

انتاج خزف عظمي بمواد محلية ومصنعة بديلاً للمواد التقليدية

احمد هاشم عبد الكريم

عاد حمود عبد الحسين تويج

الخلاصة

يتناول هذا البحث امكانية انتاج خزف عظمي ببدائل متوفرة محليا وجيولوجيا واخرى مصنعة اذ انه ينتج تقليديا بالطين الصيني (China clay) وحجر كورنول (Cornish stone) ورماد العظم (Bone ash) اما البدائل فهي الكاؤولين (Kaolin) بدل الطين الصيني والفلدسبار البوتاسيومي (Feldspar potash) بدل (Cornish stone) ولعدم توفر الفلدسبار في العراق تم استبداله بشبيهه الفلدسبار (المصنع). تم تحضير رماد العظم من عظم البقر بمعالجات حرارية وطحن وغرلة وتحضير شبيه الفلدسبار باعتماد التحليل الكيميائي للفلدسبار البوتاسيومي الطبيعي بمواد محلية وهي كاؤولين دويخلة، رمل ارضمة السيليكبي، كاربونات البوتاسيوم و كاربونات الصوديوم وبعد ان حرقت الخلطة بدرجة حرارة (1250م) تم الطحن ثم شكلت النماذج بطريقة الصب السائل ب قالب جبسي بشكل مخروط مقطوع بقياس (2x3x6 سم) لبناء سمك (3ملم)، غرلت مواد الخلطات كافة ب(63µm)، تكونت خلطات الدراسة من مجموعتين الاولى (BC.K.F) استعمل فيها رماد العظم وكاؤولين دويخلة والفلدسبار الطبيعي اما المجموعة الثانية (BC.K.FR) فاستعمل فيها رماد العظم وكاؤولين دويخلة وشبيهه الفلدسبار (المصنع) ضمت كل مجموعة 8 خلطات بنسب المكونات نفسها وحرقت المجموعتان بدرجات حرارة (1220-1260م) ثم اجريت الفحوصات وهي: التحليل الكيميائي والمظهر الخارجي واللون ثم الفحوصات المختبرية وهي: التقلص الطولي، المسامية، امتصاص الماء، الكثافة، الصلادة، مقاومة الخدش، التحليل المعدني (X.R.D)، النفاذية الضوئية، التحليل اللوني، وبعد مناقشة وتحليل النتائج تم التوصل الى ان بدائل المواد التقليدية اعطت نتائج تقارب او تطابق خصائص ومواصفات الخزف العظمي.

المقدمة

شهدت الصناعات الخزفية تطورا ملحوظاً شأنها في ذلك الصناعات الاخرى التي تعتمد على المعالجات الحرارية، وتبعاً لذلك انواع الاجسام الخزفية التي تتصف بخواص وصفات تحدها المواد المكونة لهذه الاجسام، وبحسب نوع الاستعمال سواء كان فنيا ام صناعيا لنا برزت الحاجة الى بدائل متوفرة وزهيدة الثمن.

إذ يصنف الخزف على وفق تصنيفات متعددة اهمها حرارية تحدها درجات حرارة النضج (Maturing temperature) وهي اربعة انواع: خزف واطئ الحرارة (Earthenware) وعالي الحرارة (Stoneware) والبورسلين (Porcelain) والخزف العظمي (Bone China).

والخزف العظمي يعد من ارقى انواع الخزف كونه يتصف بنعومة الملمس ودرجة البياض ونفاذيته للضوء وصلادته العالية وتعد بداية صناعة هذا النوع من الخزف في انكلترا في العام 1794م على يد يونكير سبود (Younger Spode) (Singer & Singer, 1963, p.457) وفي الولايات المتحدة كانت البداية في العام 1886م على يد جوشيا بول (Josiah Pool) (Kearns, 1989, p.16).

ان المواد التقليدية (Traditional) المكونة لهذا النوع من الخزف هي في الغالب رماد عظم البقر (Bone ash) وصخور الكورنول (Cornish stone) او الفلدسبار البوتاسيومي (Orthoclase) والطين الصيني (China clay).

تتمتاز خلطات هذه المواد بأنها صعبة التشكيل لانخفاض لدونتها الشديد وهشاشتها بعد الجفاف (Singer, 1963, p.458) وارتفاع درجة حرارة نضجها التي تصل الى (1280-1300م). وهنا تكمن اهمية البحث وهي في استبدال المكونات التقليدية بمواد متوفرة محليا طبيعية ام مصنعة لرفع نسبة اللدونة، وتسهيل عملية التشكيل وامكانية تخفيض درجة حرارة النضج للحصول على نتائج تطابق المواصفات القياسية او تقاربها لتمكن الخزاف اعتماد هذه التقنية في انتاجه الخزفي.

1- الجانب النظري

1-1 تصنيف الخزف العظمي:

صنف المختصون الخزف اعتماداً على الكثير من المعطيات منها الصفات الكيماوية والفيزيائية وقد اعتمد رادو (Rado) في تصنيف الخزف على وفق التصنيف الفيزيائي متخذاً من المسامية ودرجة التزجج وامتناص الماء والكثافة الكلية للمنتج الخزفي أساساً له، فهناك نوعين من المنتجات، هما ذات المسامية قليلة أو معدومة المسامية والخزف العظمي (Bone China) يتسم بمساميته المنخفضة أو غير المسامي (Non Porosity) وتدخل في هذا الصنف مواد ذات انصهارية عالية حيث يحرق ما بين (1200-1400م) (Rado, 1988, p.3,4).

إن تنوع التصنيفات يعود إلى تعدد أنواع المنتجات الخزفية؛ وذلك لتعدد استعمالها، فضلاً عن تنوع المواد الأولية المستعملة في تكوينها.

الذي يهمنا من موضوعه التصنيف هو موقع الخزف العظمي (Bone china) الذي يمكننا تصنيفه ضمن خزف البورسلين حيث يقع بين البورسلين الصلب (Hard Porcelain) والبورسلين اللين (Soft Porcelain)، ويسبب تشابه المواصفات العامة ما بين الخزف العظمي والبورسلين بنوعيه وضع الخزف العظمي ضمن نوع من الخزف هو غير المسامي ذو الكثافة والصلادة العاليتين. (Choudhury, 1985, p.43)، علماً أن هنالك بعض أنواع من البورسلين تحوي على مادة رماد العظم (Bone Ash)؛ لإعطائه متانة أكبر على أن لا تزيد هذه النسبة عن ثلاثة أجزاء منه بالمقارنة مع ستة أجزاء منه في الخزف العظمي (Fournier, 1967, p.26).

ويؤخذ بنظر الاعتبار الخواص الميكانيكية والفيزيائية للجسام الخزفية اذ تبين أن الخزف العظمي (Bone China) يتكون من 71% من البلورات المعدنية وهي: (35-45%) ثلاثي فوسفات الكالسيوم (Calcium Tri Phosphate) و(25-30%) فلديسبار كالسيومي (Anorthite) و(27-30%) تركيب زجاجي (Glass) ولكون بلورات الخزف العظمي (Bone China) اصغر حجماً من بلورات البورسلين جعلت مقاومة التلم (Chipping Resistance) للخزف العظمي تفوق (4) مرات مقاومة البورسلين الصلب ومعامل الكسر وقوة الصدمة (Ruptur and Impact Strength) تفوق مرتين مقاومة البورسلين الصلب. (Rado, 1980, p.97)، (Bonnet, 2001, p.116)

2-1 تكوين العظم فسيولوجيا

يتكون العظم من خلايا حية تسيطر على عملية تكوين العظم، وتنظم المحتوى البايولوجي للأملاح في النسيج العظمي، وبصورة عامة يمتلك العظم ثلاث مكونات أساسية وهي (عضوية، لا عضوية، وماء) وتختلف العظام فيما بينها من حيث المحتوى العضوي وتشابه في المحتوى اللاعضوي، والعظم الطبيعي ينمو كجسم حي مع المواد العضوية، وبعض أنواع العظام تحوي كمية ضئيلة من المحتوى العضوي، والبعض الآخر كميات أكبر وأحياناً تكون نسبة المحتوى العضوي

ثابتة، وقد تتغير بسبب الايونات المرافقة للعظم وحصول تفاعل مع ايونات سوائل الجسم الأخرى (Webster, 1990, p.13).

إن (65-70%) من محتوى العظم مواد لا عضوية (هيدروكسي فوسفات ثلاثي الكالسيوم) $(Ca_3(PO_4)_3OH)$ (Turek, 1985, p.113,136)، (الزمزمي وآخرون، ص175) فالعظم يتألف من بلورات صغيرة جدا من فوسفات الكالسيوم الممزوجة مع نسيج من الألياف البروتينية والكولاجين علماً أن الكولاجين هو المركب الأساس للجيلاتين والذي يزال عبر العمليات اللاحقة من معالجة العظم لغرض تجهيزه (Webster, 1987, p.91).

