

دراسة آثار إضافة روث الحيوانات في انتاج طوب طفلي قليل التكلفة

Studying the effects of adding animals' dung for low-cost clay brick manufacturing

مشروع تخرج كمطلوب تكميلي لنيل درجة بكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة
المدنية

إعداد الطلاب:

. احمد اسماعيل ميرغني محمد

. معتصم شمو عبد الله شمو

. آيه عباس عبد الرازق

أشرف الاستاذ:

أبوبكر محي الدين

جامعة الشيخ عبدالله البدرى

كلية الهندسة

قسم الهندسة المدنية

أبريل 2026م

الآية الكريمة

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

قال تعالى: {وَقُلْ اَعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسَتُرَدُّونَ إِلَىٰ عَالِمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُم بِمَا كُنتُمْ تَعْمَلُونَ} الآية (105) من سورة التوبة.

"صدق الله العظيم"

الإهداء

قال تعالى: {وَقُلْ اَعْمَلُوا فَسَيَرَى اللَّهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ}

"صدق الله العظيم"

إلهي لا يطيب الليل إلا بشكرك.. ولا يطيب النهار إلا بطاعتك.. ولا تطيب اللحظات إلا بذكرك.. ولا تطيب الآخرة إلا بعفوك.. ولا تطيب الجنة إلا برؤيتك
. الله .

إلى من بلغ الرسالة وأدى الأمانة.. ونصح الأمة.. إلى نبي الرحمة ونور العالمين...

سيدنا محمد ﷺ .

إلى ملاكي في الحياة.. إلى معنى الحب ومعنى التقاني.. إلى بسملة الحياة وسر الوجود إلى من كان دعاؤها سر نجاحي وحناها بلسم جراحي إلى أغلى الحبايب
أمي الحبيبة .

إلى من بهم أكبر وعليهم أعتمد.. إلى الشموع التي تنير ظلمة حياتي. إلى من بوجودهم اكتسب قوة ومحبة لا حدود لها. إلى من عرفت معهم معنى الحياة؛

إخوتي وأخواتي .

إلى الأخوة والأخوات الذين لم تلدهن أُمي.. إلى من تحلو وتميزوا بالوفاء والعطاء إلى ينابيع الصدق الصافي إلى من معهم سعدت، وبرفقتهم في دروب الحياة الحلوة والحزينة سررت إلى من كانوا معي على طريق النجاح والخير إلى من عرفت كيف أجدهم وعلموني ألا أضيعهم؛

أصدقائي .

أشعلوا شموعاً في دروب علمي ووقفوا على المنابر وأعطوا من حصيلة فكرهم لينيروا دربي؛

الشكر والعرفان

لا بد لنا ونحن نخطو خطواتنا الأخيرة في الحياة الجامعية من وقفة نعود إلى أعوام قضيناها في رحاب الجامعة مع أساتذتنا الكرام الذين قدموا لنا الكثير باذلين بذلك جهوداً كبيرة في بناء جيل الغد لتبعث الأمة من جديد

... وقبل أن نمضي نقدم أسمى آيات الشكر والتقدير والامتنان والمحبة إلى الذين حملوا أقدس رسالة في الحياة. إلى جميع أساتذتنا الأفاضل..

.. ونخص بالشكر ..

الأستاذ أبوبكر محي الدين لكل ما أسداه لنا من نصائح ولكل ما بذله منا من جهد ومهد الطريق الذي سرنا عليه لإتمام هذا المشروع والذي ما كان له أن يتم بهذه الصورة إلا بفضل جهوده معنا بعد فضل الله عز وجل .

فهرس المحتويات:

رقم الصفحة	الموضوع	رقم المحتوى
II	الافتتاحية	
III	الإهداء	
IV	الشكر والعرفان	
V	فهرس المحتويات	
VI	فهرس الجداول	
VII	فهرس الأشكال والصور	
VII	فهرس المخططات	
VIII	ملخص المشروع	
IX	Abstract	
الباب الأول: المقدمة		
2	مقدمة	1-1
3	مشكلة المشروع	2-1
3	الهدف من المشروع	3-1
3	منهجية البحث	4-1
4	هيكل البحث	5-1
الباب الثاني: الإطار النظري للدراسة		
6	صناعة الطوب الأحمر بالسودان - مقدمة	1-2
6	الصناعة التقليدية للطوب الأحمر	2-2
6	المادة الخام	1-2-2
8	تقنية الإنتاج	2-2-2
8	التشكيل	1-2-2-2
10	التجفيف	2-2-2-2
10	الحريق	3-2-2-2
الباب الثالث: الإطار العملي للدراسة		
15	مقدمة	1-3
15	الأدوات والمواد المستخدمة في العمل العملي	2-3
16	مراحل تحضير ومعالجة المواد الخام	3-3
16	تجهيز التربة الطينية (بربر)	1-3-3
16	تجهيز الروث العضوي	1-2-2-3

16	الجانب التنفيذي لإنتاج العينات (الخط، التفاعل، والصب)	2-2-2-3
17	تصميم الخلطات وتحديد النسب	3-3
17	مرحلة التخمير والتفاعل (مدة 3 أيام)	1-3-3
17	عملية الصب والدمك	2-3-3
18	المعالجة الحرارية (مرحلة الكائن)	3-3-3
18	مرحلة التجفيف الطبيعي	4-3-3
19	عملية الحرق في الكائن (72 ساعة)	5-3-3
20	الفحص والمعايرة الظاهرية للمنتج النهائي	6-3-3
الباب الرابع: تحليل ومناقشة النتائج		
23	مقدمة	1-4
23	نتائج ومناقشة اختبارات الطين	2-4
23	نتائج اختبارات حدود أتبرج	1-2-4
23	نتائج اختبار حد السيولة	1-2-2-4
24	نتائج اختبار حد اللدونة	2-2-2-4
25	الاختبارات المعملية للطوب	3-4
26	نتائج اختبار نسبة الإمتصاص	1-3-4
28	نتائج اختبار مقاومة الضغط	2-3-4
28	نتائج اختبار الكثافة	3-3-4
29	مقارنة النتائج بالموصفات السودانية القياسية	4-3-4
الباب الخامس: الخلاصة والتوصيات		
33	الخلاصة	1-5
34	التوصيات	2-5
35	المراجع	

فهرس الجداول

رقم الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
23	حساب حد السيولة	1-4
24	حساب حد اللدونة	2-4
26	متوسط نسبة الإمتصاص للينة 2.5%	3-4

26	متوسط نسبة الإمتصاص للعينة 5%	4-4
27	متوسط نسبة الإمتصاص للعينة 7.5%	5-4
28	مقامة الضغط	6-4
28	نتائج اختبار الكثافة	7-4

فهرس الأشكال والصور

رقم الصفحة	عنوان الصورة	رقم الصورة
9	خليط التربة والزباله	1-2
9	تشكيل الطوب الأخضر	2-2
10	تجفيف الطوب	3-2
11	شكل الكمينه	4-2
16	شكل التربة	1-3
17	الخليط	2-3
18	ال قالب	3-3
18	عملية التجفيف	4-3
20	الكمينه	5-3
21	الطوب	6-3

