إستخدام الطوب الرغوي في التربة الرطبة المالحة

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في الهندسة المدنية

إعداد الطلاب :

محمد كمال محمد عبد الباقي

عثمان يوسف علي عديل

عمر عبد اللطيف محمد أحمد

إشراف : أ / عبد الرحمن محمد عباس

كلية الهندسة

جامعة الشيخ عبد الله البدري

أبريل **2026**

بسم الله الرحمن الرحيم

الآية

قال تعالى :

{وَمَا تَوْفِيقِي إِلَّا بِاللَّهِ ۚ عَلَيْهِ تَوَكَّلْتُ وَإِلَيْهِ أُنِيبُ}

صدق الله العظيم

سورة هود – الآية (88)

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

أصلي وأسلم على سيد الخلق وخاتم الأنبياء والمرسلين، سيدنا محمد ﷺ.

أما بعد:

من قال: أنا لها... نالها، وإن أبت رغماً عنها أتيت بها.

لم تكن الرحلة قصيرة، ولم يكن الطريق مفروشًا بالتسهيلات، ولم يكن الحلم قريبًا... لكن بالإرادة والصبر تحقق الحلم.

اليوم أضع نقطة النهاية لمسيرة من التعب والجهد، ليكون هذا اليوم مسك الختام ويومًا من أجمل أيام العمر.

أحمد الله حمدًا كثيرًا على ما وفقني إليه، وأفتخر بما حققته بفضله، وأسأله أن يجعل هذا العمل خطوة مباركة في مسيرتي العلمية.

إلى من ذكرهما الله في كتابه الكريم، وجعل برهما من أعظم القربات، إلى من كانا سندي ودعمي في كل خطوة من حياتي...

إلى والديّ العزيزين، بارك الله فيهما وأطال في عمرهما، وجعلني دائمًا سببًا في فخرهما وسعادتهما.

إلى إخوتي وأخواتي الأعزاء، حفظهم الله ورعاهم.

إلى من توجني بتاج العز والفخار، إلى من غرس فيّ طموحاً لا يحده زمان ولا مكان، إلى الروح التي ترفرف حولي وتفرح بإنجازي وتمنيت أن تشاركني لحظة القطاف.. إلى روح أبوي الطاهرة / **كمال محمد عبد الباقي** (*رحمه الله وأسكنه الفردوس الأعلى*)

إلى نبع الحنان، من كان دعاؤها سر نجاحي، وبسمتها أملي، وتضحياتها جسراً أعبر به نحو أحلامي.. أمي الحبيبة.

إلى سندي وقوتي في الحياة.. إخواني و أخواتي.

أتقدم بجزيل الشكر للأستاذ المشرف / عبد الرحمن محمد عباس على ما قدمه من دعم وتوجيه، وللجنة الموقرة على قبولها مناقشة العمل، وأرجو أن أكون عند حسن ظنكم.

إلى زملائي ورفقاء الدرب..

أهدي إليكم ثمرة هذا الجهد المتواضع.

إلى من قاسمنا مقاعد الدراسة، وشاطرنا هموم المسيرة وحلم التخرج قبل أن يسبقنا إلى الشهادة...

إلى الغائب بجسده، الحاضر بروحه وذكرياته الطيبة، زميلي وأخي الشهيد "السجاد علي".

كنت أتمنى أن تقف معي اليوم لنقطف معاً ثمار هذا التعب، لكنك نلت شرفاً ومكانةً أعظم. تقبلك الله في عليين، وأُهدي إلى روحك الطاهرة ثمرة هذا الجهد.

فهرس المحتويات

	الموضوع	رقم الصفحة
	الافتتاحية	II
	الإهداء	III
	فهرس المحتويات	V
	فهرس الصور	IX
	فهرس الجداول	X
	فهرس الأشكال	X
	المستخلص	XI
	Abstract	XII
الفصل الأول : المقدمة		
1-1	المقدمة	2
2-1	أهمية البحث	2
3-1	مشكلة البحث	3
4-1	أهداف البحث	3
5-1	منهجية البحث	3
6-1	المخرجات المتوقعة	3
الفصل الثاني : الخلفية العلمية		
1-2	مقدمه	5
2-2	الطوب	5
1-2-2	المواد الداخلة في صناعته الطوب	5
2-2-2	أهم خصائص الطوب	6
3-2-2	أنواع الطوب	6
3-2	التربة المالحة الرطبة	9

1-3-2	تعريف التربة المالحة الرطبة	10
2-3-2	مصادر الملوحة والرطوبة	10
3-3-2	التركيب الكيميائي للأملاح	11
4-3-2	الخصائص الفيزيائية للتربة المالحة الرطبة	11
5-3-2	الخصائص الكيميائية	12
6-3-2	التأثيرات الهندسية للتربة المالحة الرطبة	12
7-3-2	طرق تحسين ومعالجة التربة المالحة الرطبة	12
8-3-2	التأثيرات الزراعية	13
9-3-2	التوزيع الجغرافي	14
10-3-2	الأثر البيئي	14
4-2	الطوب الرغوي (Foam Concrete Block)	14
1-4-2	الخصائص الميكانيكية والحرارية للطوب الرغوي	15
2-4-2	الخصائص الفيزيائية للطوب الرغوي	15
1-2-4-2	الكثافة (Density)	15
2-2-4-2	المسامية (Porosity)	16
3-2-4-2	الامتصاص المائي (Water Absorption)	16
4-2-4-2	اللون والتركيب البنيوي	16
3-4-2	الخصائص الحرارية للطوب الرغوي	17
4-4-2	الخصائص الصوتية للطوب الرغوي	18
5-4-2	العوامل المؤثرة على خصائص الطوب الرغوي	20

6-4-2	مقارنة بين الطوب الرغوي والطوب التقليدي	24
7-4-2	مكونات الطوب الرغوي	27
9-4-2	مميزات الطوب الرغوي	27
10-4-2	عيوب الطوب الرغوي	27
الفصل الثالث:البرنامج العملي لإنتاج واختبار الطوب الخفيف (EPS Concrete)		
1-3	مقدمة	29
2-3	المواد المستخدمة (Materials)	29
1-2-3	الأسمنت (Cement)	30
2-2-3	حبيبات الفلين / البولي ستايرين (Polystyrene/Styrofoam Beads)	30
3-2-3	الجبس (Gypsum)	31
4-2-3	الماء (Water)	31
3-3	نسب الخلط (Mix Proportions)	32
4-3	القوالب المستخدمة (The Molds)	32
5-3	طريقة إنتاج الطوب (Production Method)	33
1-5-3	الوزن والتحضير	33
3-5-3	إضافة الماء (Wet Mixing)	34
4-5-3	إضافة الفلين (Adding EPS Beads)	34
5-5-3	الصب في القوالب (Casting)	34

6-5-3	الدمك (Compaction)	35
7-5-3	تسوية السطح (Finishing)	35
8-5-3	المعالجة (Curing)	36
9-5-3	دفن العينات	36
الفصل الرابع : الاختبارات ومناقشة النتائج		
1-4	مقدمة	40
2-4	التقييم البصري واختبار التزهير (Efflorescence)	40
3-4	الخصائص الأساسية للطوب الرغوي (قبل التعرض للتربة)	41
4-4	نتائج اختبارات الطوب الرغوي في التربة الرطبة المالحة	42
1-4-4	اختبار التغير في الوزن والامتصاص	42
2-4-4	اختبار مقاومة الضغط (بعد التعرض للأملاح والرطوبة)	43
3-4-4	مقارنة بين العينات المرجعية والعينات المدفونة (من ناحية مقاومة الضغط)	44
5-4	مناقشة وتحليل النتائج	45
1-5-4	تأثير المسامية	45
2-5-4	تأثير الأملاح على الهيكل الداخلي	45
الفصل الخامس : الخلاصة والتوصيات		
1-5	الخلاصة	48
2-5	التوصيات	49
	المراجع	50

فهرس الصور

الموضوع	رقم الصفحة
صورة (1.3): توضح المواد المستخدمة في انتاج الطوب الرغوي	29
صورة (2.3) توضح كمية الإسمنت	30
صورة(3.3) :توضح حبيبات الفلين المبشور	30
صورة (4.3) : توضح الجبس المستخدم	31
صورة (5.3) توضح ماء الخلط	31
صورة (6.3) : توضح القوالب المستخدمة	33
صورة (7.3) :توضح الميزان الحساس المستخدم	34
صورة (8.3) توضح صب الخلطة في القوالب	35
صورة (9.3) : توضح تسويه السطح	36
صورة (10.3) توضح العينات اثناء الدفن	37
صورة (11.3) توضح إستخراج العينات من التربة	37
صورة (12.3) توضح شكل العينات بعد الاستخراج	38
صورة (1.4) توضح شكل الطوبة بعد استخراجها من الدفن	40

فهرس الجداول

الموضوع	رقم الصفحة
جدول(3.1) : يوضح نسب خلط مختلفة تم تجربتها	32
الجدول (4.1) : يوضح وزن العينات المرجعية	41
(الجدول 4.2 يوضح وزن العينات والتغير في الوزن والامتصاص)	43
(الجدول 4.3 يوضح مقاومة الضغط للطوبة بعد التعرض للتربة المالحة الرطبة)	44
الجدول (4.4) : يوضح مقازنة مقاومة الضغط للعينات المرجعية والعينات المدفونة	44

فهرس الاشكال

الموضوع	رقم الصفحة
الشكل (2-1) يوضح الطوب الأحمر	7
الشكل (2–2) يوضح الطوب الزجاجي	7
الشكل (2–3)يوضح الطوب الحراري	9
الشكل(3-4) يوضح الطوب الرملي	9

المستخلص:

يتناول هذا البحث دراسة وتقييم أداء الطوب الرغوي (الخرسانة الخفيفة باستخدام حبيبات الفلين **EPS**) عند استخدامه في بيئة التربة الرطبة المالحة، كبديل للمواد التقليدية التي تتعرض للتدهور السريع نتيجة التفاعلات الكيميائية. لتحقيق هذا الهدف، تم تصنيع عينات مخبرية باستخدام الأسمنت، الجبس، وحبيبات الفلين، وتم إجراء اختبارات فيزيائية وميكانيكية عليها قبل وبعد دفنها في تربة مالحة رطبة لمدة 60 يوماً.

أثبتت النتائج خفة وزن الطوب الرغوي بمتوسط كثافة جافة بلغ 0.713 جم/سم^3. وبعد فترة التعرض للبيئة القاسية، زاد وزن العينات بنسبة 6.85% نتيجة امتصاص الرطوبة وتبلور الأملاح داخل المسام، كما لوحظ ظهور بقع بيضاء (تزهير) وتشققات دقيقة. ميكانيكياً، انخفضت مقاومة الضغط بنسبة 22.48% (من 1.7 إلى 1.31 ميجا باسكال) بسبب التفاعل الكيميائي بين الكبريتات ومركبات الأسمنت وتكوين إجهادات شد داخلية. خلص البحث إلى أن الطوب الرغوي احتفظ بنحو 77.52% من قوته الأساسية، مما يجعله خياراً هندسياً مقبولاً للتطبيقات غير الحاملة للأحمال، مع التوصية بضرورة استخدام طبقات عزل هندسي والاعتماد على أسمنت مقاوم للكبريتات (**SRC**) لضمان ديمومته في هذه البيئات.

Abstract :

This research evaluates the performance of foam bricks (lightweight EPS concrete) in wet, saline soils as a viable alternative to traditional building materials that suffer rapid deterioration due to chemical reactions. To achieve this, laboratory samples were manufactured using cement, gypsum, and polystyrene beads. Physical and mechanical tests were conducted on the samples before and after being buried in a wet, saline soil environment for 60 days.

The results confirmed the lightweight nature of the foam bricks, recording an average dry density of 0.713 g/cm³. Following the 60-day exposure, the samples exhibited a 6.85% increase in weight due to moisture absorption and salt crystallization within the pores, alongside visual evidence of efflorescence and micro-cracking. Mechanically, compressive strength decreased by 22.48% (from 1.7 MPa to 1.31 MPa), primarily driven by chemical reactions between sulfates and cement compounds creating internal tensile stresses. The study concludes that the foam bricks retained approximately 77.52% of their initial strength, making them an acceptable engineering choice for non-load-bearing applications in such environments, provided that protective insulation layers and sulfate-resistant cement (SRC) are utilized to enhance durability.

