Manufacturing of Refractory Bricks from Iraqi Flint

E.M. Hadi
Applied Sciences Dept., University of Technology, Baghdad.
Email: enassm.hadi@gmail.com

Received on 26/10/2016 & Accepted on 27/4/2017

Abstract
It was done in this study the preparation of bricks refractory from Iraqi Flint and adding Iraqi white kaolin as a binding material in ratio (25, 30, 35, 40, 45)%. The samples were formed by dry pressing, dried at room temperature for 24hr then at (110)℃ for 6hr then fired at (1200)˚C with soking time for 2hr. Linear shrinkage, Apparent density, Porosity, water absorption and microstructure by (SEM) as physical properties, diametrical strength and surface roughness as mechanical testing, and thermal conductivity, linear thermal expansion and thermal shock resistance as thermal properties were studied in this study. According to (SEM) and (XRD) results, the refractories consist of mullite phase and glass phase. The results show the increase of linear shrinkage and decrease of apparent porosity and water absorption with the increasing of kaolin adding because of the increasing of ceramic raw material, which mean increasing of glass phase. For the same reason linear thermal expansion increase with the kaolin adding increasing.

تصنيع طابوق حراري من خام الفلنت العراقي

الخلاصة
في هذا العمل تم تحضير حراريات من خام الفلنت العراقي وبإضافة الكاؤلين العراقي الأبيض كمادة رابطة بالنسب الوزنية التالية %(25,30,35,40,45)، شكلت النماذج بطريقة الكبس الجاف و جففت عند درجة حرارة الغرفة ولمدة (24hr) ومن ثم عند (110)℃ ولمدة (6hr) ثم حرقت عند (1200)˚C ولزمن انضاج لمدة (2hr). تم دراسة التقلص الطولي والكثافة الظاهرية والمسامية ونسبة امتصاص الماء والبنية المجهرية بالمجهر الالكتروني الماسح كخصائص فيزيائية، ومتانة الكسر المحوري وخشونة السطح كخصائص ميكانيكية والتوصيلية الحرارية والتمدد الحراري الطولي ومقاومة الصدمة الحرارية كخصائص حرارية. أثبتت نتائج دراسة البنية المجهرية وحيود الاشعة السينية تكون الحراريات المحضرة من طور المولايت والطور الزجاجي. اظهرت النتائج ازدياد نسبة التقلص الطولي وانخفاض المسامية الظاهرية ونسبة امتصاص الماء مع زيادة نسبة الكاؤلين المضافة وذلك نتيجة لزيادة نسبة المادة الخام بمعنى زيادة الطور الزجاجي في المنتج الحراري. ولنفس السبب يزداد التمدد الحراري الطولي بزيادة نسبة الكاؤلين المضافة.
الكلمات المفتاحية: خام الفلنت العراقي، حراريات المولايت، الطابوق الحراري.

1.المقدمة:
ينتج خام الفلنت عند تعرض الصخور السليكاتية الى التجوية، ويتواجد خام الفلنت الذي يحتوي نسبة عالية من الالومينا عادة مع صخور رسوبية اخرى مثل صخور البوكسايت، ويكون بهيئة صخور او يتواجد بشكل ترسبات ابرية الشكل، ويعرف خام الفلنت بانه صخور رسوبية ذات بلورات صغيرة تعود بالأصل لصخورالكاؤلين، ويتكون من المعادن الطينية الكوارتز بشكل رئيس والكاؤلينايت [2,1].
يمتاز عن باقي الاطيان باحتوائه على نسبة اكاسيد مساعدة على الصهر قليلة، وامتلاكه ثبات حراري عالي، يتغير لونه بعد الحرق من اللون الابيض الى الرمادي، يحتوي على نسبة الومينا عالية الى متوسطة، يمتلك لدونة اقل مقارنة مع الخامات الطينية الاخرى عند خلطه مع الماء. لذا تضاف له الاطيان اللدنة اثناء التشكيل كمادة رابطة ويدخل في صناعة الحراريات. وتمتاز حراريات الطين الناري بكونها ذات مقاومة تأكل حراري عالية وثبات حراري ممتاز وهي واطئة الكلفة بنفس الوقت، كالطابوق الحراري الطيني والمنتجات الحرارية المختلفة وبالأخص حراريات المولايت [4,3]. اما الكاؤلين فهو أحد الخامات الطينية المهمة، ومعدنه الطيني الكاؤلينايت بشكل رئيس اضافة الى الكوارتز ويحتوي على الأكاسيد المساعدة على الصهر والتي تخفض من درجة حرارة التلبيد عند حرق خام الكاؤلين عند درجة حرارة (1200℃) تقريبا. اي ان طور المولايت ينتج من خامي الفلنت والكاؤلين معا، ويعد المولايت الطور الرابط في الطابوق الحراري الطيني, وفي انواع الحراريات الاخرى وهو ذو خصائص حرارية ممتازة اذ يمتلك توصيلية حرارية منخفضة ودرجة انصهار عالية وثبات حراري جيد وتمدد حراري واطئ, كما يمتلك خصائص كيميائية تناسب انتاج الحراريات فهو ذو ثبات كيميائي حراري عالي ويعد متعادل كيميائياً لذا فهو يقاوم المواد الحامضية والقاعدية معا لذا يغطي مدى واسع من التطبيقات العملية، اما طور الكرستوبلايت فهو يمثل الطور الزجاجي وينتج عن السليكا وباقي الاكاسيد المساعدة على الصهر[5,4].الفلنت العراقي متوفر بكميات انتاجية تناسب انتاج الحراريات او المولايت الصناعي

2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.

والذي بدوره يدخل في انتاج الحراريات[8,7,6]. ينتج المولايت الصناعي بإضافة الالومينا الى الخامات العراقية (الفلنت، الكاؤلين، البوكسايت) للتخلص من السليكا الحرة [10,9].
على الصعيد المحلي قام العديد من الباحثين بإنتاج طابوق حراري طيني منخفض الكلفة عالي الاداء من خامات محلية لتوفير بدائل للطابوق المستورد بوجود العديد من الخامات الطينية العراقية المناسبة، فقد قام الباحث [11] بتحضير خلطة حرارية تتكون من الكاؤلين العراقي الاحمر ونسب مختلفة من السليكا والالومينا (20,15,10) % معا و 70% كاؤلين احمر، شكلت النماذج وجففت ثم حرقت بدرجات حرارية مختلفة. اظهرت النتائج انه بزيادة درجة حرارة الحرق يحصل تحسن بالخصائص الفيزيائية, افضل النتائج تم الحصول عليها لنماذج خلطة الحراريات (70%كاؤلين و10% سليكا و20% الومينا).
كما قام الباحث [12] بمزج الفضلات المنزلية مع الطين الرطب لتكوين خليط متجانس شكل بالكبس لتكوبن الطابوق الرطب وخلال عملية الاحتراق تنتج المسامات داخل الطابوق والتي تحسن العزل الحرارى وتقلل الكثافة وتنتج طابوق ذو متانة عالية وخواص ميكانيكية مقبولة اعتمادا على المواصفة القياسية ASTM.
واخيرا صنع الباحث [13] طابوق حراري مسامي من مواد أولية محلية هي (البورسلينايت - أطيان دويخلة) أضيفت نسب مختلفة من الكاؤلين كرابط الى البورسلينايت, شكلت النماذج ثم جففت وحرقت بدرجات حرارة مختلفة, درست الخصائص الفيزيائية والحرارية, لوحظ بان النتائج ضمن المواصفات العالمية للحراريات الخفيفة الوزن, كذلك إمكانية استخدام المواد الأولية المحلية البورسلينايت والكاؤلينايت لصناعة حراريات سيرامكية خفيفة الوزن.
في هذا العمل استخدم الفلنت العراقي المحروق (الكروك) كمادة اساس في تحضير الحراريات واضيف خام الكاؤلين العراقي الابيض كمادة رابطة لتشكيل الحراريات، بعد حرق وتشكيل النماذج درست الخصائص الفيزيائية والحرارية لتقييم المنتج

