African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)
Online ISSN: 2957-644X
Volume 4, Issue 3, 2025
Page No: 472-484
Website: https://aaasjournals.com/index.php/ajapas/index
ISI 2025: 1.126 **SJIFactor 2024: 6.752** **معامل التأثير العربي: 1.62**

إنتاج الطوب الرملي الخفيف وتقييم خصائصه الميكانيكية والبيئية باستخدام المواد المحلية

م. سمية مسعود عبدو [1]، م. إسراء إبراهيم عبدو اليونس [2]
[2،1] قسم هندسة التعدين، كلية الهندسة، جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا

Production of Lightweight Sand-Lime Bricks and Evaluation of Their Mechanical and Environmental Properties Using Local Materials

Somya Massoud Abdo[1], Esraa Ibrahim Alyounes[2]
[1,2] Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, University of Tripoli, Tripoli, Libya

Corresponding author: Somayaabdo518@gmail.com

Received: July 12, 2025	Accepted: September 02, 2025	Published: September 14, 2025

الملخص

تُعَدّ صناعة الطوب من الركائز الأساسية في أي نهضة عمرانية، إذ تشكّل عنصراً محورياً في قطاع البناء والتشييد والمشروعات الإنشائية المختلفة. ومع التطور المتسارع في هذا المجال، تبرز الحاجة إلى البحث عن مواد بناء بديلة تتسم بملاءمتها للبيئة، وتُسهم في تحسين جودة الحياة لسكان المباني، مع مراعاة الجوانب الاقتصادية وسهولة التشغيل والصيانة المستقبلية. في هذا الإطار، تهدف هذه الدراسة إلى استعراض واقع صناعة الطوب الرملي في ليبيا، والتعريف بمكوناته واستخداماته ومراحل تصنيعه، بالإضافة إلى إبراز أهم مزاياه. وقد اعتمدت الدراسة على تصنيع عينات من الطوب الرملي الخفيف باستخدام مواد محلية، حيث تم إعداد ثلاث عينات (A,B,C) أظهرت نتائج الاختبارات المخبرية أن جميع العينات كانت ضمن الحدود المسموح بها وفق المواصفات القياسية. فقد تراوحت كثافة العينات بين (560-400kg\m^3)، كما بيّنت نتائج اختبار إجهاد الضغط وجود علاقة طردية بين الكثافة وقيمة الإجهاد؛ إذ كلما انخفضت الكثافة زاد عدد الفراغات الهوائية في الطوب. ويُعزى ذلك إلى تأثير بودرة الألومنيوم التي تقلل من الفراغات الداخلية وتُسهم في خفض الوزن. وقد بلغت قيم إجهاد الضغط للعينات على التوالي (1.3-1.2 -0.82kg/cm) لكل من(A,B,C)، أما نتائج اختبار المسامية، فقد تراوحت بين (76–73) %، في حين أظهرت نتائج اختبار امتصاص الماء أن العينة (A) كانت الأقل امتصاصاً بنسبة 1%، مما يؤكد العلاقة العكسية بين الكثافة ونسبة الامتصاص. وبناءً على ما سبق، يتضح أن الطوب الرملي الجيري المصنع من المواد المحلية يُمكن أن يشكّل بديلاً مناسباً في أعمال البناء، ليس فقط من الناحية الاقتصادية، وإنما أيضاً لما يتميز به من خفة الوزن وسهولة التنفيذ.

الكلمات المفتاحية: الطوب الرملي، مواد بناء مستدامة، البيئة.

Abstract

The brick industry is considered one of the fundamental pillars of any urban development, playing a central role in construction, building, and various infrastructural projects. With the rapid advancements in this field, the need arises to explore alternative building materials that are environmentally friendly, enhance the quality of life for building occupants, and at the same time take into account economic aspects as well as ease of operation and maintenance in the future .In this context, the present study aims to review the current state of sand-lime brick production in Libya, highlighting its components, applications, stages of manufacturing, and some of its advantages. The study was based on the preparation of lightweight sand-lime brick samples using locally available materials. Three samples (A, B, and C) were produced and tested .The laboratory results demonstrated that all samples complied with the limits of the standard specifications. The bulk density of the samples ranged between 400–560 kg/m³. Moreover, compressive strength tests revealed a direct relationship between density and strength, as lower density was associated with an increased number of air voids within the brick. This

phenomenon is attributed to the effect of aluminum powder, which reduces internal voids and consequently lowers the overall weight. The compressive strength values obtained for the samples were 1.3, 1.2, and 0.82 kg/cm² for samples A, B, and C respectively .Porosity tests indicated values ranging between 73–76%, while water absorption tests showed that sample (A) had the lowest absorption rate of 1%. This finding confirms the inverse relationship between density and water absorption.