فهرس المخططات

رقم الصفحة	عنوان المخطط	رقم المخطط
24	منحنى حد السيولة	1-4
25	منحنى تصنيف التربة	2-4
27	منحنى الإمتصاص	3-4
28	منحى الضغط	4-4
29	منحنى الكثافة	5-4

مستخلص المشروع

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم إمكانية استخدام مخلفات روث الحيوانات كمادة مضافة في صناعة الطوب الطيني منخفض التكلفة، بهدف الاستفادة من المخلفات الحيوانية وتقليل تكلفة الإنتاج وتحقيق الاستدامة البيئية. تم تنفيذ برنامج عملي تضمن إنتاج عينات من الطوب بإضافة نسب مختلفة من الروث (2.5%، 5%، 7.5%) من وزن الطين. بعد التصنيع والحرق، تم إجراء عدد من الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية مثل اختبار الامتصاص والكثافة ومقاومة الضغط، حيث أُجريت اختبارات مقاومة الضغط عند فترتين زمنيتين هما 7 أيام و28 يوماً بعد التصنيع لمتابعة استقرار الخصائص الميكانيكية للعينات. أظهرت النتائج أن أفضل أداء تحقق عند إضافة نسبة 2.5% من الروث، حيث سجلت أعلى مقاومة ضغط بلغت 6.067 ميجا باسكال عند 28 يوماً. كما بينت النتائج أن جميع العينات كانت ضمن الحدود المسموح بها لنسبة الامتصاص وفق المواصفات القياسية السودانية.

Abstract:

This study aims to evaluate the possibility of using animal manure as an additive in the production of low-cost clay bricks in order to utilize animal waste, reduce production costs, and promote environmental sustainability. An experimental program was conducted in which clay brick samples were produced with different percentages of manure (2.5%, 5%, and 7.5%) by weight of clay. After manufacturing and firing, several physical and mechanical tests were carried out including water absorption, density, and compressive strength. Compressive strength tests were performed at two-time intervals, 7 days and 28 days after production, to monitor the stability of the mechanical properties of the samples. The results showed that the optimum performance was achieved at 2.5% manure content, which produced the highest compressive strength of 6.067 MPa at 28 days. The results also indicated that all samples were within the allowable limits of water absorption according to the Sudanese standard specifications.

الباب الأول:

المقدمة

1-1 المقدمة:

الإنسان منذ القدم احتاج لملجأ للحماية من الحيوانات الضارة وللحماية من الظروف الجوية والمناخية مثل الرياح والأمطار وخلافه، وفي سبيل ذلك استخدم مواد مختلفة وبطبيعة الحال هي مواد محلية سهلة الحصول عليها مثل الحطب والحشائش من الغابات والصوف من الحيوانات والحجارة وكذلك الرمل والطين وخلافه. وفي البداية كانت تستخدم هذه المواد حسب طبيعتها وتتشكل معمارياً حسب الثقافة السائدة، ومع التطور أصبحت هناك مواد أخرى غير الطبيعية وهي المواد المصنعة مثل الطوب الأحمر، الطوب الإسمنتي، الطوب المشغول من الحجر والخرسانة بأنواعها المختلفة وأصبحت هي السائدة نسبة لمواكبتها للتطور مع تحسين خواصها لتتلاءم مع التكلفة والظروف المناخية والأهم كفاءتها في المقاومة للأحمال. صاحب استخدام هذه المواد ابتداع تقنيات تشييد واستخدام وسائل حديثة، ولكن مع هذا التطور من المؤكد أن هنالك مخرجات سلبية مضرّة بالبيئة وتزيد التكلفة بطريقة غير مباشرة ومن هنا جاء البحث عن مواد بديلة للمواد السائدة تكون قليلة التكلفة وصديقة للبيئة والأهم أنها تكون محلية ومتوفرة واحد من هذه المواد هو الطوب الطفلي.

ذكر الطوب في فن تشييد أعمال المباني في التاريخ منذ عصر الفراعنة واعتبر استعماله قديم قدم مجهود الإنسان الأول في تشييد مسكنه وتوجد دلائل تؤكد وجود تصنيع الطوب أكثر من عشرة آلاف سنة .

نسبة للتطور المعماري في المباني أصبح الاحتياج للطوب بكميات كبيرة وكان لابد من معرفة صلاحيته للاستعمال في المباني وذلك بمعرفة خصائصه ومن ثم معرفة المشاكل التي تواجه صناعة الطوب وإجراء اختبارات على الطوب ومقارنة مواصفاتها بالمواصفات القياسية السودانية.

2-1 مشكلة البحث:

مع الحاجة لمواد محلية قليلة التكلفة واستخدام هذه المواد كمواد بديلة لها من المميزات التي تكسبها أهميتها كي تكون مناسبة تؤدي الغرض وتحقق الاستدامة والديمومة وتكون مواد مقبولة حضارياً. يوجد الكثير من التحديات يتم تجاوزها بالبحث والدراسة والاستقصاء، ولذا هذا المشروع يأخذ أهميته في أنه يبحث عن تأثير مخلفات روث الحيوانات كمضاف لتحسين خواص الطين بنسب مختلفة في صناعة الطوب الطفلي.

3-1 الهدف من المشروع:

- التعرف على المواد الخام الداخلة في صناعة الطوب الطفلي.
- أهمية إضافة مخلفات الحيوانات بنسب مختلفة في إنتاج الطوب.
- أثر استخدام روث الحيوانات بنسب مختلفة على كثافة ونسبة الامتصاص للطوب.
- أثر استخدام روث الحيوانات على مقاومة الضغط للطوب.

4-1 منهجية البحث:

ل للوصول إلى الهدف من هذا البحث سوف يتم إتباع الخطوات التالية:

1. استخدام الطين كمادة أساسية في صناعة الطوب وإجراء الاختبارات الضرورية للتأكد من صلاحيته ومواصفاته.

2. تجهيز خلطات للطوب بإضافة روث الحيوانات بنسبة 2.5%, 5%, 7.5%

3. إجراء اختبارات الكثافة ونسبة الامتصاص لعينات الطوب.

4. إجراء اختبارات مقاومة الضغط بكسر عينات الطوب.

5. إجراء مقارنة النتائج المتحصل عليها مع المواصفة السودانية القياسية.

5-1 هيكل البحث:

يشمل البحث الفصول والأبواب التالية:

- **الباب الأول:** يشتمل على تمهيد للبحث وتحديد مشكلته وأهدافه ومنهجيته وحدود دراسته والهيكلية المتبعة لإنجاز البحث.
- **الباب الثاني:** تناول الإطار النظري الخاص بموضوع البحث، وهي تتمثل في معلومات تفصيلية عن المواد الخام التي تدخل في صناعة الطوب وخواصها وطريقة صناعة الطوب، كذلك يتناول أهمية إضافة الروث في خلطات الطوب.
- **الباب الثالث:** يتضمن نتائج الاختبارات المعملية لمادة الطين وكذلك عينات الطوب.
- **الباب الرابع:** يحتوي على مناقشة نتائج الاختبارات لمادة الطين التي تم الحصول عليها، ومناقشة نتائج اختبار عينات الطوب ومقارنتها بالمواصفات السودانية القياسية.
- **الباب الخامس:** يحتوي على الخلاصة والتوصيات.