2. الجانب العملي

i.المواد الخام والخطوات العملية

تم تزويدنا بصخور خام الفلنت من قبل الشركة العامة للصناعات التعدينية التابعة لوزارة الصناعة والمعادن، خام الفلنت مأخوذ من موقع البوكسايت في الصحراء الغربية التابعة لمحافظة الانبار، اما خام الكاؤلين الابيض فهو ماخوذ من مقالع دويخلة وهي ايضا في الصحراء الغربية. كسرت صخور الخامات يدويا ثم بالكسارة الفكية، بعد ذلك نخلت الدقائق بالهزاز الكهربائي للحصول على حجوم دقائقية تناسب انتاج الحراريات، تم بعد ذلك حرق خام الفلنت عند ℃ (1200) للحصول على الفلنت المحروق (الكروك)، تمت نمذجة الخامات واجراء التحليل الكيميائي قبل وبعد الحرق لتحديد نسب الاكاسيد الداخلة في تركيب الخامات وكما موضح في الجدول (1). اعتماداً على نسبة اوكسيد الالمنيوم يعد الفلنت المحروق (الكروك) الانسب لصناعة الحراريات مقارنة مع الخام قبل الحرق، اذ انه يحتوي على النسبة الاعلى من اوكسيد الالمنيوم، فكلما احتوت الاطيان على نسبة اوكسيد المنيوم اعلى كلما كانت الافضل لإنتاج الحراريات. حضرت خلطة الحراريات من الفلنت العراقي المحروق وكما موضح في الجدول (2). اضيف خام الكاؤلين بحجم دقائقي اقل من (0.75mm) وبنسب مختلفة كمادة رابطة الى الفلنت المحروق وكما موضح في الجدول (3). واضيف محلول سليكات البوتاسيوم كمادة رابطة سائلة بنسبة (10:1)، حضر المحلول بإذابة املاح سليكات البوتاسيوم الصلبة بالماء المقطر للحصول على محلول متجانس بكثافة.($1.25g/cm^3$)
تم استخدام قوالب معدنية ذات صلادة عالية، اسطوانية الشكل، مزيتة بزيت البرافين المختبري، لتشكيل النماذج بطريقة الكبس شبه الجاف احادي الاتجاه، باستخدام مكابس هيدروليكية. سجلت كتل وابعاد النماذج المشكلة، جففت النماذج عند درجة حرارة الغرفة لمدة (24hr)، ثم جففت باستخدام مجفف كهربائي عند ℃(110) لمدة (6hr)، ثم حرقت عند درجة حرق ℃ (1200)، باستخدام فرن كهربائي، وفقا لبرنامج حرق بطيء، يتضمن ثلاثة مراحل بشكل ثلاث حرقات تمت في ثلاثة ايام متتالية وكما موضح في الجدول(4).

3.الاختبارات:

1.التقلص الطولي Linear Shrinkage:

تم حساب التقلص الطولي وفقاً للمواصفة الأمريكية (ASTM - C1407) للنماذج من العلاقة الآتية:

التقلص الطولي $$(L.S)\ \% = \frac{Lo - L}{Lo} \times 100\%. \quad (1)$$

حيث إن:
Lo. طول النموذج الأصلي (mm).
L. طول النموذج بعد الحرق (mm).

2.الكثافة والمسامية الظاهرية ونسبة امتصاص الماء:

Apparent Density and Porosity and water absorption ratio وفقاً للمواصفة الأمريكية (ASTM - C373)
تم حساب المسامية و الكثافة الظاهرية ونسبة امتصاص الماء من العلاقات الآتية:

المسامية الظاهرية (A.P) % = ms-md /ms-mi×100 .(2)

الكثافة الظاهرية (A.D) = (md /ms-mi)× ρw. (3)

نسبة امتصاص الماء (W.A)% = (ms-md /md) ×100. (4)

حيث إن:
md. كتلة النموذج وهو جاف (g).
mi. كتلة النموذج وهو مغمور(g).

ms. كتلة النموذج وهو رطب (المسامات المفتوحة مملوءة بالماء) (g).
ρw. كثافة الماء (g/cm^3).

3.التوصيلية الحرارية: Thermal Conductivity

تم حساب التوصيلية الحرارية بشكل مباشر بواسطة جهاز قياس التوصيلية الحرارية الرقمي-Ceramics Instrument TH89 (05-00207). الجهاز في وزارة العلوم والتكنولوجيا-قسم المواد. يعطي الجهاز التوصيلية الحرارية بشكل جدول عند درجات الحرارة المختلفة حتى الوصول للاتزان الحراري وتعتمد التوصيلية الحرارية عند الاتزان الحراري.

4.التمدد الحراري Thermal Expansion

تم حساب التمدد الحراري الطولي بتسخين أحد أطراف النموذج ثم قياس مقدار الزيادة في الطول عند الطرف الاخر بواسطة مقياس رقمي عالي الحساسية وأقصى درجة حرارة عمل هي ℃(800). وفقاً للمواصفة الأمريكية (ASTM - C210) تم حساب معامل التمدد الطولي من العلاقة الآتية:

$$\alpha = \left(\frac{\Delta L}{L_o}\right)\frac{1}{\Delta T} \quad .(5)$$

حيث إن:
ΔL . التغير في الطول (mm).
ΔT. التغير في درجة الحرارة (℃).
Lo. الطول الأصلي (mm).

