



أثر تخطيط عمليات الحريق وضبط عوامل الحرارة في تجريب التقنيات الخزفية.

* أشرف كمال الدين مصطفى

* الأستاذ المساعد بقسم التعبير المجسم، تخصص الخزف، كلية التربية الفنية، جامعة حلوان..

البريد الإلكتروني: ashrafartbyart@gmail.com

تاريخ المقال:

- تاريخ تسليم البحث الكامل للمجلة: 15 يوليو 2023
- تاريخ القرار الأول لهيئة التحرير: 18 يوليو 2023
- تاريخ تسليم النسخة المنقحة: 21 أغسطس 2023
- تاريخ موافقة هيئة التحرير على النشر: 24 أغسطس 2023

الملخص:

الحريق هو التقنية الأساسية في مجال الخزف، والحريق يعني الحرارة بالمقام الأول خاصة أن التجريب في التقنيات الخزفية والمعالجات الفنية الجمالية للأسطح مرتبط تماماً بتقنيات الحريق عامة ودرجات الحرارة خاصة، وبالتالي الحرارة عنصر هام يتطلب تدريس أثارها المختلفة على الخزف والفخار في التربية الفنية عامة والبحوث العلمية التجريبية خاصة، ويلقى البحث الحالي الضوء على أهمية دراسة وتخطيط واختساب الثوابت والمتغيرات الخاصة بالحرارة في التجريب بشكل أكثر دقة، ومن هنا تتحدد مشكلة البحث في كيفية ضبط عوامل التجريب في تقنيات الخزف من خلال دراسة العلاقة بين سلوكيات الحرارة واثارها على تفاعل الخامات ودور تخطيط عمليات الحريق الهام للوصول الى افضل تسوية للطينات والطلاءات وتقنين دقيق لنتائج التجريب، وتحقيق مصداقية تكرار النتائج، وذلك من خلال دراسة اثار الحرارة وسلوكها على تحول خامات الطينات والطلاءات اثناء عملية الحريق، وقام الباحث بتطبيق تجربة عملية من خامات بسيطة تؤكد على أن درجة الحرارة وحدها ليست عنصراً ثابتاً من عناصر التجريب وأن الاختلاف في كل عنصر من عناصر تخطيط عمليات الحريق يعتبر متغيراً وأن اختلاف موقع رص العمل في غرفة الحريق يؤثر في النتيجة لاختلاف درجة الحرارة، وأن زمن الحريق وتثبيت درجة الحرارة يؤدي الى اختلافات في النتائج ايضاً وأن أدوات القياس الصحيحة وضبطها امر هام في تحليل ورصد نتيجة التجربة، وان حدوث تغير في التجريب بالخامات البسيطة يؤكد بلا شك على حدوث متغيرات في الخامات المركبة والتقنيات المختلفة.

الكلمات المفتاحية: تخطيط عمليات الحريق ، تجريب ، تقنيات الخزف

مقدمة

ارجاع الاختلاف الظاهر الى أثر المتغير التجريبي وحده وليس الى متغيرات أخرى لم تضبط في التجربة وتؤثر في أثر المتغير بالزيادة والنقصان" (العزاوي، 2008، ص:116) وعليه، وبما أن الحريق هو التقنية الأساسية في مجال الخزف والفخار فإنه من المهم لأي باحث أو دارس أو ممارس لفن الخزف أن يعرف دور الحرارة في تغيير حالة الشكل من الحالة الطينية الى الشكل النهائي سواء كان فخارياً أو خزفياً، خاصة أن التجريب في التقنيات والجماليات الناتجة عن تقنيات الحريق للشكل الخزفي المطلوب الوصول اليها لتحقيق القيم الجمالية في الفن والتربية الفنية تحتاج الى درجات حرارة مختلفة في زمن مختلف، واختلاف عمليات الحريق يتوقف على أنواع الطينيات ومحتواها والخامات الاخرى ونوع الحريق إذا كان خاص بالفخار أو خاص بتسوية الطلاء الزجاجي بأنواعه، ونوع الافران وأنواع وقودها واحجامها وكمية الاشكال الخزفية داخل الفرن واحجام القطع الخزفية وسمك جدرانها، وكلما ادرك الخزاف أو الباحث في علوم وفنون الخزف وتكنولوجيا الحريق ودورها واثرها على الخامات كلما استطاع تجنب المشكلات الناتجة عن إجراءات الحريق واصبح قادرا على الدخول في عمليات التجريب والتحليل ورصد الأسباب والنتائج بشكل صحيح والذي يعتمد على ادراك مراحل التجريب وتثبيت عوامل لقياس متغيرات عوامل أخرى من اجل الوصول الى نتائج بحث صحيحة يمكن للآخرين تطبيقها اذا تم ضبط كافة العوامل الأخرى في التجربة، وعليه تعتبر الحرارة جزء مهم من عمليات التجريب وتعتبر في هذه الحالة هي المتغير المستقل في التجربة وتعتبر الخصائص والجماليات الناتجة هي المتغير التابع، "المتغير المستقل هو العامل الذي يريد الباحث قياس مدى تأثيره في الظاهرة المدروسة وعادة ما يعرف باسم المتغير أو العامل التجريبي، والمتغير التابع(مشكلة الدراسة)وهذا المتغير هو نتاج تأثير العامل المستقل في الظاهرة" (المحمودي، 2019، ص:70)، وفي مجال الحرارة كلما كان الباحث أكثر دقة في تحديد عوامل تأثيرها كمتغير مستقل كلما امكن تحديد الأثر الناتج.

مشكلة البحث:

يعتمد الكثير من الباحثين والفنانين أثناء التجريب في تقنيات الخزف على قياس درجة الحرارة فقط باعتبارها العنصر المؤثر على خامات الطينيات والطلاءات دون الالتفات الى زمن تحول الخامة من حالة الى حالة او حجم الفرن او نوعه او كمية الاشكال او حجومها او موقع رص الاشكال التجريبية في غرفة الفرن، وكثيرا

الخزف و الفخار هو المجال الذي لا غنى له عن الطينيات والحريق معا كخامات وتقنيات أساسية، فرغم درجات الحرارة هي أحد اهم العمليات التي تُجرى بأشكال مختلفة في مجال الخزف، حيث لا يمكن ان نتصور أن هناك عمل خزفي بدون التعرض لدرجات الحرارة المرتفعة، فهو الاجراء الوحيد الذي لا بديل عنه، والذي يعمل على تحويل خصائص الخامة من حالة الطين الجاف الهش الى حالة الخزف أو الفخار الصلب، والصلادة تعنى ان الجسم غير قابل للسحب أو الطرق ولكنه قابل للكسر، وتعنى أيضا درجة قابليتها للخدش، وهي درجات تتفاوت بين ضعيف في مقاومة الخدش كحجر التلك أو الجص وبين الأكثر صلادة كالماس، ومن هنا فهذا التغير الضروري في خصائص خامة الطين لتتحول من حالة الى حالة نتيجة تفاعلات كيميائية وفيزيائية لا تتم بدون الحرارة، فهي العامل المحفز المشروط لإتمام عملية التفاعل الكيميائي والتغير الفيزيقي والذي لن يحدث بدونها، حيث أن ارتفاع درجة الحرارة يساعد في زيادة الطاقة الحركية لذرات وجزيئات المواد المختلفة المكونة للطينيات والطلاءات، فتتحول من حالتها الخاملة في درجات الحرارة العادية الى نشطة لتبدأ في التفاعل الكيميائي في صورة ارتباط عناصر المكونات بالعناصر الأخرى، أو تحلل عناصر من ارتباط جزيئاتها ببعض وارتباطها بعناصر أخرى أو تطاير جزيئات عناصر لا تتحمل درجات الحرارة المرتفعة، ويتوقف ذلك على طبيعة نشاط جزيئات كل عنصر في درجات الحرارة المختلفة قبل ان تبدأ في نشاطها أو وصولها لمرحلة تفكك الروابط الكيميائية أو اتحاد الجزيئات التي يتشكل منها عنصر جديد له خواص كيميائية وفيزيائية جديدة، ويتوقف أيضا على الوقت اللازم لاكتمال التفاعل الكيميائي بين العناصر وهو ما يسمى بزمن الحريق ودرجة انصهارها.

وحيث يتميز مجال الخزف بثراء خاماته وتنوع مصادرها التي تجعل الخامة وحدها متغيرة الخواص بناءً على طبيعة البيئة المستخرجة منها، وكذلك تتنوع تركيبات الخامات وتقنيات الحريق، لذلك فهذا الفن مجال خصب للتجريب، والتجريب كمصطلح علمي هو "ملاحظة مقصودة مقيدة بشروط تجعلها تحت مراقبة الباحث واشرافه، فهي تغيير مدبر، أي تغيير يحدثه الباحث عمدا في ظروف الظواهر" (عبد الله، 1998، ص:27)، والتجريب العلمي مرتبط بمجموعة من الشروط للوصول الى افضل نتائج يمكن الاعتماد عليها كحقائق علمية موثقة "إن مسألة ضبط العامل التجريبي وإجراءات التجربة له أهمية كبيرة في البحث التجريبي حتى يمكن

إجراءات البحث:**طبيعة الحرارة في الخزف**

الحرارة هي أحد أشكال الطاقة والتي يمكن أن تتحول من شكل إلى آخر، مثل تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية وتحويل الطاقة الكامنة إلى طاقة حرارية نتيجة التفاعلات الكيميائية، وهناك الكثير من الصور الأخرى لتحويل الطاقة، ونحن ندرك الحرارة من خلال الدرجات وهي تختلف عن كمية الحرارة، فدرجة الحرارة هي مقدار فيزيقي يعبر عن حالة الجسم الحرارية من حيث السخونة والبرودة، أما كمية الحرارة فهي مقدار الطاقة الحرارية التي يكتسبها الجسم من منبع حراري أو يخسرها وتتراكم فيه فيؤدي ذلك إما إلى رفع درجة حرارته أو إلى تغيير حالته من صلب إلى سائل إلى غاز أو بتعبير آخر هي كمية الطاقة التي تنتقل من الجسم الساخن إلى الجسم الأقل سخونة عن طريق التوصيل أو الحمل أو الإشعاع، والخزف هو أحد المجالات التي تعتمد بشكل أساسي على الحرارة في مراحل التسوية والحصول على الخصائص النهائية للشكل من حيث الصلابة والمسامية وطبيعة السطح واللون وعلاقة متغيرات الخامة بالمعالجات الحرارية المختلفة والتي لا يمكن أن تتم بدون افران الحريق، وتتأثر النتائج بناء على درجات الحرارة وكميتها وزمن الوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة أو الثبات فيها ونوع الافران.

