مجلة جامعة الملك عبد العزيز: العلوم الهندسية، م ٢٠ع٢، ص ص: ١٤٣- ١٦٧ (٢٠٠٩م/١٤٣٠هـ)

استخدام البنتونايت الخامل المنتج محليا والكثبان الرملية فى إنتاج الطوب الأحمر المصمت

محمود إبراهيم أبو شوك، و محمد نور ناهر المغربى

قسم هندسة التعدين، كلية الهندسة، جامعة الملك عبدالعزيز، جـــــدة - المملكة العربية السعودية

profdraboushook@gmail.com

المستخلص: توجد كميات هائلة من خام البنتونايت الخامل، والـــذى لم يتم استغلاله بنجاح حتى الآن بمنطقة خليص بالمملكة العربيـــة السعودية. يغطى هذا البحث إمكانية استخدام هذا الخام مع الكثبـــان الرملية المنتشرة بجميع المناطق بارض المملكة لإنتـــاج الطـــوب الأحمر المصمت. وقد تمت دراسة العديد مـــن الخلطـــات معمليـــا لتحديد النسبة المثلى لمكونات الطوب من خام البنتونايـــت، والتـــي تحقق خواص تتوافق مع المواصفات. وقد أجريت أربعة اختبارات على العينات المعمليـــة، وهـــى: الأبعـــاد، وإجهـــادات الـــضغط، وامتصاص الماء، وكذلك التزهير. وقد دلت النتائج على أن الخلطة المناسبة، والتى أعطت أفضل النتائج، هى التـــى تحتـــوى علـــى البنتونايت بنسبة ٢٥٪ من وزن الرمال المستخدمة. ومن ثـــم تـــم استخدام تلك الخلطة لإنتاج طوب أحمر مصمت ذو أبعاد قياســـية، حيث تم الحرق عند ظروف متباينة، وتم اختبار عينـــات الطـــوب

المنتجة من كل منحنى حرق، وذلك بهدف الوقوف على مدى مطابقتها للمواصفات القياسية الواجب توافرها في الطوب الأحمر المصمت ذي الأبعاد المختارة.

وقد توصلت الدراسة إلى إمكانية تصنيع طوب أحمر مصمت مكون من خليط من الكثبان الرملية ونسبة بسيطة من البنتونايت ذي أبعاد تجارية ومطابقة للمواصفات القياسية، حيث بلغت قيمة تحملها لإجهادات الضغط ٢٢٤ كجم/سم٢ بالمقارنة ب ١٠٣ كجم/سم٢ للطوب الأحمر المعتاد.

١- مقدمة

يوجد خام البنتونايت بكميات هائلة بمنطقة خليص (تصل إلي ٣٨ مليون طن)[١]. وقد أثبتت الدراسات السابقة أن هذا الخام من النوع غير النشط كيميائيا، ويجب المرور بمراحل صناعية مكلفة ومعقدة حتى يمكن تنشيطه جزئيا[٢-٤]. تمت فى هذا البحث دراسة إمكانية استغلال هذا الخام غير النشط لإنتاج نوع جديد من الطوب الأحمر المصمت الذي يتكون بصفة رئيسية من الكثبان الرملية بعد خلطها بنسبة محددة من خام البنتونايت. حيث تكمن الفكرة العلمية وراء ذلك، في احتواء خام البنتونايت على نسبة عالية من معادن الطين، وبذلك فإنه من المتوقع أن استخدام نسبة بسيطة من هذا الخام مع الرمال فى وجود الماء بنسبة محددة سيكسب الخلطة تماسكا قويا بعد التجفيف، وبعد معالجته حراريا وحرقه يتحول إلى طوب أحمر مكتسبا الصفات المرغوبة هندسيا. ولما كان هذا البحث يتناول مدى إمكانية استخدام خام البنتونايت في إنتاج نوع جديد من الطوب، فإنه من الضروري إلقاء الضوء حول صناعة الطوب المكون من المواد الطينية والرمال. وسيتم عرض مختصر عن أصول ومواصفات صناعة الطوب

القياسية، وذلك فيما يتعلق بالمعادن الطينية المستخدمة في صناعة الطوب وبطرق التصنيع والاختبارات والمواصفات القياسية للأنواع المختلفة من الطوب. وسنعرض في الجزء التالي ملخصا لتلك النقاط الرئيسية.

١-١ المعادن الطينية المستخدمة في صناعة الطوب

تمثل معادن الاليت والمنتموريولنيت والكاولينيت أكثر المعادن الطينية شيوعا للاستخدام في صناعة الطوب الأحمر، ويستخدم الطمي، أو الرمل الناعم، أو الرماد المتطاير، أو قش الأرز أحيانا لتقليل دسامة الخلطة[٥-٧].

وتختلف النسب الوزنيه للرمال والمياه والمواد الأخرى المكونة لخلطة الطوب حسب التركيب المعدني للمواد الطينية المستخدمة في الخلطة. كما يؤثر ذلك بشكل كبير على المعدلات المثلى للحرق لإنتاج طوب ذي مواصفات فنية مناسبة للتطبيقات المختلفة[٧،٨].

١-٢ مراحل تصنيع الطوب

بالرغم من الاختلافات البينة في خلطات الطوب طبقا للمواد الطينية الداخلة في تصنيعه، كما ذكر سابقا، إلا أن الإطار العام لتخطيط مصانع الطوب يكاد يكون متشابها إلي حد كبير، حيث تتم عملية التصنيع في خمسة مراحل تمثل المرحلة الأولى خلط المواد الخام، بينما يتم في المرحلة الثانية تشكيل وسك قوالب الطوب. أما المرحلة الثالثة فتشتمل على تجفيف قوالب الطوب عند درجات حرارة منخفضة. بينما تعتبر المرحلة الرابعة هي جوهر العملية، حيث يتم حرق الطوب عند درجات حرارة مرتفعة في أفران يستخدم فيها المنتجات البترولية أو الغاز الطبيعي كوقود. حيث ترتفع درجة الحرارة داخل الفرن تدريجياً مع طول الفرن وتمر القطع أولاً على منطقة التسخين الابتدائي(pre-

heating) ثم على منطقة التسخين (heating) ثم الحرق. وفى منطقة الحرق تصل درجة الحرارة إلى أقصى قيمة لها:١١٠٠ – ١٢٠٠°م، حيث يتم في هذه المرحلة التفاعل بين المكونات المختلفة للطوب للوصول إلى الأكسدة والتزجج (verifications) التي ينتج عنها الحالة الصلبة للطوب ذي اللون الأحمر. يتم بعد ذلك تبريد الطوب تدريجياً على طول الفرن للوصول إلى درجة حرارة ١٠٠°م عند الخروج من الفرن. تتبع المراحل السابقة باختبار الطوب من حيث مطابقته للمواصفات القياسية ثم تتم المرحلة الأخيرة وتشمل عمليات الفرز التي من خلالها يتم استبعاد الطوب ذو العيوب الظاهرة ويتم تصنيف الطوب المنتج حسب الجودة[٩] .