3-1 المعالجات الأولية لتحضير مادة رماد العظم:

بعد عملية اختيار العظم تتم عملية الحرق الأولية بعد ازالة الدهون بوساطة المذيبات، وتختلف درجات الحرق من مادة إلى أخرى وينتج عنها تغيير في التركيب الفيزيائي والكيميائي (Robert, 1967, p.37).

ولكل سنة العظم يجب حرقه ما بين (900 - 1000 م) ويفقد بذلك المحتوى الكربوني، وتبقى المواد غير العضوية من كالسيوم وفسفور؛ وهذا يؤدي الى فقدان حوالي (20%) من الوزن العام، ويجرق العظم باستعمال المواد العضوية نفسها كوقود أو غيرها من المواد العضوية وقد يستعمل الخشب بدون اضافة وقود أخر (Webster, 1990, p.91)، لكي لا تتكون مخلفات تؤثر بالنتائج النهائي.

وأظهرت دراسة سالت (Salt)، بيج (Beech) وهولدريج (Holdrege) حصول عملية تحلل كربونات الكالسيوم عن طريق الكلسنة والفقدان بالوزن والنمو في حجم بلورة هيدروكسي فوسفات ثلاثي الكالسيوم، وتم تحديد ذلك بوساطة الفحص بالأشعة السينية الحائدة (X.RD)، وقد لوحظ بالمجهر الالكتروني وبالتكبير أن البلورة تشبه زهرة (Lath)* التي تكون بشكل تجمعات كثيفة وغير منتظمة في العظم غير المكلسن، وتبدأ بالنمو بفعل الحرارة وزيادة الحجم في درجات الحرارة المختلفة ما بين (600-800-1000 م) (Webster, 1987, p.91). علماً إنَّ زيادة درجة حرارة الكلسنة تؤثر في المحتويات الاساسية وهي (فوسفات ثلاثي الكالسيوم) و(كربونات الكالسيوم) بحيث تنفصل الكربونات متحولة الى (CaO) (CO_2) مما يؤدي الى زيادة في تركيز (CaO) و (P_2O_5) ؛ وزيادة زمن ودرجة حرارة الكلسنة قد يؤدي الى حدوث تزجاج (Verification) في المادة. (الهنداوي، 1997، ص102)

ويفضل بقاء نسبة بسيطة من المحتوى العضوي للمادة العظمية لكي يُتقي على لدونة بسيطة ويعتمد هذا على عملية الكلسنة الصحيحة، وبالعكس قد تسبب الكلسنة غير المكتملة في درجة حرارة اقل من (900 م) إلى بقاء كميات كبيرة من المواد العضوية ومن ثم عيوب في المنتج، بعد ذلك يتم طحن المادة بقياس ناعم. (الزمزمي، 1996، ص175).

4-1 المواد الداخلة في تركيب الخزف العظمي:

1- رماد العظم:

هو المادة الرئيسة التي تدخل في تركيب خلطة الخزف العظمي (Bone china) والجدول (1-1) يبين التحليل الكيميائي للعظم المكلسن والصيغة الكيميائية له $(4Ca_3(PO_4)_2CaCO_3)$ (الزمزمي، 1996، ص175)، علماً إنَّ نسبة الكالسيوم الى الفسفور هي أقل في رماد العظم عما هي في هيدروكسي فوسفات ثلاثي الكالسيوم (Rado, 1980, p.35)، والجدول (2-1) يُبين التحليل المعدني لمادة رماد العظم والذي هو عبارة عن فوسفات الكالسيوم الثلاثية $Ca_3(PO_4)_2$ التي تحتوي كمية بسيطة من مواد عضوية.

* Lath: زهرة صغيرة جداً تشبه الشريحة الخشبية.

انتاج خزف عظمي بمواد محلية ومصنعة بديلاً للمواد التقليدية احمد هاشم الهنداوي عماد حمود عبد الحسين تويج

أما رماد العظم فهو مادة صاهرة او مساعدة على الصهر في تركيب الخزف العظمي (Bone china) و قابلية الانصهار هذه تؤدي الى خزف ذي تركيب مزيج وناصع البياض ويتمتع بشيء من الشفافية، وإن إضافة رماد العظم لخلطات (غير الخزف العظمي) يزيد من شفافية الأجسام المحروقة (ريان، 1986، ص85).

إن أحد الخصائص المهمة للعظم الطبيعي هي نسبة المادة الثابتة للمكونين الرئيسيين (فوسفات الكالسيوم الثلاثية) وكاربونات الكالسيوم (Calcite) التي تبقى بعد تكلس العظم وبنسبة (96%) ومن ثم تظهر نقاوة العظم الطبيعي بالموازنة مع مواد أخرى ومع هذا فإن (4%) الباقية هي عبارة عن بعض المحتويات اللاعضوية مثل المغنيسيوم (Mg) والذي تتعلق نسبته بغذاء الحيوان، ومحتوى الصوديوم (Na) الذي ترتبط نسبته بالمادة العضوية المرتبطة بالعظم، اما الحديد (Fe) فهو يوجد بكميات صغيرة وتعتمد على خلايا الدم العالقة بالعظم (Webster, 1990, P 13)، (الزمزمي، 1996، ص175)

والتحليل الكيميائي للعظم المكلسن ؛ يُبين التناظر وبشكل كبير مع التحليل الكيميائي لمادة هيدروكسي فوسفات ثلاثي الكالسيوم ($Ca_3(PO_4)_3OH$) على الرغم من وجود أجزاء من الأكاسيد القاعدية والتي تعمل على زيادة التلبد مع وجود نسبة بسيطة لثاني أكسيد الكربون (CO_2) أيضاً (Webster, 1987, p.90).

جدول رقم (1-1)

يبين التحليل الكيميائي للعظم المكلسن وهيدروكسي فوسفات ثلاثي الكالسيوم

(Webster, 1990, p.13)

Oxide	Bone	$Ca_3(PO_4)_3OH$
CaO	54.7	55.8
P_2O_5	41.7	42.4
K_2O	0.03	
Na_2O	1.0	
MgO	1.1	
CO_2	1.0	
Molar Ratio Ca:P	1.66	1.67

جدول رقم (2-1)

يبين التحليل المعدني للعظم المكلسن

(الزمزمي، 1996، ص175)

النسبة %	المركب
67-85	$Ca_3(PO_4)$
10-13	$Ca CO_3$
1-3	$Mg(PO_4)$
Nil	$CaCl_2$

2- الفلدسبار البوتاسيومي (Orthoclase):

هو من الصواهر التي تستعمل في اجسام الخزف والزجاج والمصطلح فلدسبار يغطي عدد من القواعد وسيليكات الألمنيوم ، وهو أحد المعادن الأكثر شيوعا في الصخور الأولية (Singer, 1963, p.101) وموجود أيضا في الصخور النارية والابتدائية مع الكوارتز والمايكا (Rado, 1980, p.31).
ومن انواعه هي:

1- الاورثوكليز (Orthoclase): $K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$.

2- الالبات (Albite): $Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$.

3- الانورثايت (Anorthite): $CaO.Al_2O_3.2SiO_2$.

والاورثوكليز الأكثر استعمالا في الاجسام الخزفية، عند تعرضه للحرارة يبدأ بالتحلل تدريجيا ليتحول الى كتلة زجاجية لزجة، اذ يتحلل عند (1160م) وينصهر في (1200-1290م) ليكون الليوسايت (Leucite) ($K_2O.Al_2O_3.4SiO_2$) (علام، 1971، ص58-59)، (الزمزي، 1995، ص170) ويعد من أهم المواد المساعدة على الصهر في الاجسام التي تمتاز بالشفافية.

3- الكاؤولين:

ان الكاؤولينيات هو معدن الطين الرئيس وهو من الاطيان العالية النقاوة، ومعدل حجم جزيئاته ($0.7\mu m$) وسمكها ($0.05\mu m$) (Norton, 1974, p.14) صبغته الجزيئية ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) اما طينة الكاؤولين فهي من الاطيان (الاولية المتبقية) وهي ممتدة للاجسام الحرارية حيث تخفض من تقلصها وتكسبها اللون الابيض حيث يتحلل في درجة حرارة (840م) (Norton, 1968, p.167) وينصهر في (1770م) (Hamer, 1975, p.168). وكاؤولين (دوخلجة) العراقي المتواجدة ترسباته في المنطقة الغربية (محافظة الانبار) ذو لون رمادي عموما وانصهارية عالية ويمتاز بارتفاع نسبي (SiO_2) و (Al_2O_3) ويحتوي نسبة (0.97) (Fe_2O_3). وذو لدونة تصل الى (39%) (وسيج، 1989، ص91) ويستعمل بديلا للطين الصيني (China Clay).