الباب الثاني:

الإطار النظري

للدراسة

صناعة الطوب الأحمر بالسودان

1-2 مقدمة:

استخدمت الترسبات النيلية منذ قديم الزمان كمادة بناء فقد استخدمها قدماء المصريين في تشييد منازلهم، في البداية كانت لتقوية منازلهم التي كانت تبنى من (المنّا) (Bamboo)، ثم استخدمت في إنتاج الطوب الأخضر الذي شيدت منه الأهرامات الصغيرة، ثم بعد ذلك عرفوا كيف يمكن إنتاج الطوب الأحمر والمحروقات الطينية الأخرى من هذه الترسبات النيلية.

من شمال وادي النيل انتقلت هذه الصناعة إلى جنوبه ولذا نجد أن السودانيين القدماء استخدموا الطوب الأحمر في بناء الأهرامات الصغرى في البجراوية.

وانتشرت هذه الصناعة وأصبحت معروفة في كل أنحاء السودان لتوفر المواد الخام من ترسبات نيلية أو ترسبات الوديان والخيران، بالإضافة لسهولة إنتاجه وتقنيته البسيطة كما أنه أرخص نسبياً من مواد البناء الأخرى فضلاً عن ملاءمته الجيدة لطقس السودان الحار والجاف.

2-2 الصناعة التقليدية للطوب الأحمر:

1-2-2 المادة الخام:

المادة الخام الرئيسية المستخدمة هي الترسبات الموسمية التي تتم على ضفاف الأنهار والوديان وخاصة النيل وروافده، حيث نجد أن 85% من الطوب المنتج في السودان من هذه الترسبات النيلية.

تتم هذه الترسبات بنمط معين؛ حيث نجد في أعلى الترسبات نوعاً من التربة يعرف محلياً بـ "القرير" وهو

لا يحتوي على جزيئات الطين (Clay fraction) بينما يحتوي على رمل (sand) بنسبة 20-40%

والباقي غرين (silt) هذا النوع من التربة قليل اللزوجة لذا تضاف إليه كمية كبيرة من "الزبالة" لتعمل كمادة رابطة تقلل من التشقق أثناء التجفيف.

تجدر الإشارة إلى أن:

- حجم حبيبات الرمل يتراوح بين 2 - 0.06 ملم.

- حجم حبيبات الغرين يتراوح بين 0.06 - 0.002 ملم.

كما واضح أن المادة الخام الثانية في هذه الصناعة هي الزبالة وهي مادة عضوية (Organic matter) وتستعمل كمادة رابطة خاصة للتربة غير المتماسكة حيث تقوم الشعيرات الموجودة بالزبالة بعملية الربط مما يقلل من التشققات التي تحدث عادة أثناء مرحلة التجفيف وذلك لتقليلها لنسبة الانكماش. أما فائدة الزبالة الثانية فإنها تقلل من كمية الوقود اللازم لحرق الطوب وتساعد في توزيع الحرارة وقد أثبتت بعض الدراسات أن حوالي 50% من الوقود المطلوب للحرق يأتي من الزبالة.

استخدام الزبالة يعطي الطوب أهم خواصه وهو عزلته للحرارة وذلك لتركها بعض الفراغات في الطوب بعد حرقها، ولكنها في الجانب الآخر تقلل من نوعيته حيث تزداد نسبة امتصاصه للماء وتقل قوة انضغاطه.

عند إضافة روث الحيوانات يجب أن تترك فترة يوم إلى أربعة أيام لتحسين عملية التخمير لتحسين تأثير العزل المائي بسبب تبادل الأيونات بين معادن الصلصال وروث الحيوانات.

وفي نطاق هذا البحث تم استخدام روث الحيوانات في ثلاث عينات بنسب 2.5% و 5% و 7.5% من وزن التربة.

2-2-2 تقنية الإنتاج:

1-2-2-2 التشكيل:

يتم حفر التربة بعد الترسيب الذي يتم بعد الفيضان، والترسيب يتم بنمط معين كما أوضحنا في الأعلى نجد أن طبقة القرير ثم تليها الزافوتا ثم البلبطي ولذلك تعامل كل طبقة بمفردها دون أن تختلط هذه الطبقات بعضها ببعض حيث يتم الحفر من أعلى إلى أسفل.

بعد الحفر تضاف الزبالة ويضاف الرمل عند استخدام طين البلبطي ثم يضاف بعد ذلك الماء ويتم الخلط يدوياً بالكواريك والطواري وأحياناً تضاف كمية من الرمل. بعد إضافة هذه المواد من الرمل والزبالة أو الزبالة فقط تتم إضافة الماء للتربة وتتراوح نسبة إضافة الماء للتربة بين 50-65%. وهذه النسبة العالية تعود لعدم احتفاظ الطوب بقوامه وشكله المنتظم وإلى نسبة انكماش عالية، بينما نجد أن نسبة الزبالة إلى التربة تتراوح بين 4:1 - 10:1 حسب نوعية التربة وخبرة العمال.

يترك الخليط لمدة 12 ساعة تقريباً للتخمير وقبل التشكيل بقليل يعاد الخليط لضمان التجانس ومن ثم تؤخذ كمية من هذه العجينة بواسطة طبالي إلى تربيذة التشكيل ليتم تشكيلها بقوالب حديدية والتي تتكون في العادة من جزأين مفتوحة من أعلى ومن أسفل، تتراوح أبعادها حسب أبعاد الطوب المنتج حيث نجد أنها حوالي (60×110×210) ملم ليكون الطوب بعد التجفيف والحريق بأبعاد حوالي (50×100×200) ملم.



صورة رقم (2-1) توضيح خليط التربة والزباله

يوضع أسفل القالب عند عملية التشكيل خشبة مستطيلة لتغطي أسفل القالب عند التشكيل تعرف بالطفشة. بعد التشكيل يؤخذ القالب ليوضع الطوب المشكل على أرض مستوية بها طبقة خفيفة من الرمل لمنع التصاق الطوب بالأرض ليجف. من هذا يتضح أن عدد العمال يتراوح بين 3 - 4 عامل لكل تربية تشكيل حيث يكون هنالك عاملان للحفر والخلط وعامل تشكيل وعامل أو عاملان لحمل الطوب المشكل لساحة التجفيف، ويتراوح الإنتاج اليومي لكل تربية بين 4 - 6 ألف طوبة، ولكن عدد أيام العمل في الأسبوع لا تزيد عن أربعة أيام، وهذا يعني أن الإنتاج الشهري للتربية الواحدة يتراوح بين 64 - 96 ألف طوبة وهذا يكفي تقريباً لملئ كمينة (فرن) واحدة في الشهر مما يعني أن التربية الواحدة يمكن أن تحرق كمينة شهرياً، فإذا علمنا أن موسم الإنتاج هو حوالي 8 أشهر (من نوفمبر وحتى يونيو) فإن الإنتاج السنوي للكمينة الواحدة ذات التربية الواحدة يتراوح بين 500 - 700 ألف طوبة.