١-٣ الاختبارات الضرورية لتحديد جودة الطوب

يمثل الجدول التالي أهم الاختبارات المطلوبه طبقا للمواصفات القياسية[١٠-١٣].

جدول رقم (١). الاختبارات المطلوبة لفحص الطوب.

م	الاختبار	عدد الطوبات
١	الأبعاد (Dimension tolerance)	١٠
٢	اجهادات الضغط (Compressive strength)	٥
٣	امتصاص الماء (Water absorption)	٥
٤	التزهير (Efflorescence)	١٠

٢- المواد الخام والبرنامج العملى

في الجزء العملي من هذا البحث، تم استخدام بنتونايت خليص ورمال ناعمة وماء كمواد أولية لإنتاج الطوب. في البداية، تم إجراء عدة اختبارات وقياسات معملية بهدف تحديد الخواص الطبيعية والكيميائية لتلك المواد الأولية، وكيفية إنتاج الطوب منها، و فيما يلي ملخص لأهم الاختبارات التي أجريت لتحديد خواص المواد المستخدمة، وتحديد مدى مطابقتها للمواصفات القياسية.

٢-١ قياس الخواص الطبيعية والكيميائية للبنتونايت

تم قياس الخواص الطبيعية التالية للعينة الممثلة من خام البنتونايت:

- نسبة محتوى معادن الطين في الخام.
- سعة التبادل الأيونى لكل ١٠٠ جم.
- حد السيولة واللدونة.
- المساحة السطحية الكلية لكل ١جم.
- نسبة الانتفاخ الحر.
- الفاقد في الوزن عند الحرق
- كمية الصبغة الزرقاء لكل ١جم.
- التحليل الكيميائي لخام البنتونايت

وتتضح نتائج الخـــواص الطبيعية والكيميائية المقاسة للبنتونايت بالجداول (٢-٤).

جدول رقم (٢). الخواص الطبيعية لخام بنتونايت خليص.

معادن الطين ٪	دليل الانتفاش (ml/2g)	حد السيولة ٪	حد اللدونة ٪	كمية الصبغة الزرقاء (ml/1g)	سعة التبادل الايونى (meq/100g)	المساحة السطحية (m^2/1g)
٩٨	١٤	١٣٥	٤٥	٢٢	٥٥	٤٦٢

جدول رقم (٣). التحليل الكيميائي لخام البنتونايت بمحافظة خليص.

المقوم constituent	LOI@ 700	SO_3	MnO	TiO_2	K_2O	Na_2O	CaO	MgO	FeO	Al_2O_3	SiO_2
Wt., ٪	٦,٨٥	٠,٦٢	٠,١٢	٠,٥٢	٠,٢٥	٠,١٧	٤,٨٦	٢,٦٧	١,٤	١٩,٠٦	٦٢,٧٢

جدول رقم (٤). الفقد في الوزن لعينات البنتونايت عند حرقها في درجة حرارة ١٢٠٠°م لمدة ساعتين.

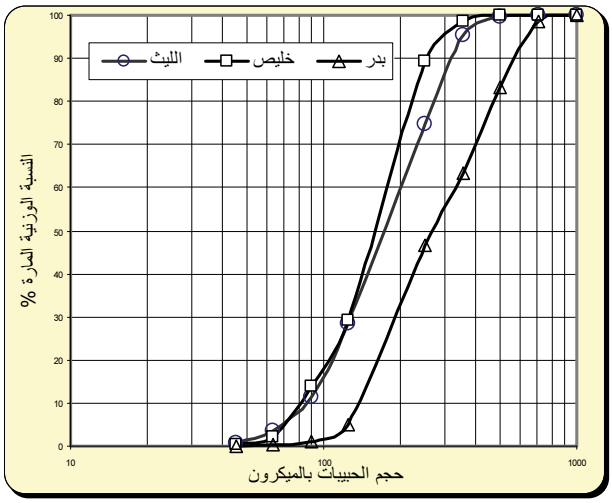
كود العينة*	وزن العينة قبل الحرق، جم	وزن العينة بعد الحرق، جم	النسبة المئوية للفقد، ٪
عينة ١	٢٠	١٧,١٥	١٤,٢٥
عينة ٢	٢٠	١٧,١٦	١٤,٢٠
عينة ٣	٢٠	١٧,١٥	١٤,٢٥

*تم تكرار التجربة ثلاث مرات للتأكد من مدى مطابقة النتائج.

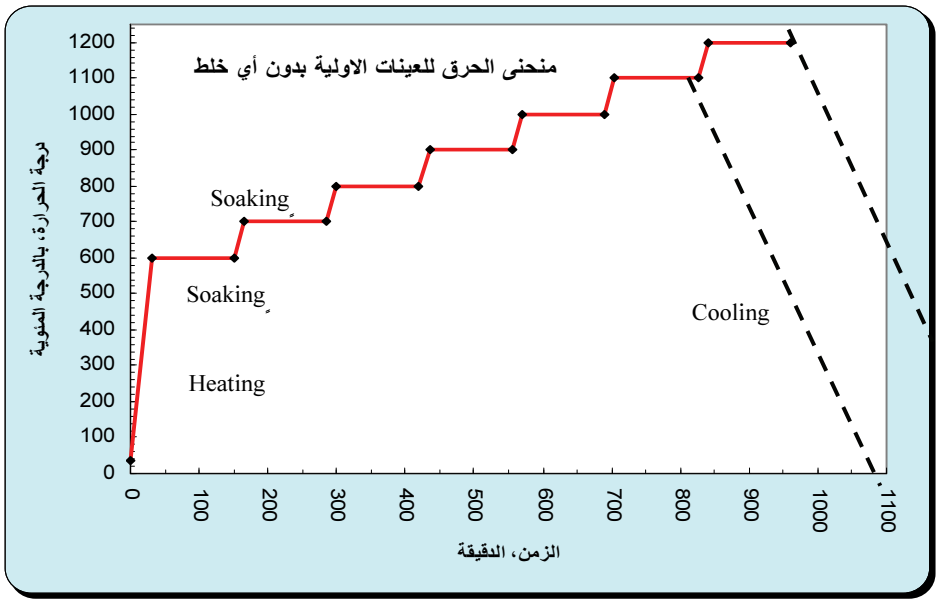
٢-٢ قياس التوزيع الحجمي والسلوك الحراري للرمال المستخدمة

استخدم في هذا البحث ثلاثة أنواع من الرمال الناعمة لدراسة مدى ملاءمتها لصناعة الطوب بعد خلطها بالبنتونايت. وكانت تلك الرمال من مناطق: بدر، والليث، وخليص، وجميعها مناطق قريبة من خام البنتونايت بمنطقة خليص. وللمقارنة بين جودة تلك الرمال في إنتاج الطوب تم اختبارها من حيث التوزيع الحجمي لكل منها، وكذلك سلوكها عند الحرق في درجات حرارة مختلفة .