الفصل الاول

المقدمة العامة

الباب الاول

المقدمة العامة

1-1 المقدمة :

يتعرض قطاع البناء في العديد من المناطق، خاصة تلك التي تتميز بتربة رطبة ومالحة، لتحديات كبيرة نتيجة للتدهور السريع للمباني . يعود ذلك إلى تفاعل المواد التقليدية المستخدمة في البناء مع هذه البيئة القاسية ، مما يؤدي إلى فقدان خواصها الميكانيكية وتدهور أدائها.

في السنوات الأخيرة، ظهرت مواد بناء جديدة واعدة، من بينها الطوب الرغوي. يتميز هذا النوع من الطوب بوزن خفيف وقوة عزل حرارية وصوتية عالية، بالإضافة إلى مقاومته العالية للأملاح والتآكل .يثير هذا الاهتمام بدراسة إمكانية استخدام الطوب الرغوي في التربة الرطبة المالحة كبديل للمواد التقليدية، بهدف تحسين أداء المباني وزيادة عمرها الافتراضي.

1-2 أهمية البحث :

تتمثل أهمية هذا البحث في عدة جوانب:

تطوير قطاع البناء :يساهم البحث في تطوير قطاع البناء من خلال تقديم حلول مبتكرة لمشكلة تدهور المباني في البيئات القاسية.

الحفاظ على البيئة :استخدام الطوب الرغوي يساهم في الحفاظ على البيئة من خلال تقليل استهلاك الطاقة اللازمة لتكييف المباني.

التوفير الاقتصادي :يمكن أن يؤدي استخدام الطوب الرغوي إلى توفير اقتصادي كبير على المدى الطويل، وذلك بفضل عمره الافتراضي الطويل وانخفاض تكاليف الصيانة.

1-3 مشكلة البحث :

تكمن المشكلة الرئيسية في تدهور المباني المبنية بالمواد التقليدية في التربة الرطبة المالحة، مما يؤدي إلى خسائر اقتصادية واجتماعية كبيرة. كما أن هناك نقص في الدراسات التي تتناول سلوك الطوب الرغوي في هذه البيئة المعقدة.

1-4 أهداف البحث :

- يهدف هذا البحث الى تقييم أداء الطوب الرغوي في التربة الرطبة المالحة مقارنة بالمواد التقليدية و تحديد العوامل المؤثرة على سلوك الطوب الرغوي في هذه البيئة.
- تحديد خواص الطوب الرغوي الميكانيكية والفيزيائية.
- تحديد سلوك الطوب الرغوي في ظروف بيئية مختلفة.

1-5 منهجية البحث :

سيتم اتباع المنهجية التالية لإنجاز البحث

المراجعة الأدبية :جمع وتحليل الدراسات السابقة حول الطوب الرغوي والتربة الرطبة المالحة.

تصنيع عينات الطوب الرغوي: تم تصنيع الطوب الرغوي (الطوب الرغوي الإسمنتي) لدراسته .

تم اختيار هذا النوع بناءً على امكانية انتاجة محلياً وخصائصة الميكانيكية والفيزيائية المتوقعة .

التجارب المخبرية :إجراء سلسلة من التجارب المخبرية لدراسة خواص الطوب الرغوي لدراسة خواصه الفيزيائية و الكيميائية و الميكانيكية.

التجارب الميدانية :بناء نماذج تجريبية من الطوب الرغوي ودراسة سلوكها في ظروف بيئية مختلفة.

1-6 لمخرجات المتوقعة:

تحديد أفضل أنواع الطوب الرغوي المناسبة للاستخدام في التربة الرطبة المالحة (مناطق النز).

تطوير معايير تصميم جديدة للمباني المبنية بالطوب الرغوي في هذه البيئة.

الفصل الثاني

الخلفية العلمية

الفصل الثاني

خلفيه علميه

2-1مقدمه:

منذ بداية الخليقة و كان الشغل الشاغل للإنسان ما بين البحث عن الطعام و البحث عن مأوى فما كان للإنسان إلا اللجوء لما حوله من طبيعة فكانت البداية فالكهوف ، و مع تعاقب الفصول أصبحت الكهوف بظلمتها و سكن الحيوانات الضارية لها مكان غير أمن فكان لابد من الابتكار فنظر حوله فوجد الطائر يبني عشه فبدأ باستخدام البوص و الأخشاب لبناء أكواخ كانت صغيره و لا تقيه من البرد إلى أن هداه تفكيره إلى الطين تلك المادة التي تم صناعه الطوب منها ويعود استخدام الطوب إلى الحضارات القديمة مثل السومريين والمصريين القدماء وفي البداية كان يُصنع الطوب من الطين ويُجفف تحت الشمس (طوب لبِن)ومع التطور ظهرت أفران الحرق فزاد صلابة ومقاومة الطوب واليوم تنوعت أنواعه لتناسب احتياجات البناء المختلفة (طوب طيني، أسمنتي، سيليكاتي، طوب خفيف رغوي).

2-2 الطوب:

الطوب (Brick) هو وحدة بنائية صغيرة الحجم تُصنع عادةً من مواد طبيعية مثل الطين أو من مواد صناعية مثل الخرسانة ويستعمل لعمل حوائط لتقسيم المبنى إلى حجرات وبعض أنواع الطوب ذات التشكيل النهائي الجهد تستعمل في عمل واجهات المباني وتتميز بمنظر معماري جميل والطوب الإسفلتي الذي يتميز بمقاومة الاحتكاك يستعمل في رصف الأرصفة ويجب أن يتوافر في الطين المستعمل خاصية اللدونة وسهولة التشغيل حتى يمكن تشكيل الطوب بسهولة في القوالب يدويا أو ميكانيكيا ولطوب قوالب ذات الأبعاد 25*12*6 سم^3 أو 22*11*6 سم^3 "و هناك أبعاد كثيرة أخرة تصنع حسب طلب عميل" .

2-2-1 المواد الداخلة في صناعته الطوب :

-الطين: المادة التقليدية والأساسية.

-الأسمنت والرمل والحصى: في الطوب الخرساني.

-الجير والسيليكا: في الطوب السيليكاتي.

-مواد رغوية أو مضافات كيميائية: في الطوب الخفيف (الرغوي).

2-2-2 أهم خصائص الطوب:

- مقاومة الضغط: تختلف حسب النوع (تتراوح عادة بين 35- 150 كغ/سم² للطوب الطيني المحروق).

-العزل الحراري: الطوب المسامي أو الرغوي يعطي عزلاً أفضل.

- العزل الصوتي: يزداد مع زيادة الكثافة والسمك.

-امتصاص الماء: ميزة مهمة تحدد مقاومة الطوب للرطوبة والأملاح.

-الوزن النوعي: الطوب التقليدي أثقل من الطوب الخفيف الرغوي.

2-2-3 أنواع الطوب:

سنذكر في هذا البند الشكل التوضيحي لبعض أنواع الطوب وهى الشائعة الاستخدام

- الطوب الطيني

- الطوب الأحمر : ويستعمل في أعمال البناء.

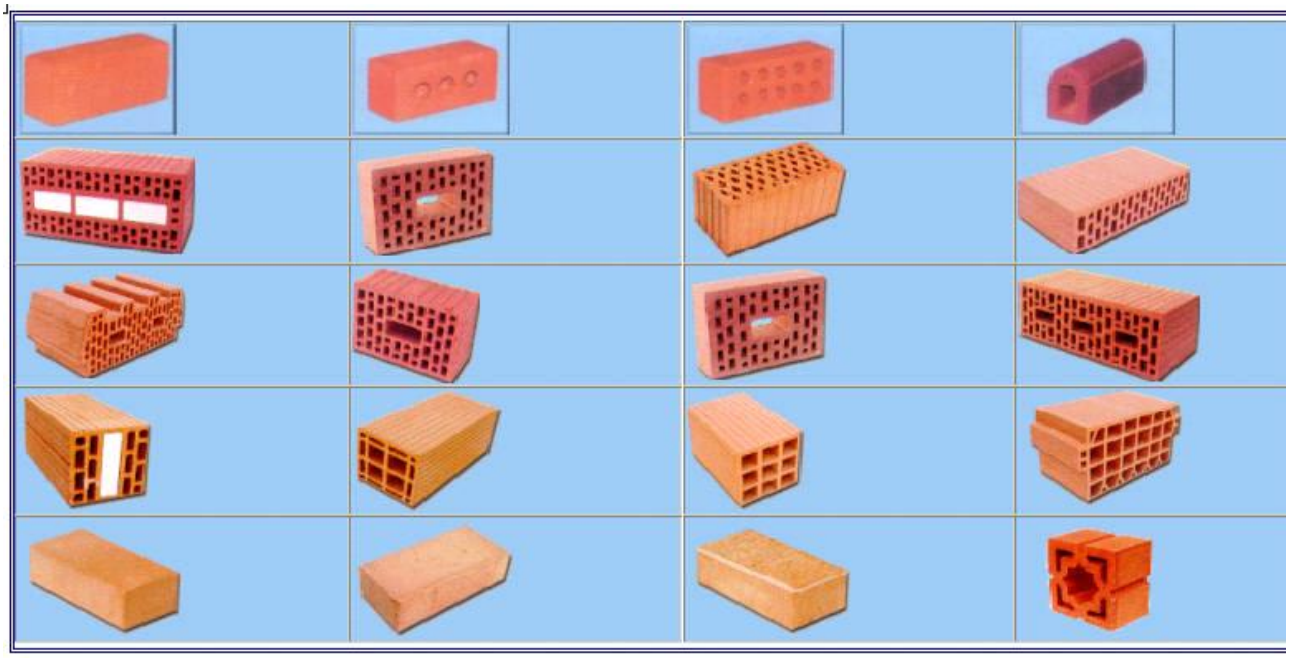
-الطوب الأخضر المفرغ : ويستعمل في ملئ الفراغات وعزل الحرارة والصوت.

-طوب تكسية الواجهات : يستعمل في الواجهة الخارجية للمباني لإعطائها شكل معماري جميل.

-الطوب المحروق لدرجة التزجج : ويستعمل في الرصف وبخاصة في الكباري ويمكن استخدماه مرة ثانية بعد فكه من عمله الأول وخصوصا في أعمال العرض حيث يتصف بكفاءته في تحمل الحركة مع الزمن .

-الطوب المزجج السطح : له خاصية عدم إنقاذ الماء.

-الطوب الحراري : يستعمل في تبطين الأفران المستعملة في صناعة الحديد والصلب والصناعات غير الحديدية مثل النحاس والزنك والرصاص وفي صناعة الإسمنت والجير والزجاج.



الشكل (2-1) يوضح الطوب الأحمر

-الطوب غير الطيني

-الطوب الرملي الجيري(الثقيل) : ويستخدم في بناء الحيطان الحاملة وكعازل جيد للحرارة.

-الطوب الكيماوي(الحديث) : عازل للصوت عازل للصوت خفيف الوزن مقاوم للحريق مقاوم للضغوط.

-البلوكات الزجاجية : وتستعمل البلوكات الزجاجية في القوا طيع الداخلية وواجهات المباني والمكاتب والمستشفيات.

-الطوب الزجاجي : تستخدم كقواطع وأسقف وديكور وحوائط .

الشكل (2-2) يوضح الطوب الزجاجي

-الطوب الحراري

يصنع هذا الطوب من الطين الناري ولذلك فهو يقاوم درجات الحرارة العالية و الإحتكاك والتأثيرات الكيماوية المختلفة ويستعمل في بناء الدفايات و تبطين الأفران المستعملة في صناعة الحديد والصلب والصناعات غير الحديدية مثل النحاس والزنك والرصاص وفي صناعة الإسمنت والجير والزجاج ومقاساته 25×12×6 أو 23 × 11 × 5.5 سم أو حسب الطلب .

ويمكن تقسيم الطوب الحراري بالنسبة لطبيعة التفاعلات الحرارية والكيميائية إلى :

الطوب الحراري الحامضي (السيليسي) :

ويقاوم هذا الطوب تأثير الحرارة حتى 1700 – 1800ْ م ويصنع من هذا الطوب الأنواع التالية :

طوب السيليكا ويحتوي على أكسيد سليكون لا يقل عن 92 %.