Keywords: sand bricks, sustainable building materials, environment.

المقدمـــــة:

يشهد العالم في المرحلة الراهنة تطوراً عمرانياً متسارعاً في مجال البناء والتشييد، يهدف إلى تحسين جودة الحياة لمستخدمي المباني مع الأخذ في الاعتبار الجوانب الاقتصادية وضمان سهولة التشغيل والصيانة المستقبلية. وفي هذا الإطار، يُعَدّ الطوب الرملي الخفيف أحد المنتجات الحديثة والمتكاملة التي تلبي متطلبات العمارة المستدامة، حيث يتميز بسهولة التشكيل وملاءمته للبيئة، إلى جانب مزاياه الفنية والاقتصادية التي تجعله من أبرز مواد البناء المستدامة المتوافقة مع المعايير الدولية في قطاع التشييد، وهو ما تسعى هذه الدراسة إلى تسليط الضوء عليه بالتعاون مع شركة الإنماء الاقتصادي.

يتكون الطوب الرملي الخفيف من مجموعة من المواد الأساسية تشمل: الرمل، والجير الحي، والجبس، والأسمنت، وبودرة الألومنيوم. ويُعَدّ الرمل المكوّن الرئيسي في عملية التصنيع، حيث يتم اختياره وفق معايير محددة تضمن التجانس والمقاومة الميكانيكية. وعلى الرغم من ثبات المكونات الرئيسة لهذه الصناعة، إلا أن نسب الخلط قد تختلف تبعاً لمتطلبات العملية التصنيعية والاشتراطات الفنية والمعايير القياسية المعتمدة.

ويمثل الطوب الرملي أحد أكثر مواد البناء شيوعاً واستخداماً، ويرجع ذلك إلى انخفاض تكلفته، وتوافر المواد الأولية محلياً، فضلاً عن بساطة عملية تصنيعه. ويُستَخدم هذا النوع من الطوب على نطاق واسع في مختلف الأعمال الإنشائية والمعمارية، مثل بناء الحوائط الداخلية والخارجية. وبالنظر إلى ما تتمتع به ليبيا من وفرة في الموارد الطبيعية، وخاصة الرمال الغنية بالسليكا، فقد اتجهت بعض الشركات إلى إنشاء مصانع محلية لإنتاج الطوب الرملي الخفيف، في خطوة تُعَدّ ركيزة أساسية نحو توفير هذه المادة داخل السوق المحلي، بما يسهم في تقليل الاعتماد على الاستيراد وخفض التكاليف، إضافة إلى تعزيز التنمية الاقتصادية للمنطقة.

الهدف من الـدراســـة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل مكوّنات الطوب الرملي الخفيف ودراسة خصائصه الفيزيائية والميكانيكية، بما في ذلك مقاومة الضغط، والعزل الحراري، وقابلية التشغيل، وذلك من أجل تقييم مدى كفاءته في مجالات البناء المختلفة. كما تسعى الدراسة إلى مقارنة أدائه مع أنواع الطوب التقليدية، وتصميم نموذج مطوّر للطوب الرملي الخفيف يوضح تأثير المواد المضافة على خصائصه تحت ظروف بيئية متباينة، بما يسهم في اقتراح بدائل إنشائية فعّالة ومستدامة تدعم توجهات قطاع البناء نحو التنمية المستدامة.