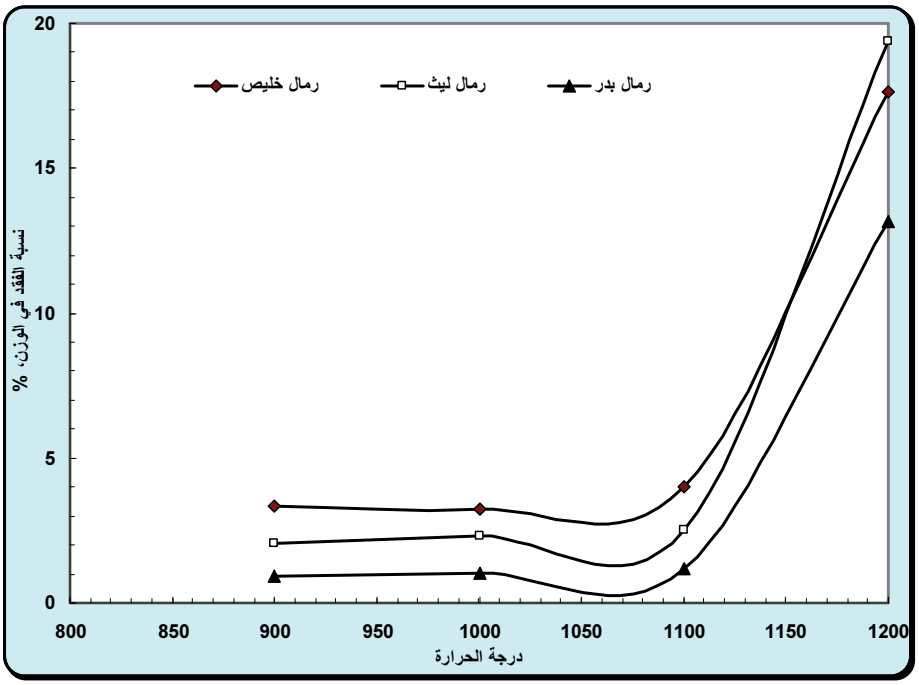
وتتضح نتائج التوزيع الحجمى والسلوك الحرارى للرمال المستخدمة بالأشكال (١-٣).



شكل رقم (١). التوزيع الحجمي لعينات ممثلة من الكثبان الرملية محل الدراسة.



شكل (٢). منحنى الحرق للعينات الممثلة من الكثبان الرملية (لإيجاد الفاقد في الوزن نتيجة الحرق).



شكل (٣). الفقد في الوزن للكثبان الرملية نتيجة الحرق عند درجات حرارة مختلفة بتطبيق منحنى الحرق في الشكل رقم (٥).

٢-٣ تحديد نسبة المياه المثلى في خلطة الطوب

عند تشكيل الطوب في القوالب، من المهم أن تكون تلك العينات متماسكة وقابلة للعجن والتشكيل. ومن وجهة النظر العلمية يتوقف تماسك الطوب على محتواه من المياه والبنتونايت. ومن هذا المنطلق، تم تصميم مجموعتين من التجارب، المجموعة الأولى تركز على إيجاد نسبة المياه المثلى لتماسك عينات الطوب عند نسبة محدده من البنتونايت، والمجموعة الثانية تركز على تحديد النسبة المثلى من البنتونايت التي تؤدى نفس الهدف، وهو الحصول على عجينة طوب قابلة للتشكيل ومتماسكة في نفس الوقت. وفي المجموعة الأولى تم

تجهيز عدة عينات من الرمل الجاف وزن كل منها ١ كجم، وتم خلطها خلطا جيدا بكمية ثابتة من البنتونايت تمثل ١٥٪ من وزن الرمال (أي ٢٥٠ جم)، وذلك بدون أية مياه. ثم تم خلط كل عينة بنسبة محددة من الماء ١٠، ١٥، ٢٠، ٢٢، ٣٠، ٣٥٪، منسوبة إلى وزن الرمال أيضا. حيث تم إضافة الكمية المطلوبة من الماء على دفعات مع استمرار عمليات التقليب والخلط اليدوي وبعد التأكد من عملية الخلط الجيد، تركت العينات لمدة ٢٤ ساعة حتى يتم التخمير جيدا. وبعد الوقوف على نتائج تلك المجموعة من التجارب تم إعادتها على خلطة رمال تحتوى على ٣٥ ٪ بنتونايت، حيث تم تغيير نسبة الماء بنفس النسب السابقة ١٠، ١٥، ٢٠، ٢٢، ٣٠، ٣٥ ٪، منسوبة إلى وزن الرمال وذلك بهدف ملاحظة السلوك مع النسب العالية من البنتونايت. ثم تم بعد ذلك اختبار مدى قابلية العينات للتشكيل باتباع الخطوات القياسية لإيجاد حد اللدونة. حيث تفتل العينة على لوح زجاجي باستخدام أصابع اليد، ويتم ملاحظة إمكانية تكوين خيط متماسك غير قابل للتشقق ذي قطر ٣ مم[١٤] .

٢-٤ تحديد نسبة البنتونايت المثلى في خلطة الطوب

في هذه المجموعة، تم إجراء التجارب بنفس الطريقة التي استخدمت لتحديد نسبة المياه في المجموعة السابقة، والفرق الوحيد هو فقط تغيير نسبة البنتونايت في الخلطة, منسوب إلى وزن ثابت من الرمال يحتوي على كمية ثابتة من المياه (نسبة مئوية منسوبة إلى وزن الرمال المستخدم أيضا). وتمت عملية الخلط بنفس الترتيب في المجموعة السابقة حيث خلط الرمل مع البنتونايت على الجاف، ثم أضيفت المياه على دفعات أثناء عمليات التقليب والعجن المستمر.