صورة رقم (2-2) توضيح تشكيل الطوب الأخضر

2-2-2-2 التجفيف:

يتم تجفيف الطوب طبيعياً بترك الطوب المشكل تحت أشعة الشمس مباشرة لمدة 24 ساعة، ثم يوضع على حافته لمزيد من التجفيف لمدة يوم إلى يومين، لينقل بعد ذلك ليوضع على جانبي ساحة تجفيف كل تربية للتهوية ولمزيد من التجفيف.

المدة الكلية للتجفيف تعتمد على حجم الكمية التي يراد حرقها وكمية الطوب المنتج يومياً، ولكن بأي حال من الأحوال يجب ألا تزيد نسبة الرطوبة في الطوب عن 5% عندما يراد حرقه.

هذه الطريقة من التجفيف تقلل من جودة الطوب، فتعرضه لأشعة الشمس مباشرة يؤدي لتجفيفه سريعاً، وتجفيفه سريعاً يؤدي لتشققه وانكماش عالٍ وغير متجانس، الشيء الذي يقود إلى ضعف مقاومة الطوب وتقوسه طولياً.



صورة رقم (2-3) توضح تجفيف الطوب

2-2-2-3 الحرق:

يتم في أفران تقليدية تسمى "الكائن" تكون مستطيلة الشكل ومائلة لضمان الثبات. يتراوح عرضها 6-7 أمتار وارتفاعها بين 2-3 أمتار أما طول الكمية فتحدده كمية الطوب المراد حرقه أو سعة الكمية فطول الكمية في الأسفل يتكون من أنفاق كبيت للنار تسمى محلياً بالعيون. شكل هذه الأنفاق تقريباً بيضاوي بعرض 2-2.5 طوبة على الأرض (حوالي 400-500 ملم) وارتفاع 7-9 طوبات (400-700 ملم)

والمسافة بين النفق والآخر نحو 2-2.5 طوبة (200-500 ملم) لينتج عن ذلك أن عدد الطوب حول النفق الواحد حوالي 10-11 ألف طوبة إذا كان الطوب بالحجم الذي تم ذكره سابقاً.



صورة رقم (2-4) توضح شكل الكمينه

ومن هنا يتضح أن عدد الأنفاق يحدد سعة الكمينه، وسعة الكمائن العادية تتراوح بين 60-100 ألف طوبة. وهنالك جانب مهم في شكل الكمينه؛ فلكي تكون الكمينه ثابتة حتى لا تنهار فيجب أن يكون شكلها مائل إلى شبه المنحرف ليكون طولها وعرضها في الأسفل أكبر من طولها وعرضها في الأعلى. فمثلاً كمينه مكونه من عشرة أنفاق (عيون) طولها وعرضها في الأسفل 9800-6640 ملم على التوالي، وطولها وعرضها في الأعلى 8450-5910 ملم على التوالي، بلغت سعتها 114 ألف طوبة عندما كان ارتفاعها 2820 ملم.

يتم رص الطوب في الكمينه ببناء الأنفاق أولاً، ثم يرص الطوب فوقها بطريقة تضمن رابطاً جيداً للطوب على أن تصل الكمينه للأبعاد المطلوبه (الطول والعرض والارتفاع).

بعد أن يتم اكتمال بناء الكمينه، يتم بناء حائط حولها من الطوب المحروق سابقاً بسمك نصف طوبة، ويبلط هذا الحائط خارجياً بمونة مكونه من الطين المخلوط بالزباله، يعرف هذا الحائط بـ (الدوران) لأنه يدور حول الكمينه.

في أعلى الكمينه أي في سقفا، ترص طبقة أو طبقتان من الطوب الأحمر ومن ثم تغطي هذه الطبقة أو الطبقتان بالزبالة وهذا ما يعرف محلياً بـ (الكفة)، ويقصد من هذا تقليل تسرب الحرارة من سقف الفرن وأن تساعد الزبالة في حرق الطوب الأخضر الذي يقع أسفلها.

مواقع الكمينه غير ثابتة حيث يتحدد موقع كمينه الطوب الأخضر المراد حرقه حتى لا ينقل مسافات بعيدة تزيد من التكلفة.

أنفاق الكمينه (العيون) دائماً تكون في اتجاه الرياح لتسهيل عملية الاشتعال وانتقال الحرارة. أما الوقود، سواء كان حطباً أو بدائل أخرى، فغالباً ما يوضع بعد اكتمال وتجهيز الكمينه، ولكن في بعض الأحيان يوضع في الأنفاق قبل اكتمالها.

يتم الحريق بإشعال الحطب أو البدائل الأخرى في مدخل النفق في الاتجاه الذي تهب منه الرياح، ويترك مدخل النفق الآخر فاتحاً وتترك النار تنتقل تدريجياً إلى أن تصل للجانب الآخر من النفق. وعند وصولها للجانب الآخر من النفق وعند التأكد من أن الطوب داخل الأنفاق أصبح مجمراً، يتم قفل النفق بالطوب ويبلط بمونة الطين.

كمية الحطب الموضوعة في الأنفاق أو تلك التي يضيفها عامل الحريق (الحراق) أثناء عملية الحريق تعتمد على خبرة العامل من جانب، وعلى نوعية الطين والوقود المستعمل ورطوبة الطوب وسرعة الرياح من جانب آخر. تتراوح مدة الحريق بين 4-24 ساعة حسب العوامل التي حددت آنفاً.

تترك الكمينه بعد ذلك لمدة 2-4 أيام لضمان نضج الطوب واستغلال كل الحرارة الموجودة داخل الكمينه، ثم تفتح عيون الكمينه وبعض جوانبها لمزيد من التبريد حتى يتمكن العمال من إنزال الطوب منها. يتم تفريغ الكمينه يدوياً بإنزال الطوب وتصنيفه إلى درجات وهي:

درجة أولى: للطوب الذي تم حرقه جيداً.

درجة ثانية: للطوب الأصفر الذي لم يكتمل حرقه. كما يوجد هنالك في بعض الأحيان طوب "فاير" فيه بعض الانصهار، وطوب لم يحرق أبداً أي ما زال أخضر.

يوجد الطوب المحروق جيداً (درجة أولى) دائماً في الوسط وأعلى الكمين، أما الأصفر والغير محروق فيوجد في الأطراف، أما "الفاير" فهو في بعض الأحيان مخلوط مع الدرجة الأولى والغير محروق فيوجد في الأرض وبعيداً نسبياً من العيون.

الباب الثالث:

الإطار العملي

للدراصة

3-1 المقدمة:

تعتبر المرحلة العملية من هذا البحث هي الركيزة الأساسية التي يتم من خلالها التحقق من الفرضيات النظرية وتقييم مدى كفاءة المواد المستخدمة في تصنيع الطوب. يهدف هذا الباب إلى تقديم توصيف دقيق وشامل لكافة الإجراءات والممارسات المختبرية التي تم تنفيذها لدراسة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمادة الخام (الطين) بالإضافة إلى تقييم أداء المنتج النهائي (الطوب) بعد إدخال تحسينات متمثلة في إضافة نسبة مدروسة من الروث. كمن أهمية هذه الاختبارات في تحديد مدى ملائمة التربة الطينية المستخرجة من ضفاف نهر بربر لعمليات التصنيع، وفهم كيف تؤثر الإضافات العضوية على بنية الطوب وقوة تحمله ومقاومته للظروف البيئية. ولتحقيق رؤية متكاملة، تم تقسيم العمل المختبري إلى مسارين أساسيين: اختبارات المادة الخام، واختبارات المنتج النهائي.

