# تقييم خصائص أطيان تلول جبل القند لتصنيع طابوق البناء باعتماد طريقتي البثق والكبس في التشكيل

ميادة صبحي جودي[1] و وليد رشيد عبدآلله[2]

الاستلام: 27/ 10/ 2014، القبول: 19/ 2015/04
الكلمات الدالة: طابوق البناء، طرق التشكيل، أطيان جبل القند، نينوى، العراق

**المستخلص**

لغرض التعرف على خواص أطيان منطقة تلول جبل القند في محافظة نينوى، فقد تم دراسة خواصها وتحديد صلاحيتها في إنتاج طابوق البناء بطريقتي البثق والكبس، تم أخذ (10) نماذج من المادة الخام ونمذجتها بالتقسيم والتربيع وإجراء الفحوصات الكيميائية والفيزيائية والمعدنية وتهيئتها للتشكيل باتباع طريقتي البثق بأبعاد (2.5 × 3.8 × 7.5) سم والكبس (شكل اسطواني) بأبعاد (3.5 × 5.4) سم، وتم تجفيف النماذج على مرحلتين بدرجة حرارة الغرفة لمدة (48) ساعة وبالفرن الكهربائي بدرجة (110) °م لمدة (24) ساعة. وتم الحرق بدرجات حرارية مختلفة (750، 800، 850 و 1100) °م وفق برنامج حرق معين وزمن انضاج (2) ساعة، تم دراسة عدة متغيرات على خواص النماذج المختبرية المحضرة و تشمل:

إن تقليل المقاس الحبيبي للمادة الخام وتأثيرها على خواص النماذج، غمر المادة الأولية بالماء وغربلتها رطبة على مقاس (1) ملم، وعلاقة كل المتغيرات مع اختلاف درجات حرارة الحرق وطرق التشكيل (بثق، كبس)، وبينت النتائج تفوق نماذج البثق (K3-3، K1-1 و K8-2) عند الحرق بدرجة حرارة (800) °م من حيث المظهر الخارجي والخواص الفيزيائية والميكانيكية، طبقا للمواصفة القياسية العراقية رقم 25 لسنة 1993.

# ASSESSMENT OF THE KEND HILL CLAYS FOR MANUFUCTURING BUILDING BRICKS USING EXTRUSION AND PRESSING FORMING

**Mayada S. Joodi and Waleed R. Abdullah**

**ABSTRACT**

Due to the variation in the characteristics of Al-Kend Hill clays (Nineva Governorate), this study was prepared to determine the properties of these clays, and to identify the best method for the production of building bricks. Two methods of forming clay were used to produce clay brick samples: extrusion (2.5 × 3.8 × 7.5) cm and pressing cylinder shape (3.5 × 5.4) cm, then dried at room temperature for 48 hr and for 24 hr at 110 °C using the laboratory oven. After drying the samples, they were burned at different elevated temperatures (750, 800, 850 and 1100) °C according to certain firing program for 2 hr socking time.

The effect of several parameters on the properties of the laboratory samples were studied: (particle size distribution of the raw material, effect of submerging the raw material in water, effect of firing temperatures (750, 800, 850, 1100) °C and the relationship of all variables with different burning temperatures and the methods of forming (extrusion, pressing).

The results show that firing extruded samples at 800 °C (K8-2, K3-3, K1-1) are successful being within the specification limits of the Iraqi standards No.25, 1993.

[1] معاون رئيس مهندسين، هيأة المسح الجيولوجي العراقية، ص.ب. 986، علوية، بغداد، العراق
[2] مدرس مساعد، قسم هندسة المواد، كلية الهندسة، الجامعة المستنصرية

**المقدمة**

تم دراسة الترب الطينية المتطبقة ضمن التكاوين الجيولوجيه (إنجانة والمقدادية) التي ترسبت على هيئة طبقات طينية في بيئة فيضية قديمة أو بيئة بحرية شاطئية قديمة تعرضت للطمر والرص الطبيعي وعند تعرضها للتجوية أصبحت مكشوفة أو شبه مكشوفة. هناك العديد من الدراسات لصناعة الطابوق الفخاري محليا المصنع من تكويني إنجانة والمقدادية في محافظات ديالى وصلاح الدين وكركوك ونينوى والتي بحثت التقييم النوعي والكمي للترب الطينية لأغراض صناعة الطابوق، تقع منطقة الدراسة على بعد 30 كم شمال مدينة الموصل وعلى بعد 10 كم جنوب ناحية القوش، فيها تلول منعزلة تتكون من التتابع الطبقي للطين والغرين والرمل والحجر الطيني، اذ تحوي ترسبات الأطيان المتطبقة على معادن طينية رئيسة كالمونتمورلونايت والباليكورسكايت يرافقها معادن غير طينية كالكالسايت والكوارتز (Ma'ala *et al*., 2001, 2002 and 2007)، وتم دراسة تاثير نسب المعادن الطينية وغير الطينية على صناعة الطابوق وغيرها من الصناعات السيراميكية، كما توجد دراسة عن تأثير حبيبات الكلس الناعمة في الترب على خواص الطابوق المنتج التي اجريت من قبل Al-Kass (Al-Kass *et al*., 1985) الذي استنتج أن وجود الكلس بالنعومة المقاربة للتربة لاتؤدي الى تشقق النموذج نتيجة الانتفاخ الذي يسببه تفكك الكالسايت على أن يكون الحرق بدرجة حرارة (850) °م وعالميا توجد الكثير من الدراسات التي تقيم المنتجات السيراميكية وبالأخص الطابوق كالدراسة التي قام بها Martirena (Martirena *et al*., 2006)، إذ أشار الى ان إضافة الكالسايت بنسبة قليلة للأطيان يقلل من درجة حرارة الإنضاج ويحسن مقاومة انضغاط الطابوق، والدراسة التي قام بها Cultrone (Cultrone e*t al*., 2004) الذي أشار الى ان وجود الكالسايت بالمادة الأولية يؤدي الى زيادة المسامية وذلك عند حرق الطابوق بين (800 – 1000) °م. كما أشارت دراسات أخرى Jodi (Jodi *et al*., 2011) الى إمكانية إنتاج طابوق البناء لنفس منطقة الدراسة، لذلك ارتأينا دراسة خصائص أطيان المنطقة وظروف الإنتاج المثلى كالتدرج الحجمي والفرق بين طرق التشكيل بالكبس أو البثق واختلاف درجات حرارة الحرق وتأثير ذلك على خواص المنتجات السيراميكية (الفيزيائية والميكانيكية).

**الجانب العملي**

تم أخذ (10) نماذج بزنة (10) كغم لكل نموذج بعد حفر قناة طويلة وعمودية على ميل الطبقات وعلى طول المكشف الواحد وبعمق نصف متر (تم إجراء الأعمال الحقلية من قبل منتسبين في المكتب الإقليمي في محافظة نينوى). وتعود جميع النماذج الى تكوين المقدادية عدا النموذجين (K1-1 و K1-3) وهما من تكوين إنجانة.

وتم تقسيم المواد الخام المنمذجة الى مجموعتين [متفتت، حجر طيني (claystone)]، وفيما يخص النماذج المفتتة فقد أجري عليها التقسيم والتربع وأخذ نموذج ممثل (بعد فرز الكتل الخشنة في المواد الخام وغربلتها على غربال مقاس: 2 ملم) وأرسل النموذج المذكور للتحليل الكيميائي، أما نماذج الحجر الطيني، فقد تم تكسيرها بالكسارة الفكية، ثم التقسيم والتربيع واستخدام النموذج المختار من كلا النوعين لإجراء التحليل الفيزيائي والكيميائي والمعدني كما مبينة في الشكل (1).

- **الفحوصات الفيزيائية**

تم إجراء الفحوصات الفيزيائية (اللدونة، تحليل المقاس الحبيبي) للمواد الاولية الطينية، حيث أجري فحص اللدونة بطريقة حساب قوام التربة وحدود أتربيرك (ASTM, D4316) وأجري تحليل المقاس الحبيبي بطريقة الهايدروميتر (ASTM, D422) والنتائج مبينة في الجدول (1)، شكل (1).