ويبين الجدول رقم (٥) النسب المثلى للبنتونايت والماء فى الخلطات المختلفة.

جدول رقم (٥). الخلطات المثلى المتماسكة القابلة للتشكيل والعجن من رمال الليث والبنتونايت والماء (منسوبة إلى ١٠٠ جم من الرمال).

كود الخلطة	النسبة المثلى من البنتونايت ، ٪	النسبة المثلى من الماء، ٪
١	١٥	٢٢
٢	٢٥	٢٧
٣	٣٥	٣٥

٢-٥ تجهيز عينات معملية صغيرة الحجم للطوب الأحمر المصمت

تم تكرار مجموعتي التجارب السابقتين عدة مرات لمعرفة أنسب الخلطات القابلة للتشكيل في صورة طوب. ثم بعد الوقوف على الخلطات المناسبة للعجن في صورة طوب، تم البدء في إنتاج طوب على مستوى معملي. حيث تم تجهيزالعينات في نماذج معملية صغيرة الحجم مقترحة (أسطوانية الشكل بقطر ٤ سم وسمك ١ سم)، وتم إنتاج عينات طوب من ثلاث خلطات، وجد أنها لدنه وقابلة للعجن والتشكيل، ثم تم حرقها وقياس بعض خواصها، مثل: نسبة التغير في الأبعاد، ونسبة امتصاص الطوبة للماء بعد الحرق، وكذلك دليل التحميل النقطي (Is) لمقارنتها بعضها البعض لاختيار أفضلها لاستخدامه لإنتاج طوب ذات أبعاد قياسية.

٢-٦ تجهيز وحرق عينات الطوب المصمت

بعد إنتاج عينات الطوب ذات الأبعاد المعملية، كما ذكر في البند السابق، من ثلاث خلطات مختلفة ومقارنتها بعضها البعض، أمكن التوصل إلى أحسن الخلطات (٢٥٪ من وزن الرمال بنتونيت و ٢٧٪ من وزن الرمال ماء) وأصبح من الضروري إنتاج عينات طوب على المستوى التجاري:

- المجموعة الأولى تم استخدام نماذج ذات الأبعاد (١٠,٨٠ × ٥,٠٠× ٣,٣٥ سم)

- المجموعة الثانية تم استخدام نماذج ذات الأبعاد (٢١,٦× ١٠,٠٠× ٦,٧٠ سم).

وتم حرق المجموعتين وقياس خواصها طبقا للخطوات الموجودة بالكود الأمريكى، ثم مقارنة النتائج التي تم الحصول عليها بالخواص القياسية.

٣ – تحليل ومناقشة النتائج

٣-١ الخواص الطبيعية والكيميائية للبنتونايت

يمثل الجدول رقم (٢) نتائج قياس الخواص الطبيعية لخام بنتونايت خليص. ومنه يتضح أن نسبة معادن الطين عالية (٩٨٪) مما يجعل الخام مناسبا لإنتاج الطوب، بينما يبين دليل الانتفاش الحر أن النشاط والتماسك لمعادن الطين بخام بنتونايت تقع في الحدود المتوسطة لمعادن الطين النشطة.

ويبين الجدول رقم (٣) نتائج التحليل الكيميائي لعينات البنتونايت المستخدمة في هذه الدراسة، ومنه يتضح أن الخام يحتوى على نسبة من أكسيد الكالسيوم تكاد تصل إلي ٥٪، وهى نسبة عالية إذا ما قورنت بنسبة أكسيد الصوديوم البالغة أقل من ٠,٢ ٪، وهذا يؤكد على أن الخام من النوع الكلسي غير النشط[١٥،١٦]. وتصل نسبة الفقد في الوزن لهذا الخام إلى حوالي ٧ ٪ عند درجة حرارة ٧٠٠ °م ترتفع إلى الضعف تقريبا عند حرق الخام عند درجة حرارة ١٢٠٠ °م لمدة ساعتين (الجدول رقم ٤). وربما يعزى ذلك إلى وجود تغير في الأطوار

عند هذه الدرجة، حيث تمثل درجة الحرارة ١٢٠٠ °م الحد الأقصى لحرق الطوب من واقع المسح الأدبي.

٣-٢ التوزيع الحجمي والسلوك الحراري للرمال المستخدمة

تم عمل التحليل الحجمي لعينات ممثلة من الكثبان الرملية المأخوذة من مناطق الدراسة الثلاثة، والتي تتضح نتائجها بالشكل رقم (١). ومنه يتبين أن حبيبات الرمل لكثبان خليص ذات حجم ناعم جدا، بينما تمثل كثبان منطقة الليث حجم حبيبي ناعم، في حين أن حبيبات الرمل بمنطقة بدر تعتبر أخشن نوع من الكثبان محل الدراسة. ومن هذا الشكل يمكن ترتيب الكثبان حسب درجة نعومتها من الأنعم إلى الأخشن كالتالي: خليص ، والليث ، وبدر.

ولمعرفة السلوك الحراري للنوعيات الثلاثة من الكثبان الرملية تم حرق ثلاث عينات ممثلة وزن كلا منها ٢٠ جم من كل نوع من الرمال عند درجات حرارة مختلفة، طبقا لمنحنى الحرق الموضح في شكل رقم ٢. حيث توضع العينات، بعد زمن التجفيف، في الفرن وترفع درجة الحرارة إلى ٦٠٠ °م، ثم يتم الاحتفاظ بالعينة عند هذه الدرجة لمدة ساعتين وترفع الحرارة ١٠٠ °م زيادة وتبقي العينة عند درجة الحرارة الجديدة (٧٠٠ °م) لمدة ساعتين، وهكذا حيث تتوقف عملية الحرق عند درجة الحرارة المطلوبة، ويتم تبريد الفرن طبيعيا ثم إخراج العينة ووزنها وحساب الفقد في الوزن، ثم النسبة المئوية لهذا الفقد في الوزن.