3-2 الأدوات والمواد المستخدمة في العمل العملي:

لإنجاز العمل التطبيقي بدقة وضمان ثبات المعايير الهندسية، تم استخدام الأدوات والمواد التالية:

* المادة الرابطة: تربة طينية طبيعية من ضفاف نهر بربر.

* المادة المحسنة: مخلفات عضوية (روث حيواني) تم احضارها

من مزارع جامعة الشيخ عبدالله البدري

* أدوات التشكيل: قوالب خشبي ذات أبعاد معيارية موحدة (22.5 × 11 × 6 سم).

* أدوات الخلط والوزن: أوعية خلط واسعة، وموازين إلكترونية حساسة؛ حيث تم اعتماد وزن 25 كيلو

جرام من التربة لكل خلطة لضمان توحيد معايير المقارنة والدقة في النتائج.

3-3 مراحل تحضير ومعالجة المواد الخام:

خضعت المواد الخام لسلسلة من العمليات التحضيرية لضمان تجانس الخليط وقدرته على تحمل درجات الحرارة:

3-3-1 تجهيز التربة الطينية (بربر):

تم تقطيت الكتل الطينية الصلبة وتحويلها إلى حبيبات ناعمة لضمان قدرة جزيئات الطين على الامتزاج الكامل مع المادة العضوية المضافة والمياه عند العجن.

3-3-2 تجهيز الروث العضوي:

تم تعريض الروث للهواء والحرارة الطبيعية (تجفيف طبيعي) حتى فقد رطوبته تماماً، ليصبح مادة محسنة جاهزة للاندماج مع التربة.

3-4 الجانب التنفيذي لإنتاج العينات (الخلط، التفاعل، والصب):



صورة (3-1) توضح شكل التربة

3-4-1 تصميم الخلطات وتحديد النسب:

تم تقسيم العمل إلى ثلاث مجموعات بناءً على نسبة الروث المضاف لوزن التربة الثابت (25 كجم):
(2.5%، 5%، 7.5%).

3-4-2 مرحلة التخمير والتفاعل (مدة 3 أيام):

بعد خلط التربة مع الروث وإضافة المياه، تم ترك الخليط لمدة ثلاثة أيام كاملة قبل الصب. والهدف هو السماح للمكونات العضوية بالتفاعل كيميائياً وفيزيائياً مع جزيئات الطين، مما يحسن من تجانس العجينة ويزيد من تماسك الألياف داخل البنية الطينية، ويقلل من فرص ظهور الفراغات.



صورة (2-3) توضيح الخليط

3-4-3 عملية الصب والدمك:

بعد انتهاء مدة التفاعل، تم وضع الخليط في القوالب خشبي مع إجراء عملية دمك يدوية مكثفة لطرد فقاعات الهواء وضمان استواء الأسطح والزوايا.



صورة (3-3) توضح القالب

3-5 المعالجة الحرارية (مرحلة الكمائن):

3-5-1 مرحلة التجفيف الطبيعي:

تُركت العينات في مكان مظلل وجيد التهوية لمدة 3 أيام، وذلك لضمان عملية التبخر التدريجي للمياه المحبوسة داخل المسام. تهدف هذه الخطوة إلى الحفاظ على الاستقرار الحجمي للقوالب وتجنب ظهور شقوق الانكماش المفاجئة التي قد تنتج عن التعرض المباشر لأشعة الشمس، مما يضمن سلامة القوالب قبل الانتقال لمرحلة المعالجة الحرارية.



صورة (4-3) توضح عملية التجفيف

2-5-3 عملية الحرق في الكمائن (72 ساعة):

تعد مرحلة الحرق هي المرحلة الجوهرية التي تكتسب فيها العينات خصائصها الميكانيكية النهائية، وقد تمت هذه العملية وفق الخطوات التفصيلية الآتية:

1. النقل والترتيب الهندسي: نُقلت العينات بعناية فائقة إلى "الكمينة" لضمان عدم تضرر الحواف قبل الحرق. تم ترتيب الطوب بنمط هندسي يسمح بمرور اللهب والغازات الساخنة بين الفراغات، مما يضمن وصول الحرارة لكل وحدة طوب.
2. تساوي التوزيع الحراري: تم اختيار موقع العينات في منطقة وسطية داخل الكمينة لتجنب التعرض المباشر للهب الشديد الذي قد يسبب "الترجج" أو التشويه، ولضمان نضج الطوب بشكل متجانس من الداخل والخارج، مما يمنع حدوث إجهادات حرارية داخلية قد تؤدي إلى تشققات لاحقاً.
3. التحكم في الدورة الزمنية: استمرت عملية الحرق المتواصل لمدة 72 ساعة (ثلاثة أيام). خلال هذه الفترة، مرت العينات بمراحل التخلص من المياه الفيزيائية ثم المياه الكيميائية المرتبطة بجزيئات الطين، وصولاً إلى مرحلة "التصلد" النهائية حيث تتربط جزيئات الطين مع مخلفات الروث لتكوين هيكل صلب مقاوم للأحمال.
4. التبريد التدريجي: بعد انتهاء مدة الحرق، تركت العينات لتبرد تدريجياً داخل الكمينة لتفادي الصدمة الحرارية (Thermal Shock) التي قد تسبب شروخاً دقيقة تؤثر على مقاومة الضغط.



صورة (3-5) توضح الكمينة

3-6 الفحص والمعايرة الظاهرية للمنتج النهائي:

بعد إتمام عملية التبريد، خضعت العينات الناتجة لسلسلة من الاختبارات الحسية والمعايرة الظاهرية لتقييم جودة الإنتاج قبل الانتقال للاختبارات المعملية:

* فحص تجانس اللون: تم التأكد من اكتساب الطوب للون الأحمر الموحد، وهو مؤشر بصري قوي على كفاية درجة حرارة الحرق وتوزعها بشكل صحيح، وخلو العينات من البقع السوداء التي قد تدل على احتراق غير كامل للمواد العضوية (الروث).

* سلامة الأبعاد والمعايرة: جرت مقارنة أبعاد الطوب الناتج للتأكد من نسبة الانكماش (Shrinkage)؛ حيث أظهرت العينات استقراراً أبعادياً ملحوظاً رغم إضافة المخلفات الحيوانية.

* اختبار الرنين (Soundness Test): تم إجراء اختبار الرنين عن طريق طرق وحدات الطوب ببعضها البعض؛ حيث أصدرت العينات صوتاً معدنياً رناناً، مما يعد دليلاً هندسياً على كثافة الهيكل الداخلي، وخلوه من الفراغات الهوائية الكبيرة أو الشروخ الداخلية، وتماسك المادة الرابطة بشكل ممتاز.

* فحص الحواف والأسطح: أظهر الفحص الظاهري (كما في الصورة 3-4) حوافاً حادة وأسطحاً خشنة بما يكفي لضمان تماسك قوي مع "المونة" الأسمنتية عند الاستخدام في أعمال البناء.