أنواع افران الحريق:

الأفران عبارة عن غرف معزولة تستخدم أنواع مختلفة من الطاقة كالوقود الجاف أو الغازي أو السائل أو الكهرباء للوصول إلى درجات حرارة مرتفعة، وقد تنوعت وتطورت أشكال غرف الحريق وأنواعها عبر الحضارات وحتى الآن. " لا أحد يعرف كيف استنتج البشر أن حرارة النار الحقيقية كانت ضرورية لإنتاج الكيمياء في مكونات الجسم الطينية من أجل وضع صلابة واستقرار. 1300 درجة فهرنهايت (700 درجة مئوية) هي درجة حرارة اللهب القابلة للقياس في النار المفتوحة. هذه "الحرارة الحمراء" هي أدنى درجة حرارة يمكن أن تحقق عندها المعادن الموجودة في وعاء طيني الحد الأدنى من المتانة، لكنها تظل هشّة وتتسرب السوائل منها. عندما تعلم الخزافون إحاطة الحرارة، أدركوا كثافة وديمومة أكبر. يمكن تغطية الأواني المكدسة لإطلاق النار بأغصان وطبقة سميكة من الطين في كل مكان لإحاطة النار. ربما كانت "الأفران" الأولى عبارة عن كهوف محفورة بعمق في التلال، وسدها بالحجارة بعد وضع الأواني والخشب بداخلها. ثم تقدمت فكرة الكهف" (Susan 2021, P: 33).

ما يحدث اختلافات في كل تجربة برغم تثبيت عناصر التجريب دون تثبيت باقي العوامل المؤثرة في انتقال الحرارة والحمل الحراري، وعليه يأتي سؤال البحث كالتالي:

كيف يمكن ضبط عوامل التجريب في تقنيات الخزف من خلال دراسة العلاقة بين متغيرات الحرارة واثارها على تفاعل الخامات في تخطيط عمليات الحريق واثامها بالصورة الجيدة.

فرض البحث:

يمكن تخطيط عمليات الحريق وفق احتساب مجمل سلوك التغيرات الحرارية واثارها على تفاعل خامات الطينات والطلاءات يؤدي إلى ضبط عوامل التجريب ودقة تقنين النتائج المطلوبة.

اهداف البحث:

1. تحديد اثار الحرارة ودرجاتها وسلوكها على تحول خامات الطينات والطلاءات اثناء عملية الحريق داخل الفرن.
2. دراسة دور تخطيط ورصد عمليات الحريق في توصيف خطوات التجريب للوصول إلى تقنين دقيق وتحقيق مصداقية تكرار النتائج.

أهمية البحث:

1. تتحدد أهمية البحث الحالي في تدريس متغيرات عامل الحرارة على الخزف والفخار في التربية الفنية عامة والبحوث العلمية التجريبية خاصة.
2. يلقي البحث الحالي الضوء على أهمية دراسة واحتساب الثوابت والمتغيرات في التجريب الحراري بشكل أكثر دقة على معطيات الشكل الخزفي.

حدود البحث:

تتلخص حدود البحث في دراسة أثار عنصر الحرارة وسلوكها على عمليات التجريب في مجال الخزف في افران التجريب الكهربائية الصغيرة، وباستخدام خامة الطين البولكلّي والطلاء الزجاجي الشفاف الجاهز.

منهجية البحث:

الإطار النظري: يتبع الباحث المنهج الوصفي التحليلي في دراسة مفهوم الحرارة وسلوكها واثارها على خامات الفخار والخزف.
الإطار العملي: اتباع المنهج التطبيقي في تثبيت الخامات والتجريب في متغيرات الحرارة من حيث درجة الحرارة وطرق انتقالها وأثر عامل الزمن، كل على حدا.

الحريق مما قد يؤدي الى اختلاف نتائج الحريق، كما أن اختلاف نوع الوقود يؤدي الى اختلاف سرعة تحميل الافران بكمية الحرارة المناسبة لكل نوع من أنواع الحريق وبالتالي زمن الحريق والذي يؤثر في اكتمال عمليات التفاعل الكيميائي للطينات والطلاءات وخواصها النهائية، وهذه الافران تعد افران اختزال لأنها تعتمد على عملية الاشتعال لحرق الوقود والحصول على الحرارة مما يؤدي الى تفاعل نواتج الاحتراق مع عنصر الاكسجين ليتحول الى ثاني أكسيد الكربون، ونظرا لاحتياج عنصر الاكسجين اثناء الحريق ليتفاعل متأثرا بدرجات الحرارة مع الكربون الناتج من احتراق عناصر خامات الاجسام الطينية ليتحد معه ويتطاير في صورة ثاني أكسيد الكربون وبالتالي التقليل من اثاره على السطح وعلى الطلاءات الزجاجية، لذلك يتم بناء الكثير من الافران بشكل يسمح بدخول الاكسجين لتعويض تفاعلات الاحتراق خاصة في مرحلة حريق البسكويت، اما في حريق الطلاءات الزجاجية فإن الجو المختزل يؤدي الى امتصاص الكربون لعنصر الاكسجين الموجود بمركبات اللون ويؤدي الى تكون مركب مختلف في اللون النهائي عما تنتج في الافران المؤكسدة، إلا في حالة ضخ الهواء الى داخل الفرن في مراحل الحريق الاخيرة.

قياس درجات الحرارة:

أنواع الحريق المختلفة تتطلب أن يحدد الخزاف درجة حرارة الافران اثناء الحريق لعدة أسباب، منها تحديد نقطة نهاية عملية التعليل في حريق البسكويت لتسريع عملية الحريق، وعدم تجاوز درجات الحرارة القصوى التي تتحملها أنواع الطينيات التي يستخدمها الفنان، وكذلك درجات الحرارة المناسبة لتسوية تراكيب الطلاءات الزجاجية والتقنيات المختلفة ذات التأثيرات اللونية أو الملمسية المتنوعة، ومن هنا تصبح أدوات قياس درجات الحرارة من الأهمية حتى لا تتعرض الاعمال الخزفية الى تلف أو نتائج غير مرضية خاصة عند تقنين عمليات التجريب، وفي العصور القديمة لم يستطع الخزاف ابتكار أدوات يمكن عن طريقها الاستدلال على درجة حرارة الفرن سوى الخبرة التي يكتسبها لمعرفة ذلك عن طريق التجربة والخطأ حتى يصل الخزاف الى معرفة افضل طريقة للحريق وكمية الوقود والزمن الكافي بناءً على حجم الفرن أو حفرة النار وبالتالي لم يكن في تلك العصور قياس لدرجات الحرارة بل قياس اثر كمية النار والزمن في الوصول الى الحالة الفخارية أو الخزفية المطلوبة، ولم يعثر الباحث على ما يفيد ان الخزافين في العصور القديمة استطاعوا تحديد درجات حرارة الفرن بالضبط، ولكنها في اغلب الظن قامت على أساس الخبرة والتجريب من

وبالرغم من ذلك لازال الخزاف المعاصر يستخدم الأنماط القديمة من الافران لأسباب عدة، منها التأثيرات اللونية والملمسية التي تصنعها في الشكل الخزفي ويرغب فيها الخزاف ومنها ايضا ظروف المكان وخصائص الافران المناسبة واقتصاديات التشغيل، وتنقسم الافران الى عدة أنواع بناء على نوع الطاقة المستخدمة للتسخين، فحديثا تستخدم الطاقة الكهربائية والغاز ومشتقات السوائل البترولية وقديما لم يكن هناك سوى الاخشاب، ومن خلال ذلك تنقسم أنواع الحريق الى نوعين بناء على نوع الوقود وكيفية التحكم فيه، وهو الحريق المؤكسد والحريق المختزل، والحريق المؤكسد هو الحريق الذي يتوفر فيه عنصر الاكسجين داخل الافران وغالبا ما تكون الافران الكهربائية، والحريق المختزل ويعنى اختزال عنصر الاكسجين اثناء عملية الحريق وغالبا ما يكون في افران الوقود التي تعمل بالغاز أو السوائل البترولية أو الاخشاب، برغم وجوب ادخال عنصر الاكسجين في بعض مراحل الحريق، ويختلف بناء شكل الافران الداخلي والخارجي بناء على نوع الطاقة المستخدمة وخبرات الخزافين المختلفين في الحضارات والازمنة المختلفة والتي تسمح بوصول الحريق الى درجات حرارة قصوى مختلفة.

