21 تاريخ القبول: 2018/11/29

Output of Recycling Glass in Glaze Mixtures

Haidar Abdelghadir Abdalla, *Ceramic Department, College of Fine and Applied Art, Sudan University of Science and Technology*

الملخص

تهدف الدراسة إلى الاستفادة من الزجاج التالف من خلال إدخاله في خلطات الزجاج الخزفي، وذلك لشح مساعدات الصهر في المصادر الطبيعية السودانية. عينة الدراسة تمثل زجاج جير الصودا. تم تحليلها بطريقة(Energy-dispersive X-ray spectroscopy, EDS) لمعرفة مكوناتها الكيميائية ونسبها. سُحنت في طاحونة الكرات ثم مُررت من خلال الغربال قياس 250 ميكرون. استخدم معها خامات محلية تم تحليلها بطريقة (X-ray fluorescence, XRF) وهي النفلين ساينيت، تربة دايتومية، رماد حطب، حجر جيري، كوارتز وكاولين. أيضاً تم تناول خامات قياسية وهي البوراكس، أكسيد القصدير، فلسبار البوتاسيوم، أكسيد الكروم وأكسيد الكوبالت. كُونت خلطات بنسب مختلفة من المواد المذكورة وطبقت على أسطح خزفية محروقة ثم عُرضت تحت درجات حرارية تراوحت ما بين 1120°م إلى 1240°م في فرن اختبار. أُخضعت النتائج لاختبارات مقاومة التآكل بالأحماض والتشقق والصلابة. توصلت الدراسة إلى أن الزجاج يعطي مزججات ذات خصائص مختلفة تتوافق مع الفخار المسامي الخزف الحجري، كما تؤثر إيجابا على إظهار القيم اللونية للأكاسيد عدا أكسيد الحديد.

الكلمات المفتاحية: صهر، تبلور، نضج حراري

Abstract

The study aims to test whether the inclusion of crushed glass in ceramic glass mixtures could suitably address the lack of smelting agents available among Sudan's natural resources. The sample tested was soda lime glass. It was first tested by EDS to determine its chemical composition and breakdown. It was then ground in a ball mill and passed through a 250 micron sieve. Local materials were used along with the sand, such as nepheline syenite, wood ash, limestone quartz and kaolin. All obtained composites were tested with XRF. Standardized material such as borax, tin oxide, potassium feldspar, chromium oxide, and cobalt oxide were also used . Mixtures consisting various amounts of the materials mentioned were produced and applied to burned ceramic surfaces and brought to temperatures between 1120˚ and 1240˚C in the test oven. The resulting materials were subjected to a variety of tests such as acid – erosion resistance, cracking, and hardness. The study concluded that soda lime glass gives glazes with different properties which are suitable for earthenware and stoneware. Furthermore, it has apositive effect in improving the hue and color of the material oxides used except for that of iron.

Keywords: Fusion, Crystalline, Thermal Maturing.

مقدمة

تمثل بقايا الزجاج التالف إحدى المخلفات التي يصعب التخلص منها محليا، فهي عادة توضع في مكبات النفايات بأطراف المدن أو الأسواق كما هو ملاحظ. فأحدثت مشكلة بيئية وذلك كونها مقاومة لعمليات التحول. كما أنه لا توجد جهة أو هيئة محلية متخصصة لإعادة تدويرها. ركزت الدراسة على اختيار زجاج جير الصودا (Ludek,2012,64) المعروف بالزجاج العادي أو التجاري كونه الأكثر انتشارا بالمحلات التجارية وورش الزجاج. ونظرا لحاجة المجالات الخزفية للمزججات فقد تعين اختيار عينة الدراسة كونه يحتوى على بعض المكونات المطلوبة وينصهر في درجات حرارية منخفضة وكذلك ليسهم مع الخامات الأخرى في إعطاء النتائج المطلوبة. هناك اختلاف بين الزجاج (Glass) والزجاج الخزفي (Glaze)، حيث أن الأول مادة غير عضوية ناتجة عن الصهر ثم التبريد إلى حالة لم تسمح بتكوين البلورات (Arthur,1994,140). بينما الثاني هو عبارة عن طبقة زجاجية تحتوى على مواد مساعدة للتبلور، تطلي بها الأجسام الخزفية وتحرق في أفران خاصة فتنصهر وتلتصق على الجسم فتزيد من متانته، ولا تسمح بنفاذ السوائل إضافة إلى أنها تعطي سطحا أملس أو خشنا ولونا، ويتم التحكم بذلك من خلال نسب مكونات الخلطات (Arthur,1994,142).

مشكلة الدراسة

1. تتمثل في شح مساعدات الصهر(Fluxes) منخفضة الحرارة في المصادر الطبيعية المحلية.
2. الزجاج التالف يمثل عائقا بيئيا وغير مستفاد منه محليا.

أهداف الدراسة

1. الهدف الأساسي من الدراسة هو الاستفادة العملية من الزجاج التالف بإعادة تدويره لتوفير مزججات محلية بدلاً من الإعتماد على إستيرادها.
2. لفت نظر المهتمين بأمر صناعة الخزف إلى الفوائد التي يمكن الحصول عليها من خلال إعادة تدوير الزجاج وإستثماره.
3. المساهمة في التخلص من مضار الزجاج للبيئة بصورة فعالة وذات جدوى إقتصادية.

أهمية الدراسة

إدخال الزجاج التالف في صنع المزججات محليا يسهم في توفيرها وبالتالي يقلل من تكلفتها واستيرادها. بجانب ذلك هناك إسهام في التخلص منه وفي ذلك إصحاح للبيئة. كما أن إعادة التدوير يمكن أن تتيح فرصا لصناعات خزفية أخرى يستخدم فيها الزجاج التالف.

الدراسات السابقة

بحث دكتوراة: أبكر، حيدر عبدالقادر، (2013)، بعنوان: إمكانية الاستفادة من السيليكا ومساعادات الصهر الطبيعية في التشكيل الفني للزجاج بالسودان، كلية الدراسات العليا، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا، الخرطوم، السودان. ومن أهداف الدراسة: الكشف عن خامات السيليكا ومساعدات الصهر التي يمكن أن يستفاد منها في تشكيل الزجاج محليا، والاستفادة من خامات الزجاج الطبيعية في تشكيل الزجاج، والمساهمة في توفير معلومات عن خصائص الخامات الطبيعية التي تدخل في صناعة الزجاج.

