اثر معامل التمدد الحراري لكاربونات المغنيسيوم في زجاج عالي الحرارة

Effect of the coefficient of thermal expansion of magnesium carbonate on high-temperature glass

أ.م.د. علي جرد كاظم، م.د. علي صلاح فلاح، م.م. جمانة محمد خليل

Jumana Mohammed Khaleel Dr.Ali Salah Falah Dr.Ali Gard Kadhim

ali.gard@qu.edu.iq & ali.salah@qu.edu.iq & jumana.mohammed@qu.edu.iq

جامعة القادسية – كلية الفنون الجميلة – العراق

الملخص:

يعني هذا البحث بدراسة أثر معامل التمدد الحراري لكاربونات المغنيسيوم في زجاج عالي الحرارة حيث كان هدف البحث: الكشف عن أثر معامل التمدد الحراري لكاربونات المغنيسيوم في زجاج عالي الحرارة.

والفصل الثاني عني بالإطار النظري، وهو مقسم على ثلاثة محاور، حيث عني المحور الأول بدراسة معامل التمدد الحراري (Thermal Expansion Coefficient). أما المحور الثاني فقد عني بأوكسيد الحديد (Mgo) (Magnesium Oxide). أما المحور الثالث فقد عني بالزجاج العالي الحرارة (High fire Glaze). وتناول الفصل الثالث إجراءات البحث، وأجرى الباحث الفحوصات الفيزيائية للنماذج الطينية والفخارية (التقلص الطولي). أما الفصل الرابع فقد عني بعرض النتائج ومناقشتها ومن أهم الاستنتاجات المستخلصة من البحث:-

١. الحصول على تقنية الزجاج المحزز (Lichen glaze) في الطبقة الزجاجية جاء نتيجة إضافة كاربونات المغنيسيوم إلى خلطات الزجاج وبنسبة (١٠%).

٢. عند زيادة نسبة إضافة كاربونات المغنيسيوم إلى (٢٥%) من خلطة الزجاج أدى إلى حدوث انسحاب (Crawling) في بعض أجزاء الطبقة الزجاجية.

٣. إن إضافة كاربونات المغنيسيوم بنسبة (٥٠%) أدى إلى أن يكون معامل التمدد الحراري لطبقة الزجاجية أكبر من معامل التمدد الحراري لجسم الفخاري ومن ثم الحصول على تقنية التجزع عالي الحرارة (Crazing glaze).

الكلمات المفتاحية: (معامل التمدد الحراري. كاربونات المغنيسيوم، الخزف عالي الحرارة).

Abstract

This research is concerned with studying the effect of the coefficient of thermal expansion of magnesium carbonate in high-temperature glaze ،Where the aim of the research was: to detect the effect of thermal expansion coefficient of magnesium carbonate in high-temperature glaze.

The second chapter deals with the theoretical framework ،and it is divided into three axes ،where the first axis deals with the study of the thermal expansion coefficient. As for the second axis ،it was concerned with (Magnesium Oxide (Mgo) ،(while the third axis is concerned with high-temperature glaze.

The third chapter dealt with the research procedures ،and the researcher carried out physical examinations of the clay and pottery models longitudinal shrinkage .

While the fourth chapter is about the presenting and discussing the results and of the most important conclusions drawn from the research:

١. Getting the lichen glaze technique in the glass layer is the result of adding magnesium carbonate to the glass mixtures at a rate of (10%.(

٢. When increasing the ratio of magnesium carbonate to ٢٥٪ from the glaze mixture led tothe crawling in some parts of the glass layer.

٣. Adding magnesium carbonate by (٥٠٪) it led to the thermal expansion of the glaze layer greater than the thermal expansion of the pottery body and thus obtaining the crazing glaze technique.

Keywords:- The coefficient of thermal expansion. Magnesium Carbonate ، High-fire Glaze.

الفصل الأول

الإطار المنهي للبحث

١. مشكلة البحث:-

إن عملية أداء صناعة الخزف لا يمكن أن تكون بشكلها النهائي إلا باستخدام المواد ومعالجتها أو تحويلها من حالة إلى حالة أخرى وبأدوات وطرائق مختلفة وهذا ما يمكن أن تدعوه بالتقنية أو المهارة في معالجة الخامات، ومن ثم صياغتها وتشكيل عناصرها الفنية لإنتاج خزف فني، وان المعرفة التقنية للخزف تأتي بمعرفة الخزف بخاماته وإمكانية إيجاد البديل من المواد وفهمه لتصرف المواد الأولية، فمن المعروف إن تشكيل الخزف تختلف باختلاف المواد، والحصول على تقنيات جديدة لمعالجة الاجسام الخزفية من حيث تعديل مواصفات الطينة وتحضير خلطات مناسبة للزجاج يعمد الخزاف إلى استثمار معامل التمدد الداخلة في تراكيب الخلطات الزجاجية لانتاج تقنيات متعددة في إظهار السطح الخزفي.