صورة (3-6) توضيح الطوب

الباب الرابع:

تحليل ومناقشة

النتائج

1-4 المقدمة:

في هذا الباب سنقوم بمناقشة وتحليل النتائج لاختبارات المواد الخام (الطين) والمنتج (الطوب).

2-4 نتائج ومناقشة اختبارات الطين:

2-2-4 نتائج إختبارات حدود أتربرج:

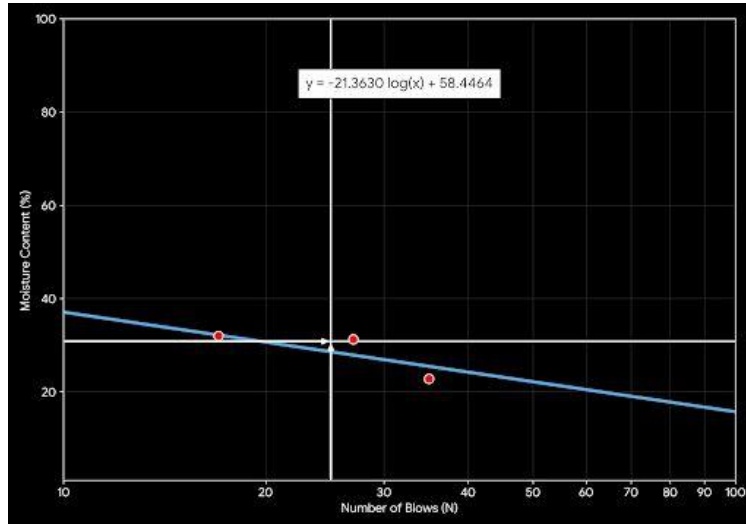
1-2-2-4 نتائج إختبار حد السيولة:

الجدول التالي يوضح نتائج التجربة:

جدول رقم (1-4) يوضح حساب حد السيولة

رقم العينة	1	2	3	4
N	9	17	27	35
W_1	78.3	83.1	89.2	98.3
W_2	89.3	100.4	97.6	110.9
W_3	86.3	96.2	95.6	108.6
W_w	3	4.2	2	2.3
W_s	8	13.1	6.4	10.3
	37.5	32	31.25	22.3
$L. L$	30.8			

من المخطط رقم (1-4) وجد أن حد السيولة = 30.8

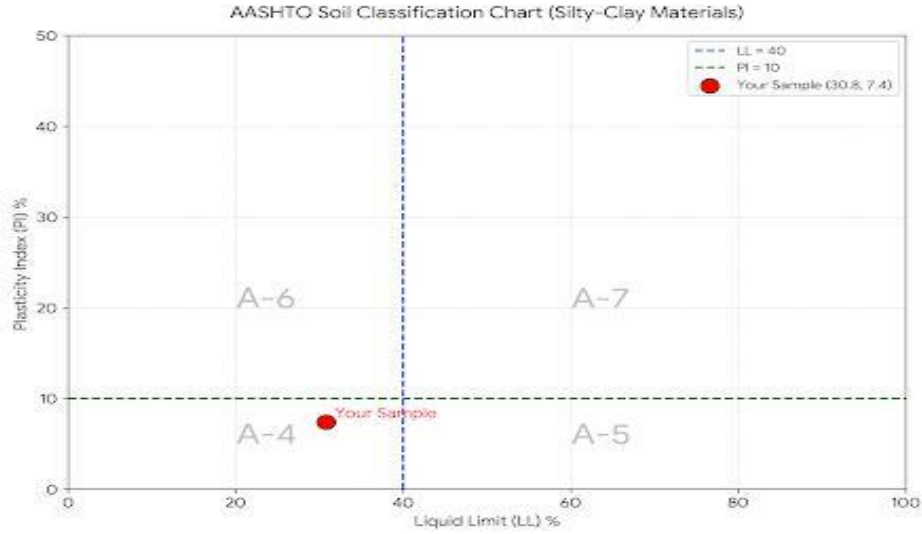


مخطط رقم (1-4) يوضح حد السيولة

2-2-2-4 نتائج إختبار حد اللدونة:

جدول رقم (2-4) يوضح حساب حد اللدونة

رقم الوعاء	1	2	3
W_1	78.3	83.1	89.2
W_2	84.1	89.5	94.4
W_3	83	88.3	93.4
W_w	1.1	1.2	1
W_s	4.7	5.2	4.2
W_c	23.4	23	23.8
حد اللدونة PL	23.4		



مخطط رقم (2-4) تحديد نوعية التربة

مناقشة النتائج:

1. وجد من التجربة أن حد السيولة يساوي 30.8
2. وجد من التجربة أن حد اللدونة يساوي 23.4
3. المخطط رقم (2-4)، بناء على نتائج حدود اتبرج وباعتماد قيمة حد السيولة (LL) ودليل اللدونة (PL) تم تصنيف التربة وفق نظام الاشـتو (AASHTO) ضمن المجموعة A-4 مما يشير الى انها تربة طميية (Silty Soil) متوسطة اللدونة
4. مؤشر اللدونة يساوي (LL-PL)، وهو يساوي 7.4 %

3-4 الاختبارات المعملية للطوب:

نتائج ومناقشة إختبارات الطوب:

تم تحضير ثلاث عينات باستخدام قالب حديدي أبعاده (6 × 11 × 23) سم، حيث تم تقسيمها كالتالي:

- **العينة الأولى:** تحتوي على طين وزباله بنسبة 2.5% من وزن التربة.
- **العينة الثانية:** تحتوي على طين وزباله بنسبة 5% من وزن التربة.
- **العينة الثالثة:** تحتوي على طين وزباله بنسبة 7.5% من وزن التربة.

4-3-1 نتائج إختبار نسبة الامتصاص:

الجدول التالية توضح نتائج إختبار نسبة الامتصاص للعينات الثلاث:

جدول رقم (3-4) يوضح الإمتصاص للنسبة 2.5%

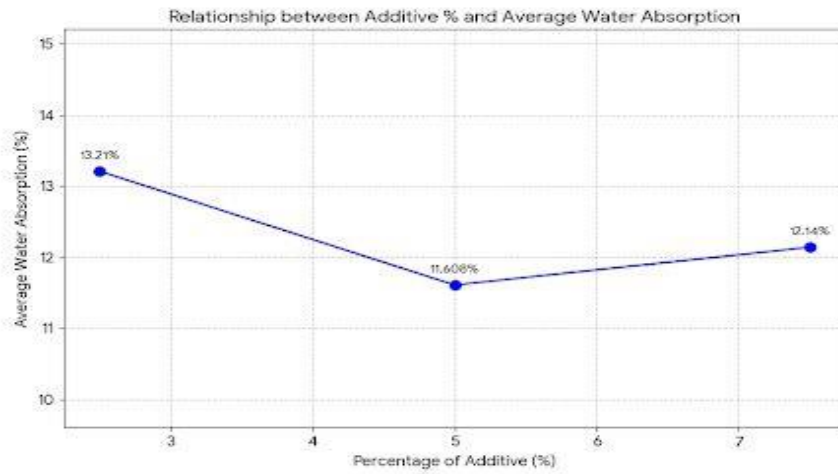
إضافة الروث بنسبة 2.5%					
رقم العينة	1	2	3	4	5
وزن العينة جافة (g)	2295	2310	2050	2150	2045
وزن العينة رطبة (g)	2468	2555	2513	2626	2438
نسبة الإمتصاص %	7	6.43	18.42	18.12	16.11
متوسط نسبة الإمتصاص %	13.21				