- **التحليل الكيميائي**

تم إجراء التحاليل الكيميائية للمواد الأولية بطريقة التحليل الرطب حسب السياق رقم (21) للمختبرات الكيميائية لهيأة المسح الجيولوجي العراقية (Al-Janabi *et al*., 1992) والنتائج مبينة في الجدول (2)، شكل (1).

- **التحليل المعدني**

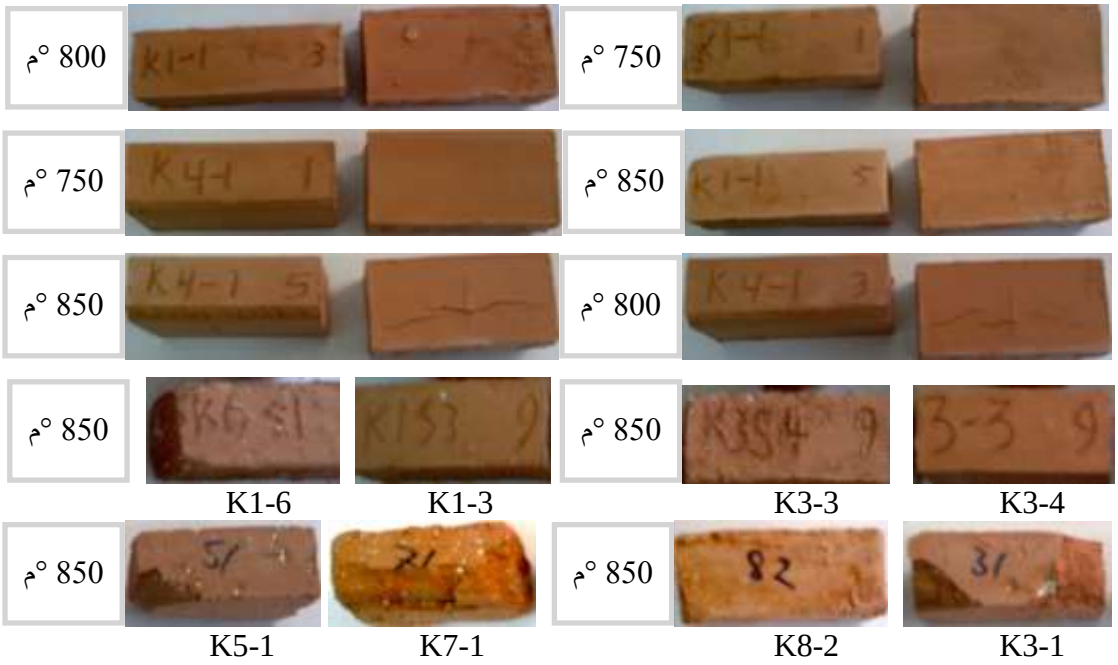
تم إجراء تحليل الأشعة السينية للمواد الخام لتحديد التراكيب المعدنية الطينية وغير الطينية باستخدام جهاز ياباني الصنع (Shimedzu, 7000) وكما مبين في الأشكال (2 – أ و ب)، (3 – أ و ب)، (4 – أ و ب)، (5 – أ و ب)، (6 – أ و ب)، (7 – أ و ب)، (8 – أ و ب)، (9 – أ و ب)، (10 – أ و ب) و (11 – أ و ب)، (الشكل 1).

جدول 1: نتائج الفحوصات الفيزيائية للمواد الاوليه

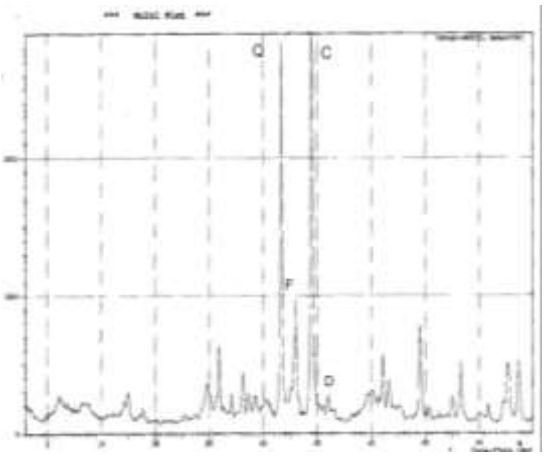
| رمز النموذج | Clay | Silt | Sand | L.L | P.L | P.I |
|---|---|---|---|---|---|---|
| K1-1 | 36 | 30 | 34 | 38.23 | 25.13 | 13.11 |
| K3-1 | 45 | 28 | 27 | 51.75 | 27.85 | 23.9 |
| K4-1 | 33 | 39 | 28 | 39.2 | 24.82 | 14.38 |
| K5-1 | 42.0 | 52.0 | 6 | 35.8 | 22.52 | 13.31 |
| K7-1 | 43 | 35.2 | 21.8 | 36.22 | 27.07 | 9.14 |
| K8-2 | 43 | 30 | 27 | 42.81 | 23.45 | 19.37 |
| K3-3 | 44.3 | 36.5 | 19.2 | 49.93 | 27.81 | 22.13 |
| K1-3 | 40 | 30 | 30 | 36.4 | 22.16 | 14.24 |
| K6-1 | 53 | 24.7 | 22.3 | 35.93 | 25.5 | 10.4 |
| K3-4 | 19.9 | 36.1 | 44.0 | 39.44 | 25.92 | 13.52 |

جدول 2: نتائج التحليل الكيميائي للمواد الأوليه

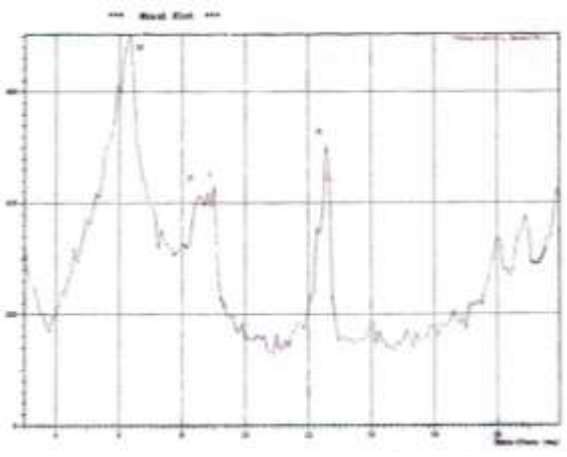
| التركيب الكيميائي (%) رمز النموذج | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | CaO | MgO | $SO_3$ | L.O.I | $Na_2O$ | $K_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| K1-1 | 43.45 | 4.72 | 9.4 | 16.24 | 6.2 | 0.16 | 16.97 | 0.62 | 1.72 |
| K3-1 | 44.66 | 4.2 | 9.39 | 15.68 | 4.1 | 0.08 | 16.52 | 0.19 | 1.85 |
| K4-1 | 35.22 | 3.88 | 7.69 | 22.68 | 3.5 | 0.11 | 22.31 | 0.10 | 1.28 |
| K5S1 | 42.04 | 4.7 | 10.27 | 17.36 | 4.5 | 0.19 | 17.65 | 0.17 | 1.93 |
| K7S1 | 37.68 | 4.5 | 8.73 | 21.28 | 4.1 | 0.10 | 20.12 | 0.12 | 1.18 |
| K8S2 | 44.82 | 4.38 | 9.61 | 15.68 | 3.5 | 0.09 | 15.98 | 0.37 | 2.22 |
| K3S3 | 47.70 | 6.01 | 14.25 | 10.08 | 4.82 | 0.14 | 12.37 | 0.16 | 2.88 |
| K1S3 | 43.80 | 5.3 | 9.55 | 16.24 | 6.53 | 0.19 | 15.86 | 0.66 | 1.77 |
| K6S1 | 40.56 | 4.85 | 9.01 | 20.72 | 4.35 | 0.10 | 19.41 | 0.12 | 1.28 |
| K3S4 | 51.30 | 3.94 | 9.10 | 14.56 | 3.60 | 0.10 | 13.68 | 0.65 | 2.03 |