4- الفلدسبار البوتاسيومي المصنع (الشبيه بالفلدسبار):

بالامكان تصنيع خلطة صناعية للفلدسبار؛ وذلك باستعمال مركبات تحقق نسب الاكاسيد القلوية والالومينا والسيليكات في الفلدسبار الطبيعي (علام، ج2، 1964، ص12) والجدول (3-1) يبين التحليل الكيميائي لنماذج من الفلدسبار.

جدول رقم (3-1)

النسب المتوية للاكاسيد المكونة لثلاث نماذج من الفلدسبار البوتاسيومي

* Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	* MgO	* CaO	Al_2O_3	SiO_2	الاو كسيد % ت %
0.2	2.5	10.3	0.12	0.25	17.5	68.2	**1
0.1	2.0	9.0	0.02	0.03	15.05	76.05	***2

* تم اهمال الاكاسيد ذات النسب القليلة في حساب خلطة الشبيه بالفلدسبار (المصنع).

** دليل شركة Pottery crafts (1989)

*** دليل شركة Winger (1981)

----	2.92	12.0	----	----	18.5	65.8	**3
------	------	------	------	------	------	------	-----

2- الاجراءات المختبرية

1-2 تحضير الفلدسبار المصنع:

لتحضير الفلدسبار المصنع (الشبيه بالفلدسبار) اجري ما يأتي:

1- يتم استخراج معدل النسب المئوية للاكسيد المكونة للفلدسبار في النماذج الثلاث الواردة في الجدول (3-1)، وكما في الجدول (1-2).

جدول (1-2)

يبين النسب المئوية للاكسيد المكونة للشبيه بالفلدسبار

Na ₂ O	K ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂
2.4	10.4	17	70

2- حساب النسب المئوية للمركبات التي تحتوي على هذه الاكاسيد وحسب العلاقة الآتية:

$$\text{وزن المادة} = \frac{\text{نسبة الاوكسيد المئوية} \times \text{الوزن الجزيئي للمركب}}{\text{الوزن الجزيئي للاوكسيد}}$$

جدول (2-2)

النسب الوزنية والمئوية اللازمة لتحضير الفلدسبار المصنع

النسب المئوية %	النسب الوزنية / غم	المادة
13.56	(15.1)	كاربونات البوتاسيوم
3.83	(4.27)	كاربونات الصوديوم
39.76	(44.27)	الكاولين المحروق
42.84	(47.7)	رمل ارضة السيليكي

وبعد خلط المزيج يحرق في درجة حرارة (1250م) في بودقة وصولاً الى الانصهار الكامل مع مدة ثبات لدرجة الحرارة (Soaking) (2 ساعة) وتمت عملية التبريد على وفق برنامج (50 م) لكل ساعة ومن ثم تطحن المادة في طاحونة الكرات البورسلينة (Ball Mill).

2-2 تهيئة رماد العظم:

بعد التجفيف في الجو الاعتيادي تحرق العظام بشكل اولي للتخلص من الغازات التي تخرج أثناء الحرق وبعد التبريد تستخرج العظام التي اكتست باللون الأسود بسبب الكربون (Black bone)، وهو ناتج من حرق العظم في حاويات مغلقة داخل افران بدرجات حرارية لا تتجاوز (500 م) كي نحصل على عظام رخوة عالية الهشاشة فتكون عملية طحنها سهلة جداً وتكسر إلى قطع صغيرة اقل من (100 ملم) تقريباً بواسطة الكسارات المطرقية (Crushers Hammer) ويلى ذلك مرحلة الحرق النهائية (الكلسنة) وبدرجة حرارة (950 م)، لتصبح بيضاء اللون، ثم تتم عملية الطحن للحصول مسحوق العظم (Bone Meal) وبوساطة طاحونة الكرات البورسلينية (Ball mill).

3-2 الغربلة (Sieving):

للتدرج الحجمي اثر مهم في لدونة الخلطات، ومن ثم في حدوث التفاعل بين المواد بشكل أكثر تجانس (Singer, 1963, p.p.297-298)، لذا تمت الغربة للمواد المكونة للخلطات كافة بقياس (63 μ m).

4-2 خلطات الدراسة:

لقد اجريت تجارب اولية لنسب مختلفة ثم تم اعتماد مجموعتين لها النسب المئوية نفسها لمكونات الخلطات حيث تكونت الاولى من رماد العظم والكاؤولين والفلسدبار الطبيعي (Orthoclase)، والثانية احتوت رماد العظم والكاؤولين وشبيهه الفلسدبار لمقارنة النتائج.

جدول رقم (2-3)

المجموعة الاولى

خلطات رماد عظم البقر العراقي والفلسدبار الطبيعي والكاؤولين

رقم الخلطة	رماد عظم بقر %	كاؤولين دويخله %	الفلسدبار البوتاسيومي %	درجة الحرق م
BC.K.F1	40	30	30	1220
BC.K.F2	45	30	25	1220
BC.K.F3	45	25	30	1220
BC.K.F4	50	30	20	1230
BC.K.F5	50	20	30	1240
BC.K.F6	55	25	20	1240
BC.K.F7	55	20	25	1240
BC.K.F8	60	20	20	1260

جدول رقم (2-4)

المجموعة الثانية

خلطات رماد عظم البقر العراقي مع شبيهه الفلسدبار والكاؤولين

رقم الخلطة	رماد عظم بقر %	كاؤولين دويخله %	فلسدبار صناعي %	درجة الحرق م
BC.K.FR1	40	30	30	1220
BC.K.FR2	45	30	25	1220
BC.K.FR3	45	25	30	1220
BC.K.FR4	50	30	20	1240
BC.K.FR5	50	20	30	1240
BC.K.FR6	55	25	20	1250
BC.K.FR7	55	20	25	1250
BC.K.FR8	60	20	20	1260

2-5 التشكيل بطريقة الصب السائل:

شكلت النماذج بطريقة الصب السائل (Slip casting) بإضافة (50%) ماء الى (50%) من المواد الجافة (مكونات الخلطات في المجموعتين) الجدولان (2-3 ، 2-4) واستعمال كربونات الصوديوم (Na₂CO₃) وسيليكات الصوديوم (Na₂O.SiO₂) بنسبة (1%) لكل منها كمواد مانعة للتبلد او مشتتات (Deflocculate) (Rhodes,) (1975, p.p.39-42). (Norton, 1956, p.p.164-166).

ثم استعملت قوالب جيسية بشكل مخروط مقطوع بقياس (2×3×6 سم) لتشكيل النماذج وبلغت مدة الترسيب بين 6 الى 8 دقيقة لتكوين سمك حوالي (3ملم).

2-6 برنامج حرق النماذج

حُرقت النماذج بدرجات حرارة تراوحت بين (1220-1260 م°) وبمعدل (100 م° / ساعة) وعند الوصول الى الدرجة الحرارية المحددة تثبت لمدة (ساعة) لغرض الانضاج الكامل او ما يسمى وقت التشبع (Soaking time).

2-7 الفحوصات الفيزيائية للنماذج المحروقة

المظهر الخارجي واللون: إنَّ عملية حرق الخلطات الخزف العظمي تكون مصحوبة بعدد من التغيرات ومنها:

1- التغير بحجم النموذج.

2- ملمس السطح .

3- التشوه في الشكل أو إستقرار النموذج نتيجة أو أختلاف الأبعاد .

4- القيم اللونية.

2-8 الفحوصات المختبرية:

اجريت عدد من الفحوصات المختبرية باستعمال علاقات رياضية واجهزة تتناسب ونوع الفحص وكما يأتي:

1- التقلص الطولي الانكماش (Linear Shrinkage) : (Clews, 1977, p.27)

$$\text{Percent liner shrinkage} = \frac{\text{Dry length} - \text{Fired length}}{\text{Fired length}} \times 100$$

2- المسامية الظاهرية (Apparent Porosity) : (ASTM, C 373- 72, 1985)

$$\text{Apparent Porosity} = \frac{Wb - Wa}{Wb - Wc} \times 100$$

Wa = وزن النموذج وهو جاف.

Wb = وزن النموذج وهو مشبع بالماء.

Wc = وزن النموذج وهو مغمور بالماء.

3- امتصاص الماء (Water Absorption) : (ASTM, C 373- 372, 1985)

$$\text{Water Absorption} = \frac{Ww - Dw}{Dw} \times 100$$

W_w = وزن النموذج بعد غمره في الماء.

D_w = وزن الأنموذج وهو جاف.