افران الجو المؤكسد:

هي الافران الكهربائية، وتتميز بسهولة التشغيل وهي أفضل الأنواع في التحكم في درجات الحرارة سواء في رفع درجاتها أو تثبيتها لفترة من خلال برمجة نظام التشغيل، كما أن نتائج الحرق في الفرن كهربائي أكثر قابلية للتنبؤ بها وتكرارها، ولكنها ليست الأنسب في بعض تقنيات الحريق مثل الراكو أو الاختزال أو الخزف الملحي إذ أن كل تلك التقنيات تؤثر سلبا على عمر العناصر الكهربائية في الفرن.

افران الجو المختزل:

وتشمل افران الجو المختزل عدة أنواع منها وقود الخشب وافران الوقود الغازي أو السائل حيث "أصبح الوقود السائل والغازي مفضلاً بشكل كبير بين الخزافين المعاصرين. هذا لأنها لا تتطلب تأجيلاً مستمراً ولا تخلق أي بقايا رماد غير محترقة يجب إزالتها بشكل دوري. تشمل هذه الأنواع من الوقود النفط والكيروسين والغاز الطبيعي والبروبان" (ceramicartsnetwork, 25/6/2023)، وكل نوع له اشكال واحجام وتصميمات مختلفة بنيت على أساس خبرات الخزاف وعلومه وتطويره لها، واختلاف الاحجام والتصميمات يؤدي الى اختلاف زمن الحريق ونطاق درجات الحرارة التي يتم الوصول اليها ونظام توزيع الحرارة في داخل غرفة

Orton) أول رئيس لقسم هندسة السيراميك في جامعة ولاية أوهايو ثم انشأ أول مصنع في العالم لصناعة المخاريط والتي لاتزال من اهم أنظمة التحكم في مجال الخزف الحريق أو تركيب خامات الطينات والطلاءات وعلاقتها بدرجات الحرارة" (ortonceramic, 29/6/2023)

والمخاريط البيرومترية صممت على أساس توافر خاصيتين، الأولى هي تركيبها من خامات ينخفض تماسكها مع زيادة درجات حرارة الفرن وكل تركيبة مصممة لتحتمل درجة حرارة مختلفة تبدأ من 590م^{هـ} مخروط رقم (022) الى درجة حرارة 1400 مخروط رقم (14)، وأرقام المخاريط لها دلالات فالأرقام من (1) الى (14) كلما زاد الرقم يشير الى درجة حرارة اعلى، بينما الأرقام من (01) الى (022) تدل على تناقص درجة الحرارة فالرقم (010) يبدو اكبر من (05) ولكن الصفر هنا كالعلامة العشرية كلما زاد الرقم كلما نقصت القيمة، والسبب في ذلك انه عند بداية ابتكار المخاريط صنعت بداية من الرقم (1) ثم عند تطوير المخاريط لتقيس اثر درجات حرارة أكثر تنوعاً فقد تم الاحتفاظ بقيم الأرقام الأولى وازيف اليها ارقام مخاريط درجات الحرارة الأقل مصحوبة بالرقم (0)، وقد تم تركيب مكونات كل مخروط بنسب خامات ليبدأ كل مخروط في الانحناء عندما يصل الى مرحلة انصهار مكوناته في درجة الحرارة المصمم لها. والخاصية الأخرى في تصميم المخروط هي التأثير بالجاذبية الارضية حيث ان الشكل المخروطي عند وضعه فوق قاعدته يكون مائل عن الخط الرأسى القائم بثمانية درجات مما يساعد في انحناءه الى جهة ميله عند انصهاره حتى يمكن ملاحظته عند وضعه في اتجاه موازي لثقب مراقبة غرفة الفرن، كما ان هناك نوع اخر يشبه فكرة المخروط ولكنه على هيئة قضبان صغيرة تعمل على فصل التيار الكهربائي عن الفرن الكهربائي البسيط الذى لا يحتوى على أجهزة تحكم عند الوصول لدرجة الحرارة المطلوبة ويتم تركيبها داخل الفرن بين أجزاء معدنية قابلة للحركة ومتصلة بالتيار الكهربائي وعند وصول القضيب الى حالة الانصهار يسمح للجزء المعدني بالتحرك نتيجة انحناء المخروط وبالتالي فصل التيار عن الفرن.

خلال الزمن المستغرق وكمية وقود الاشعال للوصول للتسوية المطلوبة.

أدوات قياس حرارة افران الخزف:

المخاريط الحرارية (Ceramic Pyro metric Cones)

هي اجسام مصنوعة بدقة من مواد خزفية مركبة من نسب محددة من الطينات والمزججات ومواد مساعدة على الصهر وتشكل على هيئة مخروط هرمي طويل بالنسبة الى قاعدته، وتختلف نسبة تركيب كل منها ليتلاءم انصهار كل تركيبة مع نطاق درجة حرارة معينة لتصبح لينت عند فتحنني كاستجابة لكمية الطاقة الحرارية التي امتصها المخروط ودليل على كمية الحرارة المعتمتة في الأشكال الخزفية الأخرى في نفس الفرن كما في (الصورة رقم 1)، وتثبت المخاريط على قاعدة بنسبة ميل صغيرة داخل الافران تساعد على الانحناء في اتجاه معين حتى لا تضر بأثاث الفرن أو القطع المجاورة، ولكل مخروط رقم مخصص (من رقم 022 الى رقم 14) في مجال الخزف، حيث يشير كل رقم الى نطاق حرارى خاص به، والمقصود بنطاق حراري أن المخروط قد ينصهر في درجة حرارة أقل أو أعلى قليلاً من درجة الحرارة في كامل أجزاء غرفة الفرن، ويتوقف ذلك على زمن الوصول لهذه الدرجة، فكلما كان الوقت سريع كلما احتاج المخروط لدرجة حرارة أعلى مما لو كان الوقت بطئ، وهكذا تصبح كاشفة لمعدل نضج الاشكال أو الطلاءات بناء على اثر الحرارة في تفاعل كيميائى مكونات الخامة وليست درجة الحرارة وحدها.

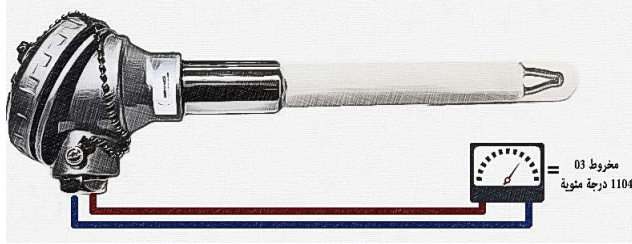


صورة (1)

انصهارالمخروط وفق النطاق الحراري الخاص به

"في عام 1782، ابتكر جوشيا ويدجود (Josiah Wedgwood) خزراً حرارياً متدرجاً بدقة ثم تطور الى الشكل الحديث المعروف بالمخروط البيرومترى بواسطة هيرمان سيجر (Hermann Seger) واستخدم لأول مرة للتحكم في حريق الأواني الخزفية في احد مصانع برلين، وفى عام 1894 عين دكتور ادوارد أورتن (Edward

يفضلون استخدام المخاريط الى جانب تلك الأجهزة نظرا لتوافرها ورخص ثمنها - لا تتوفر كثيرا في مصر- ولكنها تتميز بأنها تشير الى مستوى تأثر الشكل الخزفي بالحرارة وأن تفاعلاتها الكيميائية قد وصلت الى المرحلة المطلوبة وليست قراءة لدرجة الحرارة فقط كما تشير المزدوجة الحرارية، بالإضافة الي أن المزدوجة الحرارية تتغير صحتها لقراءتها لدرجة الحرارة نتيجة كثرة الجهد على منطقة لحام المزدوج بسبب تكرار التمدد والانكماش خلال التسخين والتبريد عدة مرات، وكذلك يتعرض غطاءهم الى التآكل مع مرور الوقت، وبالتالي يتم استخدام المخاريط للتحقق من دقة وحدة التحكم وتكون بديل احتياطي في حالة اعطالها، ويمكن وضع اكثر من مخروط في أماكن متفرقة متاح رؤيتها من ثقب مراقبة غرفة الفرن لمعرفة مدى تناسق توزيع الحرارة، وينصح بعمل سجل يتم فيه رصد الفروق بين درجات الحرارة التي ينصهر عندها المخروط لتكشف مدى الخطأ في قراءة المزدوجة الحرارية مع مرور الوقت واستبدالها اذا تطلب الامر أو تعديل قراءة العداد.

