

تقييم صلاحية أطيان تكويني الفتحة وانجانة لصناعة الطابوق والسيراميك في محافظة

نينوى

عزالدين صالح الجوادي	سالم قاسم النقيب	ذنون عبد الرحمن ذنون
قسم هندسة التعدين	مركز بحوث السدود والموارد	قسم علوم الأرض
كلية هندسة النفط والتعدين	المائية	كلية العلوم
جامعة الموصل	جامعة الموصل	جامعة الموصل

تاريخ الاستلام 2021/4/24 ، تاريخ القبول 2021/6/24

الملخص

إن ندرة تواجد ترسبات طينية وغرينيه في وادي نهر دجلة وروافده في المنطقة الشمالية من العراق دعا إلى البحث عن أطيان ملائمة لصناعة الطابوق والسيراميك في التكوينات الجيولوجية. تم إجراء مسح جيولوجي لطبقات حجر الطين لصخور تكويني الفتحة وانجانة في كل من قضاء الحمدانية وتلكيف والشيخان التابعة لمحافظة نينوى. اختيرت نماذج من الطبقات التي تمتاز بسمك مناسب ووضع طبوغرافي ومنجمي يسهل الاستغلال في حال نجاح المواد الأولية للصناعة. أجريت الدراسة على خمس نماذج اطيان مختارة من قرية محيورات من تكوين انجانة وتقاطع طريق وانه-سد الموصل بواقع نموذجين ونموذج من قرية النوران ونموذج من عين النوران ضمن تكوين الفتحة. بينت النتائج ان معظم الطبقات الطينية تمتاز بنسبة عالية من كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم وان اقل نسبة لكربونات الكالسيوم الطبيعية كانت في طبقات تكوين إنجانة المأخوذ من قرية محيورات والتي بلغت 16.83%، وكان تصنيفه هو طين قليل السيولة. تبين من خلال مخطط معامل اللدونة وحد اللدونة ان الاطيان المأخوذة من منطقتي محيورات وقرية النوران وقعت في النطاق المفضل اما البقية فكانت في نطاق القبول. امتازت النماذج المحضرة من أطيان محيورات بتقلص حجمي مقداره 16.1% ونقصان في الوزن مقداره 23.4% وكثافة 1.63 غم/سم³ ومقاومة انضغاط 19.8 ميكا باسكال ونسبة امتصاص ماء 17% وتزهر خفيف، وصنفت ضمن الصنف A وكذلك النماذج المحضرة من عين النوران. بينما دلت نتائج الاختبارات ان نماذج الطابوق المحضرة من اطيان تقاطع طريق وانه - سد الموصل وقرية النوران كانت ضمن الصنف B كل ذلك حسب المواصفات القياسية العراقية.

الكلمات الدالة: أطيان، تكوينات جيولوجية، طابوق، سيراميك، شمال العراق.

Validity of clay for Al-Fat'ha and Injana formations for the brick and ceramic industry in Nineveh Governorate

Azealdeen S. Al-Jawadi Dept. of Mining Engineering Coll. of Petroleum and Mining Engineering University of Mosul	Salim Q. Al-Naqeeb Dams and Water Resources Research Center University of Mosul	Thanoun A. Thanoun Dept. of Geology Coll. Of Sciences University of Mosul
---	---	---

ABSTRACT

The scarcity of clay and alluvial deposits in the valley of the Tigris River and its tributaries in the northern region of Iraq called for the search for suitable clays for the construction ceramic industry in geological formations. A geological survey of the mudstone layers of the Al-Fat'ha and Injana formation rocks was conducted in the districts of Al-Hamdaniya, Telkaif, and Al-Shekhan in the Nineveh Governorate. Samples were taken of the layers that have an appropriate thickness and a topographical and mining position that facilitate exploitation in the event of the success of the raw materials for the industry. The study was conducted on five selected clay models from the village of Mehiwarat and the intersection of the Wana-Mosul Dam road, with two models, the village of Al-Nouran and Ain Al-Nouran. The results showed that most of the muddy geological layers are characterized by a high percentage of calcium and magnesium carbonate, and that the lowest percentage of calcium carbonate was in the layers of the Injana Formation taken from the village of Mehiwarat, which amounted to 16.83%, and that its classification is low-liquidity clay. Through the plasticity coefficient diagram and the plasticity limit, it was found that the clays of the Muhiwirat and Al-Nouran areas fell in the preferred range, while the rest were in the acceptable range. The prepared from Mehiwarat clay was characterized by a volume shrinkage of 16.1% and a weight loss of 23.4%, while the results of the tests indicated the brick models prepared from the clays of the intersection of Wana - Mosul Dam Road and Al-Nouran Village were within the category B, all according to the Iraqi standard specifications.

Keywords: clays, geological formations, bricks, ceramics, northern Iraq.