ومن أهم نتائج الدراسة: تربة منطقتيّ قرية القريقريبة وزالنجي بالإضافة إلى البازلت عينة منطقة الروصيرص هي عبارة عن مزججات طبيعية لا تحتاج إلى إضافات أو معالجات. وأن عينات الفلسبار المحلية والرماد البركاني ذي اللون الرمادي والأسود، وعينات الجرانيت المتحلل، والنفلين ساينيت، ورماد الحطب، والكالسيت والطلق الموجودة بالسودان كلها تعمل كمساعدات صهر في درجات الحرارة المتوسطة والعالية.

تعريف الزجاج والمزججات

يعرف الزجاج بالسائل تحت المبرد. كما يعتبر مادة صلبة غير عضوية صهرت وبردت إلى حالة غير متبلورة (Arthur,1994,140). من أهم أنواعه ما يعرف بزجاج البروسليكات، زجاج جير الصودا، زجاج الرصاص ويسمي بالكريستال (Julie,2008,155). أما المزججات فهي نوع من أنواع الزجاج لكنه ذو بنية متبلورة يسمي بالزجاج الخزفي (Ceramic Glaze). تستخدم في طلاء أسطح الأجسام الخزفية الطينية بسمك يتراوح ما بين 1 إلى 3 ملليمترات. تتألف من نفس مكونات الزجاج العادي لكنها تحتوي على مركبات تساعد على التبلور كأكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) وتحرق حتي تنصهر ثم تبرد بصورة بطيئة نسبيا وتسهم عملية التبريد أيضا في التبلور فتتحول إلى طبقة متآصرة مع الجسم الخزفي. فالزجاج والزجاج الخزفي كلاهما يرتبطان بالمعالجة الحرارية فالأول يصهر ويتم تشكيله وهو ساخن والثاني يطلي على أسطح أجسام شكلت مسبقا، وبعد صهرها وتبريدها تعطي طبقة صلبة غير نافذة للسوائل بجانب خصائص أخري يتم التحكم فيها من خلال المكونات كالشفافية أو العتامة، نعومة الملمس أو الخشونة، اللمعان، اللون وغيره.

البعد التاريخي للمزججات

يصعب تحديد بداية استخدام الزجاج الخزفي في العالم بنحو دقيق لكن الدراسات الاركيولوجية (Archaeologists) تشير إلى أن أول استخدام لها تم في الصين قبل 20000 سنة خلال فترة العصر الجليدي (Brian,2014,12). هناك روايات متعددة غير مؤكدة تتحدث عن أن اكتشافه قد تم بالصدفة ولكن يمكن الإستدلال من خلال الآثار القديمة التي خلفتها الحضارات وأخضعت للتجارب المعملية فحددت فترات تصنيعها من منطقة إلى أخري كالبوابات الآشورية في العراق والخزفيات المزججة في حضارات وادي النيل والصين إضافة إلى الحضارات الاسلامية المبكرة وفترة العصور الوسطي وغيرها.

أدوات حرق المزججات

تحرق الخزفيات المزججة على مر السنين بالوقود الصلب كالحطب في قمائن مغلقة. مع تقدم التجارب والاكتشافات المتعددة لمصادر الطاقة المتنوعة استحدثت أدوات حرق لتشمل الأفران الدوارة، والنفقية، العمودية، والمستمرة ذات التعبئة العلوية أو الجانبية متخذة بذلك أشكالا متعددة. كما أن وقود التشغيل قد شمل المنتجات البترولية كالجازولين أو زيت الفيرنس بجانب ذلك استخدم الغاز الطبيعي وغازات البيوتان والبروبان. أيضا استخدمت السبائك المعدنية المقاومة للكهرباء وكاربيدات بعض العناصر ومؤخرا نظم المايكروويف (Arunachalam,2014,14).

مركبات التزجيج

تستخدم فيها مركبات حامضية وقاعدية ومتعادلة. وهي في الغالب تكون أكاسيد أو أملاحا لمعادن فلزية وأخري غير فلزية، وكلا النوعين يوجد في الخامات الطبيعية أو يستخلص منها معمليا. المركبات الحامضية هي التي تكوّن ما يعرف بالشبك الزجاجي، وأهمها وأكثرها انتشارا واستخداما هو ثاني أكسيد السليكون (SiO_2)، ويستخدم لنفس الغرض أكاسيد كل من التيتانيوم (TiO_2)، الفسفور (P_2O_5)، الانتموني (Sb_2O_3)، الزرنيخ (As_2O_3)، السلنيوم (SeO_2) إلا أن استخدامها قليل وذلك بسبب غلاء بعضها أو خطورة الآثار السامة التي قد تنتج عن بعضها أثناء مراحل التصنيع. إن أهم المركبات القاعدية التي تستخدم هن أكاسيد الصوديوم (Na_2O)، والبوتاسيوم (K_2O)، واللثيوم (Li_2O)، والكالسيوم (CaO)، والمغنسيوم (MgO)، والباريوم (BaO)، والمركبات المتعادلة هن أكسيد الألومنيوم ($A_{l2}O_3$) وأكسيد البورون (B_2O_3). ومن الممكن أيضا إضافة بعض الأكاسيد المعدنية لأغراض التلوين كالنحاس (CuO)، والكوبالت (CoO)، والمنجنيز (MnO) وغيره. وتحضر المواد على شكل مساحيق ناعمة عن طريق الطحن. علما أن معظم المركبات لا تؤخذ بصورة منفردة فهي توجد في خامات مع مركبات أخري فمثلا فلسبار الصوديوم يحتوي

على جزيء من أكسيد الصوديوم وجزيء من أكسيد الألومنيوم وستة جزيئات من أكسيد السيليكون. ولبيان أهم مصادر المركبات انظر الجدول رقم (1).

جدول رقم (1) بعض أهم مركبات الزجاج الخزفي ومصادرها.