جدول رقم (4-4) يوضح نسبة الإمتصاص لنسبة 5%

إضافة الروث بنسبة 5%					
رقم العينة	1	2	3	4	5
وزن العينة جافة (g)	2395	2135	2420	2065	2235
وزن العينة رطبة (g)	2639	2619	2642	2406	2423
نسبة الإمتصاص %	9.24	18.48	8.40	14.17	7.75
متوسط نسبة الإمتصاص %	11.60				

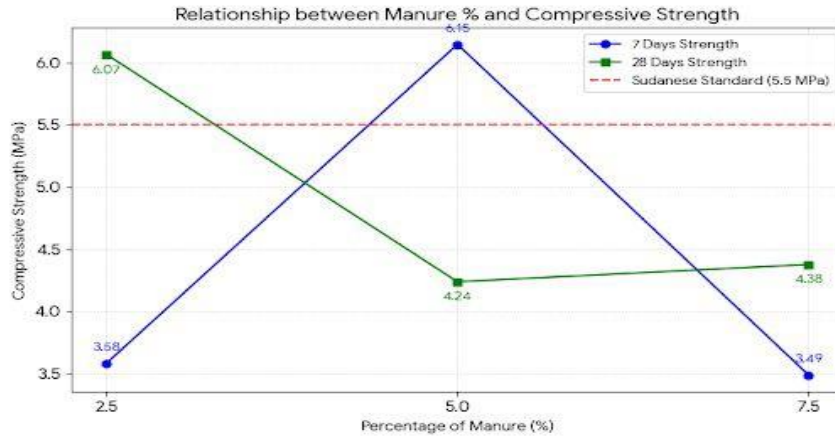
جدول رقم (4-5) يوضح نسبة الإمتصاص لنسبة 7.5%

إضافة الروث بنسبة 7.5%					
رقم العينة	1	2	3	4	5
وزن العينة جافة (g)	1800	2110	2175	2105	2030
وزن العينة رطبة (g)	2095	2306	2437	2500	2296
نسبة الإمتصاص %	14.08	8.49	10.75	15.8	11.58
متوسط نسبة الإمتصاص %	12.14				



مخطط رقم (4-3) يوضح منحنى الإمتصاص للماء

يوضح المنحنى سلوكاً غير خطي حيث يبدأ بنسبة امتصاص عالية عند الإضافة المنخفضة ثم ينخفض ليصل إلى أدنى مستوى له (نقطة التحسين القصوى) وبعد ذلك يعاود الارتفاع تدريجياً مع زيادة نسبة الإضافة.



مخطط رقم (4-4) يوضح منحنى الضغط

4-3-2 نتائج اختبار مقاومة الضغط:

يوضح الجدول التالي النسب المتحصل عليها من اختبار مقاومة الضغط لثلاث عينات من الطوب ذات نسب إضافة مختلفة.

جدول رقم (4-6) مقاومة الضغط لعينات الطوب الأحمر

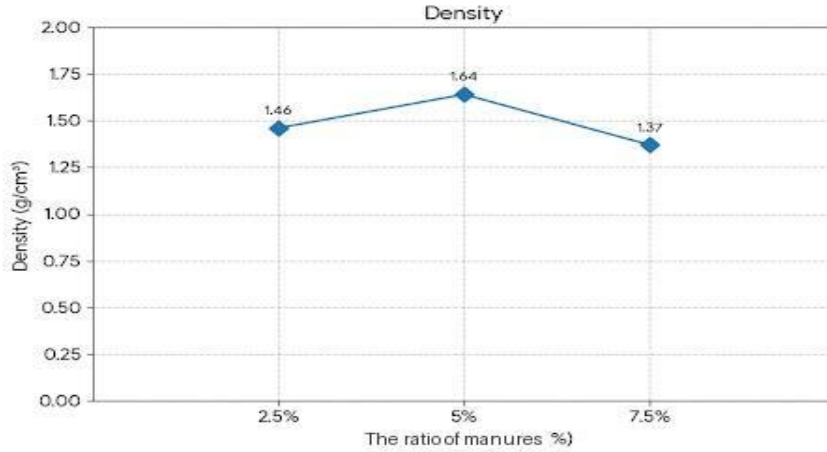
مقاومة الضغط MPA	نسبة إضافة الروث
6.067	2.5%
4.239	5%
4.378	7.5%

4-3-3 نتائج اختبار الكثافة:

فيما يلي جدول يوضح متوسط قيم الكثافة للنسب المختلفة من الإضافات

جدول رقم (4-7) يوضح كثافة المنتج (الطوب) لكل نسبة

الكثافة g/cm^3	نسبة إضافة الروث
1.46	2.5%
1.64	5%
1.38	7.5%



مخطط رقم (4-5) يوضح منحنى الكثافة

- نسبة 5% ضافة أعطت أكبر قيمة للكثافة وهي 1.64 g/cm³
- يعكس المخطط سلوك غير خطي حيث يشير هذا التذبذب الى وجود نسبة مثالية وهي 5%
- هذا السلوك غير خطي يثبت ان زيادة نسبة المخلفات لا تعني بالضرورة تحسينا مستمرا في الخصائص الفيزيائية لطوب لان الكثافة العالية ترتبط بي جودة الطوب.

5-3-4 مقارنة النتائج بالموصفات السودانية القياسية:

تعد الهيئة السودانية للمواصفات والمقاييس المرجعية العلمية والرقابية الأولى في البلاد حيث تضطلع

بمهمة اعداد واعتماد المواصفات الوطنية عبر لجان فنية متخصصة واعتماد المواصفات الوطنية

عبر لجان فنية متخصصة تضم خبراء من شتى القطاعات ذات الصلة تهدف هذه المواصفات الى ضمان

جودة مواد البناء وسلامتها الانشائية وملائمتها للبيئة المحلية

تمت مطابقة النتائج المختبرية التي تم الحصول عليها من التجارب العملية مع معايير المواصفات

القياسية السودانية الخاصة بي (الطوب البناء) وجاءت القراءة التحليلية للنتائج كما يلي:

أولاً: تجربة المحتوى المائي (امتصاص الماء):

من خلال تحليل النتائج وجد ان جميع العينات المضافة اليها نسب مختلفة من (الروث) قد نجحت في اجتياز اختبار الامتصاص تنص الموصفات القياسية السودانية على ان الحد الأقصى المسموح به لنسبة الامتصاص هو 30% (كمتوسط لخمس طوبات)

النتائج المرصودة: سجلت نتائج مختلفة في نفاذية الماء مع زيادة نسبة الإضافة حيث بلغت:

. (13.21 %) عند إضافة نسبة 2.5%

. (11.60 %) عند إضافة نسبة 5%

. (12.14 %) عند إضافة نسبة 7.5%

. التحليل الفني: يعزى هذا النجاح لى زيادة المسامية داخل هيكل الطوبة نتيجة الخصائص الفيزيائية للمادة الروث دون إضافة مواد أخرى.