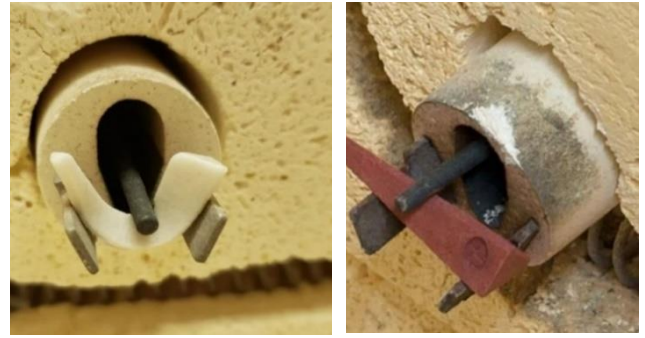


صورة رقم 3

توصيل المزدوجة الحرارية بعدد قراءة درجات الحرارة

سلوك الحرارة في الفرن:

المقصود بسلوك الحرارة هو فعل ورد فعل الحرارة داخل الفرن وكيفية ارتفاع درجاتها وأثر ذلك على بدن الاشكال الفخارية والخزفية والطلاءات الزجاجية، وترجع أهمية دراسة هذا السلوك الى ضرورة ادراك اثر تقنيات الحريق وتجنب أكبر قدر ممكن من أخطاءه التي تؤدي الى تلف الاعمال أو عدم الحصول على النتائج النهائية المرغوبة للشكل الخزفي أو تكرار نفس النتائج، فعملية الحريق هي تشابك مجموعة معقدة من التفاعلات المبنية على أثر تغيرات الحرارة على خامات الشكل وسلوكها تجاه ارتفاع درجات الحرارة من تمدد وانكماش وتحلل روابط واندماج جزيئات أو تبخر أو تطاير لجزيئات أخرى لتغيير الخصائص الى الحالة المطلوبة في الزمن المناسب، وموقع الشكل الخزفي المعرب فيه داخل غرفة الحريق، وهذه التفاعلات لا يمكن التحكم في أطرافها جميعا بشكل تام، ولهذا يظل الحريق محل تجريب خاصة مع تغيير



صورة رقم 2

استخدام المخروط في فصل التيار الكهربائي ميكانيكيا

المزدوجة الحرارية (A thermocouple)

وتعرف بالثيرموكوبل أو اختصارا بـ (TC)، و"هي مستشعر لدرجة الحرارة ويتكون من معدنين مختلفين عبارة عن الألوميل (-) والكروميل (+)، والألوميل سبيكة يميل لونها الى اللون النحاسي وسبيكة الكروميل الى اللون الفضي ويتم لحام المعدنين معًا، ويحدث توليد جهد صغير من الوصلة الملحومة، يتغير هذا الجهد درجة تلو الأخرى حيث يصبح الفرن أكثر سخونة أو برودة، والمزدوجة الحرارية يمكنها استشعار الميللي فولت بواسطة جهاز اخر يترجمها من خلال مؤشر يشير الى ارقام درجات الحرارة أو جهاز ديجيتال حيث يتم تخصيص كل كمية مختلفة من الميللي فولت لدرجة حرارة مختلفة" (hotkilns,2023/6/30)

يتم توصيل المزدوجة الحرارية مع جهاز قراءة درجات الحرارة المتصل بها مع وحدة تحكم أخرى (فصل وتشغيل) تعمل على تغيير معدل ارتفاع الحرارة والدرجة القصوى التي يتم عندها فصل الطاقة عن الفرن سواء كانت طاقة كهربية أو أنظمة نفث الغاز واشتعاله في الافران التي تعمل بالغاز، كما يمكن لأجهزة التحكم تثبيت درجة الحرارة عند درجة حرارة معينة لفترة زمنية معينة لضمان عملية تسوية الطلاءات الزجاجية وضمان تساوى درجات حرارة الفرن في جميع اجزائه، وهناك أجهزة تحكم حديثة تعمل من خلال أجهزة الكمبيوتر يمكنها أيضا التحكم في ابطاء عملية التبريد خاصة في مجال الصناعة، وقد انتشرت أجهزة التحكم في صناعة الافران نظرا لمميزاتها في التحكم في مراحل الحريق حيث يمكن للخزاف تصميم خطة الحريق من خلالها منذ بدء التشغيل حتى نهاية الحريق، وهناك أنواع منها بسيطة تتطلب من الخزاف متابعة كل مرحلة من مراحل الحريق وهناك أنواع أكثر تعقيدا ولكنها اغلى سعرا، وبالرغم من توافر المزدوجة الحرارية وأجهزة التحكم في الافران الخزفية وانتشار استخدامها بين الفنانين ومجالات الصناعة إلا ان كثير من الخزافين لازالوا

الإشعاع

يبدأ الإشعاع عندما تصبح بعض العناصر هي الجزء الأكثر سخونة في الفرن لتبدأ في إشعاع الحرارة منها الى الهواء المحيط والعناصر المجاورة، ومع مرور الوقت ستصبح الأرفف والروافع والجدران والاشكال ساخنة أيضًا ويبدأ كل منها في إشعاع المزيد الحرارة، ولتناسق الحرارة بين أجزاء الفرن وجميع الاشكال من الافضل أن تتعرض جميع أسطح الأدوات لعناصر التسخين، ولو جزئيًا، فإذا تم وضع الاشكال الكبيرة أمام الصغيرة فستعمل على حجز اشعاع عناصر التسخين عن الاشكال الأصغر.

ولضبط سلوك الحرارة في الافران من اجل ثبات أثر المعالجة الحرارية على كل الاعمال الخزفية في الحريق الواحد يوصي مصنعي المخاريط الحرارية بمراعاة رص الفرن بشكل صحيح بحيث تكون كمية الاعمال مناسبة لحجم الفرن فلا تكون قليلة بشكل مبالغ فيه ولا كثيرة بحيث تكون الفراغات غير كافية لحركة الهواء الساخن وتبخّر وتطير جزيئات المواد التي لا تتحمل درجات الحرارة المرتفعة، ولا يجب إسراع معدل الحريق لمنحها الزمن الكافي لخروجها، وكذلك رص الاشكال بحيث تسمح فوهاتها بتحرك الهواء بداخلها، كما يوصى بتوزيع القطع الكبيرة والصغيرة في الأماكن المختلفة لتوزيع قوى الإشعاع الحراري بشكل متوازن، وينصح برص الاعمال بعيدة عن الاسلاك ومصادر الحرارة وبعيدا عن المزدوجة الحرارية بمقدار 2.5 سم على الاقل، ويفضل ترك مسافة بين أرضية الفرن والاعمال بحيث لا ترص فوق أرضية الفرن مباشرة مما يسمح بحركة تيارات الهواء داخل الفرن أو عدم تكديس الاعمال فوق أرضية الفرن خاصة في حالة وجود طبقات من الأرفف وكذلك ترك مسافة كافية بين سقف الفرن من الداخل والاعمال لتساعد في حركة كتل الهواء الساخن، كما ينصح بتثبيت درجات حرارة الفرن عند الدرجة النهائية فترة زمنية تسمح بوصول تلك الدرجة الى كافة أجزاء الفرن والاعمال.

مراحل تحول الطين الى فخار في الحريق

تنقسم مراحل تحول الطين الى فخار كالاتي:

مرحلة التشميع (Candling)

تسمى هذه المرحلة بهذا الاسم لأنه مصطلح يشير إلى أن التسخين يتم بوتيرة بطيئة كما لو كان مصدر الحرارة مجرد شمعة وفي هذه المرحلة يتم تسخين الفرن إلى درجة حرارة أقل بقليل من درجة غليان الماء (100° م) حيث يتم التخلص من أي ماء حر لم يتبخر من العمل في درجات حرارة البيئة خارج الفرن، وفي المصانع يمكن اجراء تلك العملية في افران خاصة بالتجفيف، اما عند عدم

طريقة الحريق ونوع الوقود والزمن والخامات، وتبدأ الحرارة في الارتفاع بدءا من تشغيل الفرن سواء بالكهرباء أو أنواع الوقود كاشتعال الغاز أو الوقود السائل أو الاخشاب، وتنتقل الحرارة من مصدرها الحراري سلك النيكل كروم أو شعلات النار الى أجزاء الفرن ومحتوياته ومنها الى الاجسام الطينية أو الفخارية الباردة او الاقل في درجة حرارتها

"والحرارة طاقة قابلة لانتقال بطرق مختلفة مثل الاشعاع والحمل والتوصيل. ولا يمكن للحرارة ان تنتقل بين جسمين الا في حالة اختلاف درجة حرارتهما." (الفهداوي، بدون تاريخ نشر، ص:3) وعملية الانتقال تتم وفق ما يسمى بسلوك انتقال الحرارة التي استخلصها الباحث كالتالي "الحمل الحراري – التوصيل – الاشعاع" (ortonceramic, 1/7/2023).

الحمل الحراري

الحمل الحراري هو الطريقة الأولى التي تنتقل بها الحرارة في عملية التسخين وتعنى حمل الهواء للحرارة عندما يتم تسخين مصدر الطاقة داخل الفرن حيث أنه يمر عبر عناصر التسخين، سوف يرتفع الهواء الساخن الذي أصبح اقل كثافة ويكون الهواء البارد أثقل فيهب الى الأسفل، وعند حدوث ذلك ستبدأ تيارات الهواء في الدوران وجلب الهواء الساخن إلى الأماكن الأقل في درجة حرارتها في الفرن، ولن تكون درجة الحرارة داخل الفرن في هذه المرحلة المبكرة من إطلاق النار موحدة ما لم يتم تحرك الهواء في الفرن.

التوصيل

التوصيل المقصود به هو انتقال الحرارة عبر مادة صلبة، ومثال ذلك هو انتقال الحرارة من القدر إلى المقبض أو من الجزء المواجه للنار الى الجزء الخلفي من الشكل ومن الخارج الى الداخل، وهذه عملية تنتقل فيها الحرارة ببطء حيث يعتمد انتقال الحرارة على قدرة المادة على نقلها، ويتم تعريف قياس مدى جودة نقل المادة للحرارة بمصطلح يسمى قدرة التوصيل الحراري، وفي الفرن تنتقل الحرارة من مصدرها الى الأجزاء المتصلة ومن الداخل إلى الخارج ولذلك كلما كان عزل الفرن جيد كلما امكن رفع درجة الحرارة بشكل جيد حيث يقل تسربها الى الخارج، والتوصيل هو الآلية الرئيسية لتوزيع درجة الحرارة بشكل موحد في جميع أنحاء الفرن وهذا هو السبب في تثبيت الفرن على درجة حرارة محددة قبل الانتهاء من الحريق فهو أمر فعال للغاية في اتساق حرارة كل الأجزاء وتساوى نضج الاشكال حيث أن هذه العملية تكون بطيئة خاصة إذا كان ارتفاع درجات الحرارة سريعًا مما يؤثر سلبا على إتمام عملية تسوية الاشكال والطلاءات بشكل صحيح وجيد.