4- الكثافة (Density):

وتحسب الكثافة الكلية وفق العلاقة الآتية: (ASTM, C 373- 72, 1985)

$$\text{Bulk Porosity} = \frac{W_a}{W_b - W_c} \times 100$$

W_a = وزن الأنموذج وهو جاف.

W_b = وزن الأنموذج وهو مشبع بالماء.

W_c = وزن الأنموذج وهو مغمور بالماء.

5- فحص النفاذية الضوئية*:

تمّ قياس النفاذية الضوئية من حساب قيمتي (I_0) شدة الضوء الساقط و (I) شدة الضوء النافذ إذ يتم تسليط أشعة ليزر حمراء في الفراغ، ويعاد تسليط الأشعة بعد وضع الامنوج وحسب العلاقة الآتية:

$$\frac{\text{ارتفاع العينة} \times \text{الحساسية} **}{\text{ارتفاع القياسي النموذج} \times \text{الحساسية}} = \frac{I}{I_0}$$

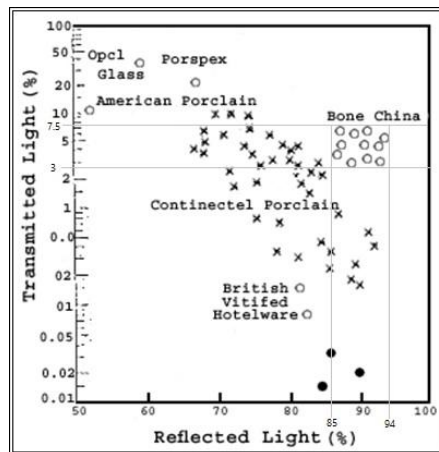
وتطبيق القيم حسب قانون لامبرت (Lamberts Law)

$$I = I_0 e^{-\eta x}$$

(η): معامل امتصاص المادة

(x): سمك العينة

والشكل (1-2) يُبين النفاذية الضوئية لأنواع من الخزف ومن ضمنها الخزف العظمي لتحديد شدة الضوء الساقط (Reflected Light) وشدة الضوء النافذ (Transmitted Light).



* تمّ قياس النفاذية الضوئية في قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة بغداد

شكل (2-1) توزيع النفاذية الضوئية لانواع الخزف (Rado, 1980, p.212)

6- فحص مقاومة الخدش (Scratch Hardness of Surface):

للتعرف على مدى مقاومة الطبقة الخارجية للخدش ثم استعمال نظام سلم موه لقياس الصلادة (Mohs Scale of Hardness) (of Hardness (B.S., 6431, Part13, 1986).

7- فحص صلادة السطح * (Hardness Test):

لمعرفة مدى تحمل الأنموذج للاحمادات الخارجية يتم فحص الصلادة بوساطة جهاز فحص الصلادة ، نظام فيكرز (Vickers) ووفق العلاقة: (Thornton, 1990, p.245) (Hugh, 1967, p.39)

$$Vickers\ Hardness = \frac{Load}{Cavity\ area}$$

Cavity area = عمق الاثر الذي احده الجزء النافذ

Load = مقدار الضغط المسلط

8- فحص التحليل اللوني :

تم تحديد القيم اللونية (التحليل اللوني) باستعمال الكومبيوتر بوساطة البرنامجين (PhotoShop & Excel) للناذج (1، 4، 8) من المجموعتين الاولى والثانية واعتمدت اربعة نقاط في السطح الخارجي للأنموذج للحصول على قيم الألوان الأحمر والأخضر والأزرق وقد تمت عملية التحليل بالخطوات الآتية :

1- تجمع القراءات لأربع نقاط للأنموذج الواحد

2- تجمع نتائج الالوان الثلاثة (الاحمر، الاخضر، الازرق) وتقسم على عدد القراءات.

3- النتائج

1-3 نتائج التحليل الكيميائي:

اظهر هذا الفحص النسب المئوية للاكاسيد المستعملة في الخلطات وكما في الجدول ادناه:

جدول رقم (1-3)

يبين التحليل الكيميائي للمواد الاولية

الاسمي د % اسم المادة	CaO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	L.O. I	Tota I
عظم البقر 2	52.7	40.0	0.24	0.26	0.97	0.5	1.28	0.00	0.2	1.49	97.7
كاؤولين دونيخلة	0.17	-	47.6	35.8	0.25	0.4	0.33	-	0.97	12.8	98.4
			2	6						5	5

كاؤولين دويخلة المحروق	0.19	-	54.9 4	41.3 7	0.28	0.4 6	0.38	-	1.19	-	98.8 1
رمل ارضمة السيلي كي	0.08 6	0.09	98.0 8	0.33	0.03	0.0 2	0.02 8	1.11 3	0.06 1	0.22	99.2 8

2-3 نتائج فحص المظهر الخارجي واللون:

اظهرت النتائج اختلاف في الابعاد بعد الحرق، اما الملمس فقد اتصفت الناذج بلمس ناعم في المجموعة الاولى وأقل نعومة في المجموعة الثانية، اما النتائج اللونية فقد بينت ان المجموعة الاولى تميل الى البياض (Whiteness) أكثر من المجموعة الثانية التي تميل الى الاصفرار (Yellowish)، أما من ناحية التشوهات في الشكل واستقراره فقد امتازت العينات بشكل عام بالمظهر الجيد من أستواء السطح، وعدم التقوس والأعوجاج، وأنظام الحافات.

3-3 نتائج الفحوصات الفيزيائية:

الجدول ادناه يبين نتائج الفحوصات المختبرية الفيزيائية.

جدول (2-3)

قيم التقلص الطولي والمسامية الظاهرية و امتصاص الماء والكثافة الحجمية

المجموعة	العينة	التقلص الطولي %	المسامية الظاهرية %	امتصاص الماء %	الكثافة الحجمية غم/سم ³
1	BC.K.F1	12.0	1.69	0.73	2.01
	BC.K.F2	12.0	1.98	0.86	2.0
	BC.K.F3	12.3	1.70	0.75	2.11
	BC.K.F4	11.9	1.90	0.80	1.98
	BC.K.F5	12.4	1.71	0.78	2.23
	BC.K.F6	12.1	2.0	0.94	2.44
	BC.K.F7	12.2	1.97	0.88	2.35
	BC.K.F8	12.2	2.32	1.0	1.88
2	BC.K.FR1	12.2	1.73	0.77	1.0
	BC.K.FR2	12.2	1.99	0.89	1.76
	BC.K.FR3	12.5	1.90	0.87	2.23
	BC.K.FR4	12.1	1.93	0.85	1.39

2.22	1.0	2.45	12.6	BC.K.FR5
1.89	0.96	2.0	12.3	BC.K.FR6
2.36	1.0	2.56	12.4	BC.K.FR7
1.97	1.0	2.66	12.4	BC.K.FR8

4-3 نتائج فحص النفاذية الضوئية:

في الجدول ادناه النسب المئوية للنفاذية الضوئية في المجموعتين.

جدول (3-3)

النفاذية الضوئية لعينات الدراسة

النفاذية الضوئية %	العينة	المجموعة
4	BC.K.F1	1
4	BC.K.F2	
5	BC.K.F3	
6	BC.K.F4	
8	BC.K.F5	
8	BC.K.F6	
6	BC.K.F7	
5	BC.K.F8	
3	BC.K.FR1	2
3	BC.K.FR2	
5	BC.K.FR3	
4	BC.K.FR4	
6	BC.K.FR5	
6	BC.K.FR6	
5	BC.K.FR7	
5	BC.K.FR8	

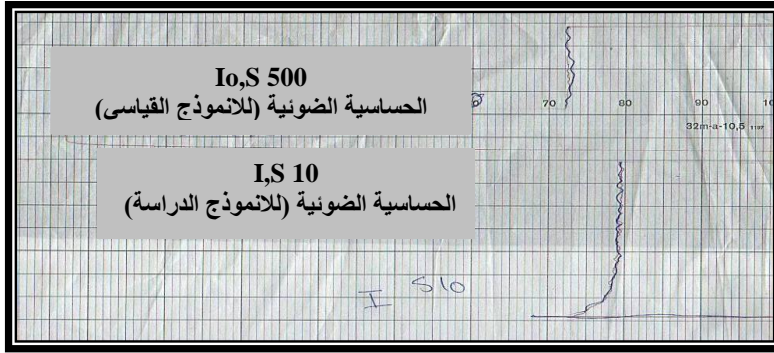
شكل (1-3)