ويبين شكل رقم (٣) متوسط النسبة المئوية للفقد في الوزن للعينات الممثلة من المناطق الثلاثة عند درجات حرارة: ٩٠٠، و١٠٠٠، ١١٠٠و، و١٢٠٠°م. ومنه يتضح أن الفقد الحراري يبلغ أعلي ما يكون في رمال خليص، بينما يكون

أقل ما يكون في رمال بدر، ويكون بدرجة متوسطة في رمال الليث، وذلك حتى درجة حرارة ١١٠٠ °م، وتتغير نسبة الفاقد في الوزن عند درجة ١٢٠٠ °م، حيث تعطي العينات استجابة مختلفة. ونلاحظ أن أعلى نسبة للفقد في الوزن في عينات رمال الليث، تليها رمال خليص، ثم أقلها رمال منطقة بدر. مما يعطى مؤشرًا بأنها نوعية وسط بين النوعيتين. هذا بالإضافة إلى درجة النعومة المتوسطة لرمال تلك المنطقة، مما يجعلها مميزة دون رمال المناطق الأخرى للاستخدام في صناعة الطوب، حيث أن الرمال الخشنة بمنطقة بدر قد تحتاج إلى مزيد من الطحن، بينما الرمال الناعمة جدا بمنطقة خليص قد تحتاج إلى مجهود أكبر للخلط بالبنتونايت. ولذلك سيتم استخدام الرمال من منطقة الليث فقط في التجارب المعملية التالية، وسيتم استبعاد رمال كلا من منطقتي بدر وخليص.

٣-٣ نسبة الماء والبنتونايت المثلى في خلطة الطوب

يبين جدول رقم (٥) ملخصًا للخلطات المثالية المتماسكة القابلة للتشكيل والعجن، التي أمكن الحصول عليها من مجموعتي التجارب الخاصتين بتحديد النسب المثلي لخلطة الطوب من الرمال والبنتونايت والماء (استخدمت رمال الليث فقط في هذه المجموعة من التجارب كما ذكر سابقا). ومنه يتضح أنه كلما زادت نسبة البنتونايت في الخلطة زادت نسبة المياه المطلوبة للحصول على عينة لدنه قابله للعجن والتشكيل. وقد أعطيت كل عينة كود، حيث سيتم استخدامها في سلسة التجارب التالية لإنتاج طوب معملي بالأبعاد سالفة الذكر (أسطوانية الشكل بقطر ٤ سم وسمك ١ سم) ومقارنتها في ضوء التغيير في الأبعاد وامتصاص الماء ومعامل التحميل النقطي (Is) نتيجة الحرق، لاختيار أنسبها لإنتاج طوب ذي أبعاد قياسية واختباره من حيث مطابقته للمواصفات القياسية.

٣-٤ دراسة جودة الطوب المنتج بالأبعاد المعملية

تم استخدام الخلطات الثلاثة المثلى السابقة لإنتاج طوب في صورة نماذج معملية (أسطوانية الشكل بقطر ٤ سم وسمك ١ سم). وقد تم معالجة الطوب منذ سكه في النموذج المعملي، كما هو موضح في الشكل رقم (٤) (منحنى حرق رقم ١). حيث تم تجفيف العينات في الشمس، ثم في المجفف، ثم وضعها في الفرن عند درجة حرارة ١٠٠°م، و رفع درجة الحرارة في الفرن حتى ٩٥٠°م، ثم تم حرق العينات عند هذه الدرجة لمدة ساعتين واختير الحرق عند هذه الدرجة، لأن الفاقد في الوزن في رمال الليث يكاد يكون ثابتًا ما بين ٩٠٠ و١١٠٠°م. بعد إتمام مرحلة حرق الطوب وتبريده إلى درجة حرارة الغرفة، تم الحصول على طوب معملي متفاوت في الألوان، حيث إنه كلما زادت نسبة البنتونايت في العينة كلما زادت درجة إحمرار الطوب، غير أن اللون وحده لا يعتبر مقياسًا نهائيًا لجودة الطوب، لذلك تم قياس الخواص الآتية على العينات:

- مقدار التغير في قطر عينة الطوب نتيجة الحرق.
- النسبة المئوية للمياه الممتصة بعينة الطوب بعد الحرق.
- دليل التحميل النقطي (Is) للطوب بعد الحرق.

ويبين الجدولان رقما (٤ و٦) متوسط تلك النتائج، ويتضح منها أن التغير في الأبعاد يزداد بازدياد نسبة البنتونايت في العينة، حيث يبلغ هذا التغير ما نسبته ١٢٪ من قطر الطوبة في الخلطة الثالثة، التي تحتوى على ٣٥٪ بنتونايت. أما فيما يتعلق بامتصاص الماء، فإن الظاهرة معكوسة تماما، حيث يزداد امتصاص الطوب للماء بانخفاض نسبة البنتوانايت في العينة، مما يعطى خلاصة مختلفة، فمن وجهة نظر التغير في الأبعاد نرى أن الطوب المنتج من الخلطة الأولى هو الأفضل، بينما من وجهة نظر امتصاص الطوب للماء نرى أن الطوب المنتج من الخلطة الثالثة هو الأفضل. وعند محاولة الفصل في هذا

التضارب نرى أن دليل قوة التحميل النقطي يعطي أفضلية للطوب المنتج من الخلطة الثالثة. وبذلك يمكن استبعاد الخلطة الأولى من كونها خلطة مناسبة لإنتاج طوب محروق على المستوى المعملي.

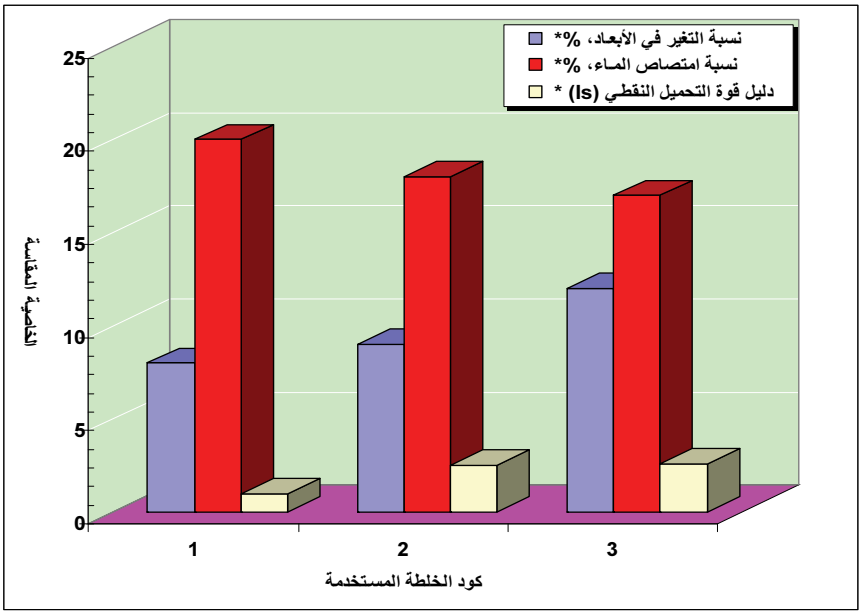
ويمكن ملاحظة أن الخلطة الثانية قريبة جدا في الخواص من الخلطة الثالثة وتمتاز عنها بانخفاض محتواها من البنتونايت. وعند مقارنة التغير في نسبة البنتونايت في كل خلطة مع التغيير في الخواص للطوب المنتج، يلاحظ أن ١٠٪ زيادة في نسبة البنتونايت بين الخلطة الأولى والثانية أدت إلى زيادة التغير في بمقدار ١٪ اى بمعدل ٠,١٪ لكل ١٪ بنتونايت، في حين يقفز هذا الرقم الى ٠,٣٪ لكل ١٪ بنتونايت عند مقارنة إضافة ١٠٪ الى الخلطة الثانية للحصول على الخلطة الثالثة وهذا يبين انه من وجهة نظر التغير في الأبعاد تعتبر الخلطة الثانية هي الأفضل من الثالثة. أما من حيث نسبة امتصاص الماء فمعدل التغير من العينة الأولى إلى الثانية هو ٠,٢٪ لكل ١٪ بنتونايت بينما يصل هذا المعدل الى ٠,١٪ بين الثانية والثالثة، مما يعطى أفضلية للخلطة الثانية أيضا.