تطبيق الطلاء الزجاجي، وتحتاج هذه المرحلة الى وجود عنصر الاكسجين الذي يساعد في تحول الكربون الى أول أكسيد الكربون ثم الى غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يتطاير، ولهذا يتطلب في هذه المرحلة ألا يكون الحريق سريعاً، كما يحتاج الى وجود فتحات للتهوية تساعد في دخول الاكسجين الى داخل الفرن، وفي حالة افران الغاز فإنه يتم ضخ الهواء مع الغاز حتى يتم توفير الاكسجين داخل افران الغاز، حيث أن قلة وجود الاكسجين تجعل عنصر الكربون يبدأ في امتصاص جزيئات الاكسجين من أكسيد الحديد الموجود ضمن مركبات الطينة ليتحول من أكسيد الحديد الأحمر الى أكسيد الحديد الأسود وهو يعتبر مادة صهارة اقوى من الفلسبار تؤدي الى تزجج سطح الفخار وتجعله اكثر ليونة عند تسوية الطلاء الزجاجي مما يتسبب في احداث جيوب من غازات الكربون والكبريت المحتجزة في جدار الفخار، ونتيجة هذا تتشكل نتوءات وبثور في طبقة الطلاء الزجاجي، وتحدث تلك التفاعلات الكيميائية في نطاق درجات الحرارة المختلفة فيحترق الكربون العضوي (يتأكسد) بين (149-316 °م)، ويحترق الكربون غير العضوي من مركبات الطين (يتأكسد) بين (700-900 °م)، ويتأكسد الكبريت بأشكاله المختلفة بين (700-1150 °م)، لذلك يجب تغذية الفرن بالأكسجين خلال نطاقات درجات الحرارة هذه خاصة بين (700-900 °م) ، ويجب أن يستمر الحرق ببطء ولكن بمعدل اسرع من معدل التخلص من الماء الكيميائي (التعليق) خلال هذا النطاق لإعطاء الوقت الكافي للاكسجين لأكسدة كل الكربون غير العضوي والكبريت في الفخار.

(ceramicartsnetwork,1/7/2023)

وفي حالة حريق الفخار كتجهيز لمرحلة الطلاء الزجاجي فيجب الانتباه أن يكون نطاق حرارة حريق الفخار قريب من نطاق تسوية الطلاء الزجاجي والسبب في ذلك هو التأكد من احتراق كل الكربون والمواد الأخرى الموجودة في الطين والتي لا تتحمل النطاق الحراري فتحترق أثناء حريق البسكوييت، لأنه ربما عند تسوية طبقة الطلاء الزجاجي على درجة حرارة أعلى كثيراً من درجة حرارة البسكوييت فمن الممكن أن يحترق المزيد من الكربون في درجات الحرارة الاعلى، مما يتسبب في ظهور بثور في التزجج لن يكون لديها وقت للتخلص من اثرها والتنام طبقة الطلاء الزجاجي.

ملاحظة: يمكن أن تختلف المعدلات الزمنية من فرن الى فرن بحسب الحجم ومن حريق الى اخر بحسب كمية الاعمال وسمك جدرانها

توافر تلك الافران فينصح في الافران ذات أجهزة التحكم أن يتم التعليق ببطء وفتح منافذ تهوية الفرن للسماح بخروج بخار الماء، وترجع اهمية هذه العملية الى تجنب شروخ أو انفصال مناطق التنام أجزاء الشكل أو اللاتواء نتيجة تبخر الماء بشكل غير متساوي من بين صفائح الطين في جدار الاشكال حيث أنه في هذه المرحلة يحدث انكماش جزئي للطينة نتيجة فقدان جزيئات الماء الحر أو ما يسمى بالماء الميكانيكي، ويتوقف زمن تلك المرحلة على كمية الاشكال داخل الفرن وحجمها وسمك جدار الاشكال ومدى جفافها.

حريق البسكوييت (Bisque firing)

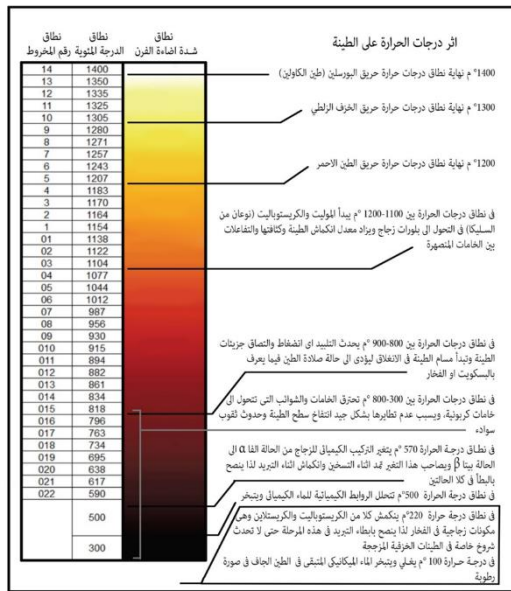
يبدأ حريق البسكوييت بمرحلة التعليق هي مرحلة هامة من مراحل الحريق تعتمد على بطء معدل ارتفاع درجات الحرارة حتى نطاق درجات حرارة يصل الى حوالي (500 °م)، ولا تتوقف أسباب عملية التعليق على تبخير الماء الكيميائي فقط بل لعدة أسباب أخرى منها تطاير جزيئات الخامات العضوية وغير العضوية التي لا تتحمل درجات الحرارة المرتفعة وأيضا تحولات جزيئات السليكا التي تدخل ضمن عناصر مكونات الطينيات، ولكن يبقى التخلص من الماء الكيميائي هو اهم تلك المتغيرات إذ انه التغير الفيزيقي الذي لا يسمح بعودة الطين لخاصية التحلل مرة أخرى بسهولة عند تعرضها للماء، والماء الكيميائي يرتبط بكل من الالومينا والسليكا وهي المكونات الأساسية لخامة الطين في صورة كل جزيئين من الماء مرتبطين بجزيء من الالومينا وجزيئين من السليكا، فحتى بعد تبخر الماء الحر يبقى الماء الميكانيكي نتيجة هذا الارتباط، فبعد زوال الماء الحر يبقى الطين محتويًا على الماء الكيميائي بحوالي 14% من الوزن، ويبدأ تحلل الروابط الكيميائية وتبخر الماء بين نطاقي درجتي الحرارة (350-500 °م) تقريبا، وحتى تحدث هذه العملية بشكل سليم فلا بد من الوصول الى درجة الحرارة في معدل زمني بطيء فالتسخين السريع يُنتج كم كبير من بخار الماء الكيميائي في وقت قصير لا يستطيع جسم الطينة التخلص منه بنفس سرعة التسخين عن طريق تبخره من بين مسام الجسم، مما يؤدي الى انفجار أجزاء من الاشكال، كما ترجع أهمية التعليق الى سلوك انتقال الحرارة في الفرن وبين طبقات جدار الطينة وفي أجزاء الفرن المختلفة. (bigceramicstore, 1/7/2023)

في حريق البسكوييت بشكل عام يتم أيضا احتراق الكربون والكبريت ويجب التخلص منهم بشكل صحيح لتجنب مشاكل في الشكل الفخاري كالانتفاخ والحفر السوداء وتآكل أجزاء من سطح الفخار، وبعض هذه العيوب تحدث في الفخار وقد تظهر عند

عضوية، والوضع داخل الوعاء والفرن، وسماكة الجدار، ودرجة الحرارة التي يتم الوصول إليها أثناء الحرق، وظروف الأكسدة والاختزال، كل هذه العوامل تلعب دور يختلف من حريق الى آخر، لهذا السبب فهو من المستحيل تطوير مخطط تعليل أحادي الطور يمكن استخدامه في جميع الظروف، ويجب التمييز بين التركيبات الكربونية وغير الكربونية، وبين الجيرية (أي الغنية بالكالسيوم) وغير الجيرية فالمواد الطينية الغنية بالكربونات لديها درجة حرارة تصلب أقل من 800°م من المواد الطينية الفقيرة بالكربونات، لأن الكالسيوم والمغنيسيوم يعملان كصواهر" (Elisabetta,2020, P:5).