5.مقاومة الصدمة الحرارية Thermal Shock Resistance

تم إجراء اختبار الصدمة الحرارية وفقاً للمواصفة الأمريكية (ASTM - C1525)، إذ سخنت نماذج من اقراص (25) mm بمعدل(5 ℃/min) لدرجات حرارية مختلفة هي ℃(1000 - 800 -600 - 400 - 200) تركت في الفرن لمدة (30) min ومن ثم أخرجت من الفرن مباشرةً ووضعت في ماء مثلج. تم حساب متانة الكسر المحوري لنماذج لم تعرض للتسخين واخرى سخنت بالفرن لتقييم النماذج حراريا وبيان تأثير درجة الحرارة على الخصائص الميكانيكية. وباستخدام مكبس هيدروليكي تم حساب المتانة وفقا لنظرية (Brazilian Test) والتي تتعامل مع نماذج سيراميكية مشكلة بشكل قرص أو اسطوانة، وتم حساب المتانة N/mm^2 (σ_D) عند الكسر من العلاقة الآتية:

$$\sigma_D = \frac{2F}{\pi dD} \quad .(6)$$

حيث إن:
F. القوة المسلطة (N).
D. قطر القرص (mm).
d. سمك القرص (mm).

خشونة السطح:

تم قياس خشونة السطح بواسطة جهاز رقمي يعطي قيمة (*Ra) مباشرة بعد ان يتحرك المنزلق مسافة قياسية على سطح النموذج 9)mm) وهي: (The Arithmetical-Mean Surface Roughness Value) [14]:

7 . فحص حيود الاشعة السينية:

تم إجراء فحص حيود الاشعة السينية باستخدام الجهاز المصنع من قبل شركة(Bruker) الماني المنشأ سنة (2010). في قسم علم الارض – كلية العلوم – جامعة بغداد. للنماذج ذات الخصائص الميكانيكية والحرارية الأفضل، لغرض بيان الأطوار النهائية للحراريات المنتجة، والاعتماد عليها في تفسير النتائج.

8 .التصوير بالمجهر الإلكتروني الماسح:

استخدم المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) المصنع من قبل شركة (INSPECTS50) هولندي المنشأ سنة (2013). في قسم العلوم التطبيقية-الجامعة التكنولوجية. لتصوير سطح الكسر للنماذج وتصوير الأطوار المختلفة النهائية في النماذج الحرارية المنتجة، غسلت النماذج بالكحول وجففت ثم لفت بشريط موصل للكهربائية.

3-النتائج والمناقشة:

فحص حيود الاشعة السينية (XRD):

أجري فحص حيود الاشعة السينية للخامات المستخدمة، الشكل (1) يوضح نتائج فحص الحيود لخام الفلنت العراقي واما الشكل (2) فيوضح نتائج فحص الحيود لخام الكاؤلين العراقي، يوضح مخطط الحيود لخام الفلنت العراقي بأن الخام يتكون بشكل رئيس من معدني الكوارتز والكاؤلينايت قبل الحرق، ويوضح مخطط الحيود لخام الكاؤلين العراقي بأن الخام يتكون بشكل رئيس من معدن الكاؤلينايت مع وجود معدن الكوارتز قبل الحرق.

الشكل (3) يوضح نتائج فحص الحيود للحراريات المنتجة، يوضح مخطط الحيود ان الحراريات تتكون من طور المولايت والذي ينتج عن اتحاد الالومينا مع السليكا والكرستوبلايت والطور الزجاجي.

التقلص الطولي:

حساب التقلص الطولي ضروري جداً في أثناء مراحل انتاج الاجسام السيراميكية فهو يحدد مقدار النقصان في أبعاد النموذج بعد عمليتي التجفيف والحرق وكمية المادة المناسبة لإنتاج جسم سيراميكي بأبعاد معينة. الشكل (4) يوضح تغير التقلص الطولي مع نسبة الكاؤلين المضافة كمادة رابطة للحراريات المنتجة. نلاحظ من الشكل ان نسبة التقلص الطولي تزداد مع زيادة نسبة الكاؤلين المضافة وذلك نتيجة لزيادة نسبة المادة الخام في المنتج الحراري والتي تؤدي الى زيادة نسبة السليكا والاكاسيد المساعدة على الصهر والتي تسهم معاً بتكوين الطور الزجاجي الذي يعمل على زيادة نسبة التقلص الطولي عندما يتصلب اثناء التبريد. ان تكوين الطور الزجاجي يعمل على سحب بلورات المولايت مكونا الجسم السيراميكي الكثيف الصلب ومسببا تقلصاً في أبعاد النموذج. اما خام الفلنت فهو يحتوي على نسبة اكاسيد مساعدة على الصهر منخفضة نسبةً الى خام الكاؤلين، ولم يستخدم بشكل خام في الحراريات المنتجة، كما ان الفلنت المحروق يتكون من طور المولايت ذو الثبات الحراري البعدي العالي.

المسامية الظاهرية ونسبة امتصاص الماء:

تعتمد المسامية في المنتج السيراميكي على عاملين المادة الداخلة في الانتاج اولاً ومتغيرات عملية التلبيد ثانياً، قبل عملية الحرق يكون الجسم السيراميكي عالي المسامية، ومعظم المسامات مفتوحة ومتصلة، اثناء المراحل الاخيرة من عملية الحرق تقل نسبة المسامات المفتوحة وتتحول الى مسامات مغلقة، ويتلاشى عدد كبير من المسامات المغلقة في المرحلة الأخيرة من الحرق. الشكلين (6,5) يوضحان تغير المسامية الظاهرية ونسبة امتصاص الماء مع نسبة الكاؤلين المضافة للحراريات المنتجة وعلى التوالي. نلاحظ انخفاض المسامية الظاهرية مع زيادة نسبة الكاؤلين المضافة اي نسبة المادة الخام في الحراريات وذلك نتيجة لزيادة نسبة الطور السائل المتكون عند درجات الحرارة العالية والذي يتجمد كطور زجاجي يملئ المسامات المفتوحة بعد التبريد. وترتبط المسامية الظاهرية بنسبة امتصاص الماء بعلاقة طردية، فنسبة امتصاص الماء تعود الى نسبة المسامات المفتوحة في المنتج السيراميكي. اما فيما يخص الفلنت المحروق (الكروك) فهو تحول الى المولايت بعملية الحرق الاولية وشكل بلورات المولايت طولي ومنتظم لذا تترتب بشكل منتظم وبمسافات بينة صغيرة لذا فهي تسهم بخفض المسامية ونسبة الامتصاص.