وتتلخص مشكلة البحث الحالي في التساؤل الآتي:-

- ما تأثير عامل التمدد في زجاج عالي الحرارة؟
- ما معامل التمدد الحراري لكاربونات المغنيسيوم في الزجاج عالي الحرارة؟

٢. أهمية البحث والحاجة إليه:-

تكمن أهمية البحث الحالي بالآتي:-

١- تنطلق أهمية البحث بتسليط الضوء على خصيصة التمدد في زجاج عالي الحرارة، وما تنتجه من خلال تأثيرها في زجاج الخزف.

٢- إغناء الجانب المعرفي بكل ما يخص هذه الخصيصة واشتغالاتها الفيزيائية في خزف عالي الحرارة.

٣. هدف البحث:

يهدف البحث الحالي الى:- الكشف عن أثر معامل التمدد الحراري لكاربونات المغنيسيوم في زجاج عالي الحرارة.

٤. حدود البحث:

١- المواد الداخلة في تكوين الطين والزجاج عالي الحرارة.

- الكاوؤلين
- رمل أرضمه
- فلسبار Feldspar
- كاربونات المغنيسيوم Magnesium Carbonate

ب- نظام الحرق:

سيلجأ الباحث إلى بناء نظام حرق للسيطرة على بيان أثر معامل التمدد الحراري في زجاج عالي الحرارة على ان تتحدد درجة الحرق بحدود المدى الحراري (١٢٠٠ – ١٢٥٠ مْ).

الفصل الثاني

الإطار النظري

أولاً: معامل التمدد الحراري **Thermal Expansion Coefficient**

إن تغير درجة حرارة المادة يؤدي إلى تغيرات في الخواص الأخرى للمادة ومن أبرز هذه التغيرات هو تغير أبعاد المادة أو تغير حالتها. إن رفع درجة حرارة المادة يؤدي إلى زيادة الطاقة الاهتزازية لذراتها أو جزيئاتها وعندما تزداد سعة اهتزاز ذلك الجسيمات، وهذا معناها زيادة معدل أو متوسطة المسافة بين

الذرات أو الجزيئات، أي أن جميع أبعاد المادة سوف تتغير، تزداد بارتفاع درجة حرارتها وتنكمش بانخفاضها، وتسمى ظاهرة تغير أبعاد المادة نتيجة لتغير درجة حرارتها بالتمدد الحراري. (Callister، ٢٠٠٩، ٧٢p)

١- تمدد الاجسام الصلبة:

عندما تتغير درجة حرارة مادة ما؛ فإن الطاقة المختزنة في الروابط الجزيئية بين ذراتها تتغير، وعندما تزداد الطاقة المختزنة يزداد طول الروابط الجزيئية، ومن ثم فإن المواد الصلبة عادة تتمدد عند تسخينها وتقليص عند تبريدها، يطلق على الاستجابة بتغير الأبعاد عند تغير درجة الحرارة اسم التمدد الحراري وتقاس هذه العلاقة بمعامل التمدد الحراري.

من الممكن تعريف عدة معاملات تمدد حراري بحسب قياس التمدد وهي:-

- معامل التمدد الحراري الطولي
- معامل التمدد الحراري المساحي
- معامل التمدد الحراري الحجمي

حيث من الممكن تعريف معامل التمدد الحراري الحجمي للأجسام الصلبة والسائلة والغازية، بينما معامل التمدد الطولي يعرف فقط للأجسام الصلبة وهو العامل المستخدم بكثرة في التطبيقات الهندسية. (Shi.2012، ٧٠p)

أ- التمدد الطولي:

التغيير الحاصل في أبعاد الجسم نتيجة التغير في درجة الحرارة، إذ إن لعامل التمدد الطولي يعرف بمقدار الزيادة الحاصلة في طول المادة لوحدة الطول نتيجة تغير درجة الحرارة بمقدار درجة حرارية واحدة، ويعتد على نوعية المادة المستخدمة وان قيمتها ليست ثابتة تماماً ولكنها تتغير بصورة بطيئة مع تغير درجة الحرارة.