المرتسات البيانية لتنفاذية الضوئية للمودجين من كل مجموعة

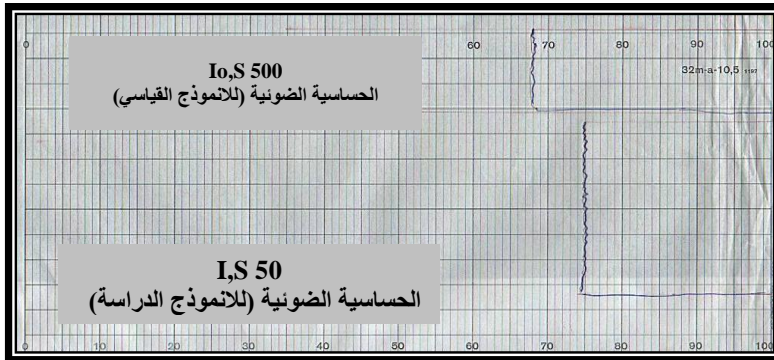
BC.K.F1



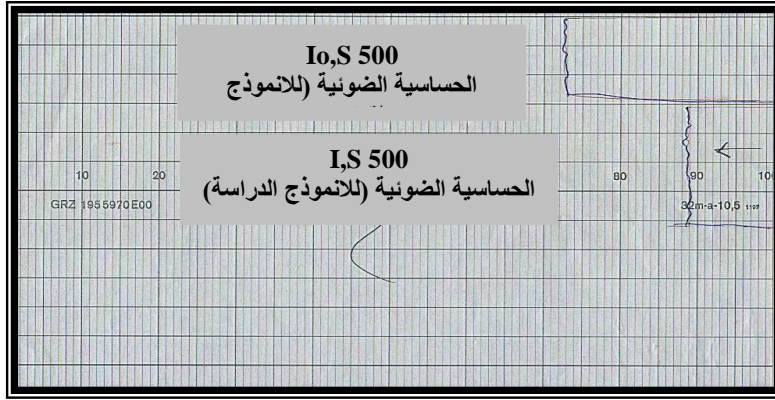
BC.K.B.F5



BC.K.FR1



BC.K.FR5



5-3 نتائج فحص مقاومة الخدش :

ان قيم فحص مقاومة الخدش بحسب سلم موه (Mohs) بلغت ما بين (7-8) للعينات كافة.

6-3 نتائج فحص الصلادة :

الجدول ادناه يبين نتائج فحص الصلادة بحسب مقياس (Vickers).

جدول (4-3)

قيم الصلادة لعينات الدراسة

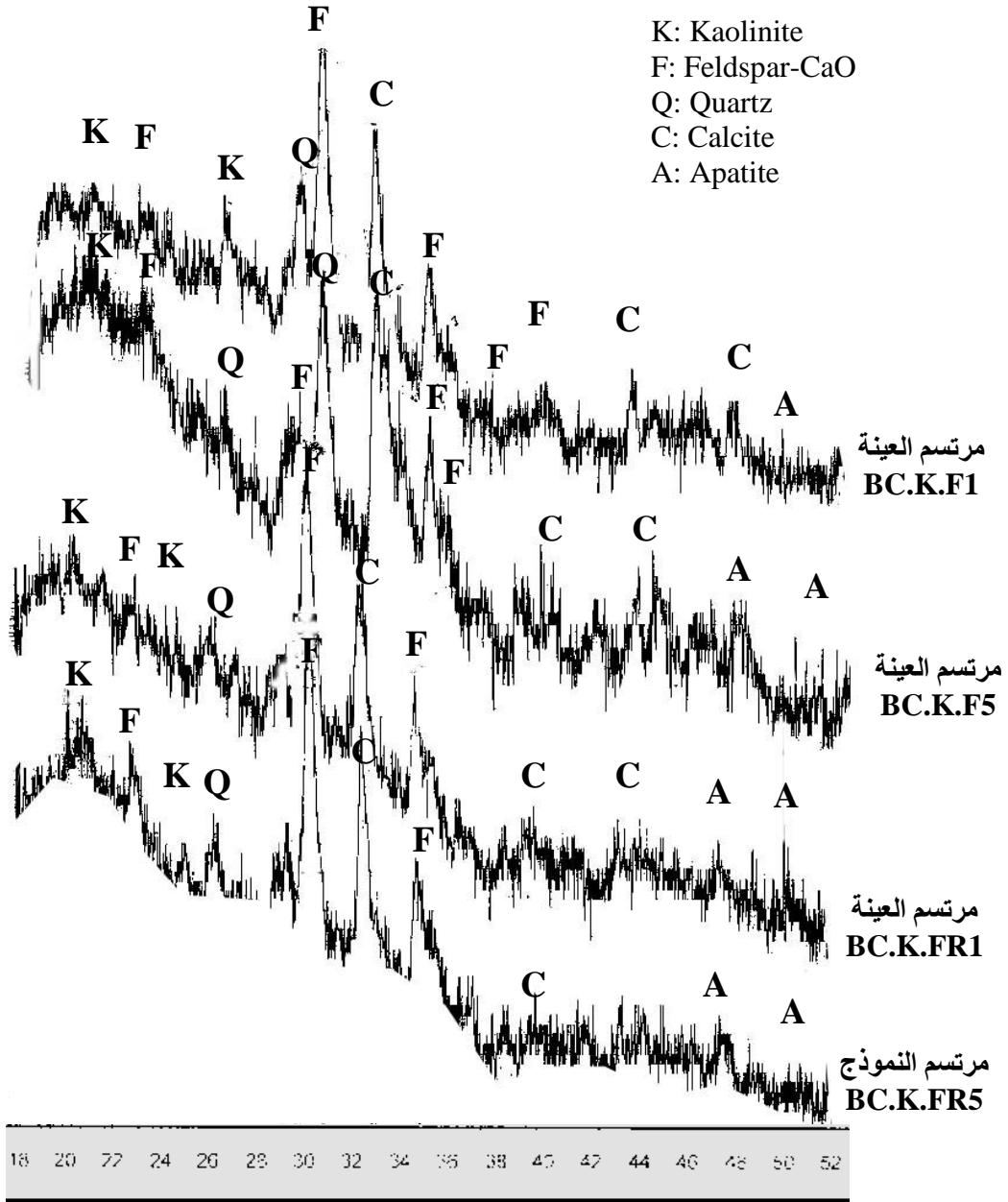
المجموعة	العينة	قيم الصلادة V.H
1	BC.K.F1	377
	BC.K.F2	335
	BC.K.F3	386
	BC.K.F4	350
	BC.K.F5	376
	BC.K.F6	344
	BC.K.F7	390
	BC.K.F8	340
2	BC.K.FR1	423
	BC.K.FR2	401
	BC.K.FR3	446
	BC.K.FR4	413
	BC.K.FR5	476
	BC.K.FR6	415
	BC.K.FR7	433
	BC.K.FR8	410

7-3 نتائج التحليل المعدني (X.R.D) بعد الحرق :

تم اختيار نموذجين لكل مجموعة لاجراء هذا الفحص بواسطة الاشعة السينية الحيادية لتعرف الاطوار المعدنية المتكونة وتم اختيار النموذجين (1,5) من كل مجموعة.

الشكل (2-3)

منحنيات (X.R.D.) لبعض النماذج



8-3 نتائج التحليل اللوني:

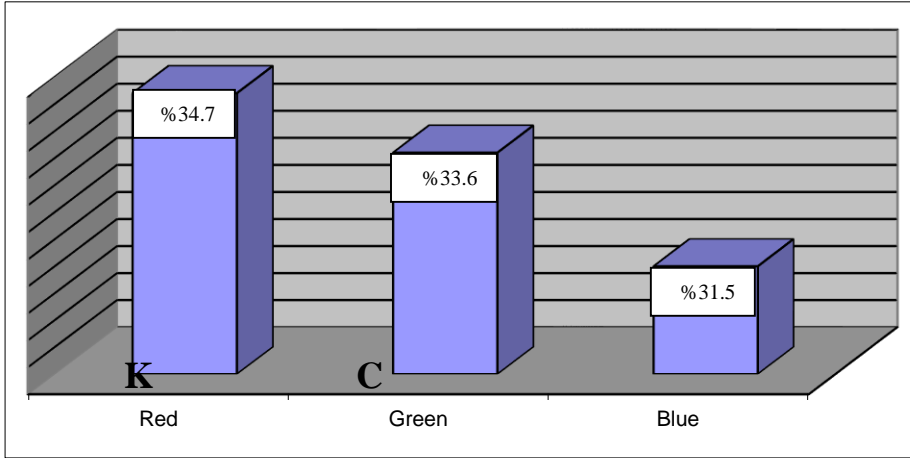
اظهرت نتائج التحليل اللوني النسب المئوية للاطياف الازرق والاخضر والاحمر وتم اختيار ثلاث نماذج من كل مجموعة.