مكونات الطوب الرملي:

تتسم الخلطة الأساسية للطوب الرملي الجيري بالبساطة وانخفاض التكلفة، غير أن عملية تصنيعه تتطلب الالتزام بمجموعة من الاشتراطات الفنية والمعايير الدقيقة الخاصة بكل مكوّن من مكوناته، وذلك لضمان الحصول على منتج نهائي يتميز بأعلى مستويات الجودة والمتانة. ويمكن توضيح هذه المتطلبات على النحو الآتي:

- الرمل السيليكاتي.
- الاسمنت.
- الجير.
- الماء.
- بودرة الألومنيوم. (1)

استخدامات الطوب الرملي:

- تشييد الحوائط الخارجية للمباني.
- إنشاء الفواصل الداخلية بين الغرف والوحدات.
- توظيفه في بعض العناصر الإنشائية مثل كمرات الأسقف.

مميزات الطوب الرملي:

- خفّة الوزن مقارنة بالأنواع الأخرى، مع كِبر حجمه مما يسهم في تقليل عدد الوحدات المطلوبة للبناء.
- يمتلك خصائص عزل حراري وصوتي جيدة، مما يعزز من راحة المباني وكفاءتها الطاقية.
- يتميز بكونه مقاومًا للحريق، الأمر الذي يزيد من درجة الأمان الإنشائي.
- يتيح سرعة في الإنجاز مقارنة بمواد البناء التقليدية.
- يتطلب كميات أقل من المونة أثناء عملية البناء، مما يقلل من التكلفة.
- يتميز بسهولة القطع والثقب والتشطيب بما يسهّل عمليات التركيب والتعديل.
- يتمتع بقدرة عالية على التماسك، مما يجعله ملائمًا للبناء بنظام الحيطان الحاملة.
- يُعد مادة صديقة للبيئة، حيث لا ينتج عنها مخلفات ضارة خلال مراحل الاستخدام.

البرنامج العملي:

تهدف هذه المرحلة من الدراسة إلى تصنيع نماذج من الطوب الرملي الخفيف باستخدام مواد أولية تم تجهيزها مسبقًا، وذلك بهدف تقليل تأثير التغيرات في الظروف المناخية والعوامل البيئية على المواد المستخدمة. وقد اعتمدت التجربة على كل من: الرمل، الجبس الصناعي، الجير الحي، بالإضافة إلى بودرة الألمنيوم.

الرمل: يُعد الرمل المكوّن الأساسي في إنتاج طوب الجير الرملي، حيث تتم عملية التصنيع من خلال خلط الجير الحي والجير المائي مع الرمل الغني بالسيليكا بنسبة تتراوح بين (85–95%) من الرمل و(5–15%) من الجير الحي. يحتوي الرمل على معدن السيليكا (SiO_2)، وتؤثر نسبة هذا المعدن بشكل مباشر على جودة الطوب المنتج. ويفضل في هذا السياق استخدام رمال تحتوي على أكثر من 60% من السيليكا لرفع كفاءة المنتج النهائي. وقد تم استخدام رمل الشرارة (أوباري) كمصدر للرمل في هذه الدراسة.

الجبس الصناعي: يتكوّن الجبس الصناعي من كبريتات الكالسيوم المجففة، ويتميز بخصائص مماثلة للجبس الطبيعي، مما يتيح استخدامه كبديل في العديد من التطبيقات مثل تحسين التربة وصناعة الأسمنت. في هذه الدراسة، تم الاعتماد على الجبس المستخرج من منطقة العزيزية بوصفه مادة خام أساسية ضمن مكونات الخلطة.

شكل (1) الجبس المصنع.

الجير الحي: يُستخلص الجير الحي من الصخور الجيرية عبر عملية الحرق في الأفران لإنتاج مادة فعّالة تُستخدم بشكل أساسي كمكوّن رابط في صناعة الطوب الرملي. ويُعد الجير الحي عنصرًا حاسمًا في تحديد جودة المنتج النهائي نظرًا لخصائصه الكيميائية. يتكوّن الجير الحي بصفة رئيسية من أكسيد الكالسيوم(CaO) ، حيث ينبغي أن تتراوح نسبته بين (70–95%) لضمان كفاءة الأداء. كما يُشترط ألا يتجاوز محتوى أكسيد المغنيسيوم (MgO) نسبة (5.1%)، نظرًا لتأثيره السلبي على خصائص ومتانة الطوب. ويتم الحصول على الجير الحي المستخدم في هذه الدراسة من المحاجر الطبيعية للصخور الجيرية.

شكل (2) الجير الحي.