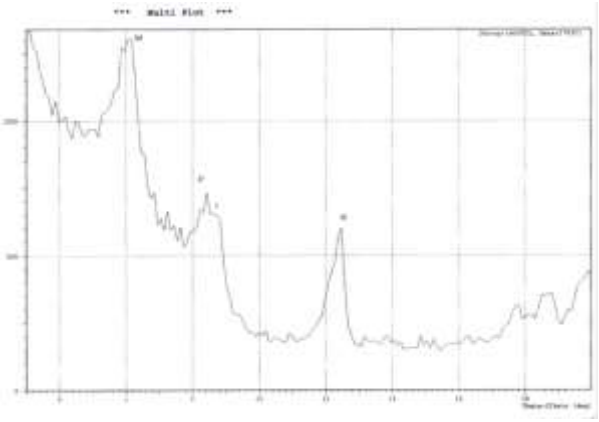

شكل 1: نماذج محضرة بطريقة البثق



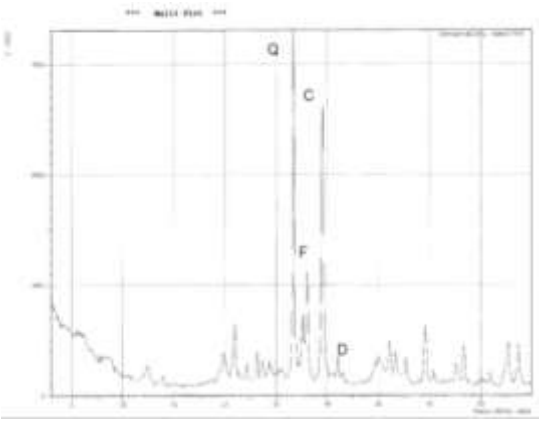

شكل 2 – أ: التحليل المعدني لنموذج (K1-1) المعادن غير الطينية



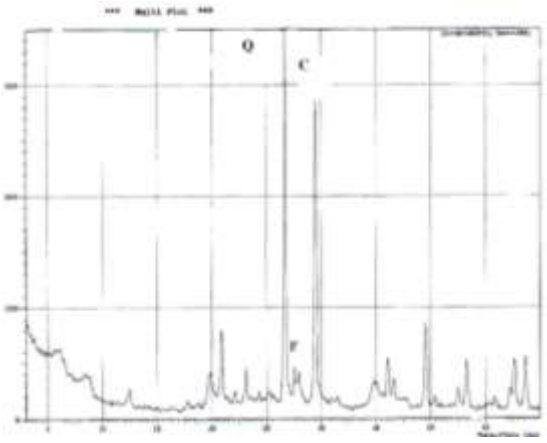
شكل 2 – ب: التحليل المعدني لنموذج (K1-1) المعادن الطيني



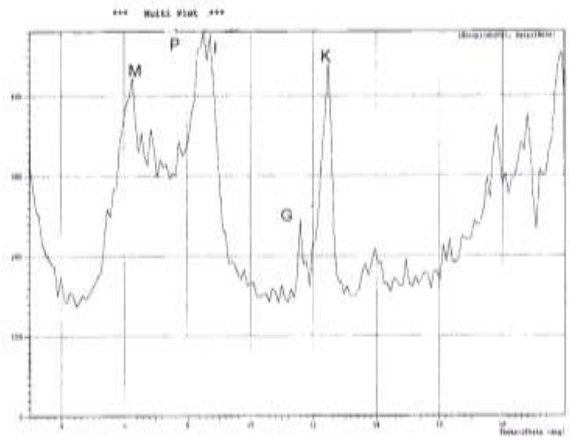
شكل 3 – أ: التحليل المعدني لنموذج (K1-3) المعادن غير الطينية