شكل (3-3)

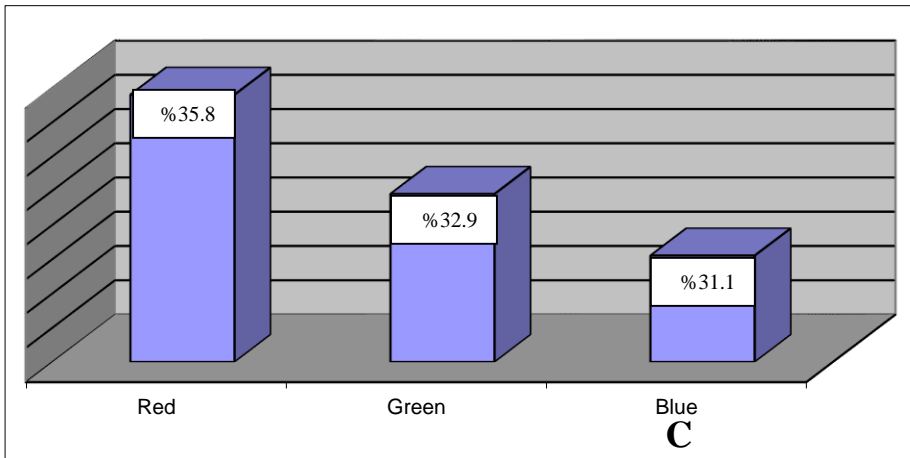
التحليل اللوني لنماذج من المجموعتين

نماذج المجموعة الأولى

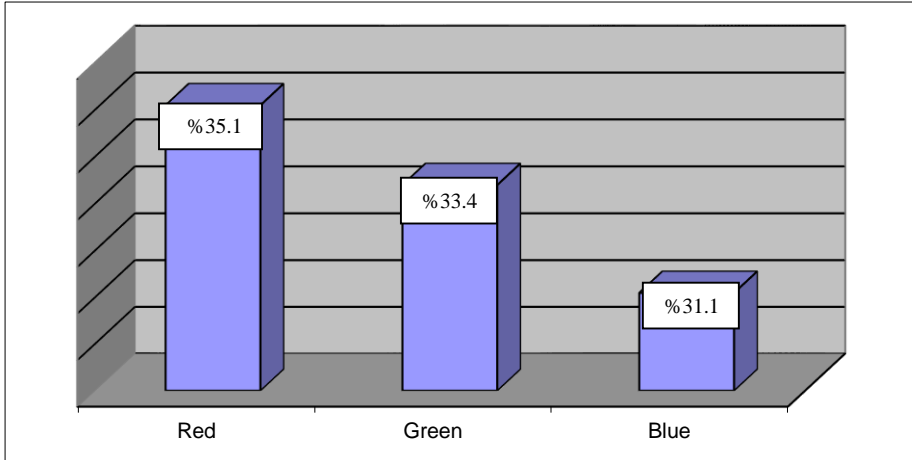
BC.K.F1



C BC.K.F4

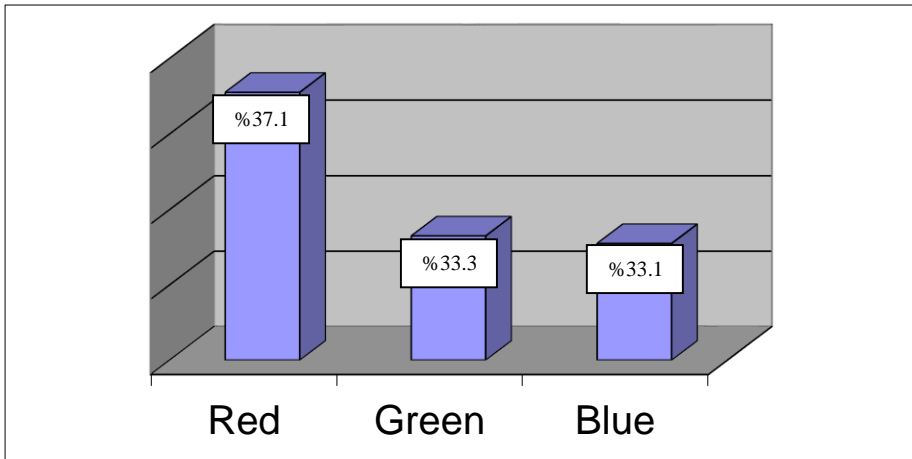


BC.K.F8

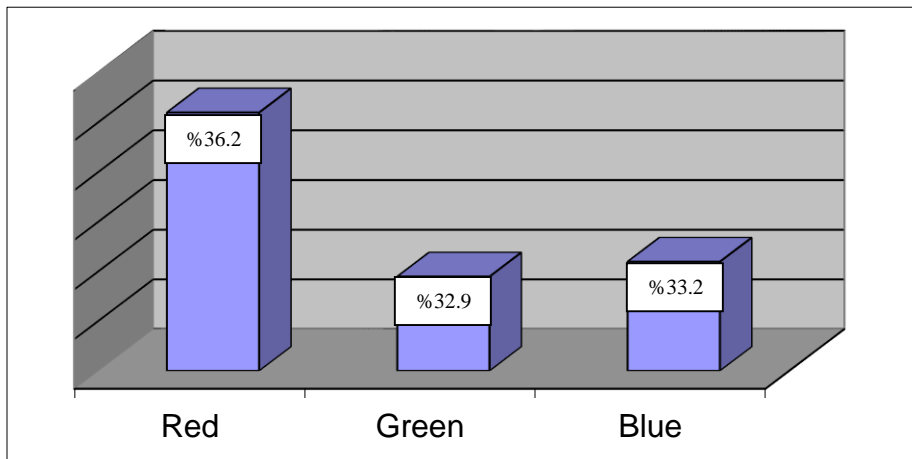


نماذج المجموعة الثانية

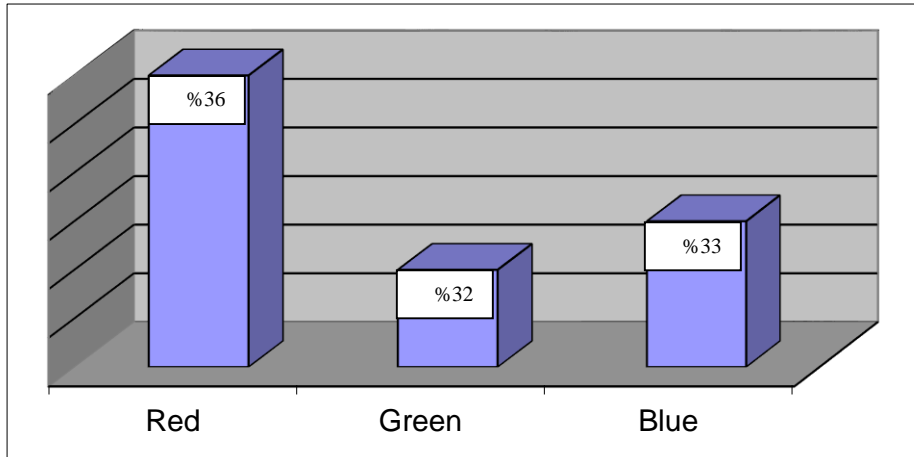
BC.K.FR1



BC.K.FR4



BC.K.FR8



4- مناقشة النتائج

1-4 مناقشة خواص المظهر الخارجي

لم تظهر عيوب تذكر اثناء التشكيل والتجفيف بسبب ارتفاع نسبة المواد غير اللدنة اما بعد الحرق فلم يحدث اي تشوه في شكل النماذج ايضا.

وفي ملمس السطح فقد اظهرت النتائج ان المجموعة الاولى اتصفت بالنعومة اما الثانية فكانت اقل نعومة والسبب يعود الى شدة الانصهار كون المادة الشبيهة بالفلدسبار مادة زجاجية شديدة الانصهار والتفاعل التي سببت ندب قد تكون فقاعات دقيقة جدا انحصرت عند السطح بسبب الشد السطحي (Surface tension) (Singer, 1963, p.538) بينما المجموعة الاولى التي استعمل فيها الفلدسبار الطبيعي كان أكثر استقرارا من حيث التفاعل والانصهار.

2-4 مناقشة نتائج فحص التقلص الطولي:

1- قبل الحرق: بعد تجفيف النماذج في درجة حرارة (115م) ظهر تقارب بنسب التقلص في الخلطتين وهي (0.01-0.03%) كون معظم المواد تتصف بلدونة منخفضة عدا الكاؤولين.