العوامل التي يتوقف عليها التمدد الطولي:

١) الطول الأصلي للمادة.

٢) مقدار الارتفاع في درجة حرارة المادة.

٣) نوع المادة. (Srivastava، ٢٠١٣، ٣p)

ب- التمدد السطحي:

هو التغير في مساحة سطح المادة نتيجة التغيير في درجة الحرارة، أما بالنسبة لعامل التمدد السطحي يعرف بأنه مقدار الزيادة في مساحة المادة لوحدة المساحة نتيجة تغير درجة الحرارة بمقدار درجة واحدة.

العوامل التي يتوقف عليها التمدد السطحي:

١) المساحة الأصلية للجسم.

٢) مقدار الارتفاع في درجة حرارة الجسم.

٣) نوع مادة الجسم. (Callister، ٢٠٠٩، ٧٨p)

ج- التمدد الحجمي:

هو التغير في حجم المادة إذا تغيرت درجة الحرارة بطريقتي التمدد الطولي والسطحي كلاما، أما النسبة لعامل التمدد الحجمي هو مقدار الزيادة في حجم المادة الصلبة نتيجة تغير درجة الحرارة بمقدار درجة حرارية واحدة.

العوامل التي يتوقف عليها التمدد الحجمي:

١) الحجم الأصلي للجسم.

٢) مقدار الارتفاع في درجة حرارة الجسم.

٣) نوع مادة الجسم. (Shi، ٢٠١٢، ٧٤p)

ثانياً: الزجاج عالي الحرارة:

إن زجاج الخزف عالي الحرارة أيضاً يختلف في الخواص الكيميائية عن الخزف واطئ الحرارة من حيث التراكيب الكيميائية للمواد الداخلة في تكوين زجاج الخزف عالي الحرارة، التي تنضج بحدود (١٢٥٠مْ)، ولهذا تستعمل القواعد الترابية (Alkaline Earths)، والتي تتكون من الأكاسيد (أوكسيد المغنيسيوم MgO، أوكسيد الكالسيوم CaO، أوكسيد الباريوم BaO)، إذ هذه الأكاسيد القاعدية تتصف بالنشاط الانصهاري في درجات الحرارة العالية، وتتفاوت هذه الأكاسيد الترابية فيما بينها تفاعلياً مع تراكيب التزجيج وبطبيعة تأثيرها على الناتج. فضلاً عن الفلسبارات كمساعدات صهر. (Britt، ٢٠٠٧، p٢١)

ثالثاً: أوكسيد المغنيسيوم **Magnesium Oxide (MgO)**

يستخدم أوكسيد المغنيسيوم غالباً في الزجاج المرتفع الحرارة، وقليلاً في الزجاج الواطئ الحرارة لغرض إنتاج زجاج معتم بسطح وملمس الستان والذي قوام بلوراته ($MgO\ Sio_2$) أو ($MgO.2Sio_2$). (البدري، ٢٠٠٢، ص٨٥) إذ يعد مقاوم صهر في درجات الحرارة الواطئة ولكنه صاهر جيد في درجات الحرارة العالية. إذ له درجة انصهار (٢٨٠٠مْ) لمن تبدأ فاعليته الانصهارية عند درجة حرارة (١١٧٠مْ) وتزداد فاعليته بازدياد درجة الحرارة، وتؤثر في مائعية الزجاج في مدة متقدمة من درجات الحرارة، مما ينتج عنه بقع مرقطة عندما يتحرك السائل الزجاجي بسبب الغليان، ويسبب العتمة في الزجاج في درجات الحرارة الواطئة عند دخولها بنسبة (١٥%) لأنه صاهر معتدل القوة حيث بعضه ينصهر والأغلب منه غير منصهر كحبيبات معتمة تسبب انطفاء الزجاج، ويقلل أوكسيد المغنيسيوم كثيراً من معامل التمدد الحراري، وإضافة نسبة قليلة منه تؤدي إلى قوة وتماسك الزجاج ومقاومته للاجهاد ومن أهم مصادره كاربونات المغنيسيوم ($MgCo_2$) والدولوميات ($CaCo_3.MgCo_3$) والتالك (Britt.2007) .($Mg3Sio_2$، p19)

الفصل الثالث

اجراءات البحث

١. المنهج المستخدم:

تم اعتماد المنهج التجريبي كونه الأكثر ملائمة لتحقيق أهداف البحث، الذي يعد أكثر أنواع البحوث العلمية دقة، إذ يقوم على أساس التجربة العلمية التي تكشف عن العلاقات السببية والتكوينية بين العوامل المتضمنة والمؤثرة فيها.