ومن حيث دليل قوة التحميل النقطي تعتبر الخلطة الثانية ممتازة، وذلك لأن إضافة ١٠٪ بنتونايت إلى الخلطة الأولى أدى إلى ارتفاع دليل التحميل النقطي من ١ إلى ٢,٥ أي بواقع ١٥٪ لكل ١٪ بنتونايت، بينما يبلغ هذا المعدل (٠,٠١٪ لكل ١٪ بنتونايت من الخلطة الثانية إلى الثالثة). يتضح من ذلك أن انسب الخلطات هي الخلطة الثانية تليها الخلطة الثالثة لتقاربها معها في الخواص، ولكن عيبها أن نسبة البنتونايت المطلوبة تكون عالية، وبناء على ذلك سيتم استخدام الخلطة الثانية في إنتاج طوب بأبعاد حقيقة وحرقة بتطبيق منحنيات حرق مختلفة وقياس الخواص الطبيعية له ومقارنتها بالمواصفات القياسية المطلوبة، كما سيتم ذكره فيما يلي.

جدول رقم (٦). ملخص نتائج اختبار الطوب المعملي المصنع من الخلطات المثالية من رمال الليث وبنتونايت خليص والماء.

محتوى البنتونايت	نسبة التغير في الأبعاد، ٪*	نسبة امتصاص الماء، ٪*	دليل التحميل النقطي (Is) *
(٪ ١٥)	٨	٢٠	١
(٪ ٢٥)	٩	١٨	٢,٥
(٪ ٣٥)	١٢	١٧	٢,٦

* النتائج في هذا الجدول تمثل متوسط ثلاثة تجارب



شكل رقم (٤). نتائج اختبار الطوب المعملي المصنع من الخلطات المثالية من رمال الليث وبنتونايت خليص والماء.

٣-٥ الطوب الأحمر المصمت

كما ذكر سابقا، تم اختيار نموذجين للطوب ذات الأبعاد التجارية. النموذج الأول تم تطبيق نفس منحنى الحرق المستخدم مع العينات المعملية الصغيرة،

والمبين في شكل رقم (٤) مع الأخذ في الاعتبار تقليل شحنة الفرن للحفاظ على نفس المعدلات الحرارية. ويبين جدول رقم (٧) نتائج الخواص التي تم الحصول عليها بالنسبة للنموذج الأول. وتجدر الإشارة إلى أنه تم تكرار كل اختبار عدد من المرات، وقد تم استبعاد النتائج التي يزيد فيها الخطأ عن ثلاثة أضعاف الانحراف المعياري (Standard Deviation) سواء بالزيادة أو النقصان.

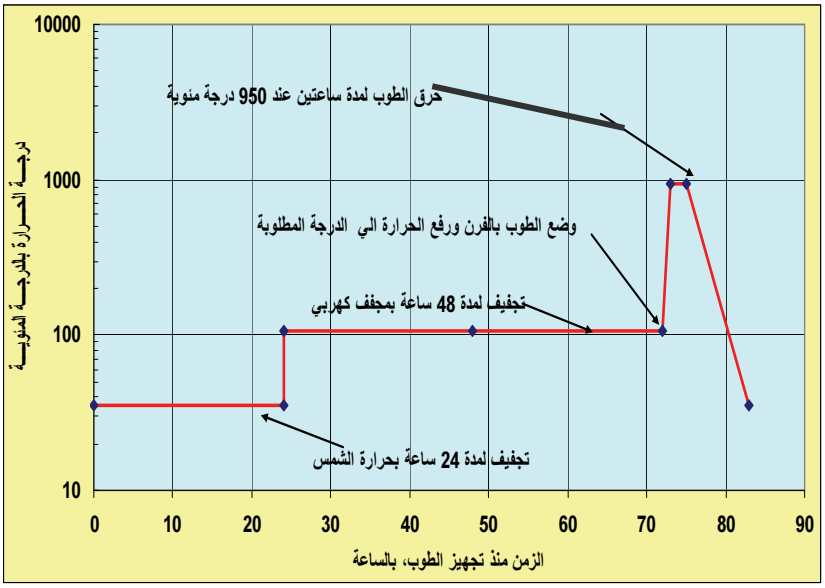
وبمقارنة النتائج التي تم الحصول عليها من النموذج الأول مع مدى النتائج القياسية المطلوبة تلك المطلوبة يتضح أن الطوب الذى تم الحصول عليه صالح و مطابقا للمواصفات. وطبقا للخواص القياسية، يمكن اعتبار هذا النوع من الطوب المنتج من النموذج من أنواع الطوب المسمى C62 – MW، والذي يمتاز بمقاومته لظروف التعرية المتوسطة.