طوب 2\1 سيليكا ويحتوي على أكسيد سيليكون بين 78 – 92 %.

ج- طوب طيني ناري عادي ويحتوي على نسبة أكسيد ألومينيا حوالي 38 %.

د- طوب طيني ناري ألوميني يحتوي على أكسيد الومينيا بين 45 – 65 %.

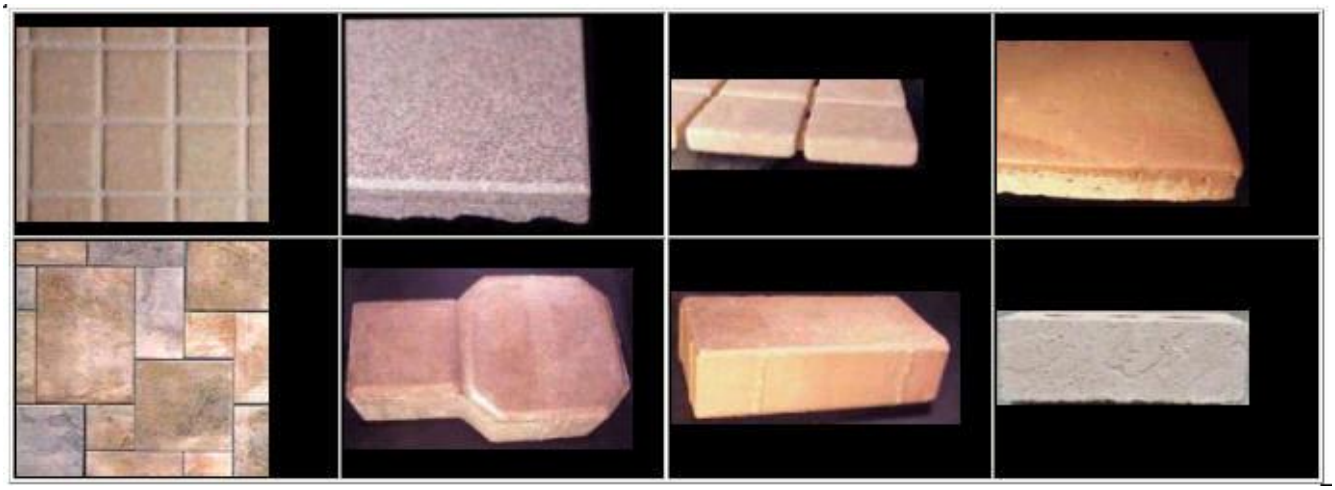
هـ- طوب ألوميني يحتوي على أكسيد الومينيا لا يقل عن 85 %.

الطوب الحراري القاعدي :

يصنع هذا الطوب من المجنيزيت (كربونات الكالسيوم النقية) أو من الدولوميت (كربونات الكالسيوم والماغنيسيوم) وهو يقاوم تأثير الخبث القاعدي.

الطوب الحراري المتعادل :

يصنع هذا الطوب من أكسيد الحديد والكروم حيث يطحن الخام ويخلط مع الطين الناري أو الماغنيسيوم وهو يقاوم تأثير الخبث القاعدي والحامضي وأحيانا يطلق عليه اسم الطوب الحراري الكريمي والخواص الحرارية لهذا الطوب أقل من الطوب المنجنيزي وأضعف منه في مقاومة الضغط.



الشكل (3-2)يوضح الطوب الحراري

-الطوب الرملي الخفيف : مقاوم للحرارة وعازل حراري متكامل ومقاوم للزلازل و سهل التشكيل ويحتوى على مقاسات متعددة ومعدلات الأداء والإنجاز سريعة أى موفر للوقت وعند بل الطوبة قبل البناء تعطى الطوبة متانة اكبر عازل جيد للصوت.

الشكل(3-4) يوضح الطوب الرملي

-الطوب الخفيف (الرغوي أو الغازي):

يتميز بخفة الوزن وعزل حراري جيد ومناسب للمباني العالية لتقليل الحمل الذاتي .

3-2 التربة المالحة الرطبة:

تُعد التربة المالحة الرطبة من أكثر أنواع الترب انتشارًا في المناطق الساحلية والمنخفضات القريبة من مصادر المياه، وهي تمثل تحديًا هندسيًا وزراعيًا كبيرًا بسبب خصائصها الفيزيائية والكيميائية غير المستقرة.

تتميز هذه التربة بارتفاع تركيز الأملاح الذائبة في محلولها الأرضي، مع درجة عالية من الرطوبة تصل في كثير من الأحيان إلى التشبع الكامل، مما يجعلها ضعيفة المقاومة، منخفضة النفاذية، وسريعة التأثر بالتغيرات البيئية.

وتؤثر هذه الخصائص سلبًا على أداء المنشآت الهندسية، إذ تسبب الهبوط والتآكل، كما تحدّ من النمو الزراعي نتيجة انخفاض امتصاص المياه والعناصر الغذائية من قبل النباتات.

2-3-1 تعريف التربة المالحة الرطبة:

تُعرف التربة المالحة الرطبة بأنها التربة التي تحتوي على نسبة مرتفعة من الأملاح الذائبة في محلولها الأرضي، وتكون في حالة رطوبة عالية أو تشبع مائي.

ويتم التعبير عن ملوحة التربة عادةً بقياس التوصيل الكهربائي (Electrical Conductivity) لعجينة الإشباع (Saturation Extract). فإذا كان التوصيل الكهربائي أكثر من 4 ديسيسمنز لكل متر (dS/m) عند درجة حرارة 25°C، فإن التربة تُعد مالحة.

أما في حالة تجاوز منسوب الماء داخل المسامات 80–100% مع وجود أملاح قابلة للذوبان، فإنها تُصنف ضمن التربة المالحة الرطبة أو المشبعة المالحة (Saline Wet Soil).

2-3-2 مصادر الملوحة والرطوبة:

ترتبط ملوحة ورطوبة التربة بعدة عوامل طبيعية وبشرية، من أبرزها:

1. المياه الجوفية المالحة:

عندما يكون منسوب المياه الجوفية قريبًا من سطح الأرض (أقل من مترين)، فإن عملية التبخر تؤدي إلى صعود المياه عبر الخاصية الشعرية، حاملةً معها الأملاح إلى السطح.

2. الري بمياه مالحة:

استخدام مياه ري تحتوي على نسب عالية من الأملاح الذائبة يؤدي إلى تراكمها في الطبقات العليا بمرور الوقت، خصوصًا في المناطق ذات الصرف السيئ.

3. التبخر المفرط:

في المناطق الجافة وشبه الجافة، يزداد التبخر بشكل يفوق معدلات الأمطار، مما يؤدي إلى تراكم الأملاح في الطبقات السطحية نتيجة حركة الماء إلى الأعلى.

4. الصخور الأم المالحة (Parent Material):

بعض الصخور الرسوبية، مثل الجبس والملح الصخري (الهاليت)، تذوب بفعل المياه الجوفية فتزيد من ملوحة التربة.

5. تسرب مياه البحر أو مياه المد: في المناطق الساحلية، يؤدي ارتفاع المد أو التسرب البحري إلى تشبع التربة بالمياه المالحة.

2-3-3 التركيب الكيميائي للأملاح:

تتكون الأملاح الذائبة في التربة المالحة الرطبة من مجموعة من المركبات الكيميائية، أهمها:

نوع الملح	الصيغة الكيميائية	التأثير الرئيسي
كلوريد الصوديوم	$NaCl$	يزيد الضغط الأسموزي ويؤدي إلى سمّية للنباتات
كبريتات الصوديوم	Na_2SO_4	تسبب انتفاخ التربة وانخفاض تماسكها
كلوريد المغنيسيوم	$MgCl_2$	يزيد من التآكل للمعادن
كبريتات الكالسيوم (الجبس)	$CaSO_4$	قد يخفف من ضرر الصوديوم في بعض الحالات
بيكربونات الصوديوم	$NaHCO_3$	تؤثر على قلوية التربة وتزيد من الأس الهيدروجيني pH

تتفاعل هذه الأملاح مع المعادن المكونة للتربة والمواد الإنشائية مسببة تدهورًا في الخواص الميكانيكية والكيميائية.

2-3-4 الخصائص الفيزيائية للتربة المالحة الرطبة:

1. رطوبة عالية جدًا قد تصل إلى حالة التشبع الكامل.
2. نفاذية منخفضة جدًا للمياه نتيجة تراكم الأملاح في المسام الدقيقة.
3. قابلية عالية للانضغاط والانهيار عند التحميل.
4. تغير في الحجم (انتفاخ وانكماش) بسبب تبلور الأملاح أو ذوبانها.
5. ضعف في مقاومة القص (Shear Strength).
6. تغير اللون إلى الرمادي أو الأبيض نتيجة ترسيب الأملاح السطحية.

2-3-5 الخصائص الكيميائية:

الأس الهيدروجيني (pH): عادةً بين 7.5 و9.5، مما يشير إلى قلوية مرتفعة.

نسبة الصوديوم المتبادل (ESP): إذا زادت عن 15% تُعد التربة صودية (Sodic Soil).

التوصيل الكهربائي (EC): يزيد عن 4 dS/m.

الأيونات السائدة: Na^+, Cl^-, SO_4^{2-}, Mg^{2+}.

2-3-6 التأثيرات الهندسية للتربة المالحة الرطبة:

1. هبوط الأساسات نتيجة فقدان التماسك عند الغمر بالماء.
2. انخفاض مقاومة القص والانضغاطية.
3. تآكل الحديد والخرسانة بفعل الكلوريدات والكبريتات.
4. تغير الحجم مما يسبب تشققات في البلاطات والأساسات.
5. صعوبة الدمك والتثبيت أثناء التنفيذ.
6. ارتفاع ضغط المسام (Pore Pressure) في المناطق المشبعة، مما يقلل من الاستقرار العام.

لذا فإن التربة المالحة الرطبة تُعد تربة غير مناسبة للبناء مباشرة، وتتطلب معالجة هندسية قبل استخدامها في المشاريع الإنشائية.

2-3-7 طرق تحسين ومعالجة التربة المالحة الرطبة:

تتضمن طرق المعالجة الهندسية والبيئية ما يلي:

1. التحسين الميكانيكي

استبدال الطبقات السطحية بتربة جيدة.

الدمك الميكانيكي بعد التجفيف الجزئي.

إنشاء طبقات ردميات عازلة أو مفرغة لتقليل الرطوبة الصاعدة.

2. التحسين الكيميائي

إضافة الجير (Lime): يسبب تفاعلات تقلل الصوديوم المتبادل وتزيد من التماسك.

إضافة الأسمنت: يحسن مقاومة القص والصلابة.

استخدام الرماد المتطاير (Fly Ash) أو النانو سيليكا كمثبتات حديثة.

3. تحسين الصرف الأرضي

إنشاء مصارف باطنية (Subsurface Drains) لتقليل منسوب المياه الجوفية.

مصارف سطحية لتصريف مياه الأمطار والري الزائد.

4. العزل الهندسي

استخدام أغشية عازلة (Geotextiles, HDPE) تحت الأساسات.

طلاءات بيتومينية لعزل الرطوبة والأملاح.

5. الأساسات العميقة

استخدام الركائز (Piles) لتجاوز طبقة التربة المالحة والوصول إلى طبقات مستقرة.

2-3-8 التأثيرات الزراعية:

من الناحية الزراعية، تؤدي ملوحة التربة إلى:

- صعوبة امتصاص النبات للماء بسبب زيادة الضغط الأسموزي.
- سمّية أيونات الصوديوم والكلور للنباتات الحساسة.
- انخفاض النشاط الميكروبي للتربة مما يقلل من خصوبتها.
- تدهور بنية التربة وانخفاض قدرتها على الاحتفاظ بالماء.
- وللتقليل من الأثر الزراعي، تُستخدم تقنيات مثل:
  - الغسيل الدوري للأملاح بمياه عذبة.
  - تحسين الصرف الزراعي.
  - زراعة نباتات مقاومة للملوحة مثل الشعير والبرسيم الحجازي.

2-3-9 التوزيع الجغرافي:

تنتشر التربة المالحة الرطبة في عدة مناطق حول العالم، أبرزها:

- دلتا النيل في مصر.
- دلتا الرافدين في العراق.
- الساحل الشرقي للبحر الأحمر والخليج العربي.
- مناطق المد والجزر في بنغلاديش والهند.
- السهول الساحلية في السودان والسعودية.