المركب	المصدر بحسب شيوع الاستخدام في مجال الزجاج الخزفي
أكسيد الصوديوم	فلسبار الصوديوم، كربونات الصوديوم، النفلين ساينيت، العطرون، كلوريد الصوديوم
أكسيد البوتاسيوم	فلسبار البوتاسيوم، النفلين ساينيت، الرماد البوتاسي، كرومات البوتاسيوم
أكسيد اللثيوم	فلسبار اللثيوم، كربونات اللثيوم، البتاليت، اسبودمن، لبيدوليت
أكسيد الكالسيوم	الحجر الجيري، الوول استونيت، الكولمنيت،الدلوميت، رماد الحطب، الفلورسبار
أكسيد الماغنزيوم	كربونات المغنسيوم، الدلوميت، الطلق
أكسيد الباريوم	فلسبار الباريوم، كربونات الباريوم
أكسيد الخارصين	أكسيد الخارصين
أكسيد الرصاص	سليكات الرصاص، أكسيد الرصاص الأحمر، أكسيد الرصاص الأصفر، كربونات الرصاص، الجالينا
أكسيد البورون	أوكسيد البورون، البوراكس، الكولمنيت
أكسيد الالمونيوم	الكاولينات، الفلسبارات، النفلين ساينيت، الكيانيت، البوكسيت، السلمنيت، الأندلوسيت، الكروندم
أكسيد السليكون	الكوارتز، الرمال البيضاء، الحجر الرملي، كاربيد السليكون، الفلسبارات، النفلين ساينيت
أكسيد الزركون	سليكات الزركونيوم،الزركوباكس، أكسيد الزركون
أكسيد الفسفور	رماد العظام، رماد الحطب
أكسيد التيتانيوم	أكسيد التيتانيوم، الروتايل
أكسيد الحديد	الهيماتيت، اللمونيت، الماقنتيت
أكسيد النحاس	أكسيد النحاس، كربونات النحاس
أكسيد الكوبالت	أكسيد الكوبالت، كربونات الكوبات
أكسيد المنجنيز	أكسيد المنجنيز، ثاني أوكسيد المنجنيز
أكسيد الكروم	أكسيد الكروم، كرومات البوتاسيوم، الكروميت

طرق تناول مركبات التزجيج

تؤخذ المواد الخام عن طريق الوزن بالنسبة المئوية أو بالمقادير الكمية لعمل الخلطات، وبذلك يمكن التكهن مبدئيا بدرجة حرارة نضج الخلطة. تقسم خلطات الزجاج الخزفي من حيث درجات النضج الحراري إلى خلطات خاصة بخزف الطينات الأرضية (Earthenware)، وتحرق بحدود 1180م كحد أعلى. والثاني خاص بالخزف الحجري (Stoneware)؛ ويحرق ما بين 1200م الى 1250 م. أما النوع الثالث فخاص بالبورسلين (Porcelain)؛ ويحرق مابين 1300م إلى 1350م. والنوع الرابع خاص بالطلاءات فوق الزجاجية (Onglaze)؛ وتحرق في درجات حرارة أقل من درجة حرارة المزجج الذي يطبّق عليه. يتم صياغة معادلات الخلطات أولا وفقا لصيغة سيجر (Seger) التي تنظم طريقة حساب تناول المكونات في أبسط صورة بالوزن المكافئ. أدخلت التقانات الحاسوبية برامج متخصصة لتسهيل عمليات حساب الأوزان المكافئة بدقة عالية وسرعة. من أهم تلك البرامج وأشهرها (Glaze Master)، و(Hyberglaze)، و(Glaze Matrix). عملية صنع المزججات تحتاج إلى معرفة الصيغ الكيميائية للخامات القياسية أو المتوفرة محليا خاصة وأنه لا يفضل الاعتماد على جلب الخامات من مناطق أخري بعيدة مما قد يتسسب في زيادة تكلفتها (Brian,2014,20). ثم إن بعض الخامات تتطلب الحذر عند العمل بها تفاديا لسميتها وقابلية بعضها للإذابة في الماء؛ مما قد يتطلب صهرها وتحويلها إلى صهير (Frit)، والصهر هنا يقصد به تسخين كل المكونات مع بعضها حتي بلوغ مرحلة الإذابة وتداخلها مع بعض بصورة متجانسة من ثم تبريدها بصورة سريعة نسبيا (Gillian,2009,20). تجدر الإشارة إلى أن زجاج جير الصودا (موضوع الدراسة) عند صهر خلطاته المكونة من المواد الأولية يحتاج إلى درجات حرارة عالية، لكن يلاحظ عند إعادة صهره تقل درجة حرارة الصهر إلى حد كبير مما يسهل أمر تناوله في صنع المزججات كخام أشبه بالصهير ليعمل كمادة مساعدة للصهر.

ضبط جودة المزججات

لمعرفة صلاحية المزججات كطلاءات لأغراض محددة يجب رصد خصائصها وفقا لغرض الاستخدام، ويتم ذلك من خلال إجراء اختبارات لمعرفة مقاومة الاجهادات الميكانيكية حيث يفيد ذلك في صناعة البلاط والمنتجات التي تتعرض لتلك الاجهادات، ومقاومة التشققات ومقاومة الاحماض وهي هامة في صناعة أدوات المائدة والخزف الصحي والبلاط، وكذلك مقاومة الصقيع والتقشر والموصلية الكهربية وغيرها.

التقنيات المتبعة في التزجيج

هناك عدة تقنيات في تطبيق المزججات وكلها تتصل بطريقة الحرق الأكسجيني (Oxidation) أو الاختزالي (Reduction). كلتا الطريقتين لهما تأثير على المنتج، وكمثال فإن الراكو (Raku)، وهي تقنية يابانية ظهرت في القرن السادس عشر، لا زال يُعمل بها لإعطاء تأثير جمالي على السطح المزجج من خلال التشققات السوداء (James,2004,13). كما ظهرت تقنية الطلاءات ذات البريق المعدني (Luster glaze) الذي يلاحظ من خلال الخزف الإسلامي الخاص بفترة العباسيين، وتقنية التزجيج الذاتي للأجسام الخزفية التي تسمي باللاتينية (Terra sigillata) وتسمى أيضا بالماجوليكا، والطلاءات الملحية وأنماط مختلفة من أساليب التزجيج، وحديثا ظهرت تقنيات طلاءات البثور (Fuming glaze) وتنوعت الخامات المدخَلة فيها، كما تم استخدام أنواع من المعادن النفيسة في تقنيات التزجيج.

المواد وطرق البحث

اتبعت الدراسة المنهج التطبيقي متخذة الأدوات المعملية في كل مراحلها ومستندة على الأساليب العلمية المعمول بها في مجال الخزف للتوصل إلى النتائج. وامتدت فترة الدراسة من سنة 2011م إلى سنة 2017م وقد تمت كل مراحلها بقسم الخزف في جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا.