المقدمة

يعني مصطلح الطابوق وحدات صغيرة من مواد البناء تصنع عادة من حرق الطين وتترابط بوساطة الملاط الذي يتكون عادة من السمنت والرمل والماء. وتبلغ أبعاد الطابوقة الواحدة (7.5x11.5x24) سنتيمتر حسب المواصفة القياسية العراقية رقم 25 لسنة 1988، وهذا الحجم الصغير يجعلها مناسبة جداً في البناء وخاصة في التصاميم القوسية، فضلاً عن ذلك يعتبر الطابوق مادة بناء عازلة ذات أهمية في مناطق المناخ القاري والبارد على حد سواء (د.ب.ع. 311، 2017). استخدم الطابوق كمادة بناء منذ ما يزيد عن 5000 سنة ومن أوائل من استخدم الطابوق في البناء هم أقوام الشرق الأوسط وعلى وجه الخصوص سكان ما بين النهرين، حيث استخدموا الطابوق المجفف بأشعة الشمس، ثم بدأ البابليون بفخر الطابوق واستخدموه في بناء حضارتهم وأبراجهم، ثم انتشرت الصناعة شرقاً إلى بلاد فارس والهند وغرباً إلى مصر (كجة جي، 2002؛ Knill, 1978). يعتبر الطين واحداً من أرخص وأوفر المواد الطبيعية الموجودة على الأرض والتي يمكن أن يستغلها الإنسان، ولكن الطين المستخدم في صناعة الطابوق يجب أن يمتلك صفات فيزيائية وكيميائية ومعدنية معينة. إذ يفترض ان يكون الطين لئناً بحيث يمكن تشكيله أو قولبته بعد خلطه بكمية مناسبة من الماء ويحافظ على شكله لحين تجفيفه، وان حبيبات الطين يجب أن يكون لها القابلية على الترابط والاندماج عند تعرضها إلى الحرارة العالية (الطائي، 2013).

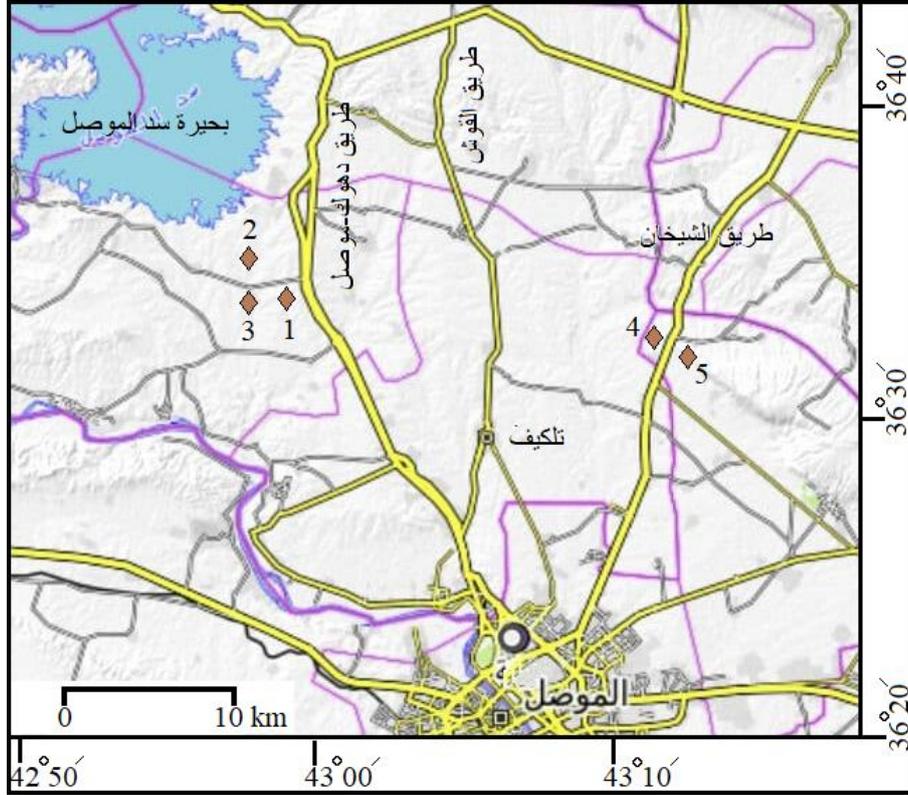
يفضل استخدام الطابوق للبناء في العراق وذلك لما يمتاز به من عزل حراري ومقاومة للظروف الجوية المتطرفة في الصيف والشتاء والاقتصاد في الطاقة. يستخدم الطابوق بصورة شائعة في وسط وجنوب العراق، أما استخدامه في شمال العراق فيكون محدوداً وذلك بسبب ندرة المواد الأولية الملائمة لهذه الصناعة التي تمتاز بارتفاع محتواها من الكربونات، فضلاً عن توفر الأحجار وكذلك الحصى والرمل المستخدم في صناعة الكتل الخرسانية التي تفتقد إلى العزل الحراري. حيث تفتقر المحافظات الشمالية إلى الاطيان النهرية وأطيان السهل الفيضي، مما حد من قيام صناعة للطابوق (BI, 2014). برزت الحاجة في السنوات الأخيرة لإيجاد أطيان صالحة لهذه الصناعة والدراسة الحالية هي محاولة لإيجاد هذه المواد ضمن التكوينات الجيولوجية المنكشفة حول مدينة الموصل. تهدف الدراسة إلى تقييم أولي لصلاحية الطبقات الطينية من تكويني الفتحة (المايوسين الاوسط) وانجانة (المايوسين المتأخر) اللذان ينكشفان في المنطقة لصناعة الطابوق والسيراميك. لقد ساهم العديد من الباحثين في دراسة الطبقات الطينية في شمال العراق للبحث عن مواد خام لصناعة الطابوق ضمن تكوينات الفتحة وانجانة وبإي حسن ومنهم (ميرزا، 1997؛ معة واخرون، 1997؛ الحكيم، 1998؛ الكواز والدباغ، 2006؛ الكواز 2011).