الكثافة الظاهرية:

تمثل الكثافة إحدى أهم خصائص المنتجات الحرارية السيراميكية، فهي تحدد إمكانية استخدام هذه المنتجات في التطبيقات المختلفة، وتتأثر الكثافة بعدة عوامل هي التركيب الكيميائي، الحجم الدقائقي، ظروف عملية التشكيل ودرجة حرارة الحرق[16,15,2]. الشكل (7) يوضح تغير الكثافة الظاهرية مع نسبة الكاؤلين المضافة كمادة رابطة للحراريات المنتجة. نلاحظ من الشكل ان كثافة المنتج السيراميكي الحراري تزداد بزيادة نسبة خام الكاؤلين المضافة نتيجة لزيادة الاكاسيد المساعدة على الصهر مثل (K_2O, Fe_2O_3, MgO, TiO_2, CaO, Na_2O,…) والسليكا والتي تؤدي الى زيادة نسبة الطور الزجاجي المتكون والذي يملء المسامات المفتوحة مما يؤدي الى زيادة كثافة المنتج الحراري, من ناحية اخرى زيادة الكاؤلين تؤدي الى زيادة طور المولايت المتكون في المنتج والذي يمتلك كثافة عالية مقارنة بالطور السائل, لذا فالمنتج الحراري يمتلك كثافة عالية ويعد من الطابوق الحراري الثقيل المنخفض المسامية. نلاحظ من الشكل انه بزيادة نسبة الكاؤلين الى نسبة (40%) تزداد الكثافة الظاهرية حيث بعدها تثبت الكثافة وذلك نتيجة لامتلاء المسامات بالطور السائل عند النسب الاولية للكاؤلين المضاف، الطور السائل الفائض والذي لا يسهم بملء المسامات يكون طور رابط للحراريات المنتجة.

التوصيلية الحرارية:

التوصيلية الحرارية من الخصائص المهمة للطابوق الحراري فهي تحدد مدى قابلية الطابوق لتوصيل الحرارة او تشتيتها، بالأخص في افران صناعة الزجاج وصهر المعادن، الشكل (8) يوضح تغير التوصيلية الحرارية مع نسبة الكاؤلين، تزداد التوصيلية الحرارية بزيادة نسبة الكاؤلين المضافة نتيجة لزيادة كثافة المنتج الحراري، الزيادة في التوصيلية تكون طفيفة وذلك نتيجة لزيادة طور المولايت المتكون بزيادة نسبة خام الكاؤلين والذي يمتلك توصيلية حرارية منخفضة مقارنة بالطور الزجاجي.

التمدد الحراري:

التمدد الحراري من اهم الخصائص في الطابوق الحراري التي يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار اثناء انتاج الحراريات وصناعة الافران، فاختلاف معامل التمدد الحراري بين اطوار المنتج الواحد او بين الطابوق الحراري والمونة الحرارية يؤدي الى الفشل والتكسر اثناء الخدمة نتيجة لتولد ونمو الشقوق بتعاقب التسخين والتبريد. الشكل (9) يوضح تغير التمدد الحراري مع نسبة الكاؤلين. نلاحظ من الشكل زيادة التمدد الحراري بزيادة نسبة الكاؤلين المضافة, يمتلك طور المولايت معامل تمدد حراري منخفض جداً الامر الذي يجعله يناسب انتاج الحراريات, فالحراريات المنتجة تتكون بشكل اساسي من بلورات طور المولايت والطور الزجاجي الذي يمثل الطور الرابط لبلورات المولايت, بزيادة نسبة الكاؤلين تزداد نسبة طور المولايت المتكون كما تزداد نسبة الطور الزجاجي, تكون طور المولايت يكون اقل فاعلية وتثير من تكون الطور الزجاجي الضعيف حراريا وبذلك يزداد التمدد الحراري ولنفس درجة الحرارة نحصل على تمدد حراري طولي اعلى بزيادة نسبة الكاؤلين, اما الفلنت المحروق فهو يتكون من المولايت ذو التمدد الحراري المنخفض.

مقاومة الصدمة الحرارية:

مقاومة الصدمة الحرارية تمثل اهم خصائص الطابوق الحراري فهي تدرس فشل الطابوق اثناء الخدمة وتحدد عمره الخدمي[17,15]. الشكل (10) يوضح تغير متانة الكسر المحوري بعد اختبار الصدمة الحرارية مع درجة حرارة الصدمة الحرارية. نلاحظ بانه بارتفاع درجة الحرارة تنخفض متانة الكسر المحوري، ويتضمن الشكل مرحلتين المرحلة الاولى: هي مرحلة السلوك الحراري المرن حتى درجة حرارة (350℃), ثم تبدأ المرحلة الثانية: وهي مرحلة الكلال الحراري وتستمر حتى نهاية الاختبار اي حتى درجة حرارة (1000℃). بزيادة نسبة الكاؤلين المضافة تنخفض مقاومة الصدمة الحرارية ويتضح هذا السلوك من خلال انخفاض متانة الكسر المحوري، وذلك نتيجة لزيادة الكثافة للمنتج السيراميكي والتي تسهم بأضعاف مقاومة الجسم السيراميكي تجاه الصدمة الحرارية. إن زيادة الكثافة الناتجة عن زيادة نسبة المادة الخام تؤدي الى زيادة الطور الزجاجي في المنتج السيراميكي والذي يمتلك توصيلية حرارية عالية مقارنة بطور المولايت لذا فهو ضعيف تجاه الشقوق الميكروية التي تنشأ اثناء مرحلة السلوك الحراري المرن. وعلى العكس فان المنتج الذي يحتوي على نسبة منخفضة من خام الكاؤلين يحتوي على نسبة عالية من طور المولايت والذي يمتلك خصائص حرارية ممتازة ومقاومة صدمة حرارية عالية نتيجة لشكل بلورات المولايت الطولية والثبات الحراري العالي والذي يسهم بزيادة مقاومة الكلال الحراري، الشكل (12-A) يوضح سطح الكسر للحراريات المنتجة اذ ان الكسر يحصل بشكل سريع نتيجة لنمو وحركة الشقوق وهو ذو سطوح كسر هش.

خشونة السطح:

تعد خشونة السطح للحراريات أحد العوامل المهمة في أثناء الخدمة، إذ يؤثر في عملية ربط الحراريات مع مواد أخرى سواء أكانت معدنية (اجزاء الافران) أو سيراميكية (المونة الحرارية) في أثناء صناعة الأفران وتبطين المراجل اولاً ومدى تأثر الحراريات بمنصهرات المعادن والزجاج اثناء التماس المباشر بين الحراريات والمنصهر ثانياً (كما في افران صهر المعادن وصناعة الزجاج). الشكل (11) يوضح تغير خشونة السطح مع نسبة الكاؤلين المضافة. نلاحظ ان اضافة خام الكاؤلين تؤدي الى انخفاض خشونة السطح، وتنخفض الخشونة بزيادة نسبة الإضافة. تتكون نماذج الحراريات المحضرة من عدة أطوار هي طور المولايت، الطور الزجاجي والمسامات، كثافة النموذج السيراميكي الحراري ومن ثم خشونة سطحه تعتمد على مدى تجانس وتداخل هذه الأطوار مع بعضها اثناء المراحل النهائية لعملية الحرق، انخفاض خشونة السطح يسهم في زيادة العمر الخدمي للحراريات المنتجة نتيجة للتقليل من تغلغل المنصهرات والابخرة داخل الحراريات.