عينات الدراسة

1. زجاج جير الصودا: وهي العينة الأساسية للدراسة، التالف منه يكون أكثره شفافا بسمك يتراوح ما بين 3 إلى 10 ملم. ويوجد في ورش الزجاج في أسواق ولاية الخرطوم على شكل شرائح أو ألواح صغيرة مكسورة. والعينة أخذت من ورش سوق السجانة في الخرطوم. علما أنها تستخدم عالميا لتقليل تكلفة المزججات (Walker,2013,43).
2. النفلين ساينيت (Nepheline Syenite): عينة جبل الدمبير جنوب مدينة الرهد، وأخذت كمادة محسنة لخواص الصهر.
3. رماد الحطب (Wood Ash): ناتج عن الفحم المستجلب من جنوب مدينة الدمازين. وأخذ كمحسن لخواص الصهر.
4. الحجر الجيري (Limestone): عينة مدينة سواكن، وأخذت كمحسن لخواص الصهر.
5. الكوارتز (Quartz): عينة السيال شمال الخرطوم، وهي مادة مكونة للزجاج.
6. الكاولين (Kaolin): عينة منطقة مروي، وهي مادة مثبتة.
7. البوراكس (Sodium Tetra borate): عينة قياسية، وهي مادة صاهرة.
8. أكسيد القصدير (Tin Oxide): عينة قياسية. وأخذت كمادة معتمة.
9. أكسيد الكروم (Chromium Oxide) عينة قياسية، وأخذت كمادة ملونة.
10. أكسيد الكوبالت (Cobalt Oxide): عينة قياسية، وأخذت كمادة ملونة.
11. تربة دايتومية (Dytomaeous Soil): عينة قرية القريقريبة جنوب مدينة الحصاحيصا، وأخذت كمادة محسنة لخواص الصهر.

الأدوات المستخدمة

1. طاحونة الكرات (Ball Mill).
2. ميزان رقمي حساس.
3. غرابيل بالقياسات 600، 500، 250، 150 ميكرون.
4. جهاز فحص بطريقة الأشعة السينية المتفلورة (XRF) بمؤسسة (MTA) التركية في أنقرة بتاريخ: 2011/9/27م.
5. جهاز فحص بطريقة (Energy Dispersive X- ray Spectroscopy) (EDS) في بولندا بواسطة SEM EDS 2015.07 (Dr. Małgorzata Mrozek-Wysocka).
6. .جهاز ضغط الهواء (Air compressor).
7. أدوات قياس الصلابة (Mohs Scale).
8. حامض الهيدروفلوريك المركز كأداة لقياس التآكل.
9. فرن اختبار كهربائي.
10. حبر أسود كأداة لقياس التشققات.
11. أواني بلاستيكية.
12. أدوات حماية (كمامات وقفازات).

الإعدادات الأولية

1. الطحن: استخدمت طاحونة الكرات في طحن عينة الزجاج جافا لمدة 4 ساعات. كما أن النفلين ساينيت والكوارتز قد سحنت بنفس الطريقة وقد امتدت مدة الطحن 6 ساعات، والكاولين استغرق مدة ساعة لطحنه جافا. التربة الدايتومية لم تسحن لنعومة حبيباتها وكذلك رماد الحطب فحبيباته ناعمة نسبيا. أما الحجر الجيري فقد تم تكليسه في 900°م فتحول إلى مسحوق.
2. الغربلة: مررت كل العينات بعد الطحن من خلال غربالين ذوي مقاسين: 600 و250 ميكرون.
3. الفحص: تم فحص العينات معمليا لرصد مكوناتها ونسبها بطريقتين: الأولى بطريقة الأشعة السينية المتفلورة (XRF) لعينات النفلين ساينيت، والتربة الدايتومية، والكوارتز، ورماد الحطب والحجر الجيري. والثانية هي مطياف تشتت الأشعة السينية (EDS) وفحصت بها عينة الزجاج. ونتائج الفحص مبينة بالجدول رقم (2).

جدول رقم (2) نتائج فحص مكونات عينات الدراسة (%).

	SiO_2	AL_2O_3	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	CaO	MnO	MgO	P_2O_5	TiO_2	LOI
نفلين ساينيت	53.5	16.6	9.2	8.4	2.3	4.7	2.	2.5	.2	1.2	.40
تربة دايتومية	70.1	8.7	6.6	3.1	3.4	1	3.	.7	.1	5.	5.20
كوارتز	99.2	.1	.4	.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	.01
رماد حطب	9.8	1.8	1.1	.5	9.4	39.3	2.1	3.3	2.1	.3	28.30
زجاج جير الصودا	71.95	1.41	-	10.75	-	11.75	-	2.34	-	-	1.81
الحجر الجيري	.2	.1	2.1	.1	2.1	56.3	2.1	.2	2.1	2.1	42.75

الخلطات

باستخدام ميزان رقمي حساس وزنت مكونات الخلطات. تم تناول مسحوق الزجاج فيها بنسبة تراوحت ما بين 25% كحد أدنى و77% كحد أعلى، ورماد الحطب بنسبة 5% كحد أدنى و41% كحد أعلى، والحجر الجيري من 5% إلى 15%، والنفلين ساينيت ما بين 20% و38%، والتربة الدايتومية ما بين 1.5% إلى 18%، والكاولين ما بين 5% و25%، وفلسبار البوتاسيوم بنسبة ثابتة وهي 10%، وأكسيد القصدير بنسبة ثابتة وهي 5%، وأكسيد الكروم بنسبة 2%، والكوبالت بنسبة 5%، والبوراكس بنسبة 15% وأحيانا بنسبة 20%. مُررت الخلطات من خلال المصفى مقاس 500 ميكرون وذلك بعد خلطها بالماء. والخلطات التي احتوت على البوراكس نُخلت بالمصفى مقاس 600 ميكرون وذلك لصعوبة تمريرها بالمصافي ذات الفتحات الضيقة. ثم طبقت على بلاطات من الفخار الأبيض المحروق عن طريق الغمر (Dipping) وباستخدام الفرشاة (Brushing) وفقا للطرق الخزفية (Kenneth,1983,106).