النمذجة وطريقة العمل

أجري مسح استطلاعي في الجانب الشرقي لنهر دجلة (الشكل 1) ضمن محافظة نينوى. أختيرت خمس مناطق أخذت منها خمس نماذج من اجزاء الطبقات العليا والوسطى والسفلى استناداً إلى صلاحيتها للقلع. تم جمع نماذج بمعدل 5 كغم لكل طبقة تمتاز بسبك لا يقل عن 3 متر وبدرجة ميل قليلة وذلك ليكون احتياطي الطين للأغراض الصناعية مناسباً وسهل القلع في حالة نجاح هذه الطبقات لصناعة الطابوق والسيراميك. بين الوصف الحقلية صلادة صخور حجر الطين غير المتجوية، فضلاً عن احتوائها على نسبة عالية من الطين وبعض الغرين. ألوان الطين تميل إلى الاحمرار على الغالب وبعضها يميل إلى اللون الرصاصي وكما يوضحه الجدول 1. أما الصخور المتجوية فتمتاز بالهشاشة واحتوائها على قطع من الصخور الجيرية والجبسوم وبقايا النباتات والمواد العضوية. يتعاقب مع الطبقات الصخرية الطينية طبقات من حجر الرمل في تكوين إنجانة وطبقات من حجر الجبسوم وحجر الجير في تكوين الفتحة. تم إجراء الاختبارات الكيميائية ومنها قياس فقدان بالحرق L.O.I. ونسبة كربونات الكالسيوم %CaCO₃ والمغنيسيوم %MgCO₃ لكافة النماذج الخام المأخوذة من الحقل في مختبرات مركز بحوث البيئة والسيطرة على التلوث في جامعة الموصل (الجدول 2). تم الاكتفاء بتحليل الكربونات لأنها المعضلة الكبرى في اطيان التكوينات الجيولوجية في شمال العراق (الحكيم، 1998؛ والكواز والدباغ، 2006).

خضعت نماذج الدراسة إلى عدة فحوصات واختبارات لتحديد صفاتها وبيان صلاحيتها للأغراض الصناعية. أجريت اختبارات التربة على نماذج الطبقات الطينية الواردة في معظم الدراسات الجيوتكنيكية (William, 2002). اعتمدت طريقتين لتفكيك ونخل النماذج وهي الطريقة الجافة والرطبة بهدف تهيئة المادة اللازمة لإجراء الاختبارات والتي تم إمرارها من منخل بحجم 0.6 ملم والمتمثل بحجم الرمل الخشن Coarse sand حسب تصنيف ونتورث Wentworth Classification. الفرق بين الطريقتين هو احتواء المواد الناتجة من الطريقة الجافة على نسبة من الأملاح وكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم أعلى من النماذج التي حضرت بالطريقة

الرطوبة وذلك لسهولة فصل القطع الكربوناتية عن المادة الأساسية المتمثلة بالرمل الناعم - الطين بطريقة النخل الرطب، ويتوقع أن تؤدي هذه الطريقة إلى انخفاض نسبة كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم إلى الحد الملائم (الكواز، 2011).



الشكل 1: خارطة تمثل منطقة الدراسة موضحة عليها مواقع النماذج.

يعتقد ان معظم المواد الكربوناتية في صخور منطقة الدراسة ناتجة من العمليات التحويرية، باستثناء تلك القطع التي تتواجد في الصخور المتجوية والتي يمكن ان يكون اصلها من الطبقات الجيرية. إن هذه النسبة القليلة من المواد الكربوناتية الخشنة أكدت من خلال دراسة سابقة اجريت على نفس المنطقة، حيث تبين أن معظم أجزاء المنطقة تتكون من طين غريني جيري وطين غريني وجير غريني (Mohammad, 2005).

الجدول 1: وصف ومواقع النماذج المأخوذة من التكوينات الجيولوجية.

رقم النموذج	الموقع	التكوين الجيولوجي	الوصف الصخري
1	قرية محيورات	إنجانة	طين احمر
2	تقاطع طريق وانه-سد الموصل	الفتحة	طين رصاصي صلب
3	تقاطع طريق وانه-سد الموصل	الفتحة	طين احمر إلى احمر وردي
4	قرية النوران	الفتحة	طين احمر صلب جدا
5	عين النوران	الفتحة	طين احمر إلى رصاصي

الجدول 2: نتائج التحاليل الكيميائية لنماذج الدراسة.

رقم النموذج	L.O.I. الفقدان بالحرق %	CaCO ₃ % كالكسايت %	CaMg(CO ₃) ₂ % دولومايت %
1	22.4	17.83	28.5
2	20.1	30	14.26
3	24.2	29.13	16.95
4	24.9	36.72	12.24
5	28.5	25.33	36.83