البنية المجهرية:

لدراسة البنية المجهرية للأطوار المكونة لنماذج الحراريات المنتجة استخدم المجهر الالكتروني الماسح (SEM), الشكل (12-B) يوضح البنية المجهرية للحراريات المنتجة, يتضح من الشكل انها تتكون من طور المولايت بشكل رئيس والطور الزجاجي الرابط, انتظام بنية المولايت تعود الى انخفاض نسبة الطور الزجاجي المتكون في الحراريات نتيجة لاستخدام الفلنت المحروق (الكروك) في انتاج الحراريات, تتفق نتائج البنية المجهرية مع نتائج فحص حيود الاشعة السينية, والتي اظهرت ان الحراريات المنتجة تتكون من طور المولايت بشكل رئيس والطور الزجاجي الرابط.

4-الاستنتاجات:

تم انتاج طابوق حراري طيني من الفلنت العراقي المحروق عالي الكثافة، واطئ الكلفة، من خامات محلية عراقية متوفرة بكميات انتاجية.

الطابوق الطيني المنتج يختلف عن الانتاج المحلي بانه حضر من الفلنت المحروق كمادة اساس بدلا من الفلنت غير المحروق وشكل بإضافة الكاؤلين كمادة رابطة.

الحراريات المنتجة من الفلنت المحروق (الكروك), امتلكت تقلص طولي منخفض وثبات حراري عالي بشكل عام.

خلطة الحراريات (فلنت محروق75% - كاؤلين25%), امتلكت اعلى كثافة, اقل تقلص طولي, اعلى متانة كسر محوري بعد اختبار الصدمة الحرارية, اقل تمدد حراري طولي واقل توصيلية حرارية نتيجة لارتفاع نسبة طور المولايت, وهي بذلك تمثل الخلطة الافضل لإنتاج الحراريات.

اظهرت نتائج البنية المجهرية ان بنية طور المولايت منتظمة (البلورات متجانسة بالشكل والحجم)، نتيجة لعدم تكون الطور السائل بإفراط وذلك يعود لاستخدام الفلنت المحروق بدلا من خام الفلنت في انتاج الحراريات وبذلك تم تجاوز مشكلة الافراط في تكون الطور الزجاجي في حراريات الاطيان العراقية المنتجة محليا.

خلطة الحراريات (فلنت محروق 55% - كاؤلين 45%), امتلكت اقل كثافة, اعلى تقلص طولي, اقل متانة كسر محوري بعد اختبار الصدمة الحرارية, اعلى تمدد حراري طولي, واعلى توصيلية حرارية, نتيجة لارتفاع نسبة الطور الزجاجي.

زيادة نسبة الكاؤلين المضاف كمادة رابطة تقلل من خشونة سطح الحراريات المنتجة.

جدول (1) نتائج التحليل الكيميائي للخامات المعتمدة في البحث.

الفلنت العراقي المحروق (الكروك)%	الكاؤلين العراقي %
75	25
70	30
65	35
60	40
55	45

جدول (2) الحجم الدقائقي للفلنت المحروق ونسب الخلط لخلطة الحراريات.

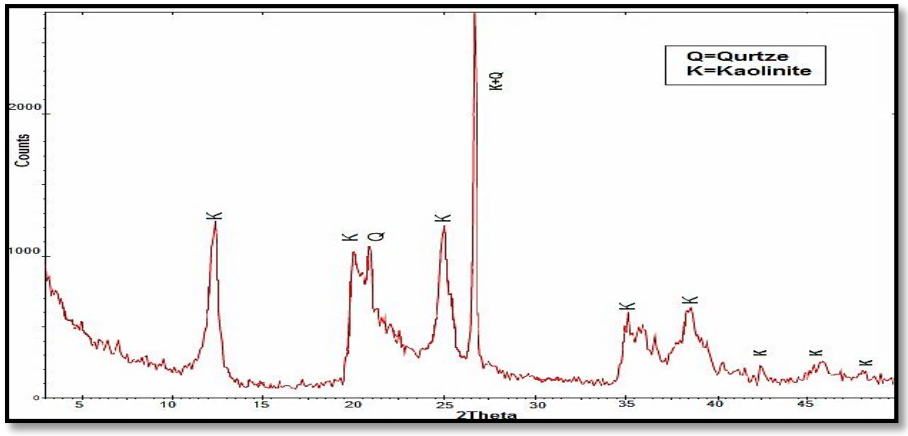
الأكاسيد	خام الفلنت Wt%	الفلنت المحروق (الكروك)Wt%	خام الكاؤلين Wt%
SiO_2	42.05	40.05	49.38
Al_2O_3	38.70	52.91	32.72
Fe_2O_3	0.88	1.10	2.07
TiO_2	2.20	2.65	1.08
CaO	1.50	0.05	1.19
MgO	1. 0	0.01	0.18
Na_2O	0.1	0.02	0.22
K_2O	0.10	0.02	0.44
SO_3	0.03	0.02	0.05
L.O.I	11.90	1.5	12.3

جدول (3) خلطات الحراريات.

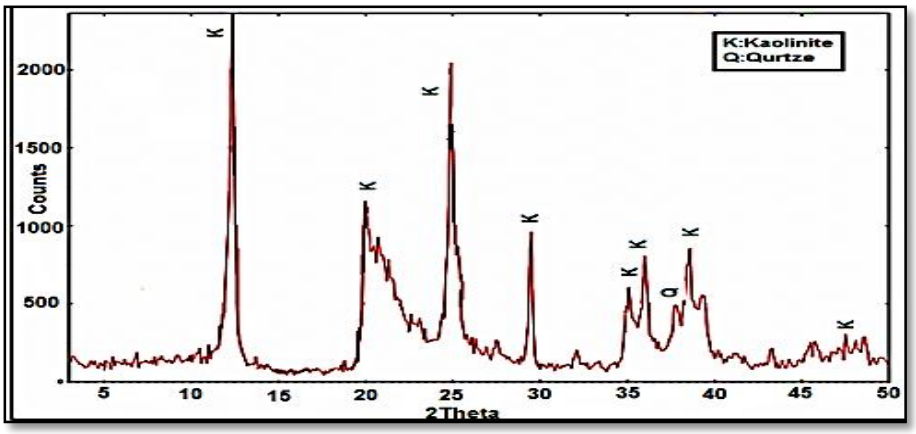
	التدرج الدقائقي للفلنت المحروق
خشن	2.5 – 1 mm
وسط	1 – 0.6mm
ناعم	0.6mm >
نسب خلط الفلنت المحروق في خلطة الحراريات	
خشن	30%
وسط	20%
ناعم	50%

جدول (4) مراحل حرق الحراريات.