حُرقت البلاطات المزججة بالخلطات في فرن اختبار في مدة زمنية تراوحت ما بين 4 إلى 6 ساعات وذلك على دفعات بغرض التعرف على مظاهر الصهر وإجراء المعالجات حتى تكون الخلطات التي تليها مختلفة من حيث التكوين. في مرحلة الحرق الأول بلغت الحرارة 1100°م، وفي المرحلة الثانية بلغت 1120°م، وكلاهما في حدود حرق مزججات الفخار المسامي. أما المرحلة الثالثة للحرق فبلغت 1240°م وهي في حدود حرق مزججات الخزف الحجري (Kenneth,1983,18). كل الخلطات التى حُرقت مرت بمرحلة الانصهار الكامل فيما يعرف بالنقطة التي تنصهر فيها كل المكونات (Eutectic Phenomena) في جو حرق أكسجيني بكل المراحل (Brian,2014,78).

جدول رقم (3) نسب مكونات خلطات التزجيج (%)

أرقام الخلطات	مسحوق الزجاج	بوراكس	رماد حطب	حجر جيري	نفلين ساينيت	تربة دايتومية	كاولين	فلسبار بوتاسيوم	أكسيد قصدير	أكسيد كروم	أكسيد كوبالت
1	77	-	13.5	-	13	1.5	-	-	-	-	-
2	68	-	17	-	12	3	-	-	-	-	-
3	60	-	20	-	15	5	-	-	-	-	-
4	53	-	23	-	18	8	-	-	-	-	-
5	46	-	25	-	20	11	-	-	-	-	-
6	39	-	26	-	21	14	-	-	-	-	-
7	33	-	27	-	22	18	-	-	-	-	-
8	47	-	8.3	-	38	-	7	-	-	-	-
9	44	-	11	-	36	-	9	-	-	-	-
10	41	-	41	-	34	-	11	-	-	-	-
11	39	-	17	-	32	-	14	-	-	-	-
12	36	-	19	-	29	-	16	-	-	-	-
13	33	-	22	-	27	-	15	-	-	-	-
14	30	-	25	-	25	-	20	-	-	-	-
15	27.5	-	27.5	-	22.5	-	22.5	-	-	-	-
16	25	-	25	-	25	-	25	-	-	-	-
17	25	-	20	-	25	-	25	-	5	-	-
18	65	15	-	-	-	-	5	10	5	-	-
19	60	20	10	-	-	10	-	-	-	-	-
20	60	10	10	-	-	10	10	-	-	-	-
21	50	20	5	5	-	10	10	-	-	-	-

أرقام الخلطات	مسحوق الزجاج	بوراكس	رماد حطب	حجر جيري	نفلين ساينيت	تربة دايتومية	كاولين	فلسبار بوتاسيوم	أكسيد قصدير	أكسيد كروم	أكسيد كوبالت
22	50	20	-	15	-	-	-	10	5	-	-
23	60	20	-	15	-	-	-	10	5	2	-
24	60	20	-	15	-	-	-	10	5	2	5

خصائص الخلطات بعد الحرق

الخلطات من الرقم 1 إلى الرقم 17 اكتمل انصهارها وتشبعت حراريا حتى مرحلة النضج الحراري (Maturation range) في 1240°م. وبقية الخلطات بلغت حرارة نضجها 1120°م. واختلفت مظاهر الأسطح المزججة من حيث الاستواء، والنعومة والخشونة، والألوان ومستويات اللمعان. كما ظهرت آثار سالبة كالتشققات الدقيقة بين طبقة التزجيج والبلاطات وأخرى على السطح، إضافة إلى ظهور فقاعات متفاوتة في أحجامها داخل طبقة التزجيج وبعضها قد تفجر وخلف سطحا خشنا. ومن السلبيات أيضا ظهور الأخرام الإبرية وعدم تجانس مكونات الصهير. عدا ذلك فقد تم الحصول على مزججات ذات مظاهر مقبولة رصدت تفاصيلها بالجدول رقم (4).

جدول رقم (4)الخصائص العامة للخلطات بعد الحرق

أرقام الخلطات	درجة حرارة النضج م°	مستوى الإنصهار	مظهر السطح	اللون	مستوى اللمعان	الآثار السالبة
1	1240	مكتمل	أملس قليلاً	شفاف مصفر	لامع	تشققات وفقاعات
2	""	""	مستوى واملس	شفاف بمسحة صفراء مخضرة	""	تشققات
3	""	""	املس	شفاف بمسحة صفراء بيجية	""	"
4	""	""	غير مستوى	شفاف بمسحة صفراء خضراء	""	تشققات وفقاعات
5	""	""	"" ""	""" "" ""	مطفي	تشققات وفقاعات قليلة
6	""	""	مستوى	بيج مخضر	قليل	-
7	""	""	قليل الإستواء "أملس قليلاً"	شفاف ببقع بيجية	"	غير متجانس
8	""	""	مستوى واملس قليلاً	بيج مخضر	"	"" ""
9	""	""	مستوى واملس	أصفر مائل للبيج	لامع	فقاعات صغيرة
10	""	""	"" ""	""" "" ""	""	-
11	""	""	"" ""	""" "" ""	""	-
12	""	""	املس، قليل الإستواء	""" "" ""	""	-
13	""	""	مستوى وأملس	شفاف بمسحة صفراء خضراء	""	-
14	""	""	"" ""	""" "" ""	""	-
15	""	""	"" ""	""" "" ""	مطفي جزئيا	-
16	""	""	"" ""	شفاف بمسحة خضراء	لامع	-
17	""	""	مستوى، أملس قليلاً	أبيض مائل للبيج	"	أخرام صغيرة
18	1120	""	مستوى واملس	أبيض	وسط	-
19	""	""	"" ""	شفاف مصفر	لامع	تشققات
20	""	""	"" ""	"" ""	""	"
21	""	""	"" ""	"" ""	""	"
22	""	""	"" ""	وردى(Pink)	""	-
23	""	""	"" ""	أحمر قاني	""	-
24	""	""	"" ""	بنفسج	وسط	-

اختبار صلاحية المزججات

تم استبعاد نتائج الخلطات بالأرقام 1، 2، 3، 4، 5 من الاختبارات، وذلك لظهور تشققات كرتسالية على أسطحها الشفافة مع وجود لون طفيف أخضر مشوّه للمظهر وفقاعات متفاوتة الأحجام.