بعد تفكيك النماذج بوساطة الماء مررت من منخل 0.6 ملم ثم جففت وفككت ومررت من نفس المنخل لإجراء فحوصات حدود أتيربرك. وقد تم تحضير نماذج طينية في دراسة سابقة من خلال فصل القطع الخشنة من نماذجها بمنخل 0.43 ملم لإيجاد حدود أتيربرك من قبل (Yilmaz and Bodur, 2000). اجريت دراسة اخرى لم يتم فيها فصل القطع الكربوناتيية وانما تم طحن النماذج بطاحونة الكرات (William, (Ball mill (2002). أضيف الماء إلى الجزء المتبقي من النماذج المحضرة لإجراء اختبارات حدود أتيربرك المتمثلة بحد السيولة Liquid Limit وحد اللدونة Plastic Limit. استخدمت نسبة الماء 20% لغرض تشكيل النماذج استنادا الى الدليل التقني لجمعية الطابوق الطيني (CBA, 2002). ان أفضل نسبة للماء المضاف الى الطين بين 12% الى 15% لعملية التشكيل بالبتق وتزداد هذه النسبة لتصل 30% في حالة استخدام صخور الطفل وحجر الطين وباستخدام عملية التشكيل بالكبس (Reeves, et al, 2006). وضعت النماذج في أكياس بلاستيكية بعد تجانسها وتركت لمدة 24 ساعة لغرض تشكيلها وقولبتها. تم تحضير نماذج بشكل مكعبات بأبعاد (5x5x5) سم بواقع ثلاث مكعبات لكل فحص، أي ثلاث نماذج لفحص التزهير وامتصاص الماء وثلاث نماذج لفحص مقاومة الانضغاط. تم تحضير مادة اولية لكل نموذج بكتلة تعادل كثافة 1.9 غم/سم³ لحجم القالب ورصها يدويا داخل القالب ثم كبسها بجهاز الكبس تحت ضغط 5 طن اي ما يعادل 200 كغم/سم² (الخفاجي واخرون، 2012) لحين خروج المادة الطينية من جوانب القالب للحصول على رص متماثل لكافة النماذج. استخرجت النماذج المشكلة بالكبس من القالب وتم وزنها وقياس أبعادها بدقة 0.01 غرام وقياس أبعادها بدقة. تركت النماذج لمدة 48 ساعة داخل المختبر لغرض تجفيفها بدرجة حرارة المختبر ثم وضعت في فرن التجفيف بدرجة حرارة 60 درجة مئوية لمدة 48 ساعة وتم وزنها وقياس أبعادها أيضا. ان حرارة التجفيف هذه تضمن عدم تأثر المكونات المعدنية للمادة الاولية وحصول تغير طفيف لا يتجاوز 0.2% من مقدار الوزن بعد اجراء ثلاث قراءات متتالية وكما حددتها المواصفة القياسية الامريكية لفحص المواد (C67-02c) ولغرض التأكد من تمام جفاف النموذج (ASTM, 2002).

تم حرق النماذج المجففة داخل فرن بدرجة 900 درجة سليزية مع زيادة في درجة الحرارة بمقدار 100 درجة سليزية كل نصف ساعة وبزمن نضوج (Soaking time) 2 ساعة. بعد ذلك يطفئ الفرن وتترك النماذج بداخله لمدة 24 ساعة لتبرد تدريجيا ومن ثم توزن وتقاس أبعادها. أن الزيادة التدريجية للحرارة تؤدي إلى تقليل حدوث التشققات الشعرية أما زيادة زمن الإنضاج فيؤدي إلى تجانس اكبر للمعادن الناتجة من عملية الحرق. ان

استخدام درجة الحرارة التجريبية هذه 900 درجة سليزية هو لبيان مدى صلاحية هذه الاطيان عند حرقها بدرجة حرارة واطئة نسبياً، إذ تحتاج الاطيان الى درجة حرارة بين 900 الى 1050 درجة سليزية لكي تغرق (Villeda- Muñoz, et al., 2011)، وان الاطيان فاتحة اللون تحتاج الى حرارة أكبر من الغامقة (Reeves, et al., 2006) والتي قد تصل الى 1100 درجة سليزية للحصول على نتائج افضل (Viani, et al., 2018). اجريت اختبارات الكثافة ومقاومة الانضغاط والتزهر ونسبة امتصاص الماء والتقلص الحجمي ونقصان الوزن، فضلاً عن ملاحظة التقعر والتحدب على سطوح النماذج حسب المواصفة العراقية رقم 25 (م.ق.ع.، 1986) والمواصفة القياسية العراقية رقم 24 (م.ق.ع.، 1988) والمواصفات الهندية (IS, 1992) والمواصفة القياسية الامريكية لفحص المواد (C67-02c) (ASTM, 2002) والدليل العراقي لمواد البناء رقم 311 (د.ب.ع.، 2017).