وفيما يتعلق بالطوب المنتج من النموذج الثاني، فيبين جدول رقم (٨) النتائج التى تم تسجيلها عند إجراء الاختبارات القياسية على الطوب المحروق منها، بتطبيق نفس منحنى الحرق رقم (١). ويتضح أن الطوب المنتج بهذه الأبعاد لا يمكن استخدامه إلا في المبانى الداخلية، حيث تتوافق خواصه مع المواصفات المطلوبة فى النوع الثانى من الطوب C1088. ويلاحظ أن الطوب المنتج في تلك الحالة (استخدام النموذج الثاني وتطبيق منحنى الحرق رقم ١) ذي خواص متقاربة مع الحدود المسموح بها قياسيا. ويرجع ذلك ربما إلى عدم الحرق جيدا نتيجة كبر الأبعاد وعدم ملاءمة منحنى الحرق رقم ١ في تلك الحالة. ومن هذا المنطلق، تم تعديل منحنى الحرق رقم ١ ليصبح كما هو مبين في شكل رقم ٦ (منحنى حرق رقم ٢). حيث تم زيادة زمن الحرق وعلى مراحل متعددة بدلا من مرحلة واحدة، وكذلك تم رفع درجة

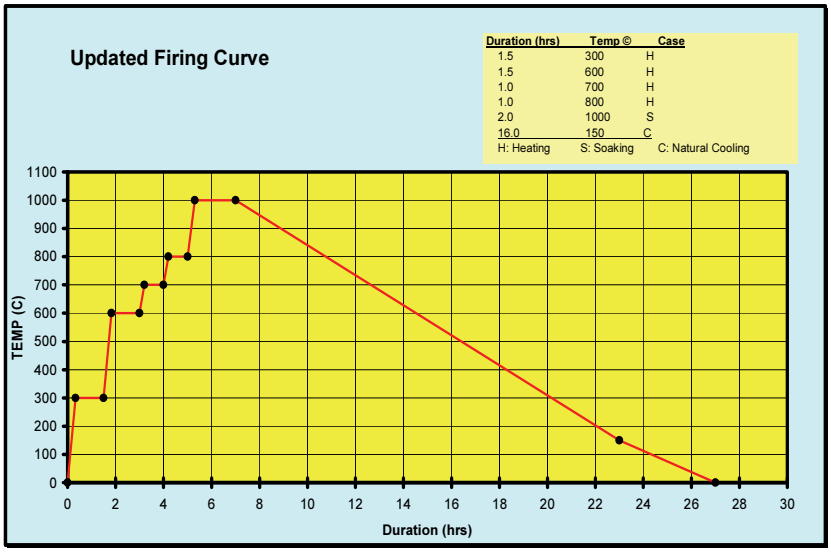
الحرارة القصوى للحرق لتصبح ١٠٠٠ °م بدلا من ٩٥٠ °م في حالة منحنى الحرق رقم ١. ويبين الجدول رقم ٩ النتائج التي تم التوصل إليها، والتي منها يتضح أن الطوب المنتج مطابقا للمواصفات القياسية ويمكن استخدامه في أي تطبيق وتحت أية ظروف جوية.

جدول رقم (٧). نتائج الاختبارات القياسية التي تم إجراءها لفحص الطوب ذي الأبعاد التجارية المنتج باستخدام النموذج الأول (بتطبيق منحنى الحرق رقم ١).

الاختبار	عدد الطوبات المستخدمة لإجراء الاختبار لمرة واحدة	عدد مرات تكرار الاختبار	متوسط قيمة الخاصية المقاسة باعتبار القراءات المقبولة إحصائيا	المدى المسموح به قياسيا
الأبعاد Dimension tolerance(mm)	١٠	٤	٢,٤٥	١,٦ – ٤,٠٠
اجهادات الضغط Compressive Strength (M Pa)	٥	٤	٢١,٦	لايقل عن ١٠,٣٠ ميجا باسكال
نسبة امتصاص الماء على البارد (٪)	٥	٥	١٣	–
نسبة امتصاص الماء على الساخن (٪)	٥	٥	١٦,٨٨	لايزيد عن ٢٢٪
معامل التشبع	٥	٥	٠,٧٧	لايزيد عن ٠,٩٠
التزهير Efflorescence	١٠	٢	معدوم	



شكل رقم (٥). منحنى معالجة نماذج الطوب المعملية منذ تصنيعها وحتى نهاية حرقها (منحنى حرق رقم ١).



شكل رقم (٦). منحنى الحرق المطور والمستخدم في حرق عينات الطوب المنتجة من النموذج الثاني (منحنى الحرق رقم ٢).

جدول رقم (٨). نتائج الاختبارات القياسية التي تمت لفحص الطوب ذي الأبعاد القياسية المنتج باستخدام الثانى (بتطبيق منحنى الحرق رقم١).

الاختبار	عدد الطوبات المستخدمة لإجراء الاختبار لمرة واحدة	عدد مرات تكرار الاختبار	متوسط قيمة الخاصية المقاسة باعتبار القراءات المقبولة إحصائيا	المدى المسموح به قياسيا
الأبعاد Dimension Tolerance (mm)	١٠	٥	٣,٩٨	١,٦ – ٤,٠٠
إجهادات الضغط Compressive Strength (M Pa)	٥	٤	١٤,٩	لايقل عن ١٠,٣٠ ميجاباسكال
نسبة امتصاص الماء على البارد (٪)	٥	٥	٢٠,٤٧	–
نسبة امتصاص الماء على الساخن (٪)	٥	٥	٢٣,٠٠	لايزيد عن ٢٢٪
معامل التشبع	٥	٥	٠,٨٩	لايزيد عن ٠,٩٠
التزهير Efflorescence	١٠	٢	معدوم	

جدول رقم (٩). نتائج الاختبارات القياسية التى تمت لفحص الطوب ذي الأبعاد القياسية المنتج باستخدام الفورمة الكبيرة (بتطبيق منحنى الحرق رقم ٢).

الاختبار	عدد الطوبات المستخدمة لإجراء الاختبار لمرة واحدة	عدد مرات تكرار الاختبار	متوسط قيمة الخاصية المقاسة باعتبار القراءات المقبولة إحصائيا	المدى المسموح به قياسيا
الأبعاد Dimension tolerance (mm)	١٠	٦	٤,٠٣	١,٦ – ٤,٠٠
إجهادات الضغط Compressive Strength (M Pa)	٥	٦	٢٢,٤	لايقل عن ١٠,٣٠ ميجا باسكال
نسبة امتصاص الماء على البارد (٪)	٥	٤	١١,٢٠	–
نسبة امتصاص الماء على الساخن (٪)	٥	٥	١٤,٩٣	لايزيد عن ٢٢٪
معامل التشبع	٥	٥	٠,٧٥	لايزيد عن ٠,٩٠
التزهير Efflorescence	١٠	٣	معدوم	

٤- الخلاصة والتوصيات

من النتائج والمناقشات السابقة تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

١- تم إنتاج نوع جديد من الطوب الأحمر المصمت من خليط من الرمل والبنتونايت بالنسب المشار إليها سابقا وهى (٢٥٪ بنتونايت و ٢٧٪ ماء) وبأبعاد تجارية والذي تم حرقه بتطبيق منحنيات حرق مختلفة.