بودرة الألومنيوم: تم استخدام بودرة الألومنيوم المُستخرجة من مصنع الإنماء، حيث أُضيفت إلى الخلطة بهدف التحكم في خصائصها الفيزيائية والوصول إلى الكثافة المطلوبة للطوب الرملي الخفيف. وتُعد بودرة الألومنيوم من المواد المضافة الأساسية التي تُسهم في تحسين البنية المسامية للمنتج النهائي، مما ينعكس إيجابًا على خفة وزنه وخصائصه العازلة.

شكل (3) بودرة الألمونيوم.

الإسمنت البورتلاندي :تم في جميع التجارب استخدام الإسمنت البورتلاندي العادي من النوع (N 42.5) المنتج محليًا، وذلك وفقًا للمواصفة القياسية الليبية رقم (340م/2009). ويُورد الإسمنت إلى موقع التصنيع عبر شاحنات مخصصة، ثم يُرفع باستخدام ضغط الهواء إلى صوامع التخزين. ويخضع الإسمنت المستخدم لعمليات فحص وضبط جودة للتأكد من مطابقته للمواصفات القياسية الليبية المعتمدة.

الماء المضاف: يُعد الماء (H_2O) أحد المكوّنات الأساسية في عملية إنتاج الطوب الرملي الجيري، حيث يُستخدم لتهيئة الخلطة والوصول إلى القوام المطلوب. يمكن استخدام مياه الآبار أو مياه الأنهار، في حين أن مياه البحر أو المياه ذات الملوحة العالية غير ملائمة لهذه العملية نظرًا لتأثيرها السلبي على خواص المنتج. وتُضاف كمية محددة من المياه أثناء عملية التصنيع بحيث تتراوح النسبة الكلية للمياه (بما يشمل مياه الخلطة + مياه الراجع + المياه المضافة) بين 48% و52% من حجم الخلطة.

نسب العينات:

جدول (1) نسب المواد الداخلة في صناعة الطوب (العينات).

المواد	نسب العينات		
	العينة1	العينة2	العينة3
الرمل	% 20	% 20	% 15
الاسمنت	%35	% 40	%35
الجير الحي	%10	% 10	%10
الجبس	%34.9	% 30	%40
بودرة الألمونيوم	% 0.001	% 0.001	% 0.001

مراحل تجهيز الخلطات:

بعد الانتهاء من عملية طحن الحجر الجيري، تم نقل عينات من الرمل والحجر الجيري إلى المختبر بغرض تجهيز المواد الداخلة في صناعة الطوب وإعداد خلطات تجريبية بنسب مختلفة، ثم إجراء سلسلة من الاختبارات عليها. وقد شملت هذه المراحل ما يلي:

1 .الفحص المعملي للعينات :تم إخضاع عينات المواد الأولية المستخدمة في الصناعة إلى اختبارات معملية للتحقق من مطابقتها للمواصفات الفنية والاشتراطات القياسية، باعتبار أن هذه الخطوة تُعد من المراحل الأساسية لضمان الحصول على منتج نهائي عالي الجودة.

2 .تجهيز رمل السيليكا :جرى تجهيز رمل السيليكا باستخدام هزازات آلية لفرزه وتنقيته من الشوائب غير المرغوب فيها، مع إمكانية تكرار عملية النخل أكثر من مرة باستخدام جهاز النخل الميكانيكي. وقد ساعدت هذه العملية على التخلص من الحصى والشوائب الناتجة عن عملية التفتيت. وتتلخص هذه الطريقة في وضع كمية مناسبة من الرمل والحجر الجيري المطحون داخل جهاز النخل الميكانيكي، وتمريرها لفترة زمنية تتراوح بين 15 إلى 20 دقيقة، لضمان الحصول على عينات نقية وذات جودة مناسبة للتصنيع.

شكل (4) الجير بعد عملية النخل.

3 .إطفاء الجير بالماء :بعد عملية الطحن والفرز، يتم إطفاء الجير الحي بالماء، وهي خطوة أساسية لتحويله إلى صورة أكثر استقرارًا وقابلية للاستخدام ضمن الخلطة، بما يضمن تجانس المكونات وتحقيق التفاعلات الكيميائية المطلوبة.