2-3-10 الأثر البيئي:

- تؤدي زيادة الملوحة إلى:
- تدهور الأراضي الزراعية.
- زيادة التصحر.
- انخفاض التنوع النباتي.
- تلوث المياه الجوفية بالأملاح.

ويُعد التحكم في منسوب المياه الجوفية من أهم استراتيجيات الحد من انتشار الملوحة.

تمثل التربة المالحة الرطبة بيئة معقدة تتداخل فيها العوامل الفيزيائية والكيميائية والهيدرولوجية، مما يجعلها تربة حرجة من الناحية الجيوتكنيكية والزراعية.

ولذا فإن دراستها ومعالجتها ضرورة أساسية لضمان استقرار المنشآت واستدامة الموارد الزراعية.

ذه الترب بأنها تحتوي على تركيز زائد اما من الاملاح المذابة أو الصوديوم المتبادل او كليهما معآ بحيث تقلل من انتاجيتها وتؤثر ملوحة التربة في نمو النبات.

2-4 الطوب الرغوي (Foam Concrete Block):

الطوب الرغوي هو نوع من الخرسانة خفيفة الوزن يتم تصنيعه بدمج الأسمنت مع الماء والرغوة، مما يؤدي إلى تكوين مادة مسامية تحتوي على فقاعات هوائية. يتميز هذا النوع من الخرسانة بخصائص عزل حراري وصوتي ممتازة، مما يجعله مناسبًا للاستخدام في الجدران والأسقف والأرضيات.

2-4-1 الخصائص الميكانيكية والحرارية للطوب الرغوي:

تختلف الخصائص الميكانيكية والحرارية للطوب الرغوي باختلاف مكوناته ونسب الخلط وطبيعة الرغوة المستعملة وعمليات المعالجة ،فكل من الكثافة، المسامية، ونسبة الماء إلى الأسمنت تلعب دورًا أساسيًا في تحديد مقاومة الطوب للضغط والشد، وكذلك قدرته على العزل الحراري والصوتي. ومن هنا، تسعى هذه الدراسة إلى تحليل هذه الخصائص بشكل علمي دقيق ومقارن مع المواد التقليدية مثل الطوب الطيني والخرسانة الخلوية.

وقد أظهرت العديد من الدراسات، مثل دراسة العلي أحمد (2015) ودراسة Kearsley (2010)، أن الطوب الرغوي يتميز بانخفاض كثافته التي تتراوح عادة بين (400– 1600 كجم/م³)، وبانخفاض معامل التوصيل الحراري الذي يصل إلى أقل من (0.3 واط/م.كلفن)، مما يجعله مناسبًا للبناء في المناطق الحارة والرطبة، في المقابل، فإن مقاومته الميكانيكية تتأثر بشدة بنسبة الهواء داخل العجينة الأسمنتية، مما يتطلب توازنًا دقيقًا بين خفة الوزن وقوة التحمل.

2-4-2 الخصائص الفيزيائية للطوب الرغوي:

2-4-2-1الكثافة (Density):

تعد الكثافة من أهم الخصائص الفيزيائية للطوب الرغوي، إذ ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالمسامية ومقاومة الضغط والعزل الحراري و كلما زادت كمية الفراغات الهوائية داخل العجينة الأسمنتية، قلت الكثافة الإجمالية للطوب.

تتراوح الكثافة الجافة للطوب الرغوي عادة بين (400 إلى 1600 كجم/م³)، حسب نوع الرغوة ومحتوى الأسمنت والماء. وقد أشار الحناوي عبد الله (2010) إلى أن الطوب الرغوي ذي الكثافة المنخفضة (أقل من 800 كجم/م³) يُستخدم في أعمال العزل الحراري، بينما الأنواع ذات الكثافة العالية (أكثر من 1000 كجم/م³) تُستخدم في الجدران الحاملة وغير الحاملة.

كما أظهرت دراسة McCarthy & Jones (2005) أن العلاقة بين الكثافة ومقاومة الضغط للطوب الرغوي يمكن التعبير عنها بشكل تقريبي بالعلاقة الأسية التالية:

$$f_c = a \cdot \rho^b$$

ويُلاحظ أن خفض الكثافة بنسبة 20% يؤدي عادة إلى انخفاض مقاومة الضغط بنسبة تصل إلى –30

40%، بينما يحسن أداء العزل الحراري بنسبة تصل إلى 50%.---

2-4-2-2 المسامية (Porosity): المسامية هي النسبة المئوية لحجم الفراغات الهوائية داخل كتلة الطوب، وتعد من العوامل الحاسمة في تحديد الخصائص الميكانيكية والحرارية. كلما زادت المسامية، انخفضت الكثافة ومقاومة الضغط، بينما ارتفع العزل الحراري.

وقد وجد Neville (2012) أن الطوب الرغوي يمتلك مسامية تتراوح بين (40–80%) حسب نسب الخلط ونوع المادة الرغوية. كما أن توزيع المسام المنتظم والمغلق يؤدي إلى أداء أفضل مقارنة بالمسامية المفتوحة، لأن المسامات المغلقة تمنع امتصاص الماء وتحافظ على ثبات الأبعاد.

كذلك أوضح العلي أحمد (2015) أن استخدام رغوات صناعية عالية الثبات يؤدي إلى تكوين فقاعات هواء صغيرة ومتجانسة داخل العجينة، مما يقلل احتمالية التهشم ويحسن مقاومة الضغط بنسبة تصل إلى 15% مقارنة بالرغوات الطبيعية.

2-4-2-3 الامتصاص المائي (Water Absorption):

يُعد الامتصاص المائي مؤشرًا مهمًا على متانة الطوب الرغوي ومقاومته للعوامل الجوية. ويعتمد بشكل مباشر على حجم وتوزيع المسام. فكلما زادت المسامية المفتوحة، ارتفعت قدرة الطوب على امتصاص الماء.

تتراوح نسبة الامتصاص المائي للطوب الرغوي بين (10% 25 –%) من وزنه الجاف، وفقًا لدراسة Sofi et al. (2016). ويُنصح في التطبيقات الخارجية أو في البيئات الرطبة بتطبيق طبقة عازلة أو دهان مقاوم للرطوبة لتقليل النفاذية المائية.

بينما أوضح الحناوي عبد الله (2010) أن الطوب الرغوي المصنع باستخدام رغوة بروتينية يتميز بانخفاض معدل الامتصاص مقارنة بالرغوة الصناعية، مما يجعله أكثر ملاءمة للمناطق ذات الرطوبة العالية.

2-4-2-4 اللون والتركيب البنيوي:

يتدرج لون الطوب الرغوي من الرمادي الفاتح إلى الأبيض حسب نوع الأسمنت المستخدم ونسبة الهواء. ويتميز سطحه ببنية دقيقة ذات حبيبات صغيرة متماسكة، مما يسهل عملية القطع والنشر بالمعدات

اليدوية دون تفتت.

كما أن توزيع المسام الداخلي يظهر تحت المجهر بشكل كروي متجانس، وهو عامل رئيسي في تماسك البنية المادية وتحسين الخواص الميكانيكية.

2-4-3 الخصائص الحرارية للطوب الرغوي:

تُعد الخصائص الحرارية والصوتية من أهم المميزات التي تميز الطوب الرغوي عن باقي أنواع الطوب التقليدية. فبفضل مساميته العالية وبنيته الخلوية المغلقة، يتمتع الطوب الرغوي بقدرة فائقة على العزل الحراري والصوتي، مما يجعله خيارًا مفضلًا في المباني الحديثة التي تتطلب كفاءة طاقوية عالية وراحة سكنية مميزة.

أولاً: التوصيل الحراري (Thermal Conductivity)

يمثل معامل التوصيل الحراري () قدرة المادة على نقل الحرارة من منطقة إلى أخرى. كلما انخفض هذا المعامل، دلّ ذلك على قدرة المادة على العزل الحراري الجيد.

يتراوح معامل التوصيل الحراري للطوب الرغوي بين 0.08 إلى 0.3 واط/م.كلفن، بحسب الكثافة ونسبة المسامية. فكلما زادت الفراغات الهوائية داخل البنية الخلوية للطوب، قلت كمية الحرارة المنتقلة عبره.

بحسب دراسة Kearsley (2010)، فإن الطوب الرغوي بكثافة 600 كجم/م³ يمتلك معامل توصيل حراري يقارب 0.12 واط/م.كلفن، وهو أقل بنحو 60% من معامل الطوب الطيني التقليدي (الذي يبلغ نحو 0.35 واط/م.كلفن).

كما أوضح الحناوي عبد الله (2010) أن وجود الهواء الساكن داخل خلايا الطوب الرغوي يعمل كعازل طبيعي، حيث يُعرف الهواء بأنه من أقل المواد توصيلًا للحرارة (). لذلك فإن الطوب الرغوي يحقق أداءً حراريًا ممتازًا، خاصة في الجدران الخارجية المعرضة لأشعة الشمس المباشرة.

ثانيًا: المقاومة الحرارية (Thermal Resistance)

تعرف المقاومة الحرارية بأنها مقلوب التوصيل الحراري، وتعبر عن قدرة المادة على مقاومة انتقال الحرارة. وتحسب من العلاقة:

$$R = \frac{t}{k}$$

فعلى سبيل المثال، جدار من الطوب الرغوي بسمك 0.2 م ومعامل توصيل حراري 0.12 واط/م.كلفن يمتلك مقاومة حرارية مقدارها:

$$R = \frac{0.2}{0.12} = 1.67 \text{ (م}^2\text{·كلفن/واط)}$$

وهذا يوضح تفوق الطوب الرغوي في العزل الحراري، خاصة في الأبنية التي تتطلب تقليل استهلاك الطاقة المستخدمة في التبريد أو التدفئة.

ثالثًا: السعة الحرارية (Specific Heat Capacity)

تبلغ السعة الحرارية النوعية للطوب الرغوي حوالي 0.8– 1.0 كيلوجول/كجم·كلفن، وهي قريبة من السعة الحرارية للخرسانة التقليدية، مما يساعده على امتصاص الحرارة خلال النهار وإطلاقها ببطء في الليل، فيحقق توازنًا حراريًا داخل المبنى.

وقد أكدت دراسة Sofi et al. (2016) أن الجدران المصنوعة من الطوب الرغوي تحافظ على درجة حرارة داخلية ثابتة تقل تقلباتها بنسبة 30% مقارنة بجدران الطوب الطيني في المناخات الحارة الجافة.

2.العزل الحراري في الأبنية:

من التطبيقات العملية للعزل الحراري بالطوب الرغوي استخدامه في الجدران الخارجية والأسقف المعرضة لأشعة الشمس.

وقد بينت دراسة العلي أحمد (2015) أن استخدام طبقة طوب رغوي بسماكة 10 سم في الجدران يمكن أن يخفض استهلاك الطاقة في أنظمة التكييف بنسبة 25–35% سنويًا.

كما أن معامل الانتقال الحراري الكلي (U-Value) لجدار من الطوب الرغوي بسمك 20 سم يبلغ حوالي 0.6 واط/م²·كلفن، في حين أن الطوب الأسمنتي التقليدي بنفس السمك يسجل قيمة 1.5 واط/م²·كلفن، مما يعني أن الطوب الرغوي يوفر عزلاً حراريًا مضاعفًا تقريبًا.

2-4-4 الخصائص الصوتية للطوب الرغوي:

1.امتصاص الصوت (Sound Absorption):

تُعزى قدرة الطوب الرغوي على امتصاص الصوت إلى مساميته العالية وبنيته غير المتجانسة التي تعمل على تشتيت الموجات الصوتية وتقليل انعكاسها.

وقد أوضحت دراسة McCarthy & Jones (2005) أن معامل امتصاص الصوت للطوب الرغوي عند الترددات المتوسطة (500–1000 هرتز) يتراوح بين 0.2 إلى 0.6، وهي قيمة تفوق معامل الامتصاص للطوب الطيني العادي (0.1 إلى 0.3).

كلما زاد حجم المسام المغلقة والمتصلة، تحسنت قدرة الطوب على امتصاص الضوضاء، مما يجعله مناسبًا للاستخدام في الأبنية السكنية والمدارس والمستشفيات التي تتطلب عزلًا صوتيًا عاليًا.