٢. **المواد المستعملة في البحث:**

أ- الطينة: استخدم الباحث المواد الأولية الأكثر ملائمة للحرق عالي الحرارة (Stoneware) في درجات حرارة (١٣٠٠ مْ)، إذ اختيرت طينة (كاؤولين دويخلة) لملائمتها الحرق في درجات الحرارة العالية، حيث درجة انصهارها بحدود (١٥٠٠ مْ) وكذلك مطاوعتها الجيدة في التشكيل ووفرتها محلياً، وانخفاض نسبة أوكسيد الحديد فيها.

ب- الرمل السليكي **Silica Sand:** استخدم الباحث الرمل السليكي الأبيض المحلي المتوفر في منطقة أرضمة، كونه عالي النقاوة وتنخفض فيه الأكاسيد الملونة، ومرر المسحوق عبر منخل ذو نفاذية (Mesh ٦٠).

٣. الخلطة الطينية المستعملة: اعتمد الباحث الخلطة الطينية في جدول (٣-١) أدناه، بعد إجراء مجموعة من التجارب الاستطلاعية لإنتاج خلطات طينية عدة ذات مواصفات تتحمل درجات الحرارة العالية (١٣٠٠ مْ) وكذلك تمتاز بخصائص جيدة من حيث المطاوعة في التشكيل وقلة المشاكل في مرحلة الجفاف والحرق.

مواد الخلطة	نسبة المواد
كاؤولين دويلخة	٧٠٪
الرمل السليكي الابيض	٣٠٪

٤. تحضير الخلطة الطينية: تم تحضير الطينة بالطريقة اللدنة وذلك بوزن المواد الأولية على وفق النسب الموضحة في الجدول (٣-١)، إذ إضيف الماء إلى الخلطة وتمزج جيداً، وبعد ترسب المواد الأولية يجرى سحب الماء الفائض من أجل التخلص من الأملاح الذائبة والمواد العضوية إن وجدت، ويمرر الرائب الطيني في غربيل قياس (Mesh ٦٠)، ويوضع في احواض ذات أرضية من القماش السميك لترشيح الماء الزائد حتى تصبح الخلطة الطينية قابلة للتشكيل.

٥. تشكيل نماذج البحث: استخدم الباحث ماكنة (Pugmill Clay) في تشكيل النماذج بالطريقة اللدنة، وتنفيذ أشكال متوازي المستطيلات بقياس (١٠×٧,٥×١,٥) منحنية الجوانب ويحتوي على افريز بارز، لغرض

معرفة سلوك الزجاج على السطوح المستوية والبارزة والمنحنية، وجففت النماذج بدرجة حرارة الغرفة، وعلى سطح مستوٍ لتأكد من استواء النماذج بعد الجفاف.

٦. حرق النماذج: احترقت النماذج في فرن كهربائي على وفق برنامج بطئي ولغاية درجة حرارة (١٠٨٠ مْ)، ولذلك لتحقيق صلابة جيدة وإبقاء نسبة جيدة من المسامية من أجل تناسب تطبيق الزجاج وارتباطه.

٧. الخواص الفيزيائية للنماذج المحروقة:

أ. التقلص الطولي: تعد مراحل الانكماش من الخطوات المهمة في صناعة الخزف، فالتقلص غير المنتظم قد يسبب تشوهاً في الجسم الخزفي أثناء التجفيف وأثناء الحرق، ويتم حساب التقلص الطولي كما يأتي:-

- قياس طول الأنموذج الطيني وهو في مرحلة التشكيل
- قياس طول الأنموذج الطيني وهو جاف
- قياس طول الأنموذج الطيني بعد الحرق

ويتم حساب التقلص الطولي بحسب العلاقات الآتية:-

- الانكماش في مرحلة الجفاف $\frac{L-D}{D} \times 100$
- الانكماش بعد الحرق $\frac{L-F}{D} \times 100$

L- طول الأنموذج الطيني في مرحلة التشكيل

D- طول الأنموذج الطيني في مرحلة الجفاف

F- طول الأنموذج الطيني بعد الحرق. (ديكرسون، ١٩٨٦، ص٣٢)

٨. برنامج حرق الزجاج: وضع الباحث برنامج حرق الزجاج حيث كان الحرق من درجة حرارة الغرفة إلى درجة حرارة (١٢٥٠مْ) وتم قياس درجة الحرارة والسيرة عليها من خلال استخدام مقياس حرارة إلكتروني

(Digital Temperature Controller) من نوع (Precision) وباستخدام ثرموكبل نوع S ((Thermocouple Type S.