4 .إعادة الفحص المخبري للمواد :تُعاد كل مادة أولية على حدة إلى الفحص المعملي للتأكد من جاهزيتها وصلاحيتها للاستخدام في الخلطات، وذلك كإجراء رقابي يهدف إلى رفع دقة العملية وضمان مطابقة المواد للمواصفات القياسية.

5 .عملية الخلط والعجن :تُضاف كميات محسوبة من الرمل (ذي كثافة 2.64 غ/سم³) والجير والماء وفق النسب المقررة مسبقًا، حيث يتم وزن كل مادة بدقة قبل خلطها. تُنفذ عملية الخلط والعجن ميكانيكيًا إلى أن يتم الحصول على عجينة متجانسة ذات قوام كثيف ومتماسك. ويُعد التحكم في نسب المكونات أمرًا بالغ الأهمية، إذ يؤثر بشكل مباشر على جودة وخصائص الطوب الرملي الجيري المنتج.

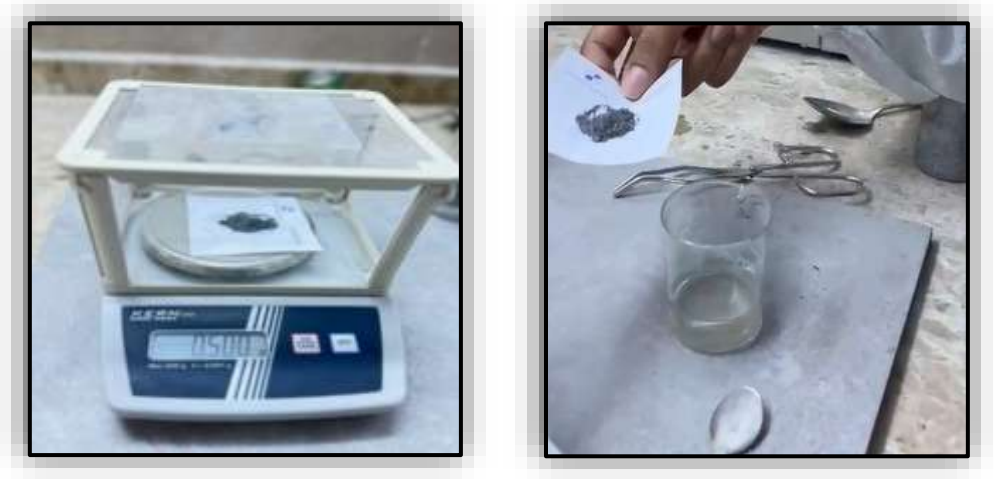
شكل (5) خلط الرمل والجير والماء.

الشكل (6) جهاز قياس درجة حرارة الخليط.

6 .إضافة الإسمنت: بعد تجهيز الخلطة الأولية، تمت إضافة كميات محددة من الإسمنت والماء وفق أوزان دقيقة، حيث أُدمجت هذه المكونات مع الخليط الأساسي لتعزيز خصائص التماسك والمتانة.

شكل (7) وزن خليط الإسمنت.

7 .إضافة بودرة الألومنيوم :جرى وزن كمية محسوبة من بودرة الألومنيوم، ثم خلطها بالماء مع التحريك المستمر قبل إضافتها إلى الخليط خلال آخر 30 دقيقة من عملية الخلط. وقد ساعد ذلك في التحكم بالكثافة المطلوبة للطوب. ولوحظ أن إحدى العينات (العينة الثانية) شهدت هبوطًا في الكثافة نتيجة برودة الخليط، الأمر الذي حال دون حدوث التفاعل الكامل بين المكونات وبودرة الألومنيوم.



شكل (8) خلط بودرة الألمونيوم بالماء.

8 .الصب في القوالب: بعد تجهيز الخلطة، صُبت في قوالب معدّة مسبقًا بمقاسات وأبعاد محددة، لضمان إنتاج طوب متجانس الشكل والحجم.