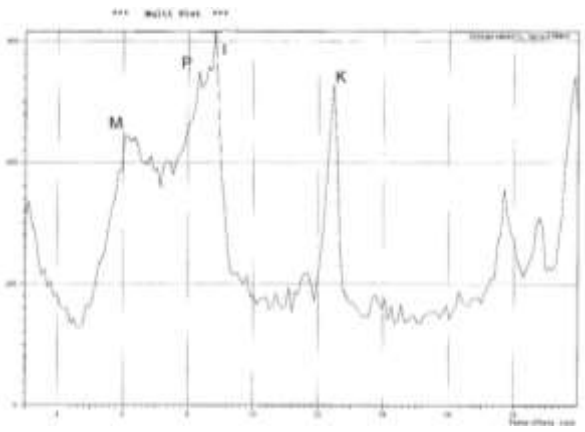

شكل 3 – ب: التحليل المعدني لنموذج (K1-3) المعادن الطينية



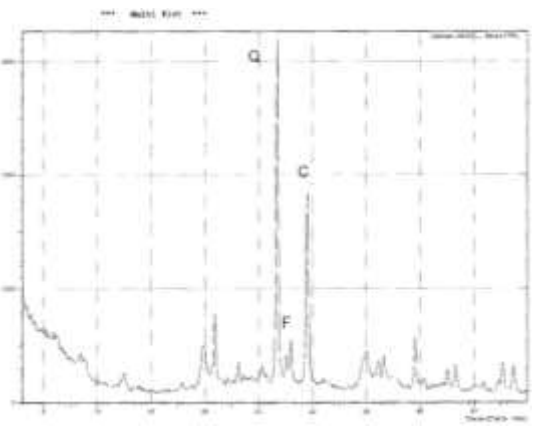

شكل 4 – أ: التحليل المعدني لنموذج (K3-1) المعادن غير الطينية



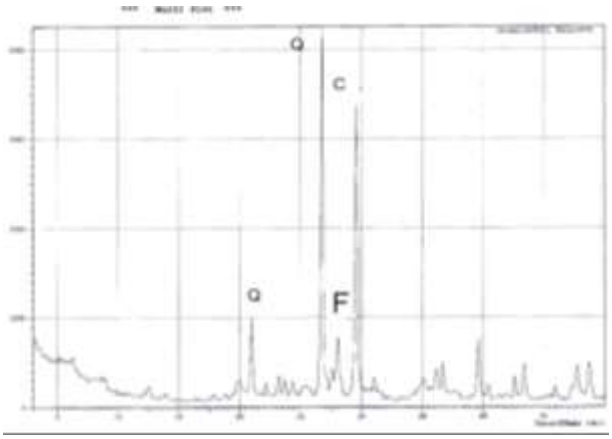

شكل 4 – ب: التحليل المعدني لنموذج (K3-1) المعادن الطينية



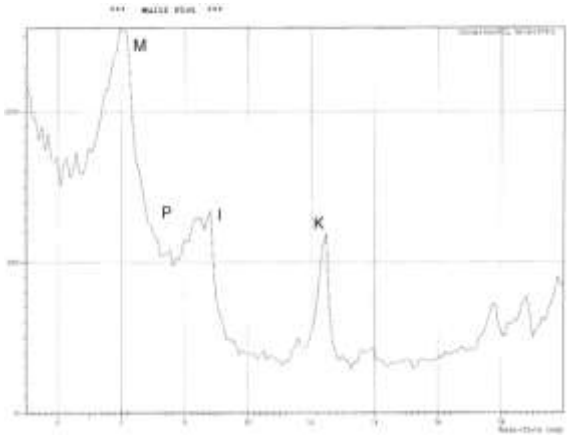

شكل 5 – أ: التحليل المعدني لنموذج (K3-3)
المعادن غير الطينية



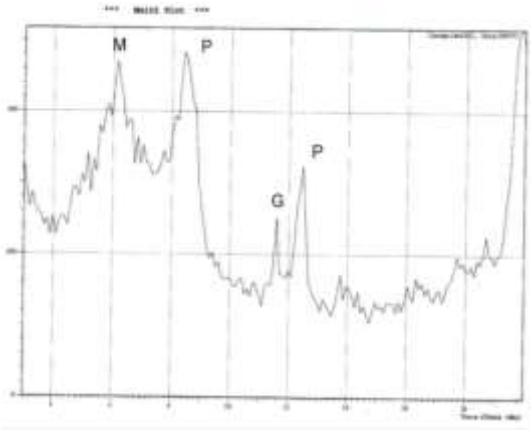

شكل 5 – ب: التحليل المعدني لنموذج (K3-3)
المعادن الطينية



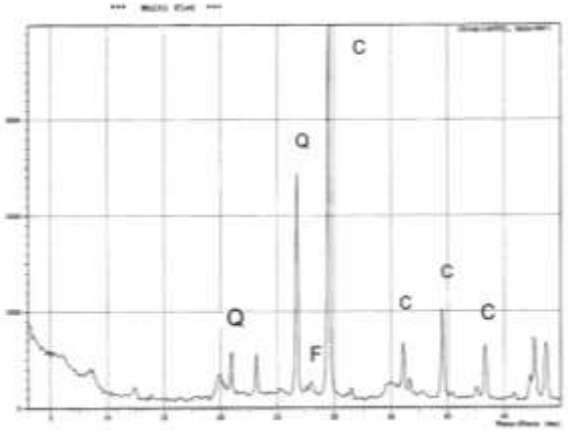

شكل 6 – أ: التحليل المعدني لنموذج (K3-4)
المعادن غير الطينية



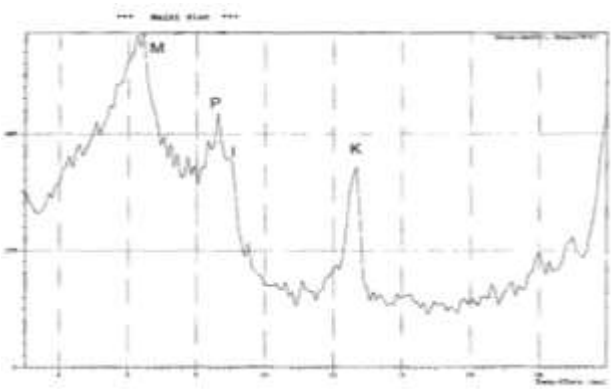

شكل 6 – ب: التحليل المعدني لنموذج (K3-4)
المعادن الطينية



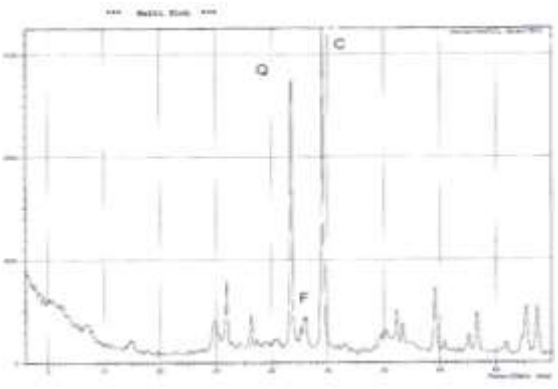

شكل 7 – أ: التحليل المعدني لنموذج (K4-1)
المعادن غير الطينية



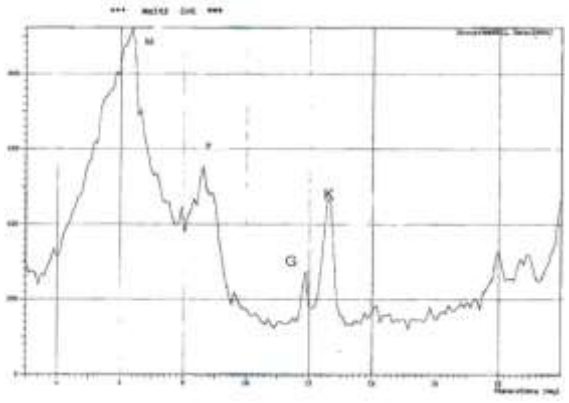

شكل 7 – ب: التحليل المعدني لنموذج (K4-1)
المعادن الطينية



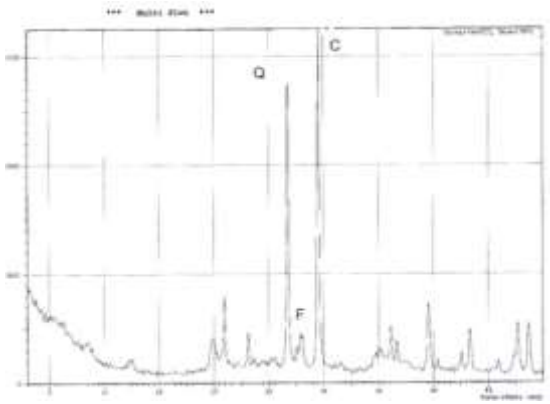

شكل 8 – أ: التحليل المعدني لنموذج (K5-1) المعادن غير الطينية



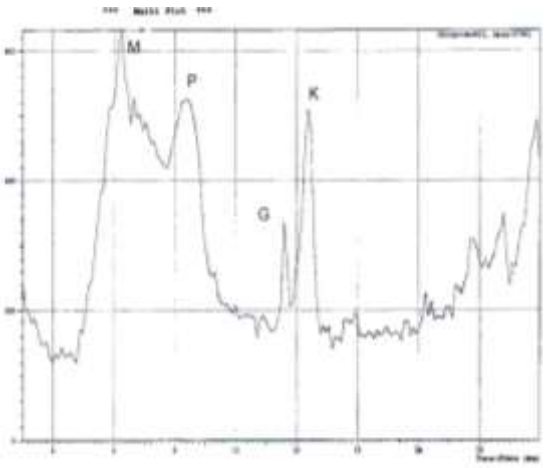

شكل 8 – ب: التحليل المعدني لنموذج (K5-1) المعادن الطينية



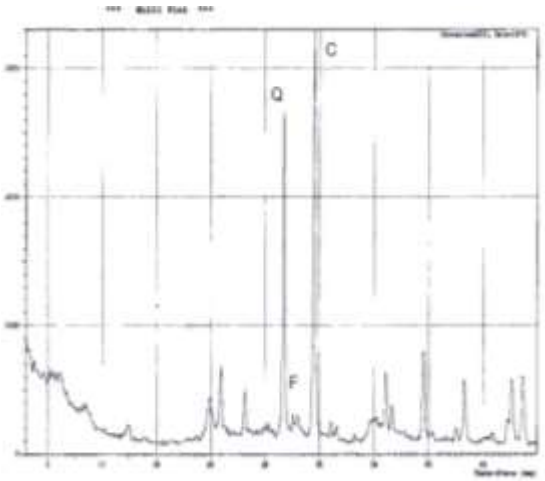

شكل 9 – أ: التحليل المعدني لنموذج (K6-1) المعادن غير الطينية



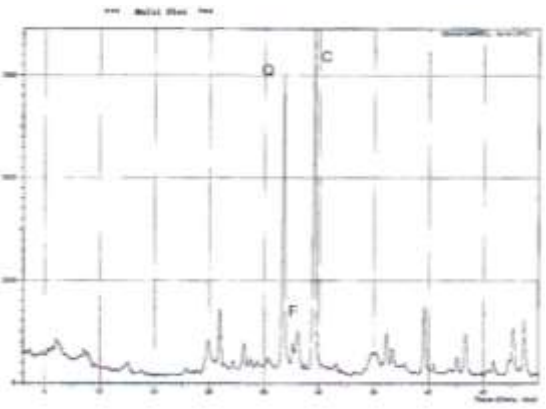

شكل 9 – ب: التحليل المعدني لنموذج (K6-1) المعادن الطينية



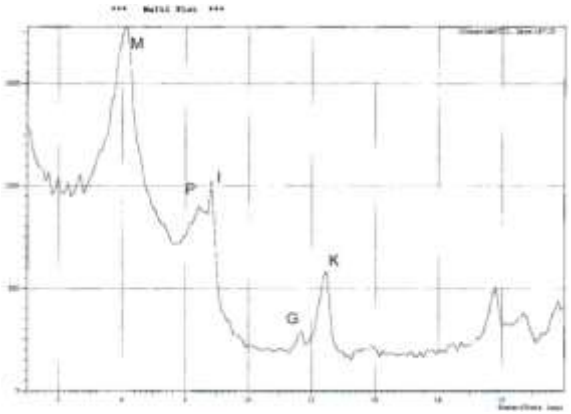

شكل 10 – أ: التحليل المعدني لنموذج (K7-1) المعادن غير الطينية




شكل 10 – ب: التحليل المعدني لنموذج (K7-1) المعادن الطينية




شكل 11 – أ: التحليل المعدني لنموذج (K8-2) المعادن غير الطينية




شكل 11 – ب: التحليل المعدني لنموذج (K8-2) المعادن الطينية

| | |
|---|---|
| Q (كوارتز): $SiO_2$ | C (كالسايت): $CaCO_3$ |
| D (دولومايت): $CaCO_3.MgCO_3$ | G (جبسم): $CaSO_4.2H_2O$ |
| P (باليكورسكايت): $Mg_5Si_{.8}O_{20}(HO)_2(OH_2)_4.4(H_2O)$ | M (مونتموريلونايت): $(Ca)_{0.3}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2.nH_2O$ |
| K (كاؤولينايت): $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$ | I (الايت): $KAl_2(OH)_2[AlSi_3(O, OH)_{10}]$ |
| H Fe2(هيماتايت): $Fe_2O_3$ | |