٩. تراكيب خلطات الزجاج: اعتمد الباحث إضافة كاربونات المغنيسيوم إلى خلطة الزجاج بنسب مختلفة على وفق برنامج الحرق الزجاج وذلك لبيان تأثير معامل التمدد الحراري لكاربونات المغنيسيوم على الطبقة الزجاجية، وكما في الجدول (٣-٢).

الجدول (٣-٢) يبين النسبة المئوية لخلطات الزجاج

خلطة الزجاج		
خلطة الزجاج	فلسبار صودا	كاربونات المغنيسيوم
A	٩٠٪	١٠٪
B	٧٥٪	٢٥٪
C	٥٠٪	٥٠٪

١٠. مركبات تلوين الزجاج: استخدم الباحث أوكسيد سليكات الزركونيوم وصبغات التلوين في تلوين خلطات الزجاج وهي كالاتي:-

- أضيف أوكسيد سليكات الزركونيوم إلى خلطات الزجاج وبنسبة (١٠%) مضافة فوق النسبة المئوية لخلطة الزجاج وليس ضمنها.
- أضيف صبغات التلوين ذات لون (البرتقالي) إلى خلطة الزجاج (C) وبنسبة (١٠%) مضافة فول النسبة المئوية لخلطة الزجاج وليس ضمها.

١١. حساب وحدة الصيغة (**Formula Unites**) لخلطات الزجاج: اعتمد الباحث برنامج حساب وحدة الصيغة إلكتروني (Claze Master) لخلطات الزجاج المعتمدة في البحث، إذ يستعرض في هذا

البرنامج مجموعة من المعلومات الخاصة بكل خلطة زجاج وحساب وحدة الصيغة مع عرض النسب المئوية للأكاسيد الداخلة في تركيب خلطات الزجاج.

١٢. تهيئة وتطبيق خلطات الزجاج: تم تحضير خلطات الزجاج الجدول (٣-٢) بتحديد نسب وزينة وهي (١٠٠%) مضافاً إليها وزن الملون فوق النسبة، وتم تطبيق خلطات الزجاج بواسطة (المرذاذ)، إذ كان كالآتي:-

١- تطبيق خلطات الزجاج الجدول (٣-٢) مضاف إليها أوكسيد سليكات الزركونيوم بسمك (mm٣) تقريباً.

٢- تطبيق الخلطة الزجاج (C) الجدول (٣-٢) مضاف إليها أوكسيد سليكات الزركونيوم وصبغة التلوين ذات اللون البرتقالي بسمك حدود (mm٣).

٣- تطبيق الخلطة (C) الجدول (٣-٢) مضاف إليها أوكسيد سليكات الزركونيوم فوق طبقة أساس كطبقة غطاء (Cover) وبسمك حدود (mm٣).

١٣. ترميز النماذج: اعتمد الباحث في ترميز النماذج كالآتي:-

١- نوع خلطة التزجيج (A، B).

٢- رمز إضافة أوكسيد سليكات الزركونيوم (ZS) ورمز إضافة صيغة التلوين ذات اللون البرتقالي (OS).

الفصل الرابع

النتائج ومناقشتها

١- النتائج:

أ- نتائج التقلص الطولي **Linear Shrinkage:** بعد حساب أطول النماذج الطينية في الحالة اللدنة وفي الحالة الجفاف التام وبعد الحرق (الفخر)، ومن خلال تطبيق المعادلة التقلص الطولي في المدة (٣-٨)، ظهرت لنا النتائج الآتية:-

الجدول (٤-١) يبين نسبة التقلص الطولي في مرحلة الجفاف وبعد الحرق (الفخر)

الأنموذج	نسبة التقلص الطول %
الأنموذج في مرحلة الجفاف	٢٪
الأنموذج المحروق في ١٠٨٠ مْ	٥٪

أ- نتائج حساب وحدة الصيغة **Formula Units**:عند استخدام برنامج حساب وحدة الصيغة إلكتروني (Claze Master) لخلطات الزجاج الموضحة في الجدول (٣-٢)، ظهرت النتائج كما في الجدول (٤-٢) يبين قيم مجاميع الأكاسيد لخلطات الزجاج.