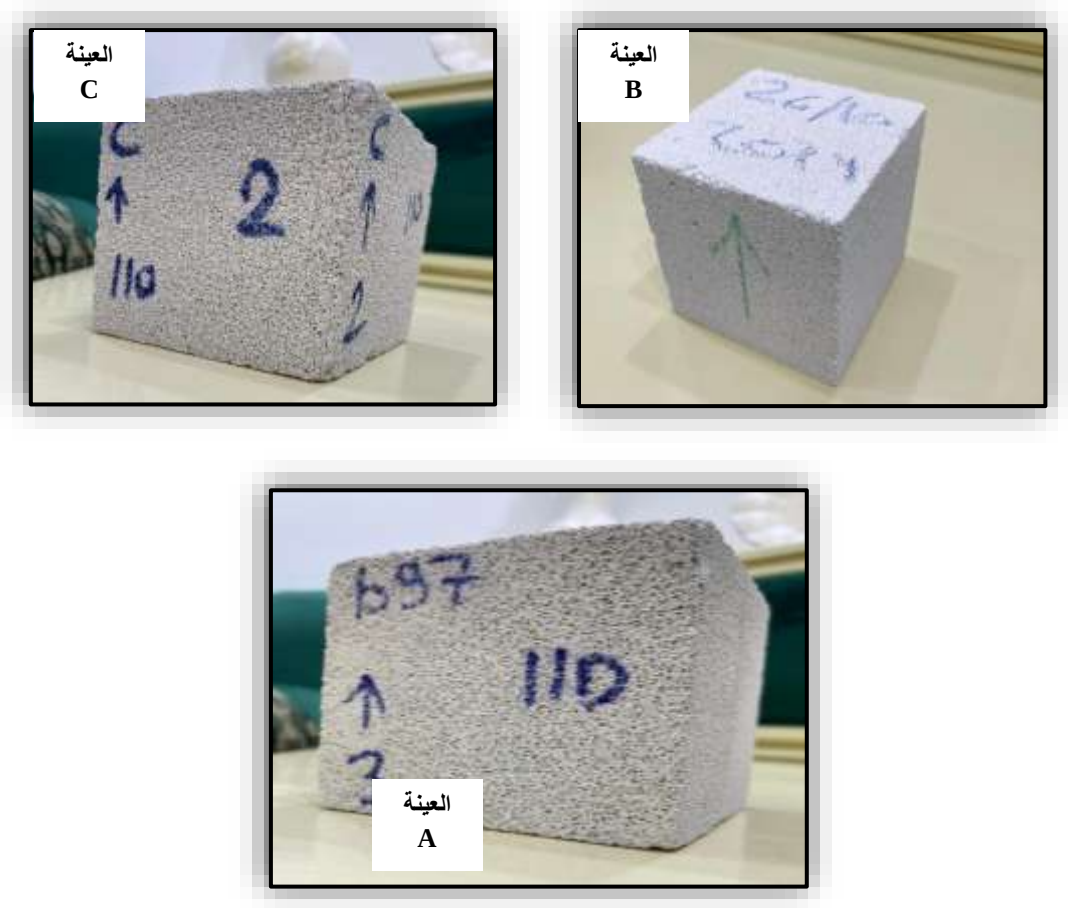
الشكل (9) يبين صب الخليط بالقوالب.

9 .مرحلة التسخين الأولي: نُقلت القوالب إلى أفران تسخين خاصة بهدف إكساب العينات الصلابة والمثانة المطلوبة. حيث تُركت داخل الأفران لمدة 3 ساعات قبل إخراجها من القوالب، ومن ثم جرى تنظيف أسطح العينات من أي بقايا أو شوائب.

شكل (10) العينات بالفرن.

10 .التفاعل الكيميائي: بفعل الحرارة، حدث تفاعل بين حبيبات الرمل والجير، نتج عنه تكوّن سيليكات الكالسيوم المائية (Calcium Silicate Hydrate - C-S-H)، وهي المادة المسؤولة عن تصلب الطوب ومنحه خاصية التماسك البنيوي، إضافةً إلى تثبيت جزيئات السيليكا ومنع إعادة تفاعلها مع بعضها البعض.

11 .مرحلة التبريد وإنتاج الطوب :بعد اكتمال عملية التسخين، تُركت القوالب حتى تبرد تدريجيًا، لينتج عنها أشكال الطوب الرملي الجيري النهائية وفق المقاسات والارتفاعات المحددة مسبقًا في قوالب التشكيل.



شكل (11) شكل الطوب الرملي بعد الإنتهاء من عملية التشكيل.