ثانياً: تجربة مقاومة الضغط:

تُعد مقاومة الضغط المقياس الأساسي والأكثر أهمية لتقييم جودة الطوب الأحمر وقدرته على تحمل الأحمال الإنشائية. وفقاً للمواصفة القياسية السودانية (م س د ق 4143/2011)، فإن الحد الأدنى المطلوب لمتوسط قوة الضغط هو 5.5 MPa.

من خلال تحليل نتائج كسر العينات في مرحلتي الاختبار (7 أيام و28 يوماً)، تم استخلاص الآتي:

• العينة المثالية (مطابقة للمواصفات): أثبتت عينة الإضافة 2.5% أنها الأفضل والأكثر استقراراً من

الناحية الإنشائية؛ فعلى الرغم من تسجيلها 3.583 MPa عند عمر 7 أيام، إلا أنها تطورت بشكل مثالي

لتصل إلى 6.067 MPa عند عمر 28 يوماً. وبذلك تعد هذه العينة هي الوحيدة التي اجتازت الاختبار بنجاح لتجاوزها معيار الـ 5.5 MPa المطلوب.

• العينات غير المطابقة: فشلت عينة الإضافة 7.5% في الوصول إلى القوة المطلوبة في المرحلتين،

حيث سجلت متوسطات بلغت 3.489 MPa عند 7 أيام و 4.378 MPa عند 28 يوماً

• التحليل الفني: تشير النتائج إلى أن نسبة 2.5% توفر التوازن الميكانيكي الأمثل بين جزيئات الطين

والمادة العضوية المضافة، مما يسمح بتماسك الهيكل الداخلي وتطوره بمرور الوقت. في المقابل، أدت

النسب الأعلى (5% و 7.5%) إلى ضعف في البنية الميكانيكية النهائية للطوبة، ربما بسبب زيادة

المسامية العضوية التي أثرت سلباً على المقاومة طويلة الأمد.

تحليل فشل العينة بنسبة 5% التناقض بين نتائج 7 و 28 يوماً:

لوحظ أن العينة بنسبة 5% سجلت مقاومة ضغط مرتفعة نسبياً خلال فترة 7 أيام حيث بلغ متوسط

المقاومة 6.147 MPa، إلا أن هذه القيمة انخفضت خلال فترة 28 يوماً لتصل إلى 4.239 MPa.

وعند مراجعة أوزان العينات في فترتي 7 أيام و 28 يوماً لوحظ وجود اختلاف في الأوزان بين الفترتين،

مما قد يشير إلى وجود تغير في حالة الرطوبة أو درجة المسامية داخل بعض العينات. ومن المحتمل أن

يكون هذا الاختلاف في الأوزان بين الفترات الزمنية قد أثر على الكتلة الفعلية للطوب، الأمر الذي

انعكس بدوره على نتائج اختبار مقاومة الضغط.

الباب الخامس:

الخلاصة

والتوصيات

الخلاصة والتوصيات

5-1 الخلاصة:

تمحورت هذه الدراسة حول تحسين خصائص التربة الطينية المستخدمة في صناعة الطوب الأحمر عبر دمج مخلفات روث الحيوانات بنسب مئوية مختلفة (2.5%، 5%، 7.5%). ومن خلال تحليل نتائج الاختبارات المعملية الشاملة لعمر 28 يوماً ومقارنتها بنتائج الـ 7 أيام، خلُص البحث إلى الآتي:

- النسبة المثالية للمقاومة: أثبتت الاختبارات النهائية أن إضافة الروث بنسبة 2.5% هي النسبة الأكثر كفاءة لتحقيق أعلى مقاومة ضغط عند عمر 28 يوماً، حيث بلغ متوسطها 6.067 MPa.
- المطابقة للمواصفات الوطنية: تعد العينة ذات الإضافة 2.5% هي الوحيدة التي نجحت في اجتياز متطلبات الهيئة السودانية للمواصفات والمقاييس (م س د ق 4143/2011)، والتي تشترط حداً أدنى للمقاومة يبلغ 5.5 MPa.

- سلوك المقاومة عبر الزمن: لوحظ أن العينات بنسبة 5% سجلت مقاومة مبكرة عالية عند 7 أيام (6.147 MPa)، إلا أنها شهدت تراجعاً ملحوظاً عند 28 يوماً لتصل إلى (4.239 MPa)، مما يجعلها غير مطابقة للمواصفة الإنشائية النهائية.

- كفاءة العزل والامتصاص: نجحت جميع العينات المضاف إليها الروث في اختبار الامتصاص، حيث جاءت القيم ضمن الحدود المسموح بها والمطابقة للمواصفات، مما يعزز من قدرة المنتج على مقاومة نفاذية الماء وتحقيق الديمومة.

- تأثير الوزن الكلي: ساهمت المادة العضوية في تقليل كثافة الطوب، حيث أدت زيادة النسبة إلى 7.5% لإنتاج طوب أخف وزناً (1.38 g/cm^3)، مما يقلل من الأحمال الميتة على الهيكل الإنشائي ولكنه يقلل المقاومة دون الحد المطلوب.

5-2 التوصيات:

بناءً على النتائج الإيجابية المتحصل عليها، نوصي بالآتي:

1. اعتماد نسب الخلط المدروسة: نوصي باستخدام إضافة الروث بنسبة 2,5% للحصول على توازن مثالي بين مقاومة الضغط والوزن، مع الاستفادة من ميزة انخفاض نسبة الامتصاص التي حققتها العينات لضمان ديمومة المباني.
2. الاستدامة البيئية: ضرورة دراسة الأثر البيئي الناتج عن تجريف التربة حول ضفاف النيل (الجروف) لصناعة الطوب، والبحث عن سبل لتقليل الانبعاثات الناتجة عن عملية الحرق (الكمينة) لحماية المحاصيل والغطاء النباتي.
3. البحث عن بدائل للتربة: تكثيف الجهود البحثية لإيجاد أنواع جديدة من التربة البديلة التي تمتلك خصائص مشابهة للطيني، وذلك للحد من استنزاف التربة الزراعية الخصبة.
4. تطوير الخلطات المستقبلية: إجراء دراسات لاحقة تختبر دمج إضافات أخرى مثل (الجير، الجبس، أو البوزولانا) مع روث الحيوانات، لدراسة مدى إمكانية تحسين الخواص الميكانيكية بشكل أكبر ورفع كفاءة العزل الحراري للطوب.

المراجع:

1. حسن فتحي، كتاب "عمارة الفقراء"، (مرجع كلاسيكي حول استخدام الطين والمواد المحلية في البناء المستدام).

2. الهيئة السودانية للمواصفات والمقاييس، "المواصفات القياسية السودانية لأعمال مباني الطوب"، السودان.

3. Gernot Minke (2006). Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture. Birkhäuser - Publishers for Architecture, Basel, Switzerland. ISBN-13: 978-3-7643-7477-8, p. 11