الجدول (٤-٢) يبين قيم الأكاسيد الحامضية والمتعادلة والقاعدية لخلطات الزجاج على وفق برنامج Claze Master

رمز خلطة الزجاج	المجموعة الحامضية RO_2	المجموعة المتعادلة R_2O_3	المجموعة القاعدية $RO.R_2O$
A	٣,٣٥٣	٠,٤٢٥	١
B	٣,٣٠٨	٠,٤٤٣	١
C	٣,٣٥٣	٠,٤٢٥	١
D	٣,٤٤٨	٠,٥٢١	١

ج- نتائج الزجاج اللونية: صورت النماذج المزججة على وفق خلطات الزجاج وبرنامج حرق الزجاج، كما في الشكل (٤-١).

C-SZ 10 B-SZ 10 A-SZ 10

C-OS 10 C B-SZ 10

الشكل (٤-١) يوضح نماذج مجموعة خلطات مضاف إليها أوكسيد سليكات الزركونيوم وصبغات التلوين.

٢- مناقشة النتائج

أ. مناقشة نتائج التقلص الطولي: أظهرت نتائج التقلص الطولي في الجدول (٤-١) إن التقلص الطولي في مرحلة الجفاف كان نسبة (٢%)، وبعد عملية الحرف (الفخر) في درجة حرارة (١٠٨٠مْ) أصبح بنسبة (٥%)، وهذه النسبة تعد قليلة ويعود ذلك إلى إضافة مواد غير لدنة (رمل رضمة) بنسبة (٣٠%) كمادة مالئة (Filler)، راجع الجدول (٣-١)، إذ إن إضافة مواد غير لدنة يؤدي إلى تقليل التقلص الطولي.

ب. مناقشة نتائج حساب وحدة الصيغة لخلطات الزجاج: أظهرت نتائج حساب وحدة الصيغة لخلطات الزجاج في برنامج (Claze Master) كما في الجدول (٤-٢) مجاميع القواعد والحوامض والمتعادل، حيث من خلال نسب السليكا (Sio_2) والالومينا (Al_2O_3) تتحدد درجة الحرارة، نلاحظ أن أغلب خلطة الزجاج ضمن نطاق زجاج عالي الحرارة.

٣- الاستنتاجات:

١. عندما يكون معامل التمدد الحراري لطبقة الزجاجية أكبر من الجسم الفخاري يؤدي إلى حدوث التشقق (Crazing).

٢. وجود كاربونات المغنيسيوم وبنسب مختلفة في الخلطات الزجاج أسهم في زيادة معامل التمدد الحراري لطبقة الزجاجية.

٣. الحصول على تقنية الزجاج المحزز (Lichen Glaze) في الطبقة الزجاجية جاء نتيجة إضافة كاربونات المغنيسيوم إلى خلطات الزجاج وبنسبة (١٠%).

٤. عند زيادة نسبة إضافة كاربونات المغنيسيوم إلى (٢٥%) من خلطة الزجاج أدى إلى حدوث انسحاب (Crawling) في بعض أجزاء الطبقة الزجاجية.

٥. إن إضافة كاربونات المغنيسيوم بنسبة (٥٠%) أدى إلى ان يكون معامل التمدد الحراري لطبقة الزجاجية أكبر من معامل التمدد الحراري لجسن الفخار، ومن ثم الحصول على تقنية التجزع عالي الحرارة (Crazing Glaze).

٦. إن إضافة (٥٠%) من كاربونات المغنيسيوم إلى خلطات الزجاج كانت ذا تأثير واضح من حيث إعطاء أكبر معامل تمدد حراري لطبقة الزجاجية.

المصادر:

١. البدري، علي صالح: التقنيات العلمية لفن لخزف (التزجيج)، ط١، ج٢، جامعة اليرموك، عمان، الأردن، ٢٠٠٢.

٢. ديكرسون، جون: صناعة الخزف، ت:هاشم الهنداوي، ط١، وزارة الثقافة والإعلام، دار الشؤون الثقافية العامة، بغداد، ١٩٨٦.

٣. Britt ،John: **The Complete guide to high-fire glaze** ،Lark Crafts ،New York ، ٢٠٠٧.

٤. Callister ،Williamd: **Materias science and engineering** ،wily & sons ،USA ، ٢٠٠٩.

٥. Richerson ،david w: **Modern ceramic engineering** ،٢ed ،wily & sons ،USA ، ٢٠١١.

٦. Shi ،Feng: **Ceramic materials – progress in modern ceramic** ،intech ،٢٠١٢.

٧. Srivatava ،J.P: **Elements of sold state physics** ،٣ed ،phi learning ،delhi ، ٢٠١٣.