الاختبارات التي أُجريت على الطوب:

للتأكد من جودة الطوب الرملي الجيري المنتج وملاءمته للاستخدام في الأغراض الإنشائية، تم إجراء عدد من الاختبارات الأساسية، وهي:

1 .اختبار الكثافة.

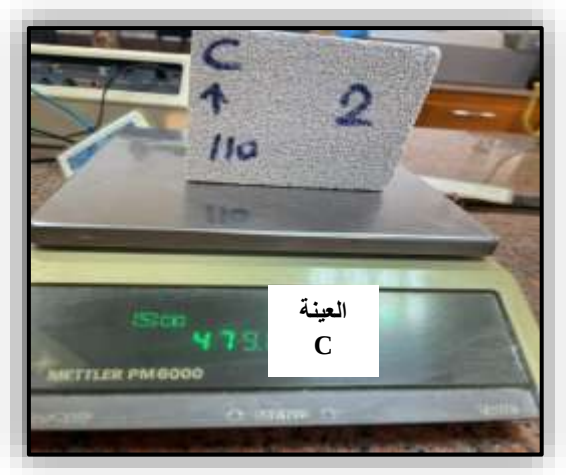
2 .اختبار إجهاد الضغط.

3 .اختبار الامتصاص.

اختبار الكثافة:

خطوات الاختبار:

تم اختيار عينة ممثلة من الطوب الرملي الجيري، يُشار إليها بالرمز C، ثم جرى وزنها باستخدام ميزان حساس، حيث بلغ وزنها (479 غرامًا). كانت العينة على شكل مكعب بأبعاد متساوية؛ الطول (10 سم)، العرض (10 سم)، والارتفاع (10 سم). وبناءً على ذلك، تم حساب حجم العينة وفق العلاقة:



شكل (12) وزن العينة C.

قانون الكثافة:

$$\rho\ (\mathrm{Kg/m^3}) = \frac{(Kg)\ M}{(m^3)V} =$$

بالتعويض في قانون الكثافة نجد أن:

كثافة العينة C = $479.6\mathrm{Kg/m^3}$

بالتعويض في قانون الكثافة نجد أن:

كثافة العينة B = $550\ \mathrm{Kg/m^3}$

بالتعويض في قانون الكثافة نجد أن:

كثافة العينة A = $516\ \mathrm{Kg/m^3}$

اختبار إجهاد الضغط:

مفهوم الاختبار:

يُعرَّف إجهاد الضغط بأنه قدرة الطوب على مقاومة القوى الضاغطة المؤثرة عليه بشكل محوري. ويُعد اختبار الضغط من أهم الاختبارات الميكانيكية التي تُجرى على وحدات الطوب المتصلبة، إذ يعتمد التصميم الإنشائي لمعظم أنواع الطوب على قدرته على مقاومة الأحمال الضاغطة دون قدرته على تحمل قوى الشد. ومن ثم فإن قيمة مقاومة الضغط تُعتبر المؤشر الرئيس لجودة الطوب ومتانته.

خطوات الاختبار:

تم اختيار العينة المشار إليها بالرمز B، ووُضعت في جهاز اختبار الضغط بحيث يكون التحميل في اتجاه النمو. جرى تشغيل الجهاز تدريجيًا بدءًا من ضغوط منخفضة وصولًا إلى لحظة فشل العينة. وقد أظهرت النتائج أن مقاومة العينة B تراوحت بين 4.5 – 5 ميغا باسكال (MPa).

شكل (13) العينة B بين فكي جهاز إجهاد الضغط.

$$\sigma = \frac{F(Kg)}{A(cm^2)}$$

بالتعويض في قانون إجهاد الضغط نجد أن:

إجهاد الضغط للعينة B = 2.1 Kg/cm^2

تم تطبيق اختبار الضغط على العينة C باستخدام نفس الطريقة المتبعة مع العينة B حيث وُضعت العينة في جهاز الضغط على الاتجاه الطولي للنمو، وتم تشغيل الجهاز تدريجيًا بدءًا من الضغط المنخفض حتى لحظة الكسر حيث بلغت قيمة إجهاد الضغط للعينة Cحوالي 4 MPa.

شكل (14) العينة C بعد تسليط إجهاد الضغط عليها.

بالتعويض في قانون إجهاد الضغط نجد أن:

إجهاد الضغط للعينة C = .082 Kg/cm^2

اختبار الإمتصاص:

شكل (15) غمر العينة A في مياه خالية من الأملاح.