النتائج والمناقشة

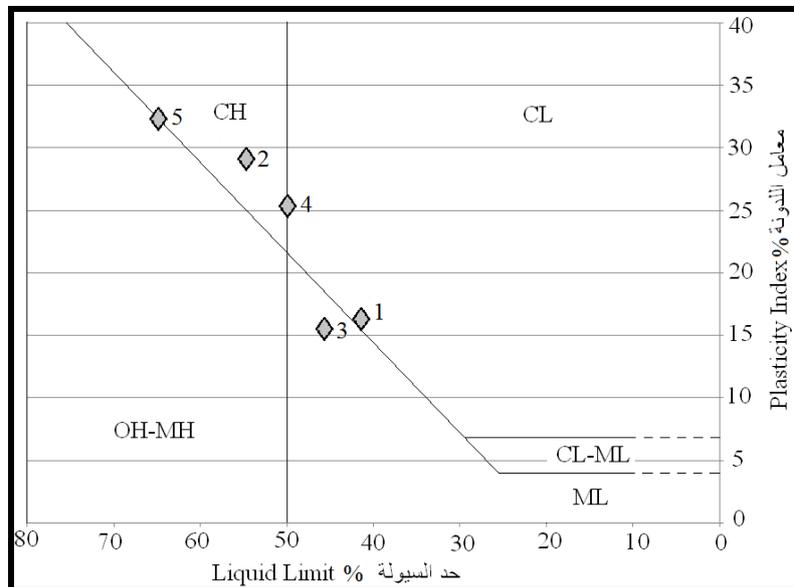
بينت نتائج الاختبارات الكيميائية ارتفاع نسبة الأملاح الكربوناتية في كافة النماذج وكما يوضحه الجدول 2 وتعد هذه الظاهرة غير مشجعة نسبياً في استخدام هذه المواد في صناعة الطابوق والسيراميك. إن تواجد نسبة عالية من كربونات الكالسيوم وكربونات المغنيسيوم تزيد من الطاقة المستخدمة في عمليات الفخر، إذ تحتاج كل نسبة 1% من كربونات الكالسيوم إلى 18,900 كيلو جول/طن من الوزن الجاف للطابوق غير المفخور وتحتاج إلى 6,790 كيلو جول/طن بالنسبة إلى كربونات المغنيسيوم (D.G.E., 1998). ان تواجد مثل هذه النسبة من الكربونات يساعد على تشكيل الاطوار المعدنية من سليكات الكالسيوم والمغنيسيوم مثل الجيلينايت والديوبسيد والأثورثيت (Saenz, et al., 2019) (gehlenite, diopside, and anorthite) او قد يظهر الولاستونيت ايضا (wollastonite) (Cultrone, and Carrillo-Rosúa, 2020). تعد نسبة المواد الخشنة <0.6 ملم والمتمثلة بالقطع الكربوناتية على وجه العموم منخفضة نسبياً في معظم النماذج، وان اعلى معدل لها في نموذج قرية النوران حيث بلغت النسبة 3.5% وكما موضح في الجدول 3. ان تواجد القطع الكاربوناتية بحجم اكبر من 1 ملليمتر في المادة الخام لصناعة الطابوق تؤدي الى تفجير وتفتت الطابوق المفخور (Mueller, et al., 2008).

الجدول 3: حدود أتيربرك ونسبة المواد الخشنة وتصنيف التربة.

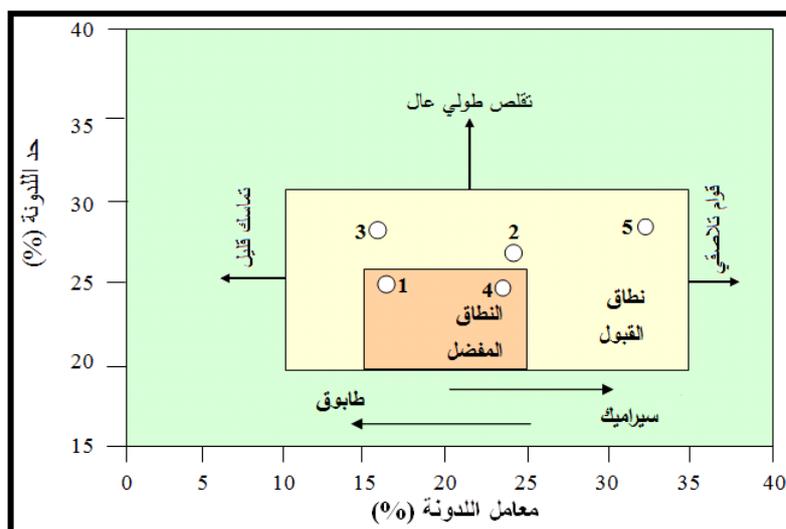
رقم النموذج	حد LL % السيولة	حد PL % اللدونة	معامل PI % اللدونة	نسبة المواد <0.6 ملمتر	التصنيف
1	41.9	25.0	16.9	2.4	CL طين واطئ اللدونة
2	54.6	26.4	28.2	<0.01	CH طين عالي اللدونة
3	46.3	30.6	15.7	1.2	ML غرين واطئ اللدونة
4	50.0	24.2	25.8	3.5	CL-CH طين واطئ اللدونة الى عالي اللدونة
5	65.1	31.9	33.2	<0.01	CH-MH طين عالي اللدونة الى غرين عالي اللدونة

صنفت النماذج أستناداً الى حدود اتيربرك بأن النموذج 1 يعتبر تربة طينية واطئة اللدونة والنموذج 2 تربة طينية عالية اللدونة والنموذج 3 تربة غرينية واطئة اللدونة والنموذج 4 تربة طينية واطئة الى عالية اللدونة

والنموذج 5 تربة طينية وغرينية عالية اللدونة. تعد نتائج هذه الدراسة لحدود اتيربرك مقارنة لنتائج دراسة اجريت على نماذج حجر الطفل المتجوي، وقد اعزى سبب وصول حدود اتيربرك إلى هذه القيم هو زيادة نسبة حبيبات الطين فيها وقلة السمنت والتي تتطابق مع نتائج الدراسة الحالية (William, 2002). أن الأطيان التي تمتلك نسبة كربونات الكالسيوم اقل من 27% وتصنف من نوع ML وCL حسب نظام تصنيف التربة الموحد تصلح في الصناعات الفخارية (Yilmaz and Bodur, 2000). ومن خلال ما تقدم يتوضح أن النموذج رقم 1 يمتاز بصفات مقارنة لما ذكر انفا وبهذا يعتبر هو أفضل من بقية النماذج في صناعة الطابوق لأنه يقع ضمن CL وقريبا من نطاق ML (الشكل 2). ولغرض التأكد من ذلك فقد تم تسقيط قيم حد اللدونة مع دالة اللدونة على مخطط صلاحية الطين (Bain and highly, 1978). يوضح (الشكل 3) وقوع النموذج 1 في النطاق المفضل لصناعة الطابوق، وأن النموذج 4 وقع في النطاق المفضل لصناعة السيراميك، ووقعت بقية النماذج في نطاق القبول.