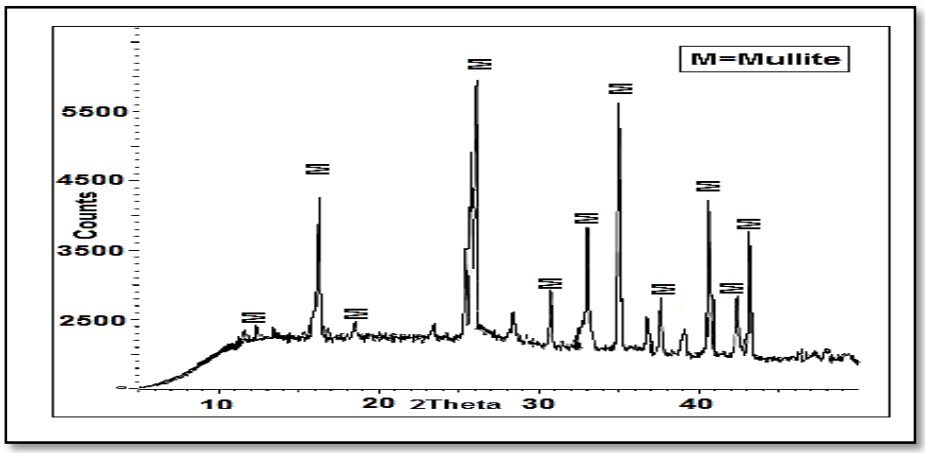
المرحلة	درجة حرارة الحرق	معدل الحرق	مدة الثبات الحراري
الاولى	(25 –700)℃	(2℃/min)	----
الثانية	(700 –1000)℃	(2℃/min)	(2hr)
الثالثة	(1200 –1000)℃	(3℃/min)	(2hr)



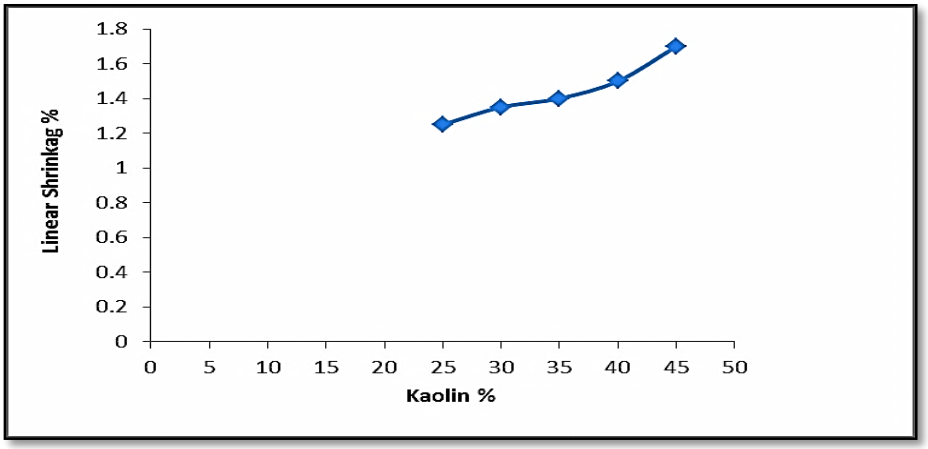
شكل1:مخطط XRD لخام الفلنت العراقي.



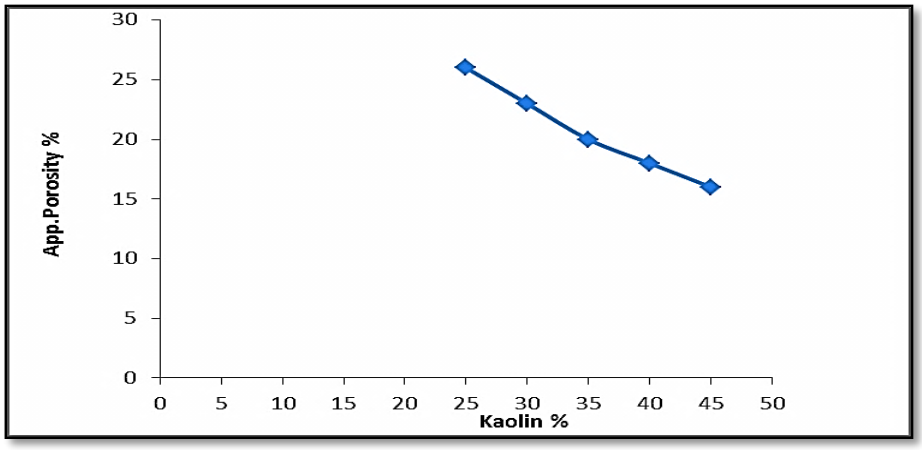
شكل 2: مخطط XRD لخام الكاؤلين العراقي.



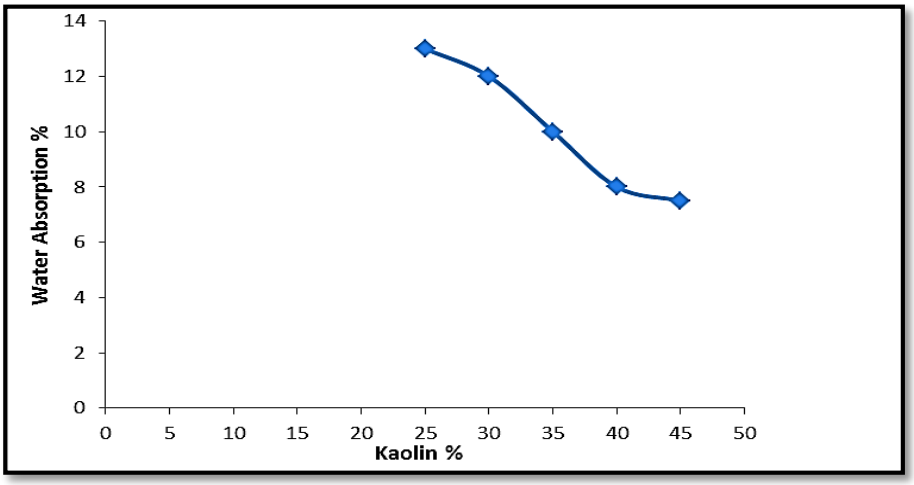
شكل 3: مخطط XRD للحراريات المنتجة مع نسبة خام كاؤلين مضافة 25%.