شكل (16) غسل العينة وتجفيفها بعد غمرها بالماء.

استعمال القانون التالي لحساب معامل الإمتصاص:

$$Cwi,s = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{As\sqrt{t_{s,o}}}$$

جدول (2) نتائج إختبارات العينات.

العينات	L*W*H Cm	الوزن g	الكثافة kg\m^3	اجهاد الضغط kg/cm^2	الإمتصاص g/ (cm^2.min$^{0.5}$)	المسامية %
A	10*10*10	516	516	1.3	1%	74%
B	10*10*10	550	550	1.2	4%	76%
C	10*10*10	479	479	0.82	3%	73%

الخاتمة:

أظهرت نتائج الدراسة أن المواد الداخلة في صناعة الطوب الرملي الجيري شملت: الرمل، الأسمنت، الجير الحي، الجبس، وبودرة الألومنيوم. وقد تباينت نسب هذه المكونات بين العينات الثلاث المدروسةA ، B، C الأمر الذي انعكس على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لكل منها.

- العينة C احتوت على أعلى نسبة من الجير الحي بلغت حوالي 40%، الأمر الذي يشير إلى إمكانية تحقيق صلابة وقوة عالية.
- العينة A تميزت بأقل نسبة من الجير الحي 10%، وهو ما يجعلها نظريًا الأقل من حيث الصلابة.
- العينة B تضمنت نسبة متوسطة من الجير الحي بلغت 30%، مما جعلها تقع في مستوى وسطي بين العينة A والعينة C.

حيث حققت العينة A أعلى قيمة مقاومة للضغط، وهو ما يشير إلى صلابة عالية وقدرة جيدة على مقاومة الأحمال المحورية. كما أظهرت العينة B أعلى قيمة للكثافة، مما يعكس درجة أكبر من التماسك البنيوي للمواد الداخلة في التصنيع، وهو ما يساهم في رفع متانتها وخواصها الميكانيكية. أما العينة C فقد كانت نتائجها متوسطة نسبيًا بين العينتين.

من خلال المقارنة، يتضح أن العينة B تُعد الخيار الأفضل بشكل عام، إذ تجمع بين وزن مرتفع، كثافة عالية، ومقاومة ضغط جيدة، وهو ما يمنحها قوة ميكانيكية أعلى وقدرة أكبر على التحمل تحت ظروف تشغيلية مختلفة.

قائمة المراجع:

1. المصري م.، محمود م. أ.، محمود م.، & عيسى ن. (2017). دراسة لنوع جديد من الطوب الجير الرملي بإضافة البولي ستايرين والجبس. مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية ,3(2)، 24–11 E.
2. أحمد حسيني بن حمدان "دراسة وتحليل تصنيع وخصائص الطوب الجيري الرملي" أطروحة مشروع مقدمة إلى برنامج الهندسة الميكانيكية في جامعة بتروناس للتكنولوجيا كجزء من متطلبات الحصول على درجة البكالوريوس في الهندسة (مع مرتبة الشرف) (الهندسة الميكانيكية).
3. م. محمد جمعة حامد، الطوب الرملي الخفيف بين الحاضر ومستقبل البناء المستدام في ليبيا، شركة الإنماء الاقتصادي.
4. أ. حامد عبد السيد حمد، واقع صناعة الطوب الرملي الخفيف في ليبيا، المؤتمر الهندسي الثاني لنقابة المهن الهندسية بالزاوية (2019) م.
5. مصنع الإنماء الاقتصادي لصناعة الطوب الرملي الخفيف.

6. Immo H. Redeker, 1969. Possible Production of Calcium Silicate Building Products from Feldspar Plant Tailing. North Carolina State University, Mineral Research Laboratory Asheville, North Carolina.

7. Industrial Studies & Surveys Unit, 1970. A preliminary project report on Sand Lime bricks. Federal Industrial Development Authority.

8. https://om.sakan.co/blog/%D8%A7%D9%84%D8%B7%D9%88% D8%A8-%D8%A7%D9%84%D8%B1%D9%85%D9%84%D9%8A-%D8%A7%D9%84%D8%AC%D9%8A%D8%B1%D9%8A/