الشكل 2: مواقع النماذج على مخطط اللدونة وتصنيفها.



الشكل 3: تصنيف ملائمة الأطيان لصناعة الطابوق والسيراميك (Bain and Highly, 1978).

عند ملاحظة النماذج بعد حرقها (الشكل 4) يتبين ندرة التشققات الشعرية فيها مما يعني ملائمة معدل ارتفاع درجة حرارة الحرق. امتاز النموذجان 1 و5 باللون الاحمر الغامق بعد الحرق بينما امتاز النموذجان 3 و4 باللون الاحمر الفاتح، اما النموذج 2 فلونه احمر مائلا الى الاصفرار (الشكل 4). يستدل من ألوان النماذج المحروقة ان ارتفاع نسبة كربونات الكالسيوم قد تكون السبب في اللون الاصفر الفاتح في النموذج 2 بينما محتواها المتوسط في النموذجين 3 و4 والقليل في النموذجين 1 و5 سبب على الاغلب اللون الاحمر الذي قد يعزى الى تواجد اكاسيد الحديد. وقد يكون سبب اللون الابيض المائل للاصفرار ناجما عن ارتفاع نسبة معدن المونتموريلينايت Montmorillonite في النموذج المحروق (Reeves, et al, 2006). حصل نقصان في الوزن بعد تجفيف النماذج بالفرن ولكن هذا النقصان لم يصل إلى الوزن الجاف للمسحوق قبل التشكيل وأن أعلى نقصان وصل إلى 14.5%. أما التقلص الحجمي فكان اقل ما يكون في النموذج رقم 2 (6.25%) وأعلى ما وصل إليه في النموذج 5 (19.9%). وبعد اكمال عملية الحرق حصل نقصان كبير في الوزن يعتقد انه حصل نتيجة تفكك الكربونات حيث كان اقل نقصان في النموذج رقم 2. وازداد التقلص الحجمي بشكل كبير في جميع النماذج عدا النموذج رقم 2، إذ حصل فيه انتفاخ بمعدل 2.7% (الجدول 4). حصل تقبب في احد جوانب النموذج 4 ولكن بقياس التغيرات الحجمي فان هذا النموذج قد حصل فيه تقلص (الشكل 4).



الشكل 4: النماذج الطينية. (أ) بعد التجفيف (ب) بعد الحرق.

تراوحت قيم الكثافة الكلية لنماذج الطابوق بين 1.41 غم/سم³ و1.68 غم/سم³ وكانت اقل قيمة للنموذج 2 الذي حصل فيه انتفاخ واعلى قيمة للنموذج 5 (الجدول 4). صنف النموذج 1 من تكوين إنجانة على أنه من الصنف A حسب المقاومة الانضغاطية والتزهر استنادا إلى المواصفة القياسية العراقية رقم 25 لسنة 1993 (الجدول 5). بينما صنفت بقية النماذج من الصنف B عدا النموذج رقم 4 الذي تم اعتباره من الصنف C لان تزهره عال ومقاومته قريبة للحد الأدنى من الصنف B. ولغرض تحسين نوعية الطابوق المنتج يفترض زيادة درجة حرارة الفخر الى ما يقارب 1200 درجة سليزية واقتصار زمن النضوج الى ساعة (Johari, et al., 2010) وهذا سيؤدي الى تحسين النسيج المجهري للطابوق من حيث المسامية والخواص الفيزيائية والتآكل (Delali, 2014). ان زيادة درجة الحرارة يؤدي ايضا الى زيادة التقلص الحجمي للطابوق المنتج وتقليل نسبة امتصاص الماء (Mora-Basto, et al 2019).

وبصورة عامة يمكن القول بأن اللون الشاحب لبعض نماذج الدراسة قد يعزى لارتفاع محتواها من الكربونات وزيادة نسبة الغرين فيها وكما موضحة في الجدولين (2 و3). ان ارتفاع محتوى الغرين يعني احتمالية كبيرة ارتفاع نسبة الكوارتز فاتح اللون والذي يعمل ايضا على تقليل اللدونة وما يصحبها من مشاكل في مرحلة التشكيل والحرق (BGS, 2001).

الجدول 4: معدل تأثير التجفيف والحرق على ابعاد واوزان النماذج المحضرة ومعدل الصفات الهندسية للنماذج المحروقة.