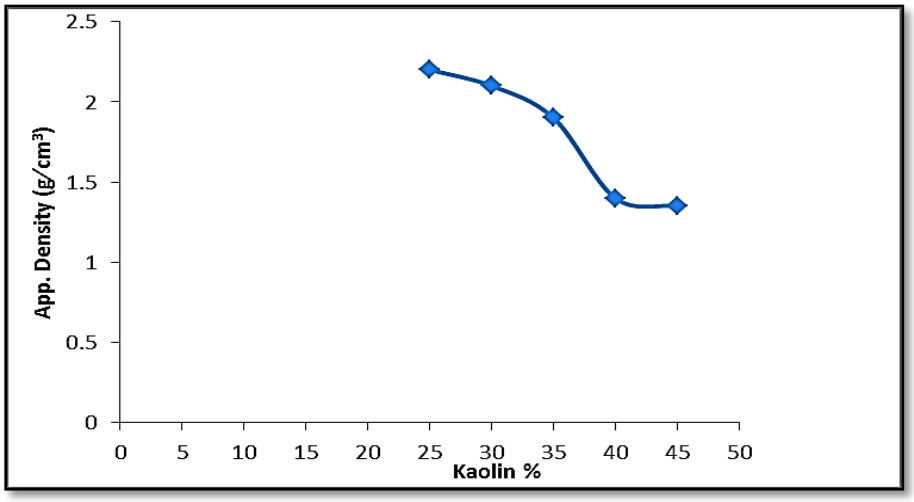
شكل4: تغير التقلص الطولي مع نسبة خام الكاؤلين في خلطة الحراريات.



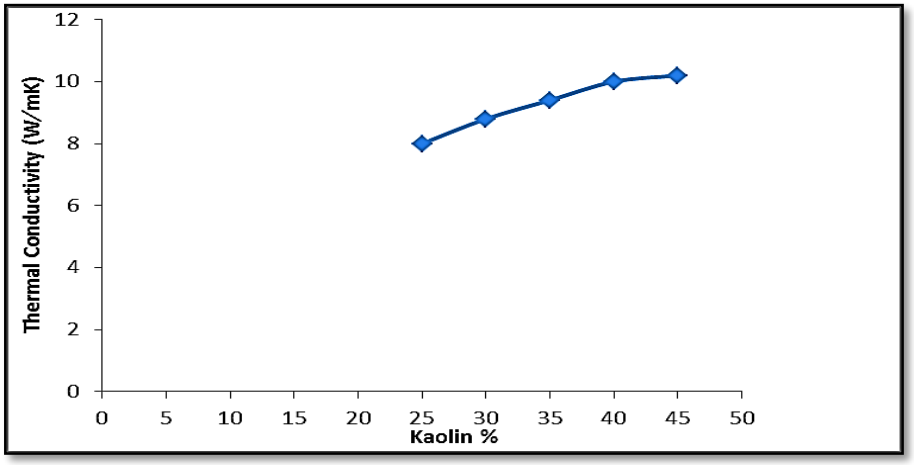
شكل 5: تغير المسامية الظاهرية مع نسبة خام الكاؤلين في خلطة الحراريات.



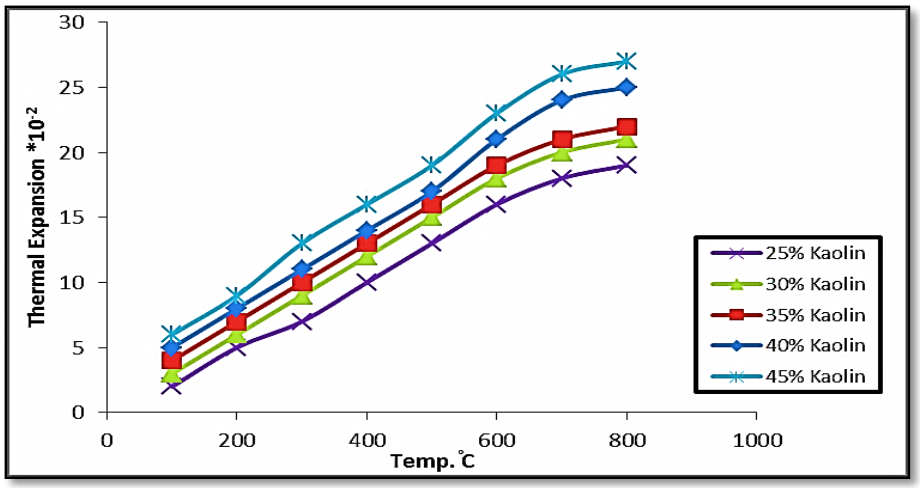
شكل 6: تغير نسبة امتصاص الماء مع نسبة خام الكاؤلين في خلطة الحراريات.



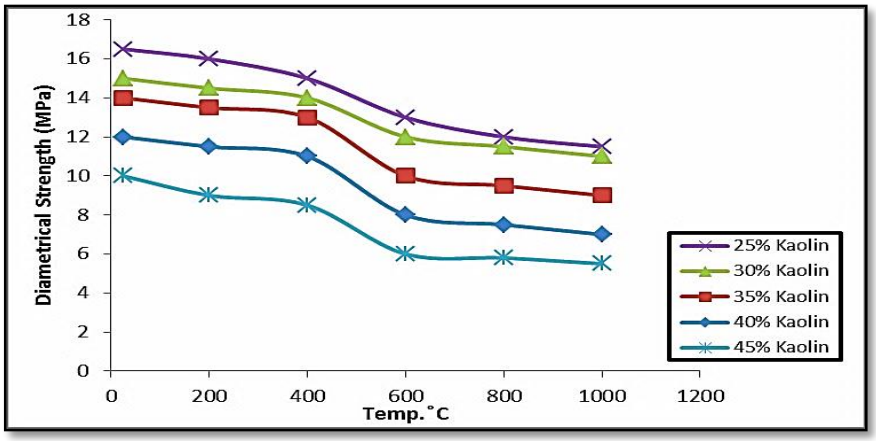
شكل7: تغير الكثافة الظاهرية مع نسبة خام الكاؤلين في خلطة الحراريات.



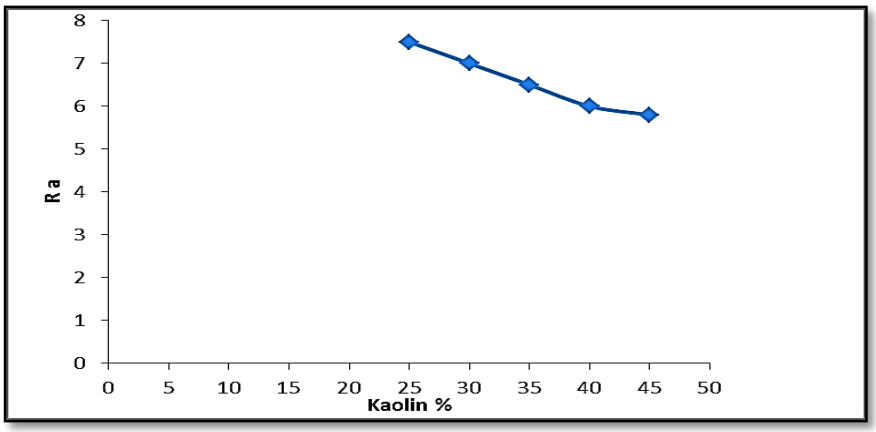
شكل 8: تغير التوصيلية الحرارية مع نسبة خام الكاؤلين في خلطة الحراريات.