2- بعد الحرق: ان ارتفاع نسب التقلص او انخفاضه يعد مؤشرا على شدة الانصهار والمتغيرات الكيميائية عبر عملية الحرق (Clews, 1977, p.15) ففي المجموعة الاولى (BC.K.F) كان التقلص (11.9-12.4%) اما في المجموعة الثانية (BC.K.FR) (12.2-12.5%) فيلاحظ ان النسبة كانت اعلى في المجموعة الثانية نسبيا والسبب هو ان (الشبيه بالفلدسبار) مادة ذات تركيب زجاجي سهلة الانصهار والتفاعل الامر الذي ادى الى تكون طور زجاجي بنسبة اعلى بالمقارنة مع خلطات الفلدسبار الطبيعي الذي تكون فعاليته اقل كونه مادة متبلورة تحتاج الى حرارة ووقت اطول مع الاخذ بنظر الاعتبار تأثير اختلاف درجات حرارة الحرق.

3-4 مناقشة نتائج المسامية وامتصاص الماء والكثافة

بشكل عام يلاحظ ان زيادة المادتين المساعدتين على الصهر، الفلدسبار والمادة العظمية بمحتواها من (P_2O_5 , CaO) واللتين تعملان على زيادة الطور الزجاجي بشكل كبير الامر الذي يؤدي الى غلق نسبة أكبر من المسامات التي تتكون في مراحل الحرق الاولى واذابة الجسيمات الصلبة فتزداد مساحات الاتصال (Pampach, 1976, p.156). اذ ظهر عبر النتائج (الجدولين 2-3 و 2-4) ان زيادة نسبة نوعي الفلدسبار مقابل المادة العظمية والكاؤولين ادى الى انخفاض في المسامية والامتصاص مقابل كثافة اعلى كما في النماذج (BC.K.FR1,3,5) و (BC.K.F1,3,5).

وفي زيادة نسبة المادة العظمية مقابل الفلدسبار والكاؤولين ولا سيما في النسبة (55%) يلاحظ ارتفاع في الكثافة والمسامية والامتصاص، هذا يبين ان تأثير محتوى المادة العظمية من (CaO) الذي يصبح فعال جدا بوجود (P_2O_5) (Hammer, 1975, p.222)، فضلا عن تكون نسبة عالية من الطور الزجاجي لارتباط (P_2O_5) مع مكونات اخرى حيث انه ينصهر في درجات حرارة منخفضة (ينصهر عنصر الفسفور P في 300م) (Hammer, p.122, 1975) (Green, 1975, p.89) كما في النماذج (BC.K.F.6,7) و (BC.K.FR6,7).

وقد لوحظ ان ارتفاع نسبة المادة العظمية الى (60%) مقابل الكاؤولين والفلدسبار بنوعيه ادى الى ارتفاع المسامية بشكل ملحوظ مع ارتفاع في نسبة امتصاص الماء والكثافة. وفي درجة الحرارة الاعلى (1260م) فان التفاعلات الشديدة ادت الى انصهار عالي صاحبه تكون غازات حررها (P_2O_5) و (Na_2O) الموجود في معظم مكونات الخلطات كشوائب او ضمن التركيب (الجدول 3-1) والذي يتبخر بعد درجة حرارة (1200م) (Hammer, 1975, p.4) نتج عن هذا تكون مسامات مفتوحة ادت الى زيادة نسبة امتصاص الماء ومغلقة ادت الى انخفاض الكثافة مع الاخذ بنظر الاعتبار

ان اختلاف درجات الحرارة بين (1220م) الى (1260م) له تأثير يتناسب وتباين نسب مكونات الخلطات في المجموعتين لهذا نلاحظ ان الارتفاع التصاعدي لدرجة الحرارة لا ينتج اختلاف تصاعدي للمواصفات.

ونلاحظ كذلك اختلاف في قيم النتائج بين المجموعة المستعمل فيها الفلدسبار الطبيعي وشبيه الفلدسبار والسبب هو ان الاول مادة متبلورة صعبة التفاعل الا في درجات حرارة عالية حيث ان درجة حرارة فعاليتها حوالي (1200م) بينما الثاني مادة ذات تركيب زجاجي ينصهر بدرجة حرارة اقل وأسرع تفاعلاً.

4-4 مناقشة نتائج الصلادة ومقاومة الخدش

نلاحظ من الجدول (3-4) ان قيم الصلادة في المجموعة الثانية المحتوية الشبيه بالفلدسبار هي اعلى مما في المجموعة الاولى المحتوية على الفلدسبار الطبيعي؛ وذلك لان المادة الشبيهة بالفلدسبار ذات تركيب زجاجي يذوب بدرجة حرارة منخفضة نسبياً ووقت اقصر كونه مادة مفترقة (Fritt) ثم يتفاعل مع الكاؤولين والمادة العظمية بشدة اثناء ارتفاع الحرارة وهذا يعني طور زجاجي بنسبة عالية، اما الفلدسبار الطبيعي فانه يتحلل ببطء وينصهر في (1200م) مكوناً تركيب زجاجي كثيف ليتفاعل مع المكونات الاخرى بفعالية اقل مما في الفلدسبار المصنع (الفقرة 4-1، 2).

وتبعاً لذلك فان المائعية العالية (High fluidity) في المجموعة الثانية ادت ايضا الى سطح عالي الانصهارية وعالي التجانس (Film) ذو مقاومة خدش عالية.

4-5 مناقشة التحليل المعدني (X.R.D.)

اظهرت منحنيات اشعة (X.R.D.) ان المعادن المتبلورة الرئيسة المكونة للجسم الخزفي الفلدسبار الكالسيومي (Anorthite) والكالسيا (Calcia) والاباتيت (Apatite) والسائل الزجاجي غير المتبلور (Amorphous) وهذا يعني ان البدائل قد حققت مواصفات هذا النوع من الخزف وبنسبة عالية وهي مطابقة للبحوث والدراسات (الفقرة 1-1).

4-6 مناقشة نتائج النفاذية الضوئية

تراوحت نسبة النفاذية الضوئية في نماذج المجموعتين (3-8%) وهذا يتطابق مع النفاذية لهذا النوع من الخزف (الشكل 1-2)، في المجموعة الاولى كانت القيم (4-8%) اما في المجموعة الثانية (6-3%)، ويرجع تباين النفاذية الضوئية الى ان التجانس في تركيب الجسم يزيد نسبة نفاذية وهذا يعني ان النفاذية الضوئية للنماذج (6, BC.K.F5 و 6, BC.K.FR5) 8% و6% على التوالي الاعلى في المجموعتين وهنا يمكننا ان نستنتج ان مكونات خلطاتهم مع درجة حرارة النضوج (متوازنة) وهذا ادى الى تفاعل نتج عنه سائل زجاجي ومواد صلبة متبلورة بنسب تتوافق والمواصفات الضوئية لهذا الخزف (الفقرة 1-1) واذا اخذنا بنظر الاعتبار المادتان المختلفتان بين المجموعتين وهي الفلدسبار الطبيعي والشبيه بالفلدسبار فان الاول في تفاعله مع المكونات الاخرى كون جسماً بخصائص أكثر شفافية (Translucency) بالمقارنة مع النوع الثاني.

ان الانخفاض في نسبة التجانس سببها زيادة او انخفاض في المكونات وارتفاع درجة الحرارة كما في النموذجين (BC.K.FR8 و BC.K.F8) حيث ارتفاع نسبة المادة العظمية ودرجة الحرارة الامر الذي ادى الى خلل في بنية الجسم مما ادى الى انخفاض في نسبة الشفافية.

ومن اسباب عدم التجانس تكون نسبة عالية من المواد المتبلورة او جزيئات سائلة التي تكون منفصلة عن السائل الزجاجي لوجود (P₂O₅) او تحرر فقاعات غازية بسبب (P₂O₅) ايضا او المواد التي تتبخر بدرجات الحرارة العالية مثل (Na₂O) مما يؤدي الى تكون حالة غروية (Colloidal) وهذا يسبب تشتت بعض الاطياف الضوئية القصيرة

(Hamer, 1975, p.70)، فضلا عن وجود نسبة عالية نسبيا من الاكاسيد الملونة مثل (Fe_2O_3) التي تسبب امتصاص بعض الاطيف (راجع الفقرة 4-7).

7-4 مناقشة التحليل اللوني

في الشكل (3-3) يلاحظ في المجموعتين ارتفاع نسبة الطيف الاحمر وانخفاض الطيفين الاخضر والازرق وهذا يعني ارتفاع نسب الشوائب الاوكسيدية الملونة واهمها (Fe_2O_3)، حيث بلغت نسبته في عظم البقر (0.2%) وكاؤولين دويخلة (0.97%) وفي كاؤولين دويخلة المحروق (1.19%) (المستعمل في تحضير الشبيه بالفلدسبار) لذا يلاحظ ان نسبة الطيف الاحمر في المجموعة الثانية اعلى منه في المجموعة الاولى مع الاخذ بنظر الاعتبار ان نسبة من اوكسيد الحديد الثلاثي Fe^{3+} (Fe_2O_3) يتحلل في درجات الحرارة العالية الى اوكسيد الحديد الثنائي Fe^{2+} (FeO) الذي يسبب الاطيف الخضراء والزرقاء خاصة بوجود (P_2O_5) (Hammer, 1975, p.164) والقلويات (Musa, 1983, p.118).