2.العزل الصوتي (Sound Insulation):

العزل الصوتي يشير إلى قدرة الجدار على منع انتقال الصوت من جهة إلى أخرى. ويُقاس عادة بمؤشر تقليل الصوت (Sound Reduction Index – SRI) بالديسيبل (dB).

تتراوح قيمة العزل الصوتي للطوب الرغوي بين 40 إلى 55 ديسيبل، تبعًا للسمك والكثافة. فكل زيادة بمقدار 100 كجم/م³ في الكثافة تؤدي عادة إلى ارتفاع العزل الصوتي بمقدار 2–3 ديسيبل تقريبًا.

بحسب دراسة Zhang et al. (2018)، فإن جدارًا من الطوب الرغوي بسمك 15 سم وكثافة 1000 كجم/م³ يحقق عزلًا صوتيًا يقارب 48 ديسيبل، وهو مناسب جدًا للمباني السكنية الحضرية.

وقد أوصى الحناوي عبد الله (2010) باستخدام الطوب الرغوي في الجدران الداخلية للمباني التجارية والمكاتب لتقليل انتقال الضوضاء بين الغرف، مع إمكانية دمجه بطبقات جبسية لزيادة الأداء الصوتي.–

3.تأثير الرطوبة والحرارة على الأداء الصوتي:

يتأثر الأداء الصوتي للطوب الرغوي بوجود الرطوبة داخل المسام، حيث تؤدي المياه إلى تقليل معامل امتصاص الصوت نتيجة إغلاق الفراغات الهوائية.
كما أن ارتفاع درجة الحرارة يزيد من سرعة انتشار الموجات الصوتية داخل المادة، مما يقلل جزئيًا من قدرة الامتصاص عند الترددات العالية.
ولذلك يُنصح دائمًا بالحفاظ على الطوب في حالة جافة واستخدام مواد تشطيب مانعة للرطوبة في البيئات الرطبة.

3.المزاوجة بين العزلين الحراري والصوتي:

من المميزات المهمة للطوب الرغوي أنه يحقق تكاملًا وظيفيًا بين العزل الحراري والصوتي. فالمسام الهوائية التي تقلل انتقال الحرارة هي نفسها التي تشتت الموجات الصوتية.

هذا التوافق يجعل الطوب الرغوي مادة مثالية للبناء المستدام الذي يجمع بين الراحة الحرارية والصوتية مع تقليل استهلاك الطاقة.

2-4-5 العوامل المؤثرة على خصائص الطوب الرغوي:

تتأثر الخصائص الميكانيكية والحرارية للطوب الرغوي بعدة عوامل مترابطة تشمل نوعية المواد الداخلة في تصنيعه، ونسب الخلط، وطريقة التحضير والمعالجة.

إن فهم هذه العوامل بدقة يُعد أمرًا أساسيًا لضمان إنتاج طوب رغوي يتمتع بخفة الوزن، ومتانة كافية، وعزل حراري وصوتي ممتاز.

فيما يلي عرض تفصيلي لأهم العوامل المؤثرة على خصائص الطوب الرغوي:

1. نوع الأسمنت المستخدم:

يُعد نوع الأسمنت من أهم العوامل التي تحدد مقاومة الطوب الرغوي ومتانته على المدى الطويل و

غالبًا ما يُستخدم الأسمنت البورتلاندي العادي (OPC) في إنتاج الطوب الرغوي نظرًا لسرعة تفاعله مع الماء وتكوينه لبلورات هيدرات سيليكات الكالسيوم (C-S-H) التي تمنح العجينة تماسكها.

وقد أوضحت دراسة الحناوي عبد الله (2010) أن استخدام أسمنت بورتلاندي مقاوم للكبريتات (SRC) في البيئات الرطبة أو المالحة يُحسن من مقاومة التآكل ويزيد عمر الطوب، خاصة في التربة المالحة.

بينما أشارت دراسة Kearsley (2010) إلى أن استبدال جزء من الأسمنت بمواد بوزولانية مثل رماد الفحم (Fly Ash) أو الميكروسيليكا (Silica Fume) بنسبة 10-20% يؤدي إلى تحسين البنية المجهرية وتقليل المسامية بنسبة تصل إلى 15%.

كما أن استخدام الأسمنت منخفض الحرارة (Low Heat Cement) يُقلل من إجهادات الانكماش الحراري أثناء تصلب الطوب، مما يقلل التشققات السطحية ويحسن المتانة.

2. نوع المادة الرغوية (Foaming Agent):

تُعتبر المادة الرغوية المكون الأساسي الذي يميز الطوب الرغوي عن الخرسانة التقليدية، إذ تحدد شكل وخصائص الفقاعات الهوائية داخل العجينة.

تنقسم المواد الرغوية إلى نوعين رئيسيين:

1. رغوات بروتينية (Protein-Based Foams):

تُصنع من مواد طبيعية مثل مشتقات الدم أو البروتين الحيواني، وتتميز بفقاعات صغيرة الحجم وثابتة نسبيًا.

وتُستخدم لإنتاج طوب رغوي عالي الجودة يتمتع بمسام مغلقة وخواص ميكانيكية جيدة.

أشارت دراسة العلي أحمد (2015) إلى أن الطوب المصنع بالرغوة البروتينية يمتلك مقاومة ضغط أعلى بنسبة 15–25% مقارنة بالرغوات الصناعية.

2. رغوات صناعية (Synthetic Foams):

تُنتج من مواد كيميائية سطحية (Surfactants) تعتمد على البولي أميدات أو السلفونات، وتتميز بسهولة التحضير وانخفاض التكلفة.

لكنها تُكوّن فقاعات أكبر وأقل ثباتًا، مما يزيد من المسامية المفتوحة ويُضعف بعض الخواص الميكانيكية.

وقد خلصت دراسة McCarthy & Jones (2005) إلى أن ثبات الرغوة وسرعة اختلاطها مع العجينة الأسمنتية عاملان حاسمان في تحديد جودة الطوب، وأن الرغوة المستقرة ذات الفقاعات الصغيرة تضمن توزيعًا متجانسًا للهواء داخل المادة وبالتالي أداءً أفضل.

3. نسبة الماء إلى الأسمنت (Water/Cement Ratio):

تُعد نسبة الماء إلى الأسمنت من أكثر العوامل تأثيرًا في مقاومة الطوب الرغوي وكثافته.

فزيادة كمية الماء تؤدي إلى زيادة سيولة الخلطة، لكنها ترفع المسامية بعد التصلب بسبب تبخر الماء الزائد.

أظهرت دراسة Neville (2012) أن النسبة المثالية للماء إلى الأسمنت في الخلطات الرغوية تتراوح بين 0.35 – 0.45، حيث تحقق توازنًا بين التشغيلية والمقاومة.

وإذا تجاوزت النسبة 0.5، تنخفض مقاومة الضغط بأكثر من 20% نتيجة ضعف التماسك الداخلي.

كما أن تقليل نسبة الماء دون المستوى المطلوب يؤدي إلى عدم تجانس الخلطة وصعوبة توزيع الرغوة، مما يسبب تكتلات هوائية كبيرة تقلل من المتانة.

ولذلك، يُنصح دائمًا بضبط هذه النسبة تجريبيًا بناءً على نوع الرغوة وكثافة الخلطة المطلوبة.

4. المعالجة (Curing Conditions):

تُعتبر المعالجة من أهم المراحل في إنتاج الطوب الرغوي لأنها تحدد معدل تفاعل الأسمنت مع الماء وتكوين مركبات التماسك.

تُستخدم ثلاث طرق رئيسية للمعالجة:

1. المعالجة بالماء (Water Curing):

تُعد الطريقة التقليدية الأكثر شيوعًا، وتُساهم في رفع مقاومة الضغط بنسبة تتراوح بين 10–20% مقارنة بالعينات غير المعالجة.

أوصت دراسة الحناوي عبد الله (2010) بأن تمتد المعالجة المائية لمدة لا تقل عن 7 أيام في درجة حرارة معتدلة.

2. المعالجة بالبخار (Steam Curing):

تُستخدم هذه الطريقة لتسريع زمن التصلب وتحسين التماسك الداخلي.

وقد بينت دراسة Kearsley (2010) أن المعالجة بالبخار عند درجة حرارة 60–80°C لمدة 12 ساعة تزيد مقاومة الضغط بنسبة تصل إلى 25% مقارنة بالمعالجة التقليدية.

3. المعالجة بالهواء (Air Curing):

وهي طريقة اقتصادية لكنها تؤدي إلى تصلب غير متجانس خاصة في المناطق الحارة والجافة، مما قد

يؤدي إلى تشققات سطحية وانخفاض مقاومة الانحناء.

5. تأثير الإضافات الكيميائية والمعدنية:

أولاً: الإضافات الكيميائية

تشمل الملدنات الفائقة (Superplasticizers) والمسرعات والمبطئات.

تُستخدم الملدنات الفائقة لزيادة التشغيلية دون إضافة ماء إضافي، مما يحسن مقاومة الضغط.

وقد أثبتت دراسة Sofi et al. (2016) أن استخدام الملدنات بنسبة 0.5% من وزن الأسمنت يمكن أن يرفع مقاومة الضغط بنسبة 15% ويحسن توزيع الرغوة.

ثانيًا: الإضافات المعدنية

تشمل الرماد المتطاير، الميتاكاؤولين، والسيليكا فيوم.

هذه المواد تُحسن من الكثافة الميكروية للمصفوفة الإسمنتية وتقلل المسامية.

كما أن الرماد المتطاير يقلل من الكلفة ويحسن العزل الحراري بسبب طبيعته الزجاجية.

وقد أوصت دراسة Zhang et al. (2018) باستخدام نسبة 15% رماد متطاير لتحسين مقاومة الضغط والعزل الحراري مع الحفاظ على الوزن الخفيف.

6. تأثير درجة الحرارة والرطوبة أثناء التصنيع:

تلعب الظروف البيئية أثناء عملية الخلط والتصلب دورًا محوريًا في تحديد خصائص الطوب النهائي.

فارتفاع درجة الحرارة يزيد من سرعة تفاعل الإماهة، لكنه قد يؤدي إلى تبخر الماء بسرعة مفرطة، مما يقلل من تماسك العجينة.

بينما تؤدي الرطوبة العالية إلى تحسين الترطيب الداخلي وزيادة مقاومة الضغط على المدى الطويل.

وأوصت دراسة Sathish & Raj (2019) بأن تتم عملية التصلب في درجات حرارة بين 20–30°C ورطوبة نسبية لا تقل عن 70% للحصول على أفضل النتائج الميكانيكية.

4 الخصائص الحرارية والصوتية للطوب الرغوي:

يُعد الطوب الرغوي من أفضل مواد البناء التي تمتاز بقدرتها العالية على العزل الحراري والصوتي، مما جعله مادة مثالية في الأبنية السكنية والتجارية الحديثة، وخصوصًا في البيئات الحارة والرطبة. تعتمد هذه الخصائص بشكل أساسي على الكثافة، ونسبة المسامية، ونوع الرغوة المستخدمة، وحجم الفجوات الهوائية داخل البنية الخلوية للطوب.

تتراوح قيمة عزل انتقال الصوت (STC) للطوب الرغوي بين 40 إلى 55 ديسيبل تبعًا للكثافة والسمك.

الطوب بكثافة 600 كجم/م³ وسمك 15 سم يمتلك STC = 42

2-4-6 مقارنة بين الطوب الرغوي والطوب التقليدي:

تُعد المقارنة بين الطوب الرغوي والطوب التقليدي (الطيني والأسمنتي) خطوة أساسية لتحديد مدى ملاءمة كل نوع للاستخدامات المختلفة في البناء. وتشمل هذه المقارنة الخصائص الميكانيكية، العزل الحراري والصوتي، الكلفة، والاستدامة البيئية.