**تشكيل النماذج**

- **طريقة البثق**

تم تحضير النماذج بطريقة البثق بألابعاد (2.5 × 3.8 × 7.5) سم حيث اخذت المادة الخام (لأغلب النماذج) بعد الغربلة مباشرة على مقاس (2) ملم وتم إضافة الماء للترب للتخمير لمدة (3) أيام لتوزيع التجانس الرطوبي إذ أن بقاءها مدة أطول بالمحتوى الرطوبي المناسب يسمح بتفكك الكتل الطينية المتحجرة. ولتجربة غمر المادة الخام بالماء وفرز كتل الحجر الجيري تم انتخاب النموذجين (K1-1 و K4-1)، إذ تم تنقيع المادة الخام لمدة 72 ساعة لضمان تفكك الأطيان ثم غربلت على مقاس (1) ملم وبعد ذلك تم ترسيب الطين والتخلص من الماء الزائد على السطح وتجفيف النموذج بالهواء وبعدها بالفرن الكهربائي بدرجة (110) °م، وبعد ذلك تم تكسير النموذج والغربلة على غربال مقاس (300) مايكرون لتحضير النماذج بطريقة البثق المشار اليها في الأعلى.

- **طريقة الكبس**

تم اعداد نماذج طابوق مختبرية بأتباع طريقة الكبس شبه الجاف بمحتوى رطوبة (8 - 6) % وضغط تشكيل (250) كغم/سم$^2$ باستخدام قالب اسطواني بأبعاد (12 × 5) سم ، وقسمت النماذج الى ثلاث مجموعات بتدرج حجمي مختلف، كل منها عومل بطريقة خاصة وكالاتي:

- تم أخذ النماذج (K3-3، K1-3، K6-1 و K3-4) المغربلة مسبقا على منخل مقاس (2) ملم وغربلتها على مقاس (300) مايكرومتر شرط ان يتم تكسير المتبقي مرة ثانية الى أن يتم عبور النموذج بالكامل وتحضر النماذج للكبس.
- تم أخذ النماذج (K1-1، K3-1، K5-1، K7-1 و K8-2) وطحنها وغربلتها على مقاس (-75) مايكرومتر وتحضيرها للكبس.
- تم أخذ النماذج ($\bar{}$K8-2، $\bar{}$K4-1 و $\bar{}$K1-1) (وهي منمذجة مسبقا) وغمرها بالماء (التنقيع) لمدة (72) ساعة لضمان تفكك الأطيان ثم مررت على مقاس (1) ملم (ليتم فرز الكتل الخشنة من الحجر الجيري المرافق للطين) وبعدها يتم ترسيب الطين العالق والتخلص من الماء الزائد وتجفيف النموذج بالهواء وبعد ذلك بالفرن على درجة حرارة (110) °م يتم تكسير النموذج بعد التجفيف والغربلة على مقاس (300) مايكرومتر للتحضير للكبس.

- **التجفيف والحرق**

تم تجفيف النماذج المشكلة بالطريقتين (البثق، الكبس) بمرحلتين:
المرحلة الاولى: بدرجة حرارة الغرفة لمدة 48 ساعة.
المرحلة الثانية: بالفرن الكهربائي بدرجة 110 ± 5 لمدة 24 ساعة.

وتم حرق النماذج بدرجات حرارية مختلفة (750، 800، 850 و 1100) °م وفق برنامج حرق 3 °م/دقيقة وزمن الاستبقاء 2 ساعة.

- **الفحوصات الفيزيائية والميكانيكية**

تم تحديد الفحوصات الفيزيائية والميكانيكية لنماذج الطابوق المصنع وفقا لمتطلبات المواصفة القياسية العراقية رقم (25) لسنة (1993)، وتم تقييم المظهر الخارجي بعد الحرق والفحوص الفيزيائية والميكانيكية للنماذج المشكلة بالطريقتين البثق والكبس المبينة في الجداول (3، 4، 5 و 6)، الشكل 12.

جدول 3: المواصفة القياسية العراقية 25 لسنة 1993

| التزهر | الحد الأعلى لنسبة امتصاص الماء % | الحد الأدنى لقوة الانضغاط كغم/سم$^2$ | صنف الطابوق |
|---|---|---|---|
| خفيف | 20 | 180 | A |
| متوسط | 24 | 130 | B |
| عالي | 26 | 90 | C |

جدول 4: المظهر الخارجي للنماذج قبل وبعد الحرق

| مظهر بعد الحرق للنماذج المكبوسة بعد 10 ايام | | | | المظهر قبل الحرق | مظهر بعد الحرق للنماذج المبثوقة بعد 10 ايام | | | | المظهر قبل الحرق | رمز النموذج |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1100 °م | 850 °م | 800 °م | 750 °م | | 1100 °م | 850 °م | 800 °م | 750 °م | | |
| - | تفتت قليل شقوق سطحية | تفتت قليل، شقوق سطحية | تفتت السطح العلوي | خالي من العيوب | - | - | - | - | - | K1-1 |
| - | شق دائري، تفتت شقوق سطحية | شق دائري، تفتت متوسط شقوق سطحية | ناجح | خالي من العيوب | - | ناجح | ناجح | ناجح | خالي من العيوب | *K1-1$^-$ |
| - | شقوق نافذة وشقوق سطحية | شقوق نافذة، شقوق سطحية | شق نافذ | شق | - | تفتت كثير، كلس كثير | تفتت كثير، كلس كثير | تفتت قليل | خالي من العيوب | K3-1 |
| - | شقوق نافذة وشقوق سطحية | شقوق نافذة، شقوق سطحية | شق دائري | خالي من العيوب | - | شقوق نافذة | شقوق نافذة | شق نافذ | شق | *K4-1$^-$ |
| - | انقسام النموذج | انقسام النموذج | شق نافذ | شقوق | - | تهشم | تفتت كثير، كلس كثير | تفتت قليل | خالي من العيوب | K5-1 |
| - | انقسام النموذج | انقسام النموذج | شق نافذ | شقوق | - | تهشم | تفتت كثير، كلس كثير | تفتت قليل | خالي من العيوب | K7-1 |
| - | شق نافذ، تفتت شقوق سطحية | شقوق نافذة، شقوق سطحية | شق على السطح | شقوق | - | ناجح | ناجح | ناجح | خالي من العيوب | K8-2 |
| - | شق نافذ، تفتت شقوق سطحية | شقوق نافذة، شقوق سطحية | شق دائري تفتت | خالي من العيوب | - | - | - | - | - | *K8-2$^-$ |
| تقلص شديد | ناجح | ناجح | ناجح | خالي من العيوب | انتفاخات مع تزجج سطحي | ناجح | ناجح | ناجح | خالي من العيوب | K3-3 |
| ناجح | تهشم الاطراف، شقوق سطحية | تفتت كثير، شقوق سطحية | تفتت | خالي من العيوب | ناجح | تفتت قليل، كلس قليل | تفتت قليل، كلس قليل | ناجح | خالي من العيوب | K1-3 |
| شقوق نافذة | شقوق نافذة، شقوق سطحية | شقوق نافذة، شقوق سطحية | ناجح | خالي من العيوب | تفتت قليل، كلس كثير | تهشم | تفتت كثير، كلس كثير | تفتت قليل، كلس كثير | خالي من العيوب | K6-1 |
| ناجح | شقوق نافذة وسطحية، تفتت | تفتت كثير، شقوق سطحية | تفتت | خالي من العيوب | ناجح | تهشم | تفتت متوسط كلس كثير | تفتت قليل، كلس كثير | خالي من العيوب | K3-4 |