اختبار التشقق (Crazing Test)

تظهر التشققات على أسطح المزججات عادة بسبب اختلاف الانكماش بين الجسم الخزفي والمزجج. وقد تحدث بعد إخراجها من الفرن أو بعد مرور عدة سنوات فيما يعرف بـ (delayed crazing) (Jeff,2009,112) وتكون التشققات صغيرة أو كبيرة أومنتشرة، وقد لا تلاحظ بالعين المجردة، ومن هنا تأتي أهمية هذا الاختبار لأن المزججات التي تستخدم في أواني المائدة إذا كانت تتشقق فإنها تحتفظ بالبكتيريا (Bill,2015,11)، ويتم رصد التشققات بغلي الأسطح المزججة في محلول شاي ثقيل لمدة ساعة أو بمسح حبر على الأسطح ثم إزالته بقماش وهذا ما تم تطبيقه في الدراسة. تبين أن النتائج الموضحة في الجدول (5) بالأرقام 19، 20، 21 ظهرت عليها تشققات.

اختبار مقاومة التآكل بالأحماض

تتمثل ضرورة هذا الاختبار في أن المزججات التي لا تقاوم الأحماض لا تصلح لأغراض كثيرة كطلاءات لبلاط الأرضيات أو لأواني المائدة؛ حيث تتفاعل مع المنظفات والأحماض التي تحتويها بعض المأكولات (Richard L ,2002,11). تم استخدام حامض الهيدروفلوريك المركز كمذيب للزجاج (Richard A,1998,259) وذلك باستخدام نقاط منه على الأسطح المزججة وتركها لمدة 15 دقيقة. بعد ذلك أزيلت بالماء وجففت الأسطح ورصد مدى تآكل الحامض على السطح كما هو مبين بالجدول رقم (5).

اختبار صلابة الأسطح (Hardness Test)

الصلابة من الخصائص المطلوبة في المزججات حتى لا تتشوه بالخدش نتيجة الاستخدام أو بفعل الإجهادات الميكانيكية التي قد تتعرض لها الأسطح المزججة. فهي مهمة للأسطح الخزفية لمعرفة مقاومة الاحتكاكات وغيرها. وتم تطبيق الاختبار بطريقة مقياس موهاس (Mohs Scale) (Charles,2001,105,107) وذلك من خلال محاولة خدش الأسطح باختيار أربعة من معادن الخدش وهي الأورثوكليز، والأبتيت، والفلورايت والكالسيت. وتبين أن 13 أنموذجا قاومت الخدش بالفلورايت ولم تقاوم الخدش بالأبتيت أو بالاورثوكليز. الجدول رقم (5) يبين نتائج قياس صلابة النماذج.

المظهر العام للمزججات

هو اختبار اعتمد فيه على الملاحظة البصرية لكل النماذج المختارة من حيث القيم الجمالية للتشققات، والألوان، وتأثير العيوب على السطح. وذلك استنادا إلى أنه في مجال الخزف كفن يُستغل معظم نتائج التزجيج السالبة في الأعمال الفنية للخزافين كخروج عن المألوف، حيث إن هناك جانب تطبيقي يتصل بمواصفات محددة وجانب فني لا يتقيد كثيرا بها (Hans,2013,273). وليس بالضرورة التقيد التقليدي بصهر المزججات خاصة في مجال النحت الخزفي (Brian,2014,88).

التطبيقات

تم عمل 5 كيلوجرام من الخلطات بالأرقام (21، 22، 23، 24) كُل على حدة وطبقت عن طريق الرش باستخدام جهاز ضغط الهواء (Air Compressor) لطلاء مجموعة من الأواني الخزفية كبيرة الحجم، وحُرقت في فرن خزف كبير حتى 1120°م لمدة إحدى عشرة ساعة ونصف ووقت تبريد بلغ 36 ساعة، فأعطت نتائج جيدة لمستوى الصهر، واللمعان وإعطاء تداخل متدرج للألوان التي تداخلت مع بعضها، ويلاحظ أن استخدام هذه الطلاءات يعطي أفضل نتائجها على الأسطح الفخارية البيضاء.

جدول رقم (5) نتائج اختبارات صلاحية المزججات

أرقام نماذج الخلطات	أثر التشققات على السطح	أثر التآكل بحامض الهيدروفلوريك	الصلابة Mohs Scale	الصلاحية من حيث المظهر العام
6	لا يوجد	طفيف	3	يصلح كمزجج جيد
7	تشققات دقيقة	"	4	يصلح للأغراض الفنية
8	" "	"	4	" " "
9	" "	وسط	3	لا يصلح لوجود فقاعات مشوهة
10	" "	"	2	يصلح كمزجج جيد
11	" "	عميق	3	" " "
12	" "	"	4	" " "
13	" "	وسط	4	" " "
14	" "	طفيف	4	" " "
15	" "	وسط	3	" " "
16	" "	"	4	" " "
17	لا يوجد	طفيف	4	يصلح للأغراض الفنية
18	تشققات بسيطة	وسط	4	يصلح كمزجج مقبول
19	متشقق	"	4	" " "
20	"	"	4	" " "
21	"	"	4	" " "
22	"	"	4	يصلح من ناحية مظهره اللوني
23	لا يوجد	مقاوم	5	يصلح كمزجج جيد
24	لا يوجد	مقاوم	4	" " "

مناقشة النتائج (Conclusion)

نتائج مزججات الخلطات بالأرقام (1، 2، 3، 4، 5) أعطت مصهورا زجاجيا عالي السيولة؛ وذلك لارتفاع نسب مساعدات الصهر وقلة المواد المساعدة للتبلور (كأكسيد الألومنيوم AL_2O_3) مع ارتفاع درجة حرارة النضج. أدى ذلك إلى ظهور تشققات وإعطاء أسطح ذات مظاهر كرستالية، ولون شفاف مخضر ناتج عن مركبات الحديد والتيتانيوم التي يحتويها كل من النفلين ساينيت والتربة الدايتومية اللتين أدخلتا في الخلطات.

الخلطات بالأرقام من 6 إلى 16 أعطت مزججات تراوحت ألوانها بين الشفاف المصفر أو المخضر أو بدرجات لونية غير شفافة متداخلة مع بعضها كالبيج، والأصفر، والأخضر؛ وذلك أيضا بسبب المركبات الملونة التي تحتويها النفلين ساينيت والتربة الدايتومية. ثم إن مستوى الصهر كان أفضل وذلك للانخفاض النسبي في تناول مسحوق الزجاج بين 25% إلى 47% يقابله النفلين ساينيت بنسب ما بين 21 و38% ورماد الحطب من 11 إلى 27.5 % وفي بعضها أدخل الكاولين بنسب ما بين 7 و25%. ومعظمها أعطت نتائج متوسطة من حيث الخصائص لكنها تحتوى على تشققات سطحية دقيقة، وقد يحتاج ذلك إلى ضبط تناول القلويات أو ضبط انكماش الجسم الخزفي (Emmanuel,1978,97). تصنف النتائج لهذه المجموعة وفقاً لدرجة حرارة النضج من ضمن مزججات الخزف الحجري.