أثر الحرارة في متغيرات حريق الطلاء الزجاجي:

يختلف اثر الحرارة على الطلاء الزجاجي عن أثرها على الطينيات برغم تشابه بعض المكونات، فكلهما يحتوى ضمن مركباته على السليكا والالومينا ولكن ينشأ الاختلاف نتيجة وجود عناصر أخرى كالمواد المساعدة على الانصهار واكاسيد التلوين، واختلاف نسب عناصر التركيبة في كل طلاء، والطلاء الزجاجي بشكل عام هو طبقة الزجاج التي تغطي سطح الشكل الخزفي، ويتكون من ثلاث عناصر أساسية وهي مواد التزجيج (السليكا أو الكوارتز) ومواد رابطة (الألومينا)، ومواد مساعدة على الانصهار، ويتوقف التزجيج المثالي على دور التفاعلات والتراكيب الكيميائية،

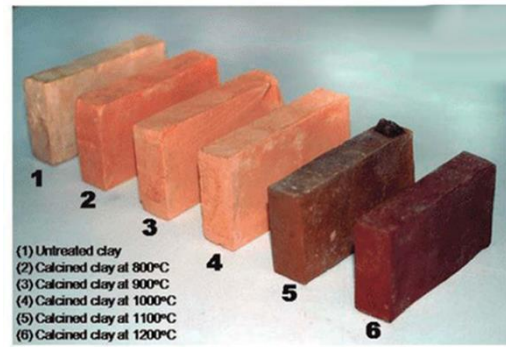


جدول رقم 1

يوضح الآثار المختلفة لنطاقات درجات الحرارة على بعض خامات الخزف

(بتصرف: Dimsdal,1989, P:93)

التغيير الاخر الذي يحدث أثناء عملية الحريق هو تغير السليكا، والذي يحدث عند نطاق 573°م حيث تبدأ بلورات السليكا إعادة ترتيب نفسها بشكل مختلف قليلاً، فتحدث زيادة طفيفة ومؤقتة في الحجم في هذه المرحلة، ويجب ايضا أن يستمر معدل ارتفاع درجات الحرارة ببطيء أثناء تحولات جزيئات السليكا، ويحدث الانكماش في ذرات السليكا بنسبة اكبر من التمدد الذي حدث اثناء التسخين في مرحلة التبريد ويرجع ذلك إلى تناقص حجم الجسيمات مع اقترابها من الاندماج وإلى الترتيب الأقرب للجسيمات في مصفوفة زجاجية، وهذا التفاعل الكيميائي هو ما يساعد على تصلب وصلابة الفخار وينتج عن اندماج التزجيج وذوبان المكونات المختلفة للطين، بسبب تكون نمو بلوري جديد داخل جسم الطين، وخاصة نمو بلورات الموليت وهو عبارة عن سليكات ألومنيوم تتميز بكريستال طويل يشبه الإبرة تربط جزيئات الشكل معاً مما يمنحه التماسك والقوة، وتزداد صلابة الشكل كلما اقترب نطاق درجة حرارة الحريق إلى اقصى درجة حرارة يتحملها نوع الطين المستخدم، حيث يتزجج الطين في درجات حرارة مختلفة بحسب تكوين كل نوع، فيتحول الطين الأحمر الغني بالحديد والشوائب الأخرى إلى الصلابة عند حوالي 1100°م ويذوب إلى سائل عند 1250°م، اما جسم الكاولين الخالي جداً من الشوائب فقد لا يذوب حتى تصل درجة الحرارة إلى نطاق 1800°م، ومن الجدير بالذكر أن أثر الحرارة في حريق البسكوت قد يختلف عند استخدام طينات مختلفة أو مركبة من أكثر من نوع من الطينة أو عند إضافة خامات لتغيير خواص الطينة كعناصر التزجيج أو مساعدات الصهر أو خامات أخرى غير طينية.



صورة رقم (4)

أثر درجات الحرارة على نفس نوع الطينة في

درجات حرارة (من 800°م إلى 1200°م) (Rios 17\8\2023)

"الجزيئات والتركيب المعدني والكيميائي من كل من الصخور الحجرية والتفاعل المحتمل، ووجود شوائب بلاستيكية ومواد

التفاعل الكيميائي وأثره المطلوب من تغيير خصائص الخامة لا يحدث فور توافر شروط عملية التفاعل من نطاق الحرارة فقط، بل تتطلب عمليات التفاعل بعض الوقت لاكتمال عملية التفاعل والتغير في الخصائص بالشكل الصحيح، لذلك فعنصر الزمن يدخل في علاقة مع عناصر أخرى في عملية تسوية الطلاء الزجاجي وهي

حجم الفرن وكثافة رص الاعمال أو إذا كانت تحرق في الساجار(نوع من اثاث الفرن عبارة عن حاويات فخارية تحرق بداخلها الاشكال) وهذا يتطلب حريق ابطأ وتثبيت درجة حرارة الفرن لفترة أطول عند الوصول الى درجة الحرارة النهائية لإعطاء الوقت الكافي لإتمام التفاعل.

سمك طبقة الطلاء الزجاجي تحتاج ابطاء سرعة الحريق الى حد ما وتثبيت درجات الحرارة عند الوصول الى الدرجة النهائية المتوافقة من نوع وتركيبه الطلاء الزجاجي، فعملية تحول جزيئات السليكا والعناصر الأخرى من جزيئات صلبة الى سائلة تشبه تحول مكعب الثلج من حالة الصلابة الى حالة السيولة، كلما كان حجم الثلج أكبر كلما تطلب وقت أطول للانصهار في نفس درجة الحرارة.

حجم حبيبات خامات تركيبه الطلاء الزجاجي يتغير تأثره بالحرارة، فحجم جزيئات السليكا والعناصر الأخرى الدقيق منها يبدأ في الانصهار أولاً، وكذلك عندما تتفاعل مجموعات من الجسيمات المختلفة معاً فكلما كانت الأنواع والأحجام مختلفة كانت أكثر تعقيداً في تفاعلاتها، فإن ديناميكتهم في التفاعل المتغيرة يمكن أن تسرع أو تبطئ من انصهارها أو التأثير فيما تتفاعل معه من العناصر الكيميائية الأخرى، وعندما يتوفر الوقت الكافي فإن الكتلة تذوب بأكملها، ونظراً لأن الجسيمات مختلفة الحجم تنصهر في زمن مختلف فيحدث نوع من توتر التفاعل الكيميائي وبالتالي مستوى اللزوجة ولكن مع مرور الوقت يزداد تجانس اللزوجة والانصهار.

التبريد يدخل ضمن الجدول الزمني للحريق، فالتبريد السريع يؤدي الى ظهور بلورات الزجاج مما يعمل على ظهور سطح مطفأ أو اقل شفافية، فعند معدل تبريد سريع قد يصبح الطلاء الزجاجي غير لامع نتيجة أن البلورات المتكونة في طبقة الزجاج تعمل على حدوث انكسارات ضوئية بينما نفس الطلاء الزجاجي في معدل تبريد بطيء يصبح الطلاء لامع بشكل أكثر، كما أن هناك تقنيات خاصة بالطلاءات الزجاجية تحدث في مرحلة التبريد وترتبط بدرجات الحرارة كتقنيات البريق المعدني والراكو والخزف الملحي.

ودرجة الحرارة التي يتم فيها حرق التزجيج، والوقت اللازم لتكتمل عملية التفاعل الكيميائي وينصهر فيه التزجيج بالكامل، وتتخلص عوامل واثار الحرارة على خامات الطلاءات الزجاجية كما يلي:

تؤثر المواد المساعدة على الانصهار في صهر السليكا لتتحول الى سطح زجاجي في درجات حرارة أقل من درجة انصهارها منفردة والتي تصل بدون مساعدات الصهر الى حوالي 1710م[°] وهي درجة لا تتحملها الطينات ولا تتحملها افران الخزف، وتؤثر المواد المساعدة على الانصهار وتتأثر في حالة التفاعل الكيميائي حيث انها أي - المواد المساعدة تنصهر منفردة في درجات حرارة اعلى، فلا يتوقف تأثيرها في مواد التزجيج فقط بل ينعكس على نفسها، فكربونات الباريوم تنصهر في درجة حرارة 1450م[°] بينما تنصهر بسهولة في حالة وجودها في تركيبه الطلاء الزجاجي كما يحدث ذلك لكربونات الكالسيوم والماغنسيوم، وكذلك يتغير نطاق حرارة الانصهار بحسب نسبة المواد المساعدة على الانصهار في التركيبة فكلما زادت كلما تطلبت نطاق درجات حرارة اقل للانصهار وكلما قلت تطلبت نطاق درجات حرارة اعلى

أثر الحرارة في خواص الخامة والشكل:

يحتوي نطاق درجات الحرارة المتوسطة إمكانية الحصول على ألوان الطلاءات الزجاجية ودرجاتها أكثر ثراء عن إمكانية ذلك في نطاق الحرارة الأعلى، إذ ان بعض الملونات لا تتحمل درجات الحرارة المرتفعة، وتتميز الطلاءات متوسطة الحريق في الغالب بدرجة لمعان أفضل نتيجة زيادة نسبة المواد المساعدة على الانصهار بينما تتميز الأعلى بمتانة افضل، وترتبط أيضا خواص الشكل الفخاري بالنطاق الحراري الذي تم تسويته فيه، فكلما كان الحريق منخفض كلما كان الشكل أكثر مسامية، ونتيجة زيادة تلك المسامية يمكن أن تظهر ألوان التزجيج منخفضة الحريق مختلفة إلى حد ما عما اذا قلت نسبة المواد المساعدة على الانصهار وزادت درجات حرارة التسوية، وتتدرج صلابة الاشكال الخزفية كلما كان نطاق حرارة تسويتها اعلى لتصبح في أقوى حالاتها وأكثرها ديمومة نتيجة متغيرات التفاعلات الكيميائية واثارها على الخواص، ففي حالة الطلاءات الزجاجية المنخفضة جدا يتم حرق الفخار في درجة حرارة اعلى مما يحرق فيه الطلاء حتى يتم التخلص من أكبر كمية ممكنة من الكربونات والكبريتات في جسم الطينة وبفارق نطاق مخروطين حراريين لتجنب تأثير تطايرها على طبقة الطلاء الزجاجي اثناء التسوية

الزمن:

لو كان الحريق في وجود عنصر الاكسجين، ومن الأمثلة الجيدة على ذلك النحاس الذي ينتج اللون الأحمر (نحاس غير مؤكسد) في حريق الاختزال، وينتج اللون الأخضر (نحاس مؤكسد) في حريق يتوفر فيه وجود الأكسجين، و"الحديد الذي يصبح تدفقاً قوياً وينتج نطاقاً واسعاً من درجات اللون البني المكثف واللون الاخضر (السيلادون)، ونظراً لأن جميع الطينيات الطبيعية تقريباً تحتوي على نسب مختلفة من الحديد، فإن جو الاختزال يعطي عادة تأثيرات سطح طينية مختلفة تمامًا عن حريق جو الأكسجين" (digitalfire, 1/7/2023).