*غمر المادة الأولية بالماء ثلاثة أيام

جدول 5: الفحوصات الفيزيائية والميكانيكية للنماذج المحضرة بطريقة البثق

| رمز نموذج | 750 °م | 800 °م | | | | 850 °م | | | 1100 °م | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | الانكماش الطولي % | امتصاص الماء % | مقاومة الانضغاط كغم/سم² | الانكماش الطولي % | امتصاص الماء % | مقاومة الانضغاط كغم/سم² | الانكماش الطولي % | امتصاص الماء % | مقاومة الانضغاط كغم/سم² | الانكماش الطولي % |
| *K1-1¯ | - 0.07 | 17.37 | 217.37 | 1.08 | 18.64 | 335.79 | 1.24 | 20.97 | 245.50 | - |
| K3-1 | 0.12 | 17.99 | 203 | 0.39 | 18.09 | 273.9 | 1.08 | 15.85 | 301 | - |
| K3-3 | - 0.3 | 18.1 | 296.34 | 1.6 | 15.49 | 460.3 | 2.35 | 11.85 | 295.3 | 4.66 |
| K1-3 | 0 | 13.58 | 210.6 | 0.25 | 17.78 | 256.1 | 0.07 | 21.0 | 166.07 | 1.67 |
| K5-1 | 2.04 | 17.96 | 106.86 | 1.07 | 14.92 | 307.6 | 1.4 | 13.24 | 342.4 | - |
| K6-1 | 0.39 | 14.25 | 288.6 | 1.38 | 13.03 | 264.6 | 1.1 | 14.2 | تهشم | 3.68 |
| K7-1 | 0.35 | 16.3 | 165.55 | 1.20 | 14.52 | 364.3 | 1.66 | 13.32 | 293.2 | - |
| K3-4 | - 0.14 | 18.5 | 165.7 | 0.6 | 20.83 | 173.8 | 0.14 | 24.4 | 93.4 | 2.7 |
| K8-2 | 0.29 | 24.17 | 196.46 | 0.61 | 19.28 | 238.56 | 0.72 | 17.44 | 274.3 | - |
| *K4-1¯ | 0.29 | 18.76 | 265.33 | 2.75 | 17.43 | 403.63 | 2.94 | 18.91 | 311.06 | - |

*غمر المادة الأولية بالماء ثلاثة أيام

جدول 6: الفحوصات الفيزيائية والميكانيكية للنماذج المحضرة بطريقة الكبس

| رمز النموذج | 750 °م | 800 °م | | 850 °م | | | 1100 °م | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | الانكماش الطولي % | امتصاص الماء % | مقاومة الانضغاط كغم/سم² | الانكماش الطولي % | امتصاص الماء % | مقاومة الانضغاط كغم/سم² | الانكماش الطولي % | امتصاص الماء % | مقاومة الانضغاط كغم/سم² |
| K1-1 | 0.28 | 19.8 | 193.14 | 0.46 | 21.1 | 266 | 0.92 | 24.66 | 240.8 |
| K 3-1 | - 0.36 | 23.95 | 123 | - | - | تهشم | 2 | 24.2 | 154.6 |
| K3-3 | 0.09 | 19.2 | 358.6 | 1.5 | 19.68 | 536.55 | 2.88 | 14.65 | 581.87 |
| K1-3 | - 0.56 | 15.9 | 243.5 | - 1.8 | 20.2 | تهشم | - 2.21 | 22.4 | تهشم |
| K5-1 | 0.18 | 24.65 | 118.8 | - | - | تهشم | - | - | تهشم |
| K6-1 | 0.28 | 17.05 | 271.95 | - | - | تهشم | 0.37 | 19.36 | تهشم |
| K7-1 | 0.18 | 23.2 | 151.78 | - | - | تهشم | - | - | - |
| K3-4 | - 0.46 | 17.05 | 212.75 | - 1.5 | 21.7 | 199.4 | - 1.29 | 22.55 | 125.88 |
| K8-2 | 0.37 | 22.45 | 184.4 | 0.65 | 23.3 | 251 | 2.02 | 21.62 | 302.05 |
| *K8-2¯ | - 0.37 | 22.68 | 170.34 | 0.28 | 24.9 | 201 | - | - | - |
| *K4-1¯ | 0.09 | 26.34 | 152.19 | 0.64 | 27.05 | 143.1 | - | - | - |
| *K1-1¯ | - 0.83 | 18.78 | 135.04 | - 0.09 | 21.24 | 256 | - | - | - |

*غمر المادة الأولية بالماء ثلاثة أيام

شكل 12: نماذج تم حرقها بدرجة (750) °م

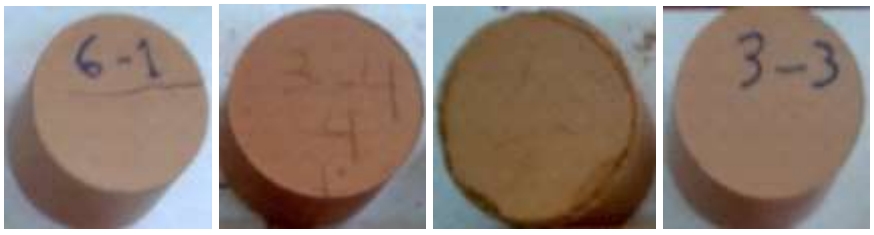
**النتائج و المناقشة**

- **خواص المواد الاولية**

— **الخواص الفيزيائية:** تشمل نتائج الفحوصات الفيزيائية للمواد الأولية كل من تحليل المقاس الحبيبي وفحص اللدونة للنماذج المبينة في جدول (1)، وتشير النتائج الى ان أغلب النماذج تتراوح نسبة الطين فيها بين (33% – 53%) وهذا يعود الى وجود المعادن الطينية التي تضفي خاصية اللدونة للخام عدا النموذج K3-4 وهو نموذج من الطين الصخري (claystone) وهو عبارة عن حبيبات معدنية صلبة مدفونة في الأعماق ومتماسكة ومتصلبة، مع تواجد الكلس على عمق قليل في التربة، وبفعل الضغط والحرارة تفتت الكلس وتداخل بين مركبات الأطيان اذ تصل نسبة الأطيان فيه الى (19.9)% ونسبة الرمل (44)%، أما بالنسبة لمعامل اللدونة فأن النماذج تعد خليط من المعادن الطينية وغير الطينية حيث ان الأولى تتسم باللدونة العالية كالمونتموريلونايت والباليكورسكايت والثانية تعد معادن غير لدنة كالكالسايت والكوارتز لذلك نحصل على حد رطوبة ملائم لانتاج الطابوق، اذ يجب ان يتراوح حد الرطوبة بين PI (10 – 30)% (Gonzalez *et al*., 1997).