٢- بتصنيع عينات الطوب على نماذج معملية صغيرة الحجم من الخلطات المختلفة وقياس خواص الطوب المنتج قبل وبعد الحرق، تبين أن التغيير في أبعاد الطوب المنتج، وكذلك دليل التحميل النقطي يتناسبان طرديا مع محتوى الخلطة من البنتونايت، بينما نسبة امتصاص الماء للطوب تتناسب عكسيا مع محتوى الطوب من البنتونايت.

٣- يتوقف مدى قابلية خلطة الطوب للتشكيل والعجن على نسبة البنتونايت والماء في الخلطة فلكل نسبة من البنتونايت فى الخلطة توجد نسبة مياه مناظرة لها لإنتاج عجينة طوب لدنه. وفي حالة خام بنتونايت خليص وجدت أن الخلطات المناسبة والقابلة للتشكيل والعجن هي تلك التي تحتوى على ١٥٪ بنتونايت و ٢٠ ٪ ماء من وزن الرمال، أو ٢٥ ٪ بنتونايت مع ٢٧ ٪ ماء أو ٣٥ ٪ ، لكل من البنتونايت والماء من وزن الرمال المستخدمة.

٤- خواص الطوب ذي الأبعاد التجارية والمنتج بواسطة النموذج الثاني (٢١,٦×١٠,٠٠×٦,٧٠سم)، والذي تم حرقة طبقا لمنحنى الحرق رقم ٢ تقع في الحدود المسموح بها للمواصفات القياسية، ويمكن استخدامه في جميع الحوائط، وعند أية ظروف تعرية. حيث بلغت قيمة مقاومته لإجهادات الضغط في تلك الحالة ٢٢٤ كجم/سم٢ مقارنة ب ١٠٣ كجم /سم٢.

شكر وتقدير

يتقدم المؤلفان بالشكر والتقدير لعمادة البحث العلمي، وكذلك لكلية الهندسة بجامعة الملك عبد العزيز للدعم المادي والمعنوي لهذا البحث.

المراجـــع

[١] **Directorate General of Mineral Resources, Saudi Arabia, DGMR**, *Mineral Resources of Saudi Arabia* –Special Publication, Sp **2**: 27-29(1994).

[٢] **Spencer, C.H., Le Berre, P.** and **Pasquet, J.F.,** *Additional Drilling and Industrial Suitability tests in the Khulais Bentonite Deposit: Saudi Arabian Deputy for Mineral Resources* , BRGM-OF-08-1,40p (1986).

[٣] **Al-Zahrani, Al- Asahrani, S.** and **Al-Tawil, Y.A.,** Study on the activation of Saudi natural bentonite, part 11, *Journal of King Saud University, Engineering Sciences,* **13** (Issue 2) (2000).

[٤] **Al-Maghrabi, M.N.** and **Aboushook, M.,** Activation of Khulais bentonite using fine grinding technique, *Journal of King Abdulaziz University- Engineering Science,* **19**(1):37-55(2008).

[٥] **Mesri, G.** and **Olson, R.E.,** *Consolidation Characteristics of Montmorillonite, Geotechnique*, **21**(4): 341-352(1971).

[٦] **Clarke, G.,** Bentonite - a review of world production; "*Industrial Minerals*", pp: 23-31 (1982).

[٧] **Ugheoke, B. I., Onche, E. O., Amessan, O. N.** and **Asikpo, G. A.,** " Property Optimization of Kaolin - Rice Husk Insulating Fire – Bricks", *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, **Issue 9**, pp: 167-178(2006).

[٨] **Ali**, **Zainab Binti Arman**, "Properties of Malaysian fired clay bricks and their evaluation with international masonry specifications – a case study, *M. Sc. Thesis*, Universiti Teknologi, Malaysia (2005).

[٩] **Murray**, **Haydn,** Industrial Clays- Case Study, Industrial Minerals and Rocks, 6th Edition, *Soc. for Mining, Metallurgy, and Exploration*, **64**: 1-9(2002).

[١٠] **American Society for Testing Materials**, "*Standard Test Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile"*, United States of America, ASTM C 67-90a (1991).

[١١] **American Society for Testing Materials**, "*Standard Specification for Building Brick" (Solid Masonry Units Made from Clay or Shale),* United States of America, ASTM C 62-89a (1990).

[١٢] **American Society for Testing Materials**, "*Standard Test Methods of Sampling and Testing procedures for Brick and Structural Clay Tiles*", United States of America, ASTM C 67-97 (1991).

[١٣] **American Society for Testing Materials**, "*Standard Specification for Facing Brick" (Solid Masonry Units Made from Clay or Shale*), United States of America, ASTM C 216-

90a (1990).

[١٤] **Locat, J., Lefebvre, G.,** and **Ballivy, G.,** Mineralogy, Chemistry, and Physical Property Interrelationships of Some Sensitive Clays from Eastern Canada, *Canadian Geotechnical Journal*, **21**: 530-540 (1984).

[١٥] **Grim, R.E.**, *Clay Mineralogy*, 2nd Ed., McGraw-Hill Book Company (1968.)

[١٦] **Grim, R.E.** and **Güven, N.,** *Bentonites-Geology, Mineralogy, Properties and Uses. Developments in Sedimentology*, vol. 24. Elsevier, New York (1978).

Using Khulais Non- Active Bentonite with Sand Dunes For Red Bricks Production

M. Aboushook and MN.H. Al-Maghrabi

Mining Engineering Department, Faculty of Engineering, King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia
profdraboushook@gmail.com

*Abstract***.** There exist huge reserves of non-active bentonite at Khulais region in Kingdom of Saudi Arabia. This ore has not been successfully exploited till the moment. In this paper, the possibility of using this ore as a binder for sand dunes to produce red bricks was studied. Laboratory investigations showed that the optimum brick mixture should contain 25 % of bentonite as a partial replacement of sand dune by weight. Hence, the optimum brick mixture was further investigated for producing red bricks of standard dimensions. The produced standard bricks were fired at different firing curves and tested for their technical specifications. The results showed that it is possible to produce red bricks of standard dimensions using Khulais bentonite with sand dunes with technically accepted specifications where the compressive strength of the produced samples was found to be 224 kg/cm^2 compared to 103 kg/cm^2 needed for normal red bricks.