1.المقارنة من حيث القوة الميكانيكية:

- مقاومة الضغط

الطوب التقليدي الطيني: تتراوح مقاومته بين 5–15 ميجا باسكال، وتُستخدم عادة في الجدران الحاملة.
الطوب الأسمنتي: تتراوح مقاومته بين 10–25 ميجا باسكال.
الطوب الرغوي: تتراوح مقاومته بين 1–12 ميجا باسكال، حسب الكثافة ونوع الرغوة.
الاستنتاج: الطوب الرغوي أقل مقاومة ميكانيكية من الطوب التقليدي، ولكنه كافٍ للجدران غير الحاملة والجدران الداخلية في الأبنية الحديثة، خاصة عند استخدامه مع تعزيزات خفيفة أو في تصميمات لا تتطلب أحمال ثقيلة.

- مقاومة الشد والانحناء
  - الطوب التقليدي: هش، مقاومته للشد والانحناء منخفضة جدًا.
  - الطوب الرغوي: تتحسن مقاومته للشد والانحناء عند استخدام ألياف داخلية أو رغوة متجانسة، ما يزيد من متانة الجدران ضد التشقق.

2.المقارنة من حيث العزل الحراري والصوتي:

- العزل الحراري
- الطوب الطيني: معامل التوصيل الحراري 0.35–0.5 واط/م.كلفن.
- الطوب الأسمنتي: 0.5–1 واط/م.كلفن.
- الطوب الرغوي: 0.08–0.3 واط/م.كلفن.

الاستنتاج: الطوب الرغوي متفوق بشكل كبير في العزل الحراري، مما يقلل استهلاك الطاقة في التدفئة والتبريد بنسبة قد تصل إلى 30–50%.

- العزل الصوتي

الطوب الطيني: 35–45 ديسيبل لعزل الصوت.

الطوب الأسمنتي: 40–50 ديسيبل.

الطوب الرغوي: 40–55 ديسيبل، مع قدرة عالية على امتصاص الصوت عند المسام الصغيرة والمتجانسة.

الاستنتاج: الطوب الرغوي يقدم أداءً ممتازًا في تقليل الضوضاء وتحسين الراحة السمعية داخل المباني.

3.المقارنة من حيث الكلفة:

- الطوب الطيني: منخفض التكلفة مبدئيًا، لكن زيادة الحاجة لعزل حراري قد تزيد التكلفة الإجمالية للمبنى.
- الطوب الأسمنتي: متوسط التكلفة، لكنه أثقل ويزيد الحمل على الأساسات.
- الطوب الرغوي: تكلفة إنتاجه أعلى من الطوب الطيني التقليدي، لكن انخفاض الوزن يقلل الحاجة للأساسات الثقيلة، ويخفض استهلاك الطاقة على المدى الطويل، ما يجعل التكلفة الكلية للمبنى متوازنة ومستدامة اقتصاديًا.

4.المقارنة من حيث الاستدامة البيئية:

- الطوب الطيني: استهلاك عالي للطاقة في الحرق وإطلاق ثاني أكسيد الكربون.
- الطوب الأسمنتي: إنتاج الأسمنت يستهلك طاقة عالية ويطلق كميات كبيرة من CO_2.
- الطوب الرغوي: يمكن استخدام مواد بديلة مثل الرماد المتطاير والميكروسيليكا، مما يقلل الأثر البيئي، ويتميز بخفة الوزن التي تقلل استهلاك الوقود في النقل وتقليل الأحمال على الهياكل.

الاستنتاج: الطوب الرغوي خيار أكثر استدامة وملائم للمباني الصديقة للبيئة، خاصة عند دمجه مع مواد بوزولانية ومواد إعادة تدوير.

5.الاستنتاج العام من المقارنة:

- الميكانيكية: الطوب التقليدي أقوى، لكن الطوب الرغوي كافٍ للعديد من التطبيقات الحديثة.
- العزل الحراري والصوتي: الطوب الرغوي متفوق بشكل كبير.
- الكلفة: الطوب الرغوي أعلى مبدئيًا، لكنه يقلل الكلفة الكلية للبناء.
- الاستدامة البيئية: الطوب الرغوي أكثر صداقة للبيئة ويمكن تحسينه باستخدام مواد بديلة.

2-4-7 مكونات الطوب الرغوي:

يتكون الطوب الرغوي من المكونات التالية:

الإسمنت: يُعد العنصر الأساسي الذي يمنح الخرسانة الرغوية قوتها وترابطها. يُستخدم عادةً الأسمنت البورتلاندي العادي لضمان التماسك المطلوب.

الماء: يُضاف بكميات محددة لضبط تفاعل الأسمنت وتكوين العجينة الخرسانية. يؤثر على سيولة الخرسانة وسهولة صبها.

المواد الرغوية: تُضاف لإنشاء فقاعات هوائية داخل الخليط، مما يقلل الكثافة ويزيد من خصائص العزل. قد تكون مواد كيميائية خاصة أو رغوة طبيعية أوفلين.

الرمل الناعم (اختياري): يُستخدم في بعض الخلطات لتحسين مقاومة الخرسانة وزيادة متانتها. يجب أن يكون نظيفًا وخاليًا من الشوائب لضمان جودة الخليط.

الإضافات الكيميائية (اختيارية): تُستخدم لتحسين خصائص الخرسانة مثل مقاومة الماء أو زيادة الليونة. تساعد في ضبط زمن التصلب وتعزيز المتانة.

2-4-8 طرق تصنيع الطوب الرغوي:

يتم تصنيع الطوب الرغوي من خلال الخطوات التالية:

1. تحضير الخليط الإسمنتي: يتم خلط الإسمنت مع الماء للحصول على عجينة إسمنتية.
2. إنتاج الرغوة: يتم تحضير الرغوة باستخدام مواد رغوية خاصة، ثم تُدمج مع الخليط الإسمنتي.
3. صب الخليط في القوالب: يُصب الخليط في قوالب مخصصة ويُترك ليتصلب.
4. التجفيف والمعالجة: يتم تجفيف الطوب الرغوي ومعالجته للحصول على الخصائص المطلوبة.

2-4-9 مميزات الطوب الرغوي:

- خفة الوزن: يحتوي على فقاعات هوائية تقلل كثافتها مقارنة بالخرسانة التقليدية، مما يقلل من الأحمال على الهيكل الإنشائي.
- عزل حراري ممتاز: توفر مقاومة عالية لانتقال الحرارة، مما يقلل من استهلاك الطاقة في المباني.
- عزل صوتي فعال: تحد من انتقال الضوضاء بفضل تركيبها الخلوي. تُستخدم في المباني السكنية والتجارية لتحقيق بيئة أكثر هدوءًا.
- سهولة الصب والتشكيل: يمكن ضخها بسهولة في الأماكن الضيقة والفراغات دون الحاجة إلى معدات معقدة. تتكيف مع الأشكال المختلفة وتستخدم في تسوية الأرضيات والعزل.
- مقاومة للحريق والرطوبة: لا تتأثر بسهولة بالعوامل البيئية القاسية. تحافظ على خصائصها في الظروف الرطبة والجافة.
- صديقة للبيئة: تُساهم في تقليل استهلاك المواد الثقيلة مثل الحصى. تقلل من استهلاك الطاقة بفضل خصائصها العازلة.

2-4-10 عيوب الطوب الرغوي:

مقاومة منخفضة للضغط: أقل متانة من الخرسانة التقليدية، لذا تُستخدم في التطبيقات غير الإنشائية. تُستخدم كطبقات تسوية وعزل بدلاً من الهياكل الحاملة.

انكماش منخفض: لا تتعرض لتشققات كبيرة مقارنة بالخرسانة التقليدية. تحافظ على شكلها واستقرارها بعد الجفاف.

الفصل الثالث

البرنامج العملي لإنتاج واختبار الطوب الخفيف (EPS Concrete):

الفصل الثالث

البرنامج العملي لإنتاج واختبار الطوب الخفيف (EPS Concrete):

3-1مقدمة:

يتناول هذا الفصل الشق العملي من البحث، والذي يهدف إلى إنتاج طوب خفيف الوزن ذو خصائص عزل حراري جيدة باستخدام حبيبات الفلين (البولي ستايرين الممدد) كمادة مالئة خفيفة، مع استخدام خليط من الأسمنت البورتلاندي والجبس كمواد رابطة. تم تفصيل خواص المواد المستخدمة، نسب الخلط، طرق التصنيع داخل المعمل، عملية المعالجة، وصولاً إلى الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية التي تم إجراؤها على العينات لتقييم كفاءتها.

3-2 المواد المستخدمة (Materials):

لضمان جودة الطوب المنتج، تم اختيار المواد الأولية بعناية وتم توزينها بدقة باستخدام ميزان رقمي حساس كما هو موضح في العمل المعملي. شملت الخلطة المواد التالية:

صورة (1.3): توضح المواد المستخدمة في انتاج الطوب الرغوي

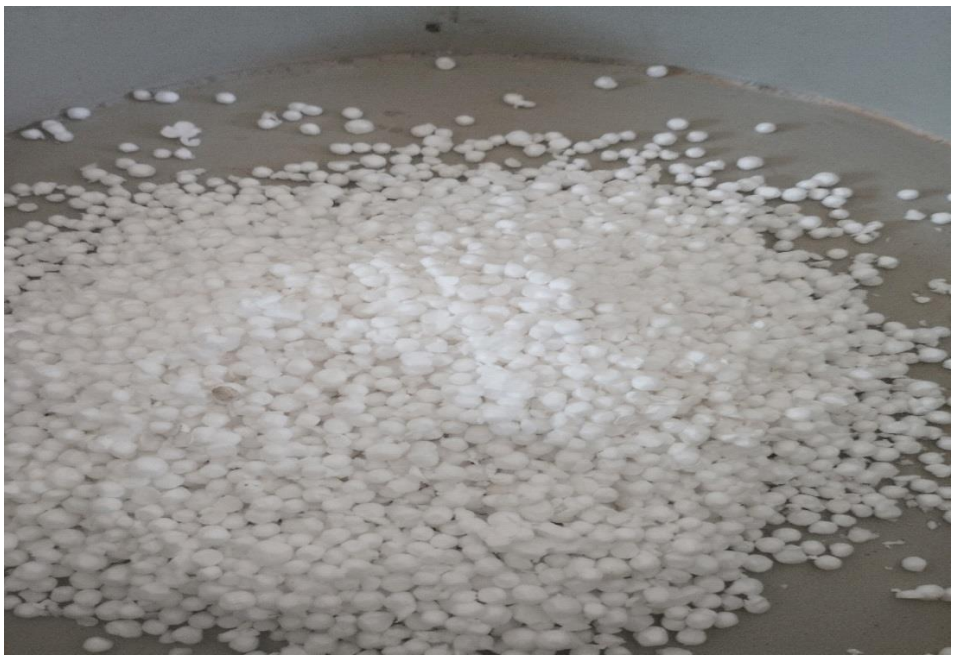
3-2-1 الأسمنت (Cement):

تم استخدام الأسمنت البورتلاندي العادي (OPC) كمادة رابطة أساسية. يعمل الأسمنت على توفير المقاومة الميكانيكية (مقاومة الضغط) للطوب بعد إتمام عملية الإماهة (Hydration).

صورة (2.3) توضح كمية الإسمنت

3-2-2 حبيبات الفلين / البولي ستايرين (Polystyrene/Styrofoam Beads):

هي المادة الأساسية المسؤولة عن تقليل الكثافة الكلية للطوب ومنحه خصائص العزل الحراري والصوتي. تتميز هذه الحبيبات (الظاهرة باللون الأبيض في الصور) بخفة وزنها الشديدة وبنيتها الخلوية المغلقة التي تمنع امتصاص الماء بشكل كبير.