صورة رقم (5)

تطابق لون البريق المعدني في الاختزال نتيجة اقتراب الاشكال في الفرن
من مصدر الالهب (cherricopottery 17/8/2023)

وعملياً الاختزال لا ترتبط بعنصر الاكسجين وعنصر الكربون الذي يختزله من مركباته فقط، ولكن تعتمد على درجة الحرارة المناسبة لإجراء تلك التقنية، لذا ففي حالة التسوية في افران غير الافران الكهربائية يحتاج الخزاف الى ضخ الهواء الى جانب الغاز المشتعل حتى تصل الى درجة الحرارة اللازمة لتسوية مركب الطلاء الزجاجي، ثم تبدأ عملية الاختزال بمنع تدفق الهواء المحمل بالأكسجين وتوفير عنصر الكربون في جو الفرن أثناء عملية التبريد وفي نطاق حراري يسبق نطاق تصلب الزجاج حيث أن تصلبه يمنع التفاعل الكيميائي بين الكربون الذي يمتص الاكسجين من عنصر التلوين في الطلاء الزجاجي وذلك في نطاق المخروط (017) حوالي 763°م، ويعد هذا النطاق هو افضل نطاق حيث أنه إذا تمت عملية الاختزال في درجات حرارة اعلى فمن الممكن أن يتسرب الاكسجين الى داخل الفرن مرة أخرى قبل تصلب الزجاج

ومن الجدير بالذكر أن عنصر الالومينا في تركيبة الطلاء الزجاجي يساعد في نقطتين أولهم وظيفته الأساسية وهي جعل الطلاء الزجاجي ذو لزوجة اعلى مما يمنع من انزلاقه على جسم الشكل الخزفي، وثانيهما والذي يرتبط بالحرارة انه يساعد على تسخين جزيئات الزجاج المحيطة به في تركيبة الطلاء الزجاجي، وغالباً ما تستخدم الطينة لاحتوائها على الالومينا كجزيئات شديدة النعومة بدلا من إضافة الالومينا كمادة خام.

أثر الحرارة في تقنيات الحريق غير الاعتيادي:

ينتشر في مجال الخزف عدد من التقنيات الخاصة ليحصل الفنان على تأثيرات لونية ومللمسية جميلة ويتوصل اليها من خلال التجريب في تراكيب الخامات أو تقنيات الحريق، أو كلاهما معا، وارتبطت هذه التقنيات بالحريق سواء كان نوع الافران أو درجات الحرارة بشكل رئيسي والتي لو لم تجري بالشكل الصحيح ما أدت الى النتيجة المطلوبة لفرط حساسية النتائج للتركيبات الكيميائية وتفاعلها في كل نطاق حراري، ومن أكثر تلك التقنيات التي تجذب الفنان والباحث الى التجريب فيها هي طلاء الحريق الواحد والبريق المعدني والسيلادون والراكو والطلاء الزجاجي الكريستالي والملحي، ولكل منها تراكيبها الكيميائية والتي يتم التفاعل والوصول الى النتائج المرجوة في نطاق حراري خاص بكل منها، ومن أمثلة التقنيات غير الاعتيادية التي ترتبط بضبط معدلات الحريق:

- طلاء الحريق الواحد ويسمى (Single fire glazing) وهو ايسر التقنيات غير المعتادة ويتم بتطبيق الطلاء الزجاجي على الطينة قبل الجفاف، وعليه يتم حرقه بنفس تخطيط رفع درجات حرارة حريق البسكويت لتجنب أكبر قدر ممكن من عيوب الطلاء الزجاجي التي تحدث نتاج تطاير الكربونات والكبريتات "في حالة الطلاءات الزجاجية الخضراء - التي يتم تطبيقها على الطينة قبل حريق البسكويت فإن المرحلة المبدئية للحريق يتم التحكم فيها كما لو كانت حريق بسكويت، ويجب تسخين الفرن مع فتح منفذ التهوية، وعند الوصول لنطاق حرارة تسوية الطلاء يتم التبريد باتباع طريقة تبريد الطلاء الزجاجي" (Taylor, 1986, P: 162)
- حريق الاختزال (Reduction Firing) وهو حريق يقصد منه اختزال (امتصاص) عنصر الاكسجين من العنصر الكيميائي المسبب للون في تركيبة الطلاء الزجاجي ويهدف الى الحصول على درجات لونية للطلاء الزجاجي ذات بريق معدني ومختلفة عما

في النتائج بين ظهور البلورات بشكل صغير جدا لا يرى بالعين المجردة أو متوسطة أو كبيرة أو درجات الالوان.



صورة رقم (6)

صورة توضح الفرق بين ظهور التأثير الكريستالي للطلاء الزجاجي في الشكل الأيمن وعدم ظهوره في الشكل الأيسر نتيجة سرعة

التبريد (digitalfire 17/8/2023)

الطلاء الزجاجي الملحي (Salt glaze) هي أحد تقنيات الطلاء الزجاجي التي تعتمد على التفاعل الكيميائي في درجات حرارة محددة، والتي تتم على الفخار حيث يحدث طلاء الملح على الجسم غير المزجج عن طريق تفاعل الملح العادي مع مكونات الجسم الطينية، وخاصة السليكا في نهاية الاحتراق، ويجب أن يكون الجسم الفخاري أكثر ثراءً بالسليكا، ويمكن أن تساعد شوائب الحديد في إنتاج طلاء ملحي جيد ويمكن أيضا استخدام جو الاختزال لأن سليكات الحديد المختزلة تعد أحد الصواهر الفعالة، ويتم إدخال خليط من كلوريد الصوديوم والماء في الفرن عند الوصول إلى درجة الحرارة المناسبة، عادة في نطاق 900°م، وعندما يصل الفرن إلى درجات حرارة إلى نطاق يتراوح بين 1100-1200°م درجة مئوية، يتبخر كلوريد الصوديوم ويتفاعل مع البخار لتكوين كلوريد الهيدروجين والصودا وتتفاعل هذه الأبخرة مع السليكا في الجسم والمكونات الأخرى فيتكون طلاء زجاجي يحتوي على نسبة عالية من الألومينا ومحتوى منخفض نسبياً من السليكا، ويمكن تحسين طلاء الملح بإضافة البوراكس وأحياناً نترات الصوديوم إلى خليط الملح، ويمكن أيضا خلط أكاسيد التلوين في خليط الملح لإعطاء تأثيرات لونية.

التجربة العملية:

قام الباحث بالتجريب في أثر الحرارة على الطلاء الزجاجي الشفاف الجاهز الصنع من خلال تثبيت عناصر التجربة من 6 بلاطات 5x5 سم من طينة (بولكلى) حرقت الحريق الأول في 900°م في نفس الوقت ونفس الفرن ونفس المكان في غرفة الفرن، وكانت تركيبة

وتوقف التفاعل ليعود اللون الى طبيعته المؤكسدة، وتعود بعض اختلافات درجات الألوان في الاختزال الى كمية الكربون ودرجة الحرارة التي بدأ وتم فيها الاختزال، فمن الممكن أن يحدث تغيرات نتيجة تأثر بعض الأجزاء دون أجزاء أخرى إذا كانت كمية الكربون قليلة أو تمت العملية في درجة حرارة تقترب من نطاق تصلب الزجاج أو تسرب الأكسجين قبل التصلب، كما يؤدي زمن التبريد البطيء الى ظهور الكريستالات في زجاج الطلاء مما يؤدي الى تقليل شدة بريق الطلاء أو العكس، وايضا وجود عنصر الحديد في جسم الطينة والذي يتحول الى درجة سيولة اعلى في حالة الاختزال الى ظهور بقع لونية أو درجات باللون الأسود.

– الراكو (Raku) وهو تقنية تعتمد على اخراج الاشكال الخزفية ذات الحريق المتوسط من الافران في درجة حرارة تتراوح غالبا بين (900°م - 1000°م) وتعرضها لخامات عضوية بتقنيات مختلفة ينتج عنها الاحتراق والكربون الذي يتفاعل مع الطلاء أو الجسم ليغير في جمالياته، وتتم تلك العملية في هذا النطاق الحراري لأن التدفق الحراري بين فروق درجة حرارة العمل الفني ودرجة حرارة الجو العادية يؤدي الى فقدان الشكل للحرارة بسرعة شديدة تؤثر على حدوث التفاعل الكيميائي بين عناصر الملونات في الطلاء الزجاجي أو الجسم الفخاري والكربون الناتج من احتراق المواد العضوية، ويلاحظ أن اختلاف درجة الحرارة بين (50 الى 70) درجة مئوية عند بداية اجراء التجربة قد يحدث تباين ملحوظ في التأثيرات اللونية.