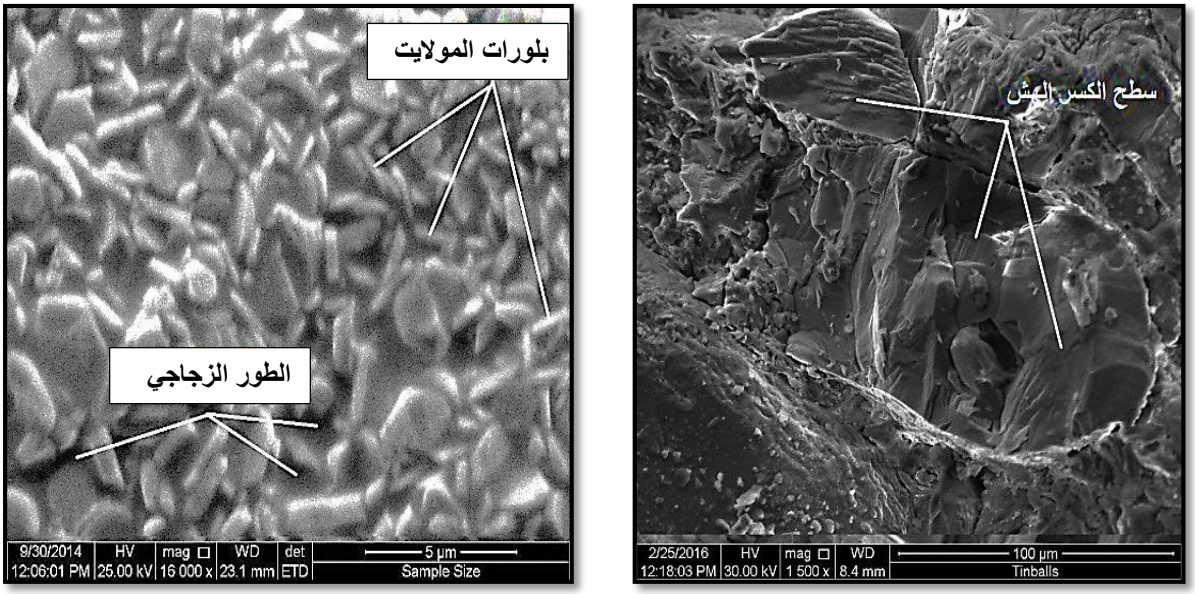
شكل 9: تغير التمدد الحراري الطولي مع درجة الحرارة للحراريات المنتجة بأضافة نسب خام كاؤلين مختلفة.



شكل 10:تغير متانة الكسر المحوري بعد التعرض للصدمة الحرارية للحراريات المنتجة بأضافة نسب خام كاؤلين مختلفة.



شكل 11: تغير خشونة السطح مع نسبة خام الكاؤلين في خلطة الحراريات.



B A

شكل12: A. سطح الكسر للحراريات المنتجة مع نسبة خام كاؤلين مضافة 25%.
B.البنية المجهرية للحراريات المنتجة مع نسبة خام كاؤلين مضافة 25%.

المصادر:

[1]. Z. R. Carter, "Physical Geology," John Wiley and Sons, New york, 2001.
[2]. P. Boch and J – C Niepce, "Ceramic Materials," ISTEL td, Uk, 2007.
[3]. W. E. Worrall, "Ceramic Raw Materials," 2nd. Edi. The Institute of Ceramic, 1982.
[4]. A. M. Garber's – Craig,"How cool are refractory materials?", The Journal of The southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 108, 2008, pp.1-16.
[5]. C. B. Cater and M. G. Norton, "Ceramic Materials / Science and Engineering," Springer, New York, 2007.
[6]. ستار جبار رشيج الخفاجي، "معدنية وجيوكيميائية اطيان الفلنت العراقية في الصحراء الغربية وصلاحيتها لصناعة الحراريات"، رسالة دكتوراه، كلية العلوم، جامعة بغداد، بغداد، العراق, 2001.
[7]. ميادة صبحي جودي، "تجارب مختبرية لتقييم عينات من اطيان الفلنت والكاؤلين العراقية في انتاج الحراريات", مجلة الجيولوجيا والتعدين العراقية, المجلد (1), العدد (1), 2005, ص 37-46.
[8]. M. Valaskova, "CLAYS, CLAY MINERALS AND CORDIERITE CERAMICS-A REVIEW, "Ceramics – Silikáty, Vol. 59, No. 4, 2015, pp. 331-340.
[9]. G. A. Abdul – Kareem, "The Technological properties of mullite prepared from Iraqi raw materials", M.Sc. thesis, Department of Applied Science, University of Technology Baghdad, Iraq, 1996.
[10]. M. Al Amaireh,"Improving the Physical and Thermal Properties of the Fire Clay Refractory Bricks Produced from Bauxite", J. of applied sciences, Vol.6, No.12, 2006, pp. 2605-2610.
[11]. A. S. Merzah, Y. Muhsin and Y. k. Mahmood, "Improvement of Iraqi Red Kaolin Refractory Materials ", Eng. & Tech. Journal, Vol.32, Part (A), No.4, 2014, pp. 952-959.
[12]. K. S. Shibib, K. A. Hamad, H. I. Qatta," Utilization of Mixed Waste in Fired Brick Manufacturing",Eng. & Tech. Journal ,Vol.32, Part (A), No.5, 2014, pp.1287-1293.
[13].M.H. Al-Tai, A. H. Ali, A. F. Al-Attar "Characterizations of Semi-Silica Refractory Bricks Produced from Local Iraqi Materials", Eng. & Tech. Journal, Vol.32, Part (A), No.9, 2014, pp. 2268-2276.
[14]. جعفر الحيدري، "اختبارات المواد الهندسية"، الطبعة الأولى دار المعتز للنشر والتوزيع، عمان، الأردن، 2004.
[15]. W. D. Kingery, H.K. Bowen and D. R. Uhlmanm, "Introduction to ceramics," 2nd Edi. , John Wiley and Sons, New york, 1975.
[16]. B. Cantor, F. Dunne and I. Stone, "Metal and ceramic Matrix Composites," Institute of physics publishing Ltd, UK, 2004.
[17]. E.O. Obidiegwu, D. E. Esezobor, J. O. Agunsoye and G. I. Lawal," Enhancement of Insulating Refractory Properties of Selected NigeriaFire-Clay Using Coconut Shell", Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, Vol. 3, 2015, pp. 458,- 468.

الباحثة

د.ايناس محي هادي
حاصلة على شهادة الماجستير عام 1999
حاصلة على لقب استاذ مساعد عام 2010.
حاصلة على شهادة الدكتوراه عام 2015.
حاصلة على براءة اختراع في مجال الحراريات عام 2016.
ومستمرة في العمل في الجامعة.