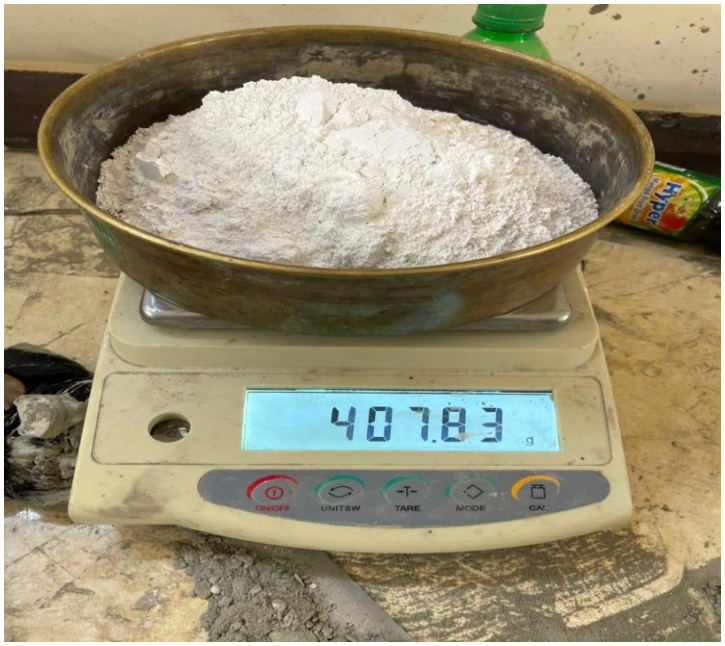


صورة(3.3) :توضح حبيبات الفلين المبشور

3-2-3 الجبس (Gypsum):

تمت إضافة الجبس (كبريتات الكالسيوم) إلى الخلطة لأهداف محددة، أهمها:

- تسريع زمن الشك الابتدائي (Initial Setting Time) للقوالب، مما يسمح بفك القوالب بشكل أسرع.
- تحسين التماسك الأولي للخلطة ومنع الانفصال الحبيبي (Segregation) لحبيبات الفلين الخفيفة التي تميل للطفو على السطح.
- تقليل الانكماش (Shrinkage) الذي قد يحدث أثناء الجفاف.



صورة (4.3) : توضح الجبس المستخدم

3-2-4 الماء (Water):

تم استخدام ماء شرب نظيف وخالٍ من الشوائب العضوية والأملاح الضارة، وذلك لإتمام التفاعل الكيميائي للمواد الرابطة (الأسمنت والجبس) ولتوفير قابلية التشغيل (Workability) اللازمة لصب الخلطة في القوالب.

صورة (5.3) توضح ماء الخلط

3-3 نسب الخلط (Mix Proportions)

تعتبر نسب الخلط العامل الحاسم في تحديد الخواص النهائية للطوب. للوصول إلى التوازن الأمثل بين خفة الوزن (كثافة منخفضة) والمقاومة الميكانيكية، تم تصميم [خلطات مختلفة.

تم تثبيت حجم القالب ليكون الحجم المرجعي، وتم التعبير عن نسب المواد المضافة بناءً على الوزن أو الحجم.

نسبة الماء إلى المواد الرابطة (W/B Ratio): تم تحديدها بعناية لضمان عدم حدوث نزف (Bleeding) أو طفو لحبيبات الفلين.

نسبة الجبس إلى الأسمنت:تم استخدام الجبس كنسبة استبدال جزئي من الأسمنت (مثلاً: 10%، 15%، 20%).

محتوى الفلين:تم تحديده حجمياً لضمان الوصول إلى الكثافة المستهدفة.

الوزن الجاف =800	ماء (0.45 * وزن الاسمنت)	جبس (10%)	إسمنت(90%)	الفلين−800=R	الفلين(g)	%الفلين
800	321	79	713	792	8	1%
800	316	78	702	780	20	2%
800	314	78	698	776	24	3%
800	311	77	691	768	32	4%
800	308	76	684	760	40	5%

جدول(3.1) : يوضح نسب خلط مختلفة تم تجربتها

4-3 القوالب المستخدمة (The Molds)

تم استخدام قوالب معدنية صلبة لضمان دقة الأبعاد الهندسية للطوب المنتج ومنع أي تشوه أثناء الصب أو الجفاف.

صورة (6.3) : توضح القوالب المستخدمة

أبعاد القالب (الداخلية): الطول 20 cm ، العرض 10cm ، الارتفاع 5cm

حجم العينة الواحدة (Volume):

$$V = 20 * 10 * 5 = 1000 \ cm^3$$

قبل البدء بعملية الصب، تم تنظيف القوالب المعدنية جيداً وطلاء أسطحها الداخلية بطبقة رقيقة جداً من الزيت (Mold Release Agent) لمنع التصاق الخلطة الأسمنتية بالجدران وتسهيل عملية فك القوالب (Demolding) دون الإضرار بحواف العينات.

3-5 طريقة إنتاج الطوب (Production Method):

تم اتباع منهجية دقيقة في الخلط لضمان تجانس المكونات وتوزيع حبيبات الفلين بشكل متساوٍ داخل المصفوفة الأسمنتية. تمت الخطوات كالتالي:

3-5-1 الوزن والتحضير:

تم وزن جميع المواد الأولية (الأسمنت، الجبس، الفلين، والماء) بدقة باستخدام الميزان الحساس وتجهيزها في أوعية منفصلة.

صورة (7.3) :توضح الميزان الحساس المستخدم

3-5-2 الخلط الجاف (Dry Mixing):

تم خلط الأسمنت والجبس معاً بشكل جاف حتى التجانس التام والوصول إلى لون موحد.

3-5-3 إضافة الماء (Wet Mixing):

تم إضافة الماء تدريجياً إلى خليط (الأسمنت والجبس) مع الخلط المستمر لتكوين عجينة أسمنتية متجانسة وخالية من التكتلات.

3-5-4 إضافة الفلين (Adding EPS Beads):

تمت إضافة حبيبات الفلين في المرحلة الأخيرة من الخلط. تم تقليب العجينة مع الفلين بلطف لضمان تغليف كل حبيبة فلين بالعجينة الأسمنتية، مع الحذر من الخلط العنيف الذي قد يؤدي إلى تكسير الحبيبات أو انفصالها.

3-5-5 الصب في القوالب (Casting):

تم سكب الخلطة داخل القوالب المعدنية (المجهزة مسبقاً) على طبقات.

صورة (8.3) توضح صب الخلطة في القوالب

3-5-6 الدمك (Compaction):

نظراً لخفة وزن الخلطة، تم استخدام الدمك اليدوي الخفيف (الطرق اللطيف على جوانب القالب) لإخراج فقاعات الهواء الكبيرة المحبوسة (Air Voids) وتسوية السطح العلوي، مع تجنب الاهتزاز الشديد الذي قد يجعل الفلين يطفو على السطح.

3-5-7 تسوية السطح (Finishing):

تم استخدام مسطرة معدنية لتسوية السطح العلوي للطوب ليكون مطابقاً لارتفاع القالب تماماً .

صورة (9.3) : توضح تسويه السطح

3-5-8 المعالجة (Curing):

تعتبر المعالجة خطوة حيوية لضمان اكتمال تفاعل الإماهة للأسمنت والحصول على أقصى مقاومة ممكنة وتجنب التشققات.

1. الشك الابتدائي وفك القوالب:

بفضل وجود الجبس الذي يسرع من عملية الشك، تم ترك العينات في القوالب لمدة [مثلاً 24 ساعة] في درجة حرارة المعمل العادية. بعد تصلبها الأولي، تم فك القوالب بحذر.

2. طريقة المعالجة: نظراً لاحتواء الطوب على الفلين المكشوف أحياناً على السطح، تم تجنب الغمر الكامل في أحواض المياه القوية. بدلاً من ذلك، تم رش العينات برذاذ الماء بلطف وتغطيتها بأغطية بلاستيكية (Plastic Sheets) لمنع تبخر الرطوبة الداخلية، وتُركت لتُعالج لفترات قياسية مدتها 60 يوما لتجهيزها لمراحل الاختبار.

3-5-9 دفن العينات :

تم دفن 6 عينات في تربة رطبة مالحة لاختبار مدى مقاومة الطوب الرغوي للاملاح .

صورة (10.3) توضح العينات اثناء الدفن

صورة (11.3) توضح إستخراج العينات من التربة

صورة (12.3) توضح شكل العينات بعد الاستخراج

الفصل الرابع

الاختبارات ومناقشة النتائج

الفصل الرابع

الاختبارات المعملية ومناقشة النتائج

4-1 مقدمة:

يتناول هذا الفصل عرضاً مفصلاً للنتائج التي تم الحصول عليها من البرنامج العملي، والذي يهدف إلى دراسة وتقييم أداء الطوب الرغوي عند استخدامه في بيئة قاسية تتمثل في "التربة الرطبة المالحة". تم تحليل البيانات الناتجة عن اختبارات التربة واختبارات الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للطوب الرغوي، قبل وبعد التعرض للظروف البيئية المحددة، لمقارنة الأداء واستخلاص الاستنتاجات.

4-2 التقييم البصري واختبار التزهير (Efflorescence):

عند الفحص البصري للعينات بعد استخراجها وتجفيفها، لوحظ ظهور بقع بيضاء بنسبة [متوسطة] على السطح الخارجي، وهو ما يعرف بظاهرة التزهير نتيجة هجرة الأملاح المذابة وتبلورها على السطح.

لوحظ وجود تشققات دقيقة (Micro-cracks) على حواف العينات نتيجة الضغط الداخلي الناتج عن تبلور أملاح الكبريتات.

صورة (1.4) توضح شكل الطوبة بعد استخراجها من الدفن

4-3 الخصائص الأساسية للطوب الرغوي (قبل التعرض للتربة):

تم إجراء اختبارات مرجعية (Control Tests) على عينات الطوب الرغوي قبل دفنها أو تعريضها للتربة الرطبة المالحة لتكون معياراً للمقارنة:

رقم العينات	وزن العينات المرجعية (g)	حجم المكعبات (cm^3)	الكثافة (cm^3\g)	الحمل المسلط (KN)	مقاومة الضغط (Mpa)
.1	696.70	1000	0.697	29.867	1.493
.2	658.12	1000	0.658	24.682	1.234
.3	769.35	1000	0.769	46.743	2.337
.4	770.44	1000	0.770	42.858	1.905
.5	766.67	1000	0.766	47.252	2.363
.6	618.38	1000	0.618	22.985	1.149

الجدول (4.1) : يوضح وزن العينات المرجعية

الكثافة الجافة: يتم إيجاد متوسط الكثافة من القانون التالي

$$p = \frac{M}{V}$$

حيث أن:

P: الكثافة

m: الكتلة (بالجرام)

v: الحجم (بالسنتميتر)

$$\text{متوسط الكثافة} = \frac{\text{مجموع الكثافة}}{\text{عددها}}$$

$$\text{متوسط الكثافة} = \frac{4.278}{6} = 0.713\ cm^3\backslash g$$

سجلت العينات متوسط الكثافة الجافة مقدار [0.713] $cm^3\backslash g$

مما يؤكد خفة وزن المادة مقارنة بالطوب التقليدي.

مقاومة الضغط (Compressive Strength):

$$\text{متوسط المقاومة} = \frac{\text{مجموع المقاومات}}{\text{عدد المقاومات}}$$

$$\text{متوسط المقاومة} = \frac{10.181}{6} = 1.7\ Mpa$$

أظهرت العينات المرجعية (عند عمر 60 يوماً) مقاومة ضغط متوسطة بلغت {1.7} ميجا باسكال.

4-4 نتائج اختبارات الطوب الرغوي في التربة الرطبة المالحة:

يمثل هذا القسم جوهر البحث، حيث تم تقييم أداء العينات بعد تركها في التربة الرطبة المالحة لفترات زمنية مددها (60 يوماً).

4-4-1 اختبار التغير في الوزن والامتصاص:

هذا الاختبار مهم جدا لتحديد نسبة امتصاص الطوب لرطوبة وذلك من خلال قياس الفرق بين وزن العينات وهي جافة وقبل الدفن في التربة المالحة الرطبة ووزنها بعد الدفن لحساب التغير في الوزن .

رقم العينات	وزن العينات قبل الدفن (g)	وزن العينات بعد الدفن (g)	نسبة امتصاص العينات للرطوبه من التربة(%)
1	683.02	710.07	3.81%
2	706.47	796.50	12.74%
3	785.57	907.87	15.56%

4	628.50	632.12	0.57%
5	579.75	608.23	4.91%
6	573.60	593.36	3.4%
المجموع	**3956.91**	**4248.15**	**40.99%**

(الجدول 4.2 يوضح وزن العينات والتغير في الوزن والامتصاص)

ويتم حساب نسبة الامتصاص من المعادلة :

$$\text{نسبة الامتصاص} = \frac{Ws - Wd}{Ws} * 100$$

حيث ان :

Ws : وزن العينة بعد الدفن

Wd : وزن العينة قبل الدفن

$$\text{نسبة الامتصاص} = \frac{4248.15 - 3956.91}{4248.15} * 100 = 6.85\%$$

لوحظ زيادة في وزن العينات بعد تعرضها للتربة الرطبة المالحة بنسبة 6.85 % خلال أول 60 يوماً.