– الطلاء الزجاجي البلوري (Crystalline glazes) وهو نوع من الطلاء الزجاجي الذي تظهر فيه بقع لونية اشعاعية في الطلاء الزجاجي تتنوع مساحاتها بحسب التقنية والخامات، وأطلق عليه ذلك الاسم حيث تتكون بلورات في طبقة الطلاء الزجاجي ناتجة عن التحكم في عمليات التبريد، ويتطلب إظهار تلك التأثيرات التحكم في درجات الحرارة التي تزيد عن درجة انصهار الطلاء الزجاجي في وجود الزنك والسليكا والفريت وغياب عنصر الالومينا ليسمح بزيادة سيولة الطلاء وتبدأ بقع البلورات في التزايد والتمدد عند التثبيت في مرحلة التبريد في نطاق درجات حرارة تختلف باختلاف تركيبات الطلاء، حيث أن البطء في التبريد يساعد في ظهور البلورات وعملية التثبيت أثناء التبريد تعمل على اتساع حجم البلورات، وتعتمد هذه التقنية بشكل رئيسي على تركيبة الطلاء الزجاجي وتخطيط عمليات الحريق والتبريد والتي تؤثر بقوة



شكل رقم 1

تجريب الباحث في آثار المختلفة لدرجات الحرارة



الزمن	مئوية
تخطيط ورصد الزمن في النتائج	م ⁵⁵⁰⁻⁰
تخطيط ورصد الزمن في النتائج	تثبيت
تخطيط ورصد الزمن في النتائج	م ⁹⁵⁰
تخطيط ورصد الزمن في النتائج	تثبيت
ملاحظة ورصد عدد الساعات	تبريد
مثل نوع الفرن، موضع العمل في الفرن، حجم الفرن، نسبة شغل الاعمال لفرغ غرفة الحريق	ملاحظات

جدول رقم (2)

نموذج لتخطيط عمليات الحريق ورصد عوامل الحرارة في التجريب لتحديد الثوابت والمتغيرات

الطلاء الزجاجي واحدة (طلاء زجاجي جاهز مستورد مضاف اليه 7% من كبريتات النحاس) في نفس الفرن (فرن تجارب مقاسه الداخلي 18 X30 بارترافع 18 سم) وكانت نتائج الطلاء الزجاجي كالاتي:

أولاً: البلاطة (2,1) تم تسوية الطلاء في درجة حرارة 950م مع تثبيت درجة الحرارة النهائية لمدة 15 دقيقة وكان المتغير الوحيد هو موقع البلاطة في الفرن اثناء التسوية ولوحظ ان البلاطة (2) الموضوعة بالقرب من أرضية الفرن الداخلية اكتسبت لون أغمق من الأخرى رقم (1) ويفسر الباحث ذلك بأن البلاطة الملاصقة للحمل لأرضية الفرن اكتسبت المزيد من الحرارة عن طريق خاصية الحمل الحراري وبالتوصيل لتلامسها مع أرضية الفرن الملاصقة للجدار الحامل للسلك الحراري بخلاف الأخرى الموضوعة فوق رف يفصل من خلال روافع وبالتالي تأثرت درجات اللون الناتج مما يعني اختلاف في التفاعل الكيميائي للطلاء بسبب متغير طريقة انتقال الحرارة.

ثانياً: البلاطة (6,5) نفس التجربة السابقة باختلاف عدم تثبيت درجة الحرارة واطفاء الفرن بمجرد الوصول الى درجة الحرارة 950م ولوحظ آثار خفيفة لعدم اكتمال تسوية الطلاء الزجاجي في القطعة رقم (5) الموضوعة في منتصف الفرن بشكل يزيد قليلا عن القطعة رقم (6) الموضوعة بقرب أرضية الفرن، وهذه التجربة تختلف عن الأولى في أنه وبرغم تثبيت درجة الحرارة في التجربة الأولى والتي أدت الى تسوية الطلاء الزجاجي عن التجربة الثانية إلا أن خاصية التوصيل الحراري لازالت تؤدي الى اختلافات بسيطة ومن المتوقع اختلاف نتائجها مع اختلاف تراكيب الطلاءات من عناصر أخرى أو من تغيير نسب التراكيب.

ثالثاً: البلاطة (4,3) نفس التجريبتين السابقتين باختلاف رفع درجة الحرارة الى درجة 1050م بدون تثبيت درجة الحرارة ولوحظ تطاير أكسيد اللون من البلاطة رقم (4) الموضوعة في منتصف الفرن مع بقاء أثر ضعيف للاخضرار عن البلاطة رقم (4) الموضوعة بالقرب من أرضية الفرن، في التجربة الثالثة اثبتت نفس النتائج السابقة من حيث خاصية التوصيل الحراري بالإضافة الى أثر فرق ارتفاع درجات الحرارة في تطاير الاكسيد الملون.

ويخلص الباحث من تلك التجربة أن تغير عناصر موقع العمل في داخل حجرة الفرن وتثبيت درجة الحرارة لفترة زمنية واختلاف درجات حرارة التسوية تؤدي الى اختلاف واضح في نتائج التجربة، مما يؤكد أن كل اختلاف في كل عنصر من عناصر تخطيط عمليات الحريق يعتبر متغير يؤدي الى اختلاف النتيجة.

4. عبد الله، مجدي احمد محمد (1998) "علم النفس التجريبي بين النظرية والتطبيق" دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.

ثانياً: الكتب الاجنبية

5. Elisabetta Gliozzo: Ceramic technology, Archaeological and Anthropological Sciences, Germany, 2020.
6. W.S Taylor: Pottery and Ceramics, Thames and Hudson, London, Reprinted 1986.
7. Susan Peterson (August 21) "Working with clay" second edition, Laurence King Publishing.
8. Dimsdal.A: Pottery science materiaps process and products , elis harwood, ltd, uk 1989.P.93

ثالثاً: المواقع الالكترونية

9. <https://ceramicartsnetwork.org/daily/article/an-introduction-to-fuel-burning-kilns/> (25/6/2023)
10. <https://www.ortonceramic.com/pyrometric-cones> (29/6/2023)
11. <https://hotkilns.com/support/pottery-kiln-knowledgebase/what-thermocouple-tc-and-how-does-it-work> (30/6/2023)
12. <https://www.ortonceramic.com/post/how-does-heat-transfer-affect-temperature-uniformity-in-kilns> (1/7/2023)
13. https://bigceramicstore.com/pages/info-ceramics-tips-tip31_clay_drying_firing (1/7/2023)
14. <https://ceramicartsnetwork.org/ceramic-recipes/reference/an-oxidized-bisque-firing#/> (1/7/2023)
15. <https://digitalfire.com/glossary/reduction+firing> (1/7/2023)
16. Rios, Carlos Alberto, Effect of firing temperature on the colour and shrinkage of the clay. | Download Scientific Diagram (researchgate.net) (17/8/2023)
17. <https://www.cherricopottery.com/tag/kiln/page/4/> (17/8/2023)
18. <https://digitalfire.com/glossary/crystalline+glazes> (17/8/2023)

النتائج:

1. تم التوصل الى (جدول) كنموذج لتخطيط عمليات الحريق ورصد عوامل الحرارة في التجريب لتحديد الثوابت والمتغيرات من خلال ما توصل اليه الباحث في الإطار النظري بما يجب عن تساؤل البحث ويحقق الهدف منه.
2. درجة الحرارة وحدها ليست عنصر ثابت من عناصر التجريب.
3. الاختلاف في كل عنصر من عناصر تخطيط عمليات الحريق يعتبر متغير يؤدي الى اختلاف النتيجة.
4. التأثير الناتج في الطلاء الزجاجي يختلف بحسب موقع رص العمل في غرفة الحريق.
5. التفاعلات الكيميائية لخامات الطين والطلاءات تحتاج الى مراعاة الزمن اللازم لإتمام عملية التفاعل والتحول الى الشكل المطلوب.
6. زمن التعليل والحريق وتثبيت درجة الحرارة، كل منهما يؤدي الى اختلافات في النتائج.
7. أدوات قياس درجات الحرارة الصحيحة وضبطها امر هام في تحليل ورصد نتيجة التجربة.
8. فهم سلوك الحرارة داخل الافران يدخل ضمن التخطيط لعملية الحريق وكذلك التحليل الدقيق للنتائج واستقرار ثوابت التجربة.
9. اثبتت التجربة العملية حدوث متغيرات في الخامات البسيطة بسبب درجة الحرارة ومكان رص الاشكال وزمن الحريق مما يؤكد أن تلك العوامل تؤثر في الخامات والتقنيات الأكثر تعقيدا

التوصيات:

1. يوصي الباحث بتصميم مخطط لعمليات الحريق ورصد عوامل الحرارة في التجريب لتحديد الثوابت والمتغيرات في كل تجربة بحثية.
2. يوصي الباحث بإدراج مخططات عمليات الحريق في البحوث العلمية القائمة على التجريب في مجال الخزف.
3. يوصي الباحث بتعميم اختبار ادوات قياس الحرارة على فترات متقاربة للتأكد من صحة قراءة عداد الحرارة وفعالية المزوجة الحرارية عن طريق المخاريط
4. يوصي الباحث بعمل دراسات مشتركة مع التخصصات الاخرى المرتبطة بمجال الخزف والافران وما الى ذلك.

المراجع:

اولاً: الكتب العربية

1. العزاوي، رديم يونس كرو (2008) "مقدمة في مناهج البحث العلمي" دار دجلة، الأردن، الطبعة الأولى.
2. الفهداوي، خضر رائد سلمان (بدون تاريخ نشر) "الحرارة وخواص المادة" مذكرة محاضرات، جامعة الانبار، كلية التربية للعلوم الصرفة، قسم الفيزياء، العراق.
3. المحمودي، محمد سرحان علي (2019) " مناهج البحث العلمي" الطبعة الثالثة، دار الكتب، صنعاء، الجمهورية اليمنية.