ان زيادة الكثافة تؤدي الى زيادة الانكسار الضوئي وهذا معناه زيادة في التفريق (Dispersion) وتشدت الاطوال موجية القصيرة اما عندما يزداد الامتصاص بسبب وجود ملونات فان التفريق يكون للاطوال موجية الطويلة بسبب زيادة معامل الانكسار وزيادة التشثت (الشرطي، 1982، ص 220) (الهنداوي، 1997، ص 193-194).

وبشكل عام ان وجود جسيمات عالقة في السائل غازية كانت ام صلبة (نتيجة التبلور) ام سائلة (بقياسات غروية) تؤدي الى تشثت الاشعة الضوئية باختلاف معامل انكسارها مع السائل الزجاجي وهذا بالنتيجة يؤثر في درجة بياض العماذج.

5- الاستنتاجات

- 1- ان المواد البديلة (كاؤولين دويخلة وشبيه الفلدسبار) كانت ملائمة لانتاج هذا النوع من الخزف وحققت خواصه.
- 2- ان زيادة التقلص الطولي ظهر بنسبة اعلى في المجموعة الثانية بسبب استعمال الشبيه بالفلدسبار كونه ذو تركيب زجاجي ينصهر ليحفز (CaO و P_2O_5) ليكونا فعالين ويزيدان نسبة الطور الزجاجي (Vitrify) وهذا ادى الى زيادة الكثافة.
- 3- تكون الطور الزجاجي نتيجة استعمال المادة الشبيهة بالفلدسبار الفعالة مع المكونات الاخرى للخلطات مما ساهم في تكوين جسم ذو ترابط عالي ومن ثم كثافة عالية مما ادى الى صلادة ومقاومة خدش عاليتين بالمقارنة مع الفلدسبار الطبيعي.
- 4- ان ارتفاع الشوائب الملونة ووجود جسيمات عالقة في السائل الزجاجي (غازية، سائلة، صلبة) هذا ادى الى امتصاص او تشثت الضوء باختلاف معاملات انكسارها وبالنتيجة اختلاف في درجة البياض.
- 5- ان ارتفاع نسبة النفاذية راجع للتجانس العالي نسبيا في تكوين الخلطات وانخفاض نسبة الملونات الممتصة للضوء كما في المجموعة الاولى وبالعكس انخفضت النفاذية في المجموعة الثانية.

المصادر

المصادر العربية

1. ريان، و.، خواص المواد السيراميكية، ترجمة فاضل بندر واخرون، مؤسسة المعاهد الفنية وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، 1986.
2. الزمزي، د.معتصم واخرون، تكنولوجيا السيراميك والمواد الخام، مكتبة طرابلس العامة، طرابلس، ليبيا، 1996.
3. الشريفي، حسن محمود جواد، وآخرون، البصرييات الفيزيائية، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، بغداد، 1982.
4. علام، محمد علام، الخزف، لجنة النشر العلمي، مكتبة سجل العرب، القاهرة، 1971.
5. علام، محمد علام، علم الخزف : التزجيج والزخرفة، ج2، مكتبة الانجلو المصرية، القاهرة، 1964.
6. الهنداوي، احمد هاشم، امكانية استخدام خامات محلية لانتاج زجاج خزف معتم، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الفنون الجميلة، جامعة بغداد، 1997.
7. وسيج، حسن بطل، الترب العراقية وصلاحيتها للخزف، رسالة ماجستير، كلية الفنون الجميلة غير منشورة، جامعة بغداد، 1989.

المصادر الاجنبية

1. Basnett, D. and Cartwright, P. J., The effect of bone properties on china casting, Inter-ceram, Vol. 88, No. 5, 1989.
2. Bonnet, Jean-Pierre and Gaillard, Jean-Marie, Silicate ceramics, Ceramic, Materials, Processes Properties and Applications, Edited by Philippe Boch and Jean-Claude Niepce, Hermes, Science Europe Ltd, 2001.
3. BS, 6431, Part 13, Ceramic floor and wall tiles, Method for Determination of scratch hardness of surface according to Moh's, 1986 EN 101.
4. Choudhury, S. K. H., Material Since & Process, Indian Book Distributing Co, 1985.
5. Clews, F.H. Heary, The potter's complete of clay and glaze, Watson-Guptill pub., New York, 1977.
6. Fournier, Robert, Illustrated Dictionary of Practical Potter, London, 1967.
7. Green, D., Pottery materials and techniques, Faber and Faber Ltd, London, 1967.
8. Hamer, Frank, The potter 's Dictionary of Materials and Techniques, New York, 1975.
9. Hugh, O'Neill, Hardness measurements metals and alloys, Chapman and Hall Ltd, London, 1967.
10. Kearns, J. Timothy, American Bone China, Knowles, Tayler And Knowles, Schiffer Pub Ltd, Pennsylvania, 1994.
11. Mousa, Ali, H. S., The Effect of Glaze composition and Firing Atmosphere on Some Ceramic Stains, Unpublished M. phil thesis, University of Leeds, U. K., 1982.

12. Norton, F. H., Elements of Ceramics, Second edition, Addison-Wesley Publishing Company, Boston, 1974.
13. Norton, F. H., Refractories, McGraw-Hill Inc, New York, 1968.
14. Panpuch, R., Ceramic materials an introduction to their properties, Elsevier scientific publishing company, Amsterdam, 1976.
15. Rado, P., Production features of domestic china, Interceram, Vol. 29, No. 3, 1980.
16. Rado, Paul, An introduction to the technology of pottery, Second edition, Pergamon press, Oxford, 1988.
17. Rhodes, Daniel, Clay and glazes for the potter, Pitman Pub, London, 1975.
18. Samuella, Turek, Principles and their Applications, J.B. Lippincott, Second Edition, Philadelphia, 1985.
19. Singer, Felix, and Singer, Sonja, Industrial Ceramics, Chapman & Hall Ltd, London, 1963.
20. Standard test method for water - absorption, Bulk density, Apparent Porosity, and Apparent Specific gravity of fired. white wave products, section 15, vol 1502, 1985
21. Thornton, P. A., Colangelo, V. J., Fundamentals of Engineering Materials, Englewood Inc, 1990.
22. Webster, A. V. and Cooper J. J., Bone Ash for bone china, Interceram, Vol. 39, No. 3, 1990.
23. Webster, A.V., Cooper J. J., Hampson C. J. and Cuppon R. C. P., The properties of milled bone, Interceram, Vol. 33, No. 3, 1987.

Producing Bone China with local and manufactured materials as substitutes for the traditional materials

Ahmed Hashim Alhindawi

Emad H. Abdul Hussain Tweej

Abstract

This research studies the possibility of producing Bone China with available local and geological substitutes and other manufactured ones since it's traditionally produced by Bone ash, Cornish stone, and China clay, while the substitutes are Kaolin instead of China clay and Feldspar potash instead of Cornish stone. Because of the unavailability of Feldspar in Iraq, it was substituted with the manufactured alternative Feldspar. Bone ash was prepared from cow bones with heating treatments, grinding and sifting. The alternative Feldspar was prepared by chemical analysis of the natural Feldspar potash with local materials that include Dwaikhla Kaolin, Urdhuma Silica sand, Potassium Carbonate, and Sodium Carbonate. The mixture was burned at (1250c°) before it was grinded. The mixture's materials were sifted at (63µm). The samples were formed with slip casting by gypsum mold with a cut cone shape at (2×3×6 cm) to build a thickness of (3mm). The study materials consisted of two groups: Group 1 (BC.K.F) including Bone ash, Dwaikhla Kaolin, and the natural Feldspar, while Group 2 (BC.K.FR) had Bone ash, Dwaikhla Kaolin, and the manufactured alternative Feldspar. Every group included 8 recipes with the same percentages. The two groups were burned at (1220-1260c°), then tests were conducted: Chemical analyses, the outer appearance and color then the laboratory tests: the outer appearance, linear shrinkage, apparent porosity, water absorption, bulk density, hardness, scratching resistance, mineral analysis (XRD), color analyses, optical transmittance. After discussing and analyzing the results, it was concluded that the traditional materials substitutes gave matching and correspondent properties and specification of Bone China ceramic.