الخلطة رقم 17 أعطت مزججا أبيض بمسحة لون بيج. بها أخرام إبرية منتشرة ووجودها بسبب تفاعل المزجج مع الجسم الخزفي (Emmanuel,1978,97) وقد يسببه أكسيد القصدير مع زيادة نسبة الكاولين الذي يحتوى على أكسيد الألومنيوم. وأظهرت مقاومة عالية للتآكل بالأحماض وصلابة متوسطة وهي غير متشققة. ويمكن أن يستفاد منها كطلاء خاص بالأعمال ذات الطابع الفني وليس الاستخدامي. يصنف من ضمن مزججات الخزف الحجري ذي الطابع السلادوني (Celadon) (Kang,2001,1).

الخلطات من الرقم 18 إلى 24 تصنف كمزججات للفخار المسامي بناءً على درجة نضجها وتوسط مقادير مكوناتها، أدخل البوراكس فأسهم في خفض درجة نضجها، وعمل أكسيد الكالسيوم الموجود في رماد الحطب والحجر الجيري على خفض التشققات وإلغائها في الخلطتين 23 و24. واللون الأصفر في الخلطات 19، 20، 21 نتج عن مركبات الحديد في التربة الدايتومية المستخدمة. أما اللون الوردي في الخلطة رقم 22 فهو ناتج عن وجود أكسيد القصدير ونسبة مقدرة من أوكسيد الكالسيوم في خام الحجر الجيري. واللون الأحمر القاتم في الخلطة رقم (23) نتج بسبب إضافة أكسيد الكروم مع وجود كمية كافية من أكسيدي القصدير والكالسيوم. واللون البنفسجي في الخلطة رقم (24) ناتج عن إضافة أكسيد الكوبالت لمكونات الخلطة رقم 23.

خلاصة الأمر يُفاد بأن أفضل النتائج التي تم الحصول عليها هي الخلطتان بالأرقام (23، 24) للفخار المسامي، وإن الخلطات بالأرقام (6، 10، 11، 12، 13، 14، 15، 16) هي مزججات للخزف الحجري ولا تستخدم لأواني المائدة. أما الخلطات بالأرقام (7، 8، 17) فهي تناسب الأغراض الجمالية.