— **الخواص المعدنية والكيميائية:** نلاحظ من التحليل المعدني XRD للمواد الأولية النتائج المبينة في الأشكال (2 – أ و ب)، (3 – أ و ب)، (4 – أ و ب)، (5 – أ و ب)، (6 – أ و ب)، (7 – أ و ب)، (8 – أ و ب)، (9 – أ و ب)، (10 – أ و ب) و (11 – أ و ب)، وهذه تبين احتوائها على معادن غير طينية وبصورة اساسية كالكالسايت والكوارتز وبصورة ثانوية الفلدسبار والدولومايت وظهور الجبس في بعض النماذج ووجود مجموعة من المعادن الطينية المتمثلة بصورة أساسية بالمونتموريلونايت والباليكورسكايت وبصورة ثانوية الكاؤلينايت والإلايت، إذ تتباين نسبة المعادن الموجودة بتحليل الأشعة السينية في جميع النماذج (المواد الخام) مما له دور في تحديد خواص الطابوق المنتج وبصورة رئيسية تأثير وجود الكلس بالخام والمتمثل بالكالسايت معدنيا والذي يؤثر على نماذج الطابوق بالمدى الحراري (800 – 1050) °م (Jodi *et al*., 2011) وذلك لتفكك كاربونات الكالسيوم وخروج غاز ($CO_2$) وبقاء (CaO) الذي يسهم بإضعاف النموذج فيما بعد نتيجة لامتصاص الرطوبة من الجو وتحول أوكسيد الكالسيوم الى هيدروكسيد الكالسيوم الذي يؤدي الى تشقق وتفتت النموذج، ومن جهة اخرى وجود الأطيان عالية اللدونة المتمثلة بالمونتموريلونايت والباليكورسكايت التي تسبب تشققات بالنماذج بعد التجفيف والحرق لبعض النماذج المبينة نتائجها في جدول (4)، وبالنسبة لنتائج التحليل الكيميائي للمواد الأولية المبينة في جدول (2) فقد تم إجراء التحليل الكيميائي للخام بعد الغربلة على (2 ملم) وذلك لفرز الكتل الخشنة من الحجر الجيري واستخدمت المادة العابرة من غربال مقاس (2 ملم) لتحضير نماذج الطابوق المختبري، كما ان وجود نسب من المركبات الكيميائية المتمثلة بـ ($K_2O$، $Na_2O$، $Fe_2O_3$ و MgO) مع تباين نسبها واختلاف تواجد المركبات المعدنية بالمواد الأولية يعمل على تقليل درجة الإنضاج الحراري وتقلل مقاومته للحرارة العالية (Shestoperov, 1988 and Baccour *et al*., 2008).

— **خواص نماذج الطابوق:** تم ترك النماذج بعد الحرق معرضة لجو الغرفة لمدة لا تقل عن (10) أيام لملاحظة التغيرات التي تطرأ على النماذج عند تعرضها للجو وبعدها تم إجراء الفحوصات الفيزيائية والميكانيكية، وتم تصوير بعض النماذج (شكل 13 و 14) لتعكس التغيرات التي تطرأ عليها.




شكل 13: نماذج تم حرقها بدرجة (800) °م

شكل 14: نماذج محضرة بالبثق والكبس تم حرقها بدرجة (1100) °م

**— خواص النماذج المشكلة بالبثق:**

- غربلة النماذج المتفتتة على مقاس (2 ملم) وتخميرها بإضافة الماء هي الطريقة التقليدية المتبعة معمليا وقد اتبع نفس السياق لصناعة نماذج الطابوق بطريقة البثق، وخصوصا النماذج التي تقل فيها نسبة الكالسايت كالنماذج (K1-3، K3-1 و K3-3)، حيث ظهرت بمظهر خارجي غير مشوه عند الحرق بدرجة منخفضة (750) °م كما مبين في الجدول (4)، مقارنة بالنماذج الأخرى التي ترتفع فيها نسبة الكالسايت كالنماذج (K5-1، K6-1 و K7-1) حيث أظهرت هذه النماذج بعد الحرق تشققات في جسم النموذج عند إرتفاع درجات الحرق، لذلك يكون من الأنسب تقليل درجة حرارة الحرق عن (750) °م لتلافي تفكك الكالسايت ولو جزئيا الذي يعد العامل الرئيسي في تشقق النماذج المبثوقة (Jodi *et al*., 2011).
- تكسير النماذج المتحجرة كالنموذجين K3-4 و K8-2 وغربلتها على غربال مقاس (300) مايكرومتر وتشكيلها بالبثق، كانت النتائج جيدة من ناحية المظهر الخارجي (خالي من التشققات والكتل البيضاء) والفحوصات الفيزيائية والميكانيكية عند الحرق بدرجة (850) °م كما في الجدول (5)، إذ ان انتشار حجر الكلس بالعينات المتحجرة أقل تأثرا عند الحرق مقارنة بالنماذج المتفتتة (اذيظهر حجر الكلس للعيان بمقاسات مختلفة)، وقلة نسبة CaO بالعينة التي تصل الى (15.68%) لم تؤثر على خواص الطابوق المبثوق (Jodi *et al*., 2011)، أما النموذج K3-4 فهو رملي وأبدى خشونة وتفتت السطح الخارجي نتيجة لزيادة نسبة الرمل بالعينة.
- تأثير النقع بالماء على المادة الأولية، إذ اعتمد المقاس 300 مايكرومتر لتحضير العينات بعد التجفيف لإعداد نماذج البثق، وتم تجربة هذه الطريقة على النموذجين ($\bar{}$K4-1 و $\bar{}$K1-1) إذ نلاحظ أن الأول ($\bar{}$K1-1) أبدى صفات جيدة من ناحية المظهر الخارجي والخواص الأخرى مقارنة بالنموذج الثاني الذي أظهر تشققات على سطحه نتيجة اللدونة التي زاد تاثيرها بالنقع بالإضافة الى وجود حجر الكلس.

**— خواص النماذج المشكلة بالكبس:**

- ظهر تأثير عملية التكسير والغربلة بالمقاس (300) مايكرومتر للنماذج (K1-3، K3-3، K3-4 و K6-1) حيث نلاحظ من المظهر الخارجي للنماذج المكبوسة جدول (4) ان هنالك اختلاف واضح بين العينات المختارة وذلك لاختلاف خواص موادها الأولية فأن زيادة نسبة الأطيان تؤدي الى حدوث شق بالعينة كما في النموذج (K6-1) وظهر ذلك بالحرق في الدرجات الحرارية (750، 800 و 850) °م، إذ تصل نسبة الطين بالعينة 53% كما في جدول (1)، أما النموذجين (K1-3 و K3-4) فنلاحظ تشقق السطح الأعلى للعينة وتكسر المحيط نتيجة لتعرضه للجو بعد الحرق إذ يبدأ النموذج بالتلف نتيجة لامتصاصه الرطوبة من الجو وتحول أوكسيد الكالسيوم الى هيدروكسيد الكالسيوم (الأكبر حجما) مما يؤدي الى انتفاخ وتفتت أطراف النموذج، اما النموذج (K3-4) فهو نموذج مثالي جدا عند الحرق بدرجة حرارة (800) °م كما مبين في الجدول (5) فقد أعطى مقاومة انضغاط (536.55) كغم/سم$^2$ وامتصاص (19.68) % نتيجة لنقصان نسبة CaO بالخام (9.52) % وارتفاع نسبة أوكسيد الحديد وأوكسيد البوتاسيوم (6.01%، 2.88%) على التوالي التي تعد أعلى النسب مقارنة بالنماذج البقية، إذ تعمل زيادة المواد المصهورة على تسريع الإنضاج الحراري لنماذج الطابوق (Prasertsan and Theppaya, 1995).
- تأثير طحن المواد الأولية بمقاس < 75- مايكرومتر المتمثلة بالنماذج (K1-1، K3-1، K5-1، K7-1 و K8-2) يظهر في الجدول (6). ان النماذج بدأت بالتشقق بعد التجفيف بالفرن نتيجة لخروج ماء التشكيل ويعود سبب ظهور التشققات الى النعومة العالية للأطيان وتأثير الكبس عليها في تقارب حبيبات الطين مما يعيق خروج ماء التبلور عند الحرق ويحدث شقوق نافذة بالنماذج.
- تأثير الكبس على الأطيان المغمورة بالماء ($\bar{}$K1-1، $\bar{}$K8-2 و $\bar{}$K4-1) كما مبين في جدول (4) في المظهر الخارجي، ان النماذج تبدأ بالتشققات السطحية والتفتت (الوجه الأعلى للنماذج خصوصا) عند تعرضها للجو لمدة 10 أيام تقريبا وتتدرج شدة التشقق حسب نسبة وجود الكالسايت بالعينة، ان عملية النقع أدت الى نعومة المادة الخام فعند

عملية الكبس تتداخل حبيبات المادة مما يعيق خروج ماء التبلور عند الحرق مما يحدث تشققات على سطح النموذج (Grim, 1962).