رقم النموذج	الصف	التجفيف بالفرن		الحرق		مقاومة الانضغاط ميكا باسكال	نسبة امتصاص الماء %	التزهير
		النقصان في الوزن %	التقلص في الحجم %	النقصان في الوزن %	التقلص في الحجم %			
1	A	14.3	11.4	23.4	16.1	19.8	14.0	خفيف
2	B	12.2	6.25	21.2	-2.7*	14.9	23.5	متوسط
3	B	11.0	14.1	28.6	22.3	13.2	19.3	متوسط
4	B	14.0	13.0	25.4	19.6	11.2	18.3	عال
5	A	13.6	19.9	27.1	23.1	16.7	14.2	متوسط

* الاشارة السالبة تعني حصول انتفاخ وزيادة في حجم النموذج

الجدول 5: المواصفة القياسية العراقية رقم 25 لسنة 1993 (الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، 1993).

الصف	الحد الأدنى لتحمل الضغط ميكا باسكال	الحد الأعلى للنسبة المئوية لامتناس الماء %	الحد الأعلى للتزهير
أ	16	22	خفيف
ب	11	26	متوسط
ج	7	28	عال

تعتبر المواصفات التي تم الحصول عليها جيدة وذلك لان زمن الحرق المستخدم أقل من الزمن اللازم لصناعة الطابوق. إن الزمن المطلوب في الصناعة يتراوح بين 40-150 ساعة لتكتمل عمليات الفخر التي تبدأ بتبخر الماء الحر ثم التخلص من الماء التركيبي ثم تفكك الكربونات وتكون المنصهر السليكي الناتج عن الذوبان الجزئي للمعادن وخاصة السليكية منها (الطائي، 2013)، والذي يعمل على ربط مكونات الطابوق اثناء التبريد. ويفضل أيضا الوصول إلى حرارة 1050-1100 درجة مئوية لضمان الانصهار والالتحام بين مكونات الطابوق وحصول عملية التزجيج (BGS, 2001). ان الزيادة في الحرارة والسيطرة عليها يؤدي إلى تحسين صفات الطابوق الناتج وزيادة الكثافة والمقاومة وقلة المسامية (Sveda, 2001)، وهذا يحسن من مطاولة الطابوق ومقاومته للظروف المناخية والانجماد.

الاستنتاجات

يتبين من خلال النتائج المتحصلة من التحليل الكيميائي للكربونات بنوعها الكالسيوم والمغنيسيوم انها كانت مرتفعة وان اقل نسبة لكربونات الكالسيوم كانت 17.83% ولكربونات المغنيسيوم كانت 12.24%. صنفت المواد الصخرية المستخدمة في هذه الدراسة استنادا الى نتائج الفحوصات الدالة على ان معظمها اطيان قليلة الى عالية اللدونة. ان تصنيف اطيان قرية محيورات كانت ضمن النطاق المفضل لصناعة الطابوق وبالفعل صنفت نماذجه ضمن الصف A بينما نماذج قرية النوران صنفت ضمن النطاق المفضل ولكنها كانت من الصف B استنادا الى المواصفات القياسية العراقية. صنفت نماذج عين النوران ضمن نطاق القبول قريبا من النطاق

التلاصقي ومع ذلك كانت ضمن الصنف A وهذا يدل على صلاحيتها لصناعة السيراميك لأنها تقع أقصى يمين نطاق القبول. يقع النقص الحجمي للنماذج المستخدمة ضمن الحدود الطبيعية للأطيان المستعملة في صناعة الطابوق. ان حصول انتفاخ للنموذج 2 الماخوذ من تقاطع طريق وانه - سد الموصل يدل على امكانية استخدام هذه الاطيان في صناعة الركام الخفيف. ان تواجد الكربونات يعد ضروريا في صناعة الطابوق على ان لا تزيد هذه النسبة عن 40% (Awadh and Abdullah, 2009)، لذا يفضل ان تتم معالجة هذه المواد قبل البدء في تصنيع الطابوق منها لان نسبة الكربونات فيها عالية، فضلا عن استخدام درجات حرارة تصل الى 1200 درجة سليزية لمراقبة التغيرات التي تحصل للصفات الهندسية للطابوق المنتج.

المصادر العربية

- الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، 1988، المواصفة القياسية العراقية رقم 24 لسنة 1988، طرق اخذ النماذج وفحص طابوق البناء، بغداد، العراق، 9 صفحة.
- الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، 1993، المواصفة القياسية العراقية رقم 25 لسنة 1993، الطابوق المصنوع من الطين (الاجر)، بغداد، العراق، 6 صفحة.
- الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية، 2017، دليل البناء العراقي، د.ب.ع. 311، بغداد، العراق، 340 صفحة.
- الحكيم، فرهاد عبد الأحد، 1998، تقييم بعض أطيان النيوجين من شمال العراق للأغراض السيراميكية، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة بغداد، 100 صفحة.
- الخفاجي، ستار جبار، السعد، حارث عبد العظيم، العلي، صفاء حسين، 2012، تحسين خواص الترسبات الطينية لأغراض صناعة طابوق البناء في محافظة ميسان، جنوب العراق، مجلة الجيولوجيا والتعدين العراقية، المجلد 8، العدد 1، ص. 41-56.
- الطائي، ذنون عبد الرحمن، 2013، المعادن والصخور الصناعية، دار مطبعة ابن الاثير للطباعة والنشر، جامعة الموصل، 240 صفحة.
- كجة جي، صباح اسطيفان، 2002، الصناعة في تاريخ وادي الرافدين، شبكة الاقتصاديين العراقيين، 148 صفحة.
- الكواز، حازم أمين والدباغ، سالم محمود، 2006، دراسة امكانية صناعة نوع جديد من الطابوق الفخاري من أطيان تكوين الفتحة (المايوسين الاوسط) وتحديد مواصفاتها الهندسية والجيوكيميائية والمعدنية، مجلة علوم الرافدين، المجلد 17، العدد 1، 47-61.
- الكواز، حازم أمين، 2011، صلاحية صخور تكوين أنجانة (المايوسين الاعلى) قبل وبعد المعالجة الكيميائية في منطقتي عقرة ودهوك وامكانية استخدامها كمادة اولية في صناعة الطابوق الهندسي، مجلة تكريت للعلوم الصرفة، المجلد 16، العدد 1، ص. 251-264.
- معلقة، خلدون عباس وسعود، قيس جاسم وخميس، ضياء بدر وجبو، باسم روفائيل والسعدي، نوال احمد وكاظم، ماجد عبد الاحد، 2007، التقييم المختبري لاستخدام الرواسب الطينية النيوجينية في تصنيع طابوق البناء، مجلة الجيولوجيا والتعدين العراقية، المجلد 3، العدد 2، ص. 1-15.