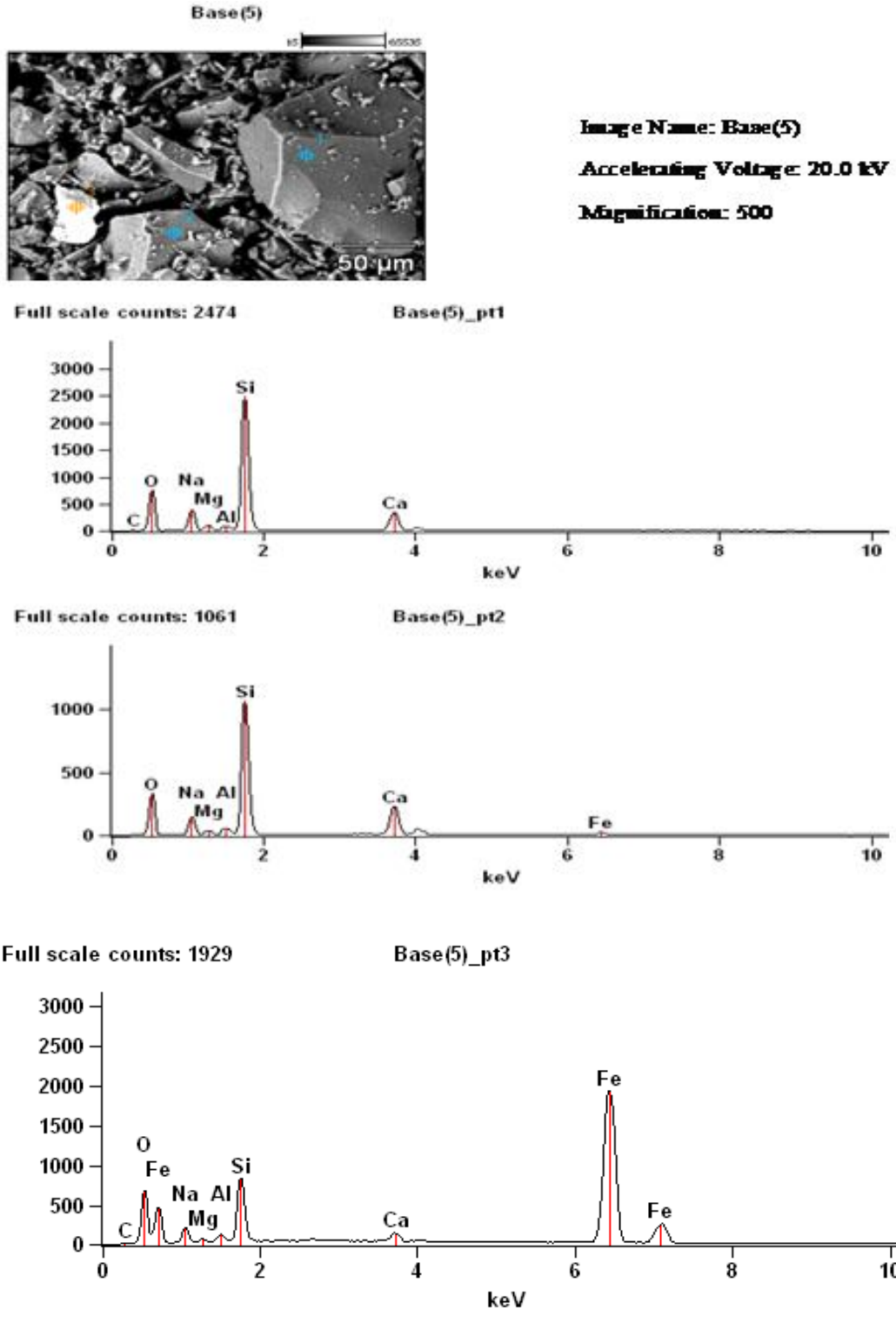
أهم نتائج الدراسة

1. توصلت الدراسة إلى أن استخدام زجاج جير الصودا التالف في خلطات التزجيج بنسب متوسطة مع وجود خامات أخرى محسنة لخصائص الصهر يعطي مزججات للفخار المسامي والخزف الحجرى.
2. إدخال البوراكس بنسب لا تتعدى 20% من وزن الخلطات مع مسحوق الزجاج يعطي نتائج أفضل في درجات حرارة منخفضة بحدود 1120°م.
3. كل خلطات الدراسة لا تناسب أدوات المائدة لكن يمكن استخدامها في طلاء أسطح الخزفيات الأخري.
4. تعتبر الخلطة بالرقم (20) أساسية للطلاءات الشفافة منخفضة الحرارة والخلطة رقم (22) أساسية للخلطات ذات العتامة البيضاء التي يمكن تلوينها بأكاسيد مختلفة في درجات الحرارة المنخفضة عدا أكسيد الحديد فإن درجاته اللونية تميل للاخضرار أكثر من اللون البني.

المراجع

1. Arthur Dodd, (1994). **Dictionary of Ceramics**, 3 Rev. ed, British library Cataloguing in Publication Data, Cambridge, UK.
2. Arunechalam, Lakshmanan, (2012). **Sintering of Ceramics New Emerging Techniques,** Published by In Tech, Rijeka, Croatia.
3. Bill, Jenes. (2015). **Ceramic Arts Handbook Series**, 2nd Edition, The American Ceramic Society, Ohio, USA.
4. Brian Taylor and Kate Doody, (2014), **Ceramic Glazes – The Complete Handbook**, Quarto Publishing Plc, Thames and Hudson Ltd, London, UK.
5. Charles A. Harper, (2001), **Handbook of Ceramics Glasses and Diamonds, McGraw – Hill companies**, US.
6. Emmanuel Cooper and Derek Royal, (1978), **Glazes for The Studio Potter**, BT Batsford Ltd, London.
7. Gillian, Hulse. (2009). **Inspiration in Kiln – Formed Glass, A and B Black Publishers ltd**, London, UK.
8. Hans Van Lemmen, (2013), **5000 years of Tiles, The British Museum company Ltd**, London, British.
9. James, C. Watkins and Paul Andrew Wandless. (2004). **Alternative Kilns and Firing Techniques**, Lark Book, A division of Sterling Publishing Co. Inc, New York, USA.
10. Jeff, Zamek, (2009), **The Potters Studio Clay and Glaze Handbook**, Quayside Publishing Group, Beverly, Massachusetts, USA.
11. Julie, M. Schoenung. (2008). **Ceramic and Glass Materials**, Springer Science + Business Media LLC, New York, USA.
12. Kang, Kyug Sook, (2008). **Korean Ceramics,** Published by The Korean Foundation.
13. Kenneth Clark, (1983). **The Potters Manual**, Macdonald an Co (Publishers) Ltd, London, British.
14. Ludek Galuska and Others, (2012), **The Glass of Great Moravia: Vessel and Window Glass**, and Small Objects, **Journal of Glass Studies**, Volume 54, The corning Museum of Glass, New York.
15. Richard A. Eppler and Douglas A. Eppler, (1998), **Glazes and Glass Coatings**, Published by A and C Black, London, England.
16. Richard L. Lehman, (2002), **Lead Glazes for Ceramic food ware**, The International Lead Management Center, USA.
17. Walker ceramics, (2013). **Pottery and Ceramics Handbook**, 12th Edition, Walker Ceramics, Australia.

تقرير نتيجة فحص عينة زجاج جير الصودا



تقرير تفصيلى لنسب مكونات زجاج جير الصودا

Weight %

	C-K	O-K	Na-K	Mg-K	Al-K	Si-K	Ca-K	Fe-K
Base(5)_pt1	0.49	47.35S	7.98	1.41	0.75	33.63	8.40	
Base(5)_pt2		45.54S	6.71	1.24	1.54	31.10	12.43	1.43
Base(5)_pt3	0.14	33.37S	3.19	0.32	0.62	6.14	0.83	55.39

Normalized Wt. %

	C-K	O-K	Na-K	Mg-K	Al-K	Si-K	Ca-K	Fe-K
Base(5)_pt1	0.49	47.35S	7.98	1.41	0.75	33.63	8.40	
Base(5)_pt2		45.54S	6.71	1.24	1.54	31.10	12.43	1.43
Base(5)_pt3	0.14	33.37S	3.19	0.32	0.62	6.14	0.83	55.39

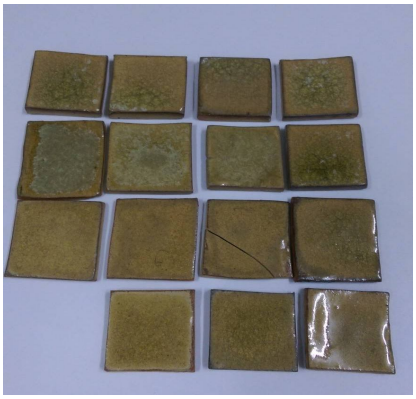
Formula

	C-K	O-K	Na-K	Mg-K	Al-K	Si-K	Ca-K	Fe-K
Base(5)_pt1	CO2		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	CaO	
Base(5)_pt2			Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	CaO	Fe2O3
Base(5)_pt3	CO2		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	CaO	Fe2O3

Compound %

	CO2		Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	CaO	Fe2O3
Base(5)_pt1	1.81	0.00	10.75	2.34	1.41	71.95	11.75	
Base(5)_pt2		0.00	9.04	2.06	2.91	66.54	17.40	2.05
Base(5)_pt3	0.50	0.00	4.31	0.53	1.17	13.13	1.17	79.19

الصور



صورة رقم (1) عينات المزججات من اليمين بالأرقام من 1 إلى15.

صورة رقم (2) فازة مزججة بالخلطة (20).

صورة رقم (3) فازة مزججة بالخلطة(21).

صورة رقم (4) فازة مزججة بالخلطة رقم (23) في الأعلى وبالخلطة رقم (24) في الاسفل.

صورة رقم (4) فازة مزججة بالخلطة رقم (24)