- **تأثير زيادة درجة حرارة الحرق الى 1100 °م**

تم تجربة زيادة درجة حرارة الحرق الى 1100 °م وشملت هذه التجربة النماذج (K1-3، K3-3، K3-4 و K6-1) المحضرة بالبثق والكبس حيث نلاحظ من النتائج المبينة في الجدولين (5 و 6)، ان النموذج (K3-4) أظهر أفضل النتائج (مقاومة انضغاطه 393.8 كغم/سم$^2$ ونسبة الامتصاص 13.21%) وهذه الدرجة الحرارية لاينصح بها لصناعة الطابوق وإنما يكون استخدامها لإنتاج أنواع أخرى من منتجات البناء كالبلاطات الأرضية أو طابوق الواجهات وغيرها من المنتجات السيراميكية (Karaman, 2006) ومن الواضح ان خواص هذا النموذج (K3-4) أكثر تطابقا مع مواصفات المنتجات السيراميكية المذكورة وذلك لاحتوائه على الرمال والمواد الصهورة فضلا عن الأطيان بنسب مناسبة لهذه المنتجات. أما النموذج (K3-3) فقد أبدى زيادة عالية بالانكماش (4.66% بالبثق، 7.75% بالكبس) المبينة بالجدولين (5 و 6)، نتيجة زيادة الأطيان ويرافقها زيادة المواد الصهورة، إذ أبدى النموذج المحضر بطريقة البثق تشوهات (انتفاخات وبداية تزجج) لذلك لاينصح باستخدامه بالدرجات الحرارية العالية.

أما النموذج (K1-3) فقد أظهر نجاحا في هذه الدرجة الحرارية بطريقتي البثق والكبس على عكس النموذج (K6-1) الذي أبدى فشلا واضحا في هذه الدرجة الحرارية (لنموذجي الكبس والبثق) كما مبين بالجدولين (5 و 6).

- **مقارنة بين طريقتي التشكيل بالبثق والكبس**

نلاحظ من نتائج الفحص بالجدولي (5 و 6) بالنسبة للبثق والكبس على التوالي شكل (13)، ان عملية البثق ملائمة أكثر من عملية الكبس في إنتاج الطابوق من الأطيان اللدنة والمحتوية على الكالسايت بنسب متباينة وذلك لأن عملية البثق يرافقها سحب الهواء للعينة (vacuum) أي تقليل الفراغات مما يؤدي الى تقليل امتصاص الرطوبة، وهذا يعلل سبب زيادة نسبة امتصاص الماء للنماذج المكبوسة مقارنة بالنماذج المبثوقة، وكذلك نلاحظ النماذج المكبوسة المبينة في جدول (6) تظهر التشققات للسطح العلوي المواجهة للمكبس نتيجة تداخل وتراص حبيبات الطين في أسفل قالب الكبس أكثر من السطح، وذلك يبرر امتصاص النماذج للرطوبة عند تعرضها للجو بسبب التفكك الجزئي للكالسايت أثناء عملية الحرق مكونا أوكسيد الكالسيوم الذي يعد أوكسيدا قلقا تجاه الرطوبة الموجودة بالجو فيتحول الى هيدروكسيد الكالسيوم ويزداد حجمه مؤديا الى حدوث التشققات (Elert *et al*., 2003).

**الاستنتاجات**

- استخدام طريقة البثق لتشكيل الطابوق له خصائص ديمومة أفضل بعد الحرق مقارنة بطريقة الكبس في تحضير النماذج.
- نجاح النماذج (K3-3، K8-2 و K1-1) المحروقة بدرجة 800 °م والمحضرة بطريقة البثق.
- حرق النماذج المعدة بطريقتي الكبس والبثق بدرجات حرارة تصل 1100 °م ملائمة لإنتاج مواد سيراميكية أخرى كما في النموذجين K3-4 وK1-3.

**المصادر**

Al-Kass, R., Hadi, M., Khalil, N. and Al-Takarli, S., 1985. Effec of fine calcite Grains present in the soil on the properties of clay Bricks, Building Research Center.

Al-Janabi, Y.A., Al-Sa'adi, N.A., Zainal, Y.M., Al-Bassam, K.S. and Al-Delaimy, M.R. 1992. Work Procedures, Part 21, Chemical Laboratories. GEOSURV, int. rep. no. 2002.

ASTM D-4316. Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soil.

ASTM, D422-63. Standard Test Method for Grain Size Distribution and Hydrometer analyses of Soil.

Baccour, H., Medhioub, M., Jamoussi, F. and Mhiri, T., 2008. Densification Behviour of a Red Firing Tunisian Triassic Clay. American Jour. Appl. Sci., No.5, Vol.3, p. 263 – 269.

Cultrone, G., Sebastian, E., Elert, K., Torre, M., Cazalla, O. and Navarro, C., 2004. Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. Jour. of the European ceramic society. p. 547−564.

Elert, K., Cultrone, G., Navarro, C. and Pardo, E., 2003. Durability of bricks used in the conservation of historic buildings influence of composition and microstructure. Journal of Cultural Heritage, Vol.4, p. 91 – 99.

Grim, R., 1962. Applied Clay Mineralogy. McGraw-Hill Book CO., INC, p. 52 − 71.

Gonzalez, E., Galan, A., Miras and P. Aparicio, 1997. New uses for brick making clay materials from the Bailen area southern pain. clay minerals, No.33, p. 453 − 465.

Jodi, M.S., Hussien, S.E. and Bader, N.D., 2011. Production of Building Bricks Using Some of Old Formation Clays From Naenava Selected From Location Al-Kend Hills. GEOSURV, int. rep. no. 3296.

Karman, S., Ersahin, S. and Gunal, H., 2006. Firing temperature and firing time influence on mechanical and physical properties of clay bricks. Jour. Scientific and industrial research, Vol.65, p. 153 − 159.

Ma'ala, K.A., Jabo, B.R., Al-Sa'ady, N.A., Lafta, A. and Fiadh, K., 2001. Qualitative and Quantitative Evaluation of the Bedded Clayey Soil for the Purpose of Clayey Building Bricks Industry in South of Mosul, Nanina Province, GEOSURV, int. rep. no. 2725A.

Ma'ala, K.A., Khames, D.B., Souad, Q.J., Al-Sa'ady, N.A. and Abid Al-Zahra, E.K., 2002. Primary Qualitative and Quantitative Evaluation of the Bedded Clayey Soil for the Purpose of Clay Bricks Industry in East of Tikrit – Salah- Al-Din Province, GEOSURV, int. rep. no. 2807B.

Ma'ala, K.A., Souad, Q.J., Khames, D.B., Al-Sa'ady, N.A. and Lafta, A., 2001. Qualitative and Quantitative Evaluation of the Bedded Clayey Soil for the Purpose of Clayey Building Bricks Industry in Injana Area Dyala Province, GEOSURV, int. rep. no. 2715B.

Ma'ala, K.A., Souad, Q.J., Khames, D.B., Jabo, B.R., Al-Sa'ady, N.A. and Kadhum, M.A., 2007. Laboratory Assissment for Utilization of Neogen Mudstones in Manufacturing of Building Bricks. Iraqi Bull. Geol. Min., Vol.3, No.2, p. 1 – 15.

Martirena, J., Day, R., Betancourt, D. and Diaz, Y., 2006. Improvement of Engineering Properties of Fired Clay Bricks through the Addition of Calcite, university of Calgary, Canada.

Prasertsan, S. and Theppaya, T., 1995. A Study Toward Energy Saving in Brick Making: Part 1– Key Parameters for Energy Saving. Department of Mechanical Engineering, Thailand 90110.

Shestoperov, S., 1988. Road and Building Materials. English translation, S.Semyonov, Vol.1, p. 320 − 348.

Standard Specification No. 25, 1993. Brick Manufacture from Clay. Central Organization for Standardization and Quality Control.