ميرزا، تولة احمد، 1997، تقييم بعض أطيان الكريتاسي الاعلى والثلاثي في شمال العراق للأغراض السيراميكية، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم، جامعة بغداد، 106 صفحة.

المصادر الاجنبية

- ASTM, 2002, C 67 – 02c Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile, Annual Book of Standards, Vol. 04.05, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA 2001.11 P.
- Awadh, S. M. and Abdallah, H. H., 2009, Mineralogical, geochemical and geotechnical evaluation of Al-Sowera soil for building bricks industry in Iraq, Journal of Geology and Mining Research, Vol. 1, No. 5, pp. 118-125.
- Bain, J.A. and D.E., Highly, 1978. Regional Appraisal of Clay Resources: Challenge to the Clay Mineralogist. In: Mortland, M.M. and V.C. Faxmer, (Eds.), Proc. Int. Clay Conf. Elsevier, Amsterdam, pp. 437-446.
- BGS., 2001, Brick clay: Issues for planning, British Geological Survey, www.bgs.ac.uk., 12 P.
- BI, 2014, List of Licensed Projects in Kurdistan Region, Board of Investment, Studies and Information Department, Directorate of Information, Licensed Projects: Under implementation From: 2006/08/01 to 2014/01/12.
- CBA, 2002, Clay Brick Manufacture - Technical Guide, Clay Brick Association, South Africa, 53 P.
- Cultrone, G., and Carrillo-Rosúa, J., 2020, Growth of metastable phases during brick firing: Mineralogical and microtextural changes induced by the composition of the raw material and the presence of additives. Applied Clay Science, 185, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105419>.
- D.G.E, 1998, Energy saving in the brick and tile industry, Thermie Program Action I 227, Directorate General for Energy (DG XVII), 28 P.
- Delali, A. H., 2014, Durability of Locally-Produced Burnt Clay Bricks, MSc Thesis, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, Ghana, 92 P.
- IS 3495, 1992, Indian Standard Methods of Tests of Burnt Clay Building Brick, 3rd Revision, New Delhi, India, 10 P.
- Johari, I., Said, S., Hisham, B., Bakar, A., and Ahmad, Z. A., 2021, Effect of the Change of Firing Temperature on Microstructure and Physical Properties of Clay Bricks from Beruas (Malaysia), Science of Sintering, Vol. 42, pp. 245-254, doi: 10.2298/SOS1002245J
- Knill, J.L., 1978, Industrial Geology, Oxford University Press, London, 344 P.
- Mohammad, E.M., 2005, A conceptual model for flow and sediment routing for a watershed in northern Iraq. Ph.D. thesis. University of Mosul.
- Mora-Basto, R. L., Torres-Sánchez, D. A., Chaparro-García, A. L., and Sánchez-Molina, J., 2019, Physicochemical and mineralogical properties of clays used in ceramic industry at North East Colombia, DYNA, Vol. 86, No. 209, pp. 97-103.
- Mueller, H., Maithy, S., Prajapati, S., Bhatta, A.D. and Shrestha, B.L., 2008, Green Brick Making Manual, Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) Nepal, 86 P.

- Reeves, G.M., Sims, I. and Cripps, J.C., 2006, Clay Materials Used in Construction, Geological Society, London, Engineering Geology, Special Publication 21, 580 P.
- Saenz, N., Sebastian, E., and Cultrone, G., 2019, Analysis of tempered bricks: from raw material and additives to fired bricks for use in construction and heritage conservation, Eur. J. Mineral, Vol. 31, pp. 301–312, <https://doi.org/10.1127/ejm/2019/0031-2832>.
- Sveda, M., 2001, Frost resistance of brick, www.ceramicbulletin.org
- Villeda-Muñoz, G.; Castañeda-Miranda, A.; Pless, R.C.; Vega-Durán, J.T.; Pineda-Piñón, J., 2011, Clay-Brick Firing in a High-Temperature Solar Furnace Ingeniería. Investigación y Tecnología, Vol. XII, No. 4, pp. 395-408.
- William, E., 2002, Physical and Mechanical characteristics of Bringelly Shale, Electronic Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 7B, www.ejge.com.
- Yilmaz, K. and Bodur, M.N., 2000, The technological and mineralogical characteristics of raw materials used for brick-tile industry in Kahramanmaras Region, Conference: Proceedings of International Symposium on Desertification At: Konya – Turkey, pp. 409-415.