هذه الزيادة لا تعود فقط لامتصاص الماء، بل أيضاً لترسب بلورات الأملاح (مثل كبريتات الصوديوم أو المغنيسيوم) داخل المسام الشعرية للطوب.

4-4-2 اختبار مقاومة الضغط (بعد التعرض للأملاح والرطوبة):

يهدف هذا الاختبار إلى تحديد مدى تأثر مقاومة الضغط للعينات الطوب الرغوي بعد التعرض للأملاح والرطوبة ، وذلك من خلال مقارنة مع العينات المرجعية ، وتكون أهمية هذا الاختبار في تقيم متانة الطوب وقدرتها على التحمل في البيئات الرطبة أو المالحة،وبالتالي تحديد مدى صلاحيتها للاستخدام في التربة الرطبة المالحة .

تم كسر العينات بعد استخراجها من التربة المالحة في الأعمار المحددة، وكانت النتائج كالتالي:

رقم العينات	وزن العينات الرطبة (g)	مقاومة الضغط(بعد التعرض التربة المالحة الرطبة) (Mpa)	الحمل المسلط (KN)
.1	683.02	1.589	31.771
.2	796.50	1.471	29.415
.3	907.87	2.141	42.821
.4	628.50	1.092	21.835
.5	608.23	0.868	16.480
.6	593.36	0.732	14.595
المجموع	**4217.45**	**7.893**	**156.917**

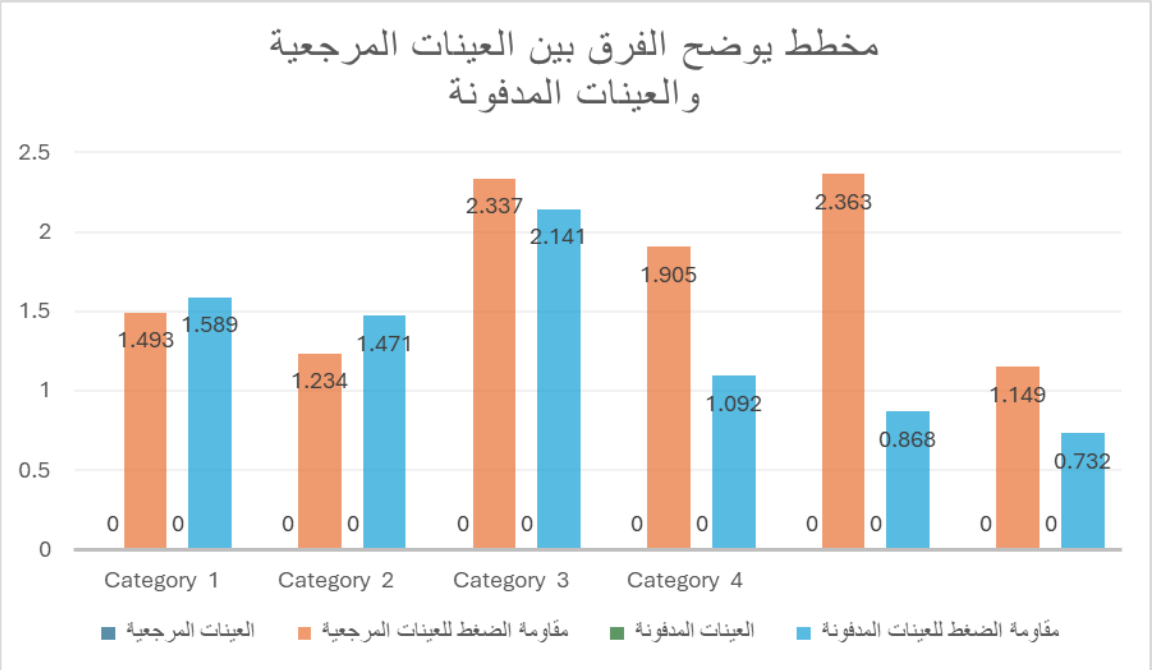
(الجدول 4.3 يوضح مقاومة الضغط للطوبة بعد التعرض للتربة المالحة الرطبة)

4-4-3 مقارنة بين العينات المرجعية والعينات المدفونة (من ناحية مقاومة الضغط):

رقم العينات	وزن العينات المرجعية (g)	مقاومة الضغط (Mpa)	وزن العينات المدفونة(g)	مقاومة الضغط (Mpa)
.1	696.70	1.493	683.02	1.589
.2	658.12	1.234	796.50	1.471
.3	769.35	2.337	907.87	2.141
.4	770.44	1.905	628.50	1.092

.5	766.67	2.363	608.23	0.868
.6	618.38	1.149	593.36	0.732
المجموع	**4279.66**	**10.181**	**4217.45**	**7.893**

الجدول (4.4) : يوضح مقازنة مقاومة الضغط للعينات المرجعية والعينات المدفونة



4-5 مناقشة وتحليل النتائج:

من خلال استعراض النتائج السابقة، يتضح أن الطوب الرغوي أظهر أداء مقبولا في بيئة التربة الرطبة المالحة ، لكنه تأثر بعدة عوامل أهمها الرطوبة والأملاح ، مما أدى أدى الى تغير في خواصه الفيزيائية والميكانيكية ، ويمكن تحليل أداء الطوب الرغوي في التربة الرطبة المالحة بناءً على العوامل التالية:

4-5-1 تأثير المسامية:

البنية الخلوية للطوب الرغوي تسمح بامتصاص الماء المالح، ولكن نظراً لأن العديد من مساماته "مغلقة" (Closed-cell structure)، فإن تغلغل الأملاح قد يكون أبطأ مقارنة بالطوب الأسمنتي العادي والطوب الاحمر ذي المسامات المفتوحة والمتصلة.

4-5-2 تأثير الأملاح على الهيكل الداخلي:

الفرق بين مقاومة الضغط للعينات المرجعية ومقاومة الضغط للعينات المدفونة:

لوحظ من (الجدول4.4) أن مقاومة الضغط في العينات المرجعية (الغير مدفونة) اكبر نسبياً من العينات التي تم دفنها ولايجاد الفرق بين المقاومتين

متوسط المقاومات = $\frac{\text{مجموع المقاومات}}{\text{عددها}}$

متوسط المقاومات للعينات المرجعية = $\frac{10.181}{6}$ = 1.69

متوسط المقاومات للعينات المدفونة = $\frac{7.893}{6}$ = 1.31

$$\Delta\, fc = {}^{*}100$$

$$\frac{fc.ref - fc.buried}{fc.ref}$$

$\Delta fc \equiv$ فرق المقاومات

fc.ref ≡ المرجعية الضغط مقاومة

Fc.buried ≡ المدفونة للعينات الضغط مقاومة

$$\Delta\, fc = \frac{1.69 - 1.31}{1.69} = 22.48\%$$

انخفاض مقاومة الضغط بنسبة [22.48]% يعزى إلى التفاعل الكيميائي بين الكبريتات ومركبات الأسمنت (مثل تكوين الإترينجايت Ettringite) والذي يؤدي إلى إجهادات شد داخلية تتسبب في تدهور المادة.

الفصل الخامس

الخلاصة والتوصيات

الفصل الخامس

الخلاصة والتوصيات

5-1 الخلاصة:

بناءً على المراجعة الأدبية، والبرنامج العملي لإنتاج الطوب الرغوي (باستخدام حبيبات الفلين والأسمنت والجبس)، والاختبارات المعملية التي أُجريت لتقييم أدائه في بيئة التربة الرطبة المالحة، يمكن استخلاص النتائج التالية:

- خفة الوزن: أثبت الطوب الرغوي المنتج خفة وزنه مقارنة بالطوب التقليدي، حيث سجل متوسط كثافة جافة بلغ 0.713 جم/سم^3.
- تأثير الرطوبة والأملاح على الوزن: عند تعريض عينات الطوب للتربة الرطبة المالحة لمدة 60 يوماً، لوحظت زيادة في وزن العينات بنسبة 6.85%، ويُعزى ذلك إلى امتصاص الماء بالإضافة إلى ترسب بلورات الأملاح داخل المسام الشعرية للطوب.
- تأثير البيئة القاسية على الهيكل الداخلي: أدى التعرض للتربة المالحة الرطبة إلى ظهور بقع بيضاء (ظاهرة التزهير) وتشققات دقيقة على حواف العينات، نتيجة الضغط الداخلي الناتج عن تبلور أملاح الكبريتات.
- تدهور المقاومة الميكانيكية: انخفض متوسط مقاومة الضغط للعينات من 1.7 ميجا باسكال (للعينات المرجعية) إلى 1.31 ميجا باسكال (بعد الدفن في التربة).
- سبب فقدان القوة: بلغت نسبة الانخفاض في مقاومة الضغط 22.48%، ويرجع ذلك إلى التفاعل الكيميائي بين الكبريتات ومركبات الأسمنت (تكوين الإترينجايت)، مما يولد إجهادات شد داخلية تتسبب في تدهور المادة.
- الجدوى الهندسية النهائية: على الرغم من قسوة الظروف البيئية، تمكن الطوب الرغوي من الاحتفاظ بنسبة 77.52% من قوته الأساسية، مما يجعله خياراً هندسياً مقبولاً في التربة الرطبة المالحة بشرط توفير عزل إضافي، ويفضل استخدامه في التطبيقات غير الحاملة للأحمال (Non-load bearing).

5-2 **التوصيات:**

من خلال الاستنتاجات المعملية والدراسات السابقة المضمنة في البحث، نوصي بالآتي لضمان كفاءة وديمومة الطوب الرغوي عند استخدامه في البناء، خصوصاً في البيئات الرطبة والمالحة:

- تطبيق طبقات العزل الهندسي: يُنصح بضرورة تطبيق طبقة عازلة أو دهان مقاوم للرطوبة على الطوب الرغوي عند استخدامه في التطبيقات الخارجية أو في التربة المالحة، وذلك لتقليل النفاذية المائية وحمايته من التدهور.
- تعديل نوع الأسمنت: للحصول على أداء أفضل ومقاومة أعلى في البيئات الرطبة أو المالحة، يُوصى باستخدام أسمنت بورتلاندي مقاوم للكبريتات (SRC) بدلاً من الأسمنت العادي، حيث يساهم ذلك في زيادة مقاومة التآكل وإطالة عمر الطوب.
- إضافة المواد المعدنية (البوزولانية): يُنصح باستبدال جزء من الأسمنت (بنسبة 10% إلى 20%) بمواد مثل الميكروسيليكا (Silica Fume) أو رماد الفحم (Fly Ash)، وذلك لتحسين البنية المجهرية، تقليل المسامية، وزيادة متانة الطوب.
- اختيار نوع الرغوة المناسب: في المناطق التي تتميز بالرطوبة العالية، يُفضل الاعتماد على الرغوات البروتينية (التي تصنع من مواد طبيعية) في الإنتاج بدلاً من الرغوات الصناعية، نظراً لتميزها بانخفاض معدل الامتصاص المائي وقدرتها على توفير مقاومة ضغط أعلى ومسام مغلقة.
- تحديد النطاق الإنشائي الأمثل: نظراً لأن مقاومته الميكانيكية أقل من الطوب التقليدي ولتأثره بالبيئات المالحة، يُوصى بقصر استخدام الطوب الرغوي على الجدران الداخلية غير الحاملة، والقواطع، وكطبقات للتسوية والعزل الحراري والصوتي.

المراجع :

الحناوي عبد الله. (2010). الخرسانة الرغوية :خصائصها وتطبيقاتها. دار الفكر العربي.

العلي أحمد "(2015) أثر الطوب الرغوي على الأداء الهيكلي للمباني "مجلة البناء والتشييد.

الزيود محمود" .(2018) الطوب الأسمنتي الرغوي في البناء الحديث دراسة مقارنة "أطروحة ماجستير، جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية.

مجلة الهندسة المدنية والعمارة. (2020). دراسات وأبحاث حول الطوب الأسمنتي الرغوي

.Khatib, J. M. (2010). *Materials for Sustainable Sites: A Complete Guide to the Evaluation, Selection, and Use of Sustainable Construction Materials

Zhang, S. (2016). *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery