Eurasian Journal of Theoretical and Applied Sciences (EJTAS)
Volume 1, Issue 1, 2025, Page No: 40-56
E-ISSN : 3062-3391
Website: https://eurasian-journals.com/index.php/etjas/index
www.easd-edu.com

دراسة خواص الخرسانة الخفيفة وإمكانية استخدامها بديلًا عن الطابوق المفرغ لبلاطات الأسقف باستعمال حبيبات البولسترين

يوسف عبد الله امحمد شمّاس [1*]، علي عبد الله الأحمر [2]
[2،1] قسم الهندسة المدنية، كلية العلوم التقنية - بني وليد، ليبيا

Study of the properties of lightweight concrete and its potential use as an alternative to hollow bricks for roof slabs using polystyrene granules

Yusef Abdolla Amhemmed Sammas [1*], Ali Abdullah Al-Ahmar [2]
[1,2] Civil Engineering Department, Collage of Technical Sciences - Bani Walid, Libya

*Corresponding author	yusefsam5@gmail.com	*المؤلف المراسل
Received: February 28, 2025	Accepted: April 13, 2025	Published: May 04, 2025

Abstract

The research summarizes the conduct of tests on lightweight concrete (lightened by the addition of polystyrene beads) in terms of density, compressive strength, weight, and absorption rate. All these tests are conducted on three mixes of lightweight concrete using polystyrene beads, and the best mixes are selected in terms of weight lightness and absorption rate. Consequently, the possible and available uses of this concrete are deducted, such as sloping layer works and the manufacturing of solid bricks as an alternative to hollow bricks. The research shows the possibility of using this type of concrete in the manufacturing of certain types of bricks used for ceiling slabs instead of hollow bricks to avoid water leakage and moisture storage within concrete ceilings, which results in problems. The research discusses part of these issues related to surface moisture and the possibility of avoiding them.

Keywords: Polystyrene; solid brick; Hollow brick.

الملخص

يتلخص البحث في أجراء اختبار علي الخرسانة الخفيف (المخففة بإضافة حبيبات البولسترين) وذلك من ناحية الكثافة ومقاومة الضغط والوزن ونسبة الامتصاص، تجري كل هذه الاختبارات علي ثلاث خلطات من الخرسانة، الخفيفة باستعمال حبيبات البولسترين ، ويتم اختيار افضل الخلطات من ناحية خفة الوزن ونسبة الامتصاص ،وبالتالي استنتاج الاستخدامات الممكنة والمتاحة لهذه الخرسانة مثل أعمال طبقة الميول وتصنيع طابوق مصمت بديلًا عن الطابوق المفرغ، أظهر البحث إمكانية استخدام هذا النوع من الخرسانة في تصنيع بعض أنواع الطابوق المستخدم لبلاطات الأسقف بدلًا من الطابوق المفرغ لتفادي تسرب وتخزين المياه والرطوبة داخل الأسقف الخرسانية، وما ينتج عنه من مشاكل، حيث ناقش البحث جزء من هذه المشاكل المتعلقة برطوبة الأسطح وإمكانية تفاديها.

الكلمات المفتاحية: حبيبات البولسترين، الطابوق المفرغ، الطابوق المصمت.

مقدمة:

نعلم أن تكنولوجيا البناء في تقدم ونمو متواصل وفي كل يوم تظهر لنا اكتشافات واختراعات جديدة بغرض تطوير كافة الوسائل والتقنيات التي نستخدمها في مختلف المجالات في الانشاءات أحد الموارد البيئية والمعروف

باسم البولسترين يعتبر من أهم هذه التقنيات المتداولة عالمياً والذي يلعب دوراً مهماً جداً في المنشآت والأعمال الهندسية.

تضمن هذا البحث إنتاج ودراسة خواص خرسانة جديدة خفيفة الوزن، حيث تم استخدام نسب مختلفة من المواد الأولية الداخلة في إنتاج هذا النوع من الخرسانة .يهدف البحث إلى إنتاج خرسانة خفيفة الوزن ذات عزل حراري جيد يمكن استخدامها في تصنيع الوحدات البنائية مع التركيز على الجانب الاقتصادي في إنتاج هذا النوع من الخرسانة من مواد متوفرة وبأقل كلفة ممكنة، حيث تم استخدام حبيبات البو لسترين المعروف محليا (الفوم) كنسبة من وزن الإسمنت لغرض تحسين خاصية العزل الحراري .فحوصات ميكانيكية وحرارية أجريت على العديد من النماذج وبأعمار مختلفة وتم التوصل الي نتائج منطقية سيرد مناقشتها في هدا البحث.

شكل (1): حبيبات البولسترين المستخدمة.

خرسانة البولسترين

خرسانة البولي سترين هي أحد أنواع الخرسانة خفيفة الوزن وهي مادة بناء مركبة، وتشتمل على الإسمنت وحبيبات البولسترين المعالجة بمادة البولي فينيل من أجل ربط الإسمنت مع حبيبات رغوة البولسترين الممدد (EPS) بالإضافة إلى مادة مضافة ماصة للهواء (SDO)، ويتم استخدام حبيبات البولسترين بدلًا من الرمل.

فوائد خرسانة البولسترين

1. تقليل الاثقال الميتة في الأجزاء البنائية وما يتبعه من تقليل كلفة الاسس او تحديد ابعاد الاجزاء الانشائية وتقليل الضغط العمودي او الجانبي لقوالب الصب.
2. توفير عزل حراري وامتصاص صوتي اجود مقارنة بالخرسانة الاعتيادية.
3. زيادة معامل التخميد وبذلك تقل الاضرار الناجمة عن الزلازل او العصف او غير ذلك من التأثيرات الديناميكية.
4. سهولة التثقيب والحفر والقطع او أية عملية تسهل تثبيت المسامير او امرار الأسلاك الكهربائية.

خواص البولسترين الفنية

1. الكثافة لا تزيد في الخلطة الخرسانية عن (200-300كجم\م^3) طبقا لكميه الاسمنت المضافة
2. السمك لا يقل عن 5 سم
3. مقاومه الانضغاط 20.39 N\mm^2
4. مقاومه الثني 20.28 N\mm^2
5. العزل الحراري 0.07 K تندرج الي 0.102 طبقا للكثافة
6. عزل الصوت 21 DB
7. نفاديه الماء21mm تندرج الي 10.1 طبقا للكثافة

1- مشكلة الدراسة

سوف تناقش هذه الدراسة مشكلة بدأت في الضهور وهي احتباس كمية كبيرة من المياه داخل بلاطات السقف، بسب سوء استخدام ووضع الطابوق الطيني المفرغ وما ينتج عنه من مشاكل الرطوبة وفي بعض الاحيان أحمال زائدة على البلاطة.

2- الهدف من الدراسة

1. يهدف هدا البحث الي ايجاد تأثير عدة متغيرات على خواص الخرسانة عند اضافة نسب من مادة البولسترين بدلًا من الركام الخشن ودراسة هذه المتغيرات مثل الوزن والكثافة وامتصاص الماء والعزل الحراري والصوتي، وأجرا بعض الاختبارات المتوفرة لزيادة المعرفة لهذا النوع من الخرسانة.
2. كما يهدف البحث الي دراسة إمكانية استخدام هدا النوع من الخرسانة الخفيفة الوزن كبديل للطابوق الأحمر المفرغ في بلاطات السقف.
3. معرفة بعض الخيارات الممكنة لإضافة المخلفات الصناعية للبولسترين للخرسانة للمحافظة على البيئة وأعاده التدوير.

3- الدراسات السابقة

سوف يتم مراجعة واستعراض بحوث ومصادر لها علاقة مباشرة بهذا المجال، ومن ثم استنتاج اوجه التشابه والعثور على ثغرات وتوصيات يمكن العمل عليها بعد مناقشتها، للإنتاج جوانب علمية لم تغطيها مثل هذه البحوث، حيث تعتبر مراجعة الدراسات السابقة جزء مهم من طريقة العمل لهذا البحث.

دكر يوسف خلف يوسف في بحثه بعنوان (أنتاج خرسانة جديدة خفيفة الوزن مع دراسة بعض خصائصها الميكانيكية والحرارية)، إن إضافة حبيبات البولسترين إلى مكونات الخرسانة له تأثير مباشر على الكثافة والتي لها ارتباط وثيق بجميع خصائص الخرسانة، حيث تنخفض الكثافة بازدياد نسبة البولسترين إلى الاسمنت (P/C) وفي هذا البحث تم إنتاج خرسانة خفيفة الوزن تراوحت كثافتها ضمن المدى (1213 – 1493كغم /م^3) باستخدام نسبة (P/C) تتراوح ما بين (6 – 67.2 ٪) من وزن السمنت في الخلطة.

في عام2004 تمكن الباحثان (Bing Chen & Juanyu Liu) من تصنيع خرسانة بولي ستارين ذات كثافة (800-1800) كغم/م^3 وبمقاومة انضغاط (10-25) ميكا باسكال، حيث قاما باستبدال جزئي للركام الخشن والركام الناعم بحبيبات البولسترين، توصل الباحثان الى ان استخدام مادة (Fume silica Fine) يزيد من الربط بين حبيبات البولسترين وعجينة الاسمنت ويؤدي الى زيادة مقاومة الانضغاط، أما اضافة الالياف الحديدية فيقلل من انكماش الجفاف.

جدول (1): مقارنة بين ركام البولي ستايرين وأنواع الركام الأخرى.

نوع الركام	الكثافة كغم\م^3
نشارة الخشب	320-128
بيرلايت	200-160
بورسلينايت	1400-900
لايتاغ	1200-1000
الطين المتمدد	1000-800
سكوريا	880-480
فيرميكولايت	160
قشور الرز	700-500
بولي ستايرن	20-10

وفي دراسة بعنوان (استخدام مخلفات البولي ستايرين في الخرسانة) للدكتور أياد عبد الرزاق مطر والدكتور عبد القادر اسماعيل عبد الوهاب، لمناقشة دراسة تأثير إضافة مخلفات الفلين الصناعي والموجودة كفضلات صناعية مضرة للبيئة على بعض الخواص الميكانيكية للخرسانة كمقاومة الانضغاط ومعايير الكسر والكثافة.

حيث تم في هذا البحث دراسة تأثير إضافة مخلفات الفلين الصناعي كنسبة مئوية من وزن السمنت على بعض خواص الخرسانة كمقاومة الانضغاط، مقاومة الشد بالانشطار والكثافة. استخدمت أربع خلطات تحتوي على نسب مختلفة من الفلين كما وأنتجت خلطة مرجعية لغرض المقارنة، أجريت فحوصات مقاومة الانضغاط والشد بالانشطار بأعمار مختلفة وكانت هذه الأعمار (7، 28 و90) يومًا كما وتم فحص كثافة النماذج الخرسانة.

أشارت النتائج المختبرية المتحصلة من هذه الدراسة أن إضافة الفلين الصناعي إلى الخرسانة الاعتيادية تؤدي إلى تقليل الكثافة وتقليل مقاومة الانضغاط ومقاومة الشد بالانشطار.

وحيث توصلت الدراسة إلى النتائج التالية:

1. إضافة مادة البولسترين تؤدي إلى خفض المقاومة.
2. العلاقة طردية بين المقاومة والعمر.
3. يمكن استخدام مادة البولسترين في المناطق التي لا تحتاج إلى مقاومة انضغاط عالية كالقواطع البنائية غير المحملة بالأثقال.
4. العلاقة طردية بين المقاومة والكثافة.
5. استخدام المخلفات الصناعية الضارة بعد تدويرها في مجالات مفيدة.

في أطروحة مقدمة بعنوان **"خواص الخرسانة الخفيفة في العزل الحراري والمعوقة الصوتية "**مقدمة من قبل **ندى فوزي الجيلاوي**، تضمنت بحثًا تجريبيًا تم فيه تحضير خلطات تجريبية من الخرسانة باستخدام حبيبات البوليسترين ذات كثافة قليلة تتراوح بين **400–350)كغم/م³(**، حيث وفرت عزلًا حراريًا جيدًا ومقاومة صوتية. ثم تم التوصل إلى النتائج التالية:

الكثافة:

- توجد علاقة خطية عكسية وثيقة بين نسبة حبيبات البوليسترين إلى الأسمنت **(P/C)**والكثافة.
- كما توجد علاقة خطية طردية بين الكثافة ومحتوى الأسمنت، حيث تزداد الكثافة بزيادة محتوى الأسمنت.
- تم إيجاد علاقة مشتركة بين الكثافة ونسبة الحبيبات إلى الأسمنت.

مقاومة الانضغاط ومعامل الكسر:

- تتراوح مقاومة الانضغاط لخرسانة البوليسترين في هذا البحث بين **(3.34–0.62)ميجا باسكال،** وتزداد بزيادة الكثافة ونسبة الأسمنت إلى الماء.
- تعتمد المقاومة بصورة رئيسية على نوع الركام المستخدم.

معامل التوصيل الحراري:

- يتراوح معامل التوصيل الحراري لخرسانة البوليسترين بين **(0.34–0.11)واط/م.كلفن.**
- توجد علاقة وثيقة بين كثافة البوليسترين ومعامل التوصيل الحراري، حيث يزداد المعامل بزيادة الكثافة

وفي ورقة بحثية للأستاذة الدكتورة **لبنى سليمان بن طاهر** بعنوان **"دراسة مقاومة الشد والضغط للخرسانة المعززة بألياف من مخلفات الأكياس البلاستيكية"**، حيث لوحظ من نتائج فحص الكثافة وجود تباين بسيط في الكثافة بسبب خفة وزن ألياف البولي بروبيلين والألياف البلاستيكية المضافة مقارنة بالأنواع الأخرى من الخرسانة، على الرغم من أنها أُضيفت بنسبة من وزن الأسمنت.
تمت دراسة تأثير إضافة ألياف مخلفات الأكياس البلاستيكية إلى الخرسانة المخلوطة بمواد محلية على مقاومة الشد والانضغاط بنسب مختلفة من وزن الأسمنت. ومن هذه الدراسة، يُستنتج أن إضافة حبيبات البوليسترين يقلل من وزن الخرسانة بشكل كبير.

4- طريقة العمل

المواد المستخدمة

الاسمنت

استخدم الاسمنت البورتلاندي العادي محلي من انتاج مصنع البرج زليتن التابع للشركة الاتحاد العربي، وهو من الأنواع المتوفرة بالسوق المحلي وهو مستوفي لكل المواصفات المعتمد عليها لضبط جودة الاسمنت وفقا للمواصفات الليبية البريطانية (2991-128) BS

الرمل: استخدم الرمل الطبيعي المتوفر بمحاجر مصراتة والمستخدم في كل عمليات الانشاء محليًا ، حيث أجريت علية اختبارات سابقة تبين التدرج الحبيبي والوزن النوعي علي اعتباره ركام ناعم.

جدول (2) الوزن النوعي للرمل.

الاختبارات	النتائج	حدود المواصفة الليبية
الوزن النوعي	**2.66**	**2.7-2.5**
وزن وحدة الحجوم	**1690.86 كجم\م^3**	**1800-1400 كجم\م^3**
نسبة الماء للمواد المضافة	**0.0298**	**لا تزيد عن 4%**
نسبة الامتصاص	**0.0028**	**لا تزيد عن 5%**

ماء الخلط

ثم استخدام ماء صالح للشرب عذب مياه النهر الصناعي في اعداد الخلطات، وثم استخدام الماء نفسه في إنضاج ومعالجة مكعبات الخرسانة عن طريق الغمر.

حبيبات البولسترين

استخدام حبيبات البولسترين المعروفة محلي (الفوم او الخفاف الابيض او الفلين) وهي حبيبات كروية الشكل متجانسة الشكل قطرها (5مم) ومعالجة بإضافة بوليمرات (EIA) وبكثافة تتراوح بين (200-450 كغم\م^3)، وهي من أنتاج شركة الوفاق المهني المساهمة - ليبيا.

الجدول: (3) التحليل المنخلي لحبيبات البولسترين وفقا للشركة المصنعة.

فتحة المنخل (mm)	نسبة المار
10	%100
5	89.20
4.75	91،70
2.50	20.10
1.5	1.00
1	0.09

شكل (2) حبيبات البوليسترين المستخدمة في الخلطات التجريبية.

القوالب المستخدمة

تم استخدام قوالب بلاستكية مكعبة الشكل بأبعاد (15*15*15 سم) لغرض صب النماذجالمطلوبة لإجراء فحوصات (مقاومة الانضغاط، الكثافة، ونسبة الامتصاص) ،وثم تصنيع قالب بأبعاد (16*40*25 سم) لغرض عمل نموذج بشكل الياجور الأحمر المستعمل لبلاطات الأسقف لغرض إجراء اختبار العزل الحراري (الموصلية) ونسبة الامتصاص.

الشكل (3) القوالب المستخدمة.

طريقة خلط الخرسانة:

تم خلط المواد يدويًا وذلك لضمان تجانس الخلط حيث إن استخدام الخلاط الكهربائي يؤدي إلى تطاير حبيبات البولسترين بسبب انخفاض كثافتها نسبة إلى مكونات الخليط الأخرى.

ويمكن إيجاز خطوات الخلط بما يلي:

1. إضافة الإسمنت إلى الرمل مع استمرار عملية الخلط لحين الوصول إلى لون متجانس للخليط.
2. إضافة كمية مناسبة من ماء الخلط لترطيب الخليط.
3. إضافة حبيبات البولسترين مع الخلط المستمر.
4. إضافة الكمية المتبقية من ماء الخلط مع استمرار عملية الخلط لحين تجانس الخليط.

شكل (4): طريقة خلط الخرسانة.

صب ورص الخرسانة:

1. طلاء الأوجه الداخلية للقوالب بطبقة من الزيت.
2. وضع الخليط الخرساني داخل القوالب بتلات طبقات متساوية في السمك.
3. رص الخليط باعتماد أسلوب الدك اليدوي وذلك باستخدام قضيب معدني لتعذر استخدام الهزاز الكهربائي الذي يؤدي إلى انفصال حبيبات البولسترين.

الإنضاج:

بعد الانتهاء من عملية الصب تركت النماذج في القوالب لمدة 24 ساعة في مكان مضلل وبعيد عن تيارات الهواء لتفادي عملية التبخر السريع، ثم فك القوالب باستخدام الهواء المضغوط وغمر النماذج في الماء لحين موعد الفحص، مع مراعاة وضع بعض الاثقال حيث لوحظ طفو بعض النماذج نظرًا لخفة وزنها.

شكل (5): طريقة معالجة وإنضاج العينات.

5- الأعمال المعملية

ان الهدف من أجراء التجارب المعملية هو الحصول على خلطة قياسية يمكن الاستفادة منها للعزل الحراري وعلى درجة أقل لنفاذية الماء ونسبة الامتصاص، والأهم من ذلك هو خفة الوزن بالمقارنة بالخرسانة العادية.

تصميم الخلطات

لا توجد طريقة قياسية لتصميم الخلطات الخرسانية الخفيفة المضاف اليها ركام ناعم (ألياف بلاستكية - مخلفات صناعية بلاستكية – البولسترين) لإنتاج خرسانة، ويهدف هدا البحث لتصميم خلطة خرسانية ذات كثافة منخفضة مع المحافظة على مقاومة انضغاط معقولة يمكن استخدامها في أعمال العزل وغيرها من الاجزاء التي لا تحتاج لمقاومة الاحمال، ويمكن تحديد الضوابط التصميمية بما يلي:

1. يجب ان لا تتجاوز الكثافة (800كم \م^3) لكي تكون الخرسانة ضمن موصفات الخرسانة الخفيفة المستخدمة للعزل الحراري.
2. يجب ان تكون مقاوم الانضغاط ضمن المدي (0.7 – 7 ميكا باسكال)
3. نسبة امتصاص الماء لا تتجاوز (23%) من الوزن.

ثم الاعتماد على نسب خلط حجمية وليست وزنية نظرا لخفة وزن البولسترين، مع زيادة نسبة البولسترين في كل مرة، مع تبات وزن الاسمنت والرمل ونسبة الماء إلى الاسمنت ومتابعة ذلك يأجرا اختبارات الهبوط في كل مرة للخلطة للوصول الي افضل تجانس للخرسانة.

حساب النسبة الوزنية للبولسترين المضاف

الجدول (3) نسب الخلطات التجريبية.

رقم الخلطة	نسبة الخلط			الحجم م^3		
1	1 اسمنت	1 رمل	6 بولسترين	0.15 م^3	0.15 م^3	0.90 م^3
2	1 اسمنت	1 رمل	4 بولسترين	0.15 م^3	0.15 م^3	0.60 م^3
3	1 اسمنت	1 رمل	3 بولسترين	0.15 م^3	0.15 م^3	0.45 م^3

التجارب والاختبارات المعملية

استخراج النسبة المئوية للبولسترين من وزن الاسمنت

$$\frac{\text{البوليسترين}}{\text{الاسمنت}} * 100$$

الخلطة 1رمل 1اسمنت 6 بولسترين

$$\frac{0.059 * 6}{8.2} * 100 = 4.3\%$$

الخلطة1رمل 1اسمنت 4 بولسترين

$$\frac{0.059 * 4}{8.2} * 100 = 2.88\%$$

الخلطة1رمل 1اسمنت 3 بولسترين

$$\frac{0.059 * 3}{8.2} * 100 = 2.16\%$$

فحص مقاومة الانضغاط:

تم إجراء اختبارات مقاومة الانضغاط وبعمر 28 يوم وبواقع ثلاثة نماذج لكل عمر وباستعمال مكعبات معمل الخرسانة بكلية العلوم التقنية بني وليد، وثم تعبئة ومعالجة وإنضاج مكعبات الاختبار بشركة افق المدينة للخرسانة الجاهزة، واجريت اختبارات مقاومة الانضغاط بمعامل كلية الهندسة المدنية لجامعة بني وليد وكانت النتائج كما بالجدول (4).

جدول (4) مقاومة الخرسانة للانضغاط

العينة	الوزن kg	الحجم m^3	الكثافة $kg\backslash m^3$	أقصى حملKN	مقاومة الضغط $n\backslash mm^2$
M1	1.830	0.15	542.22	5.7	0.25
M1	1.950	0.15	577.78	10.6	0.50
M1	1.910	0.15	565.92	14.5	0.6
M2	2.655	0.15	786.67	44.2	2.0
M2	2.600	0.15	770.37	41.2	1.8
M2	2.690	0.15	797.04	38.7	1.5
M3	4.485	0.15	1328.88	127.2	5.7
M3	4.520	0.15	1339.26	123.5	5.5
M3	4.525	0.15	1340.74	122.5	5.4

شكل (6) فحص مقاومة الانضغاط.

حساب مقاومة الشد

مقاومة الشد للخرسانة تهمل عند التصميم الانشائي، لاكن هناك بعض المنشآت التي يجب أخذ قوة الشد في عين الاعتبار مثل المنشآت المائية (الخزانات) حيث تتسرب المياه عند حدوت أي شروخ ولو بسيطة، هنا يجب ان نهتم بقوة الشد لمعرفة إمكانية العزل المائي للأسطح الخرسانية.

تحسب مقاومة الشد الغير مباشر باستخدام المعادلة التالية:

$$ft = \frac{2 * p}{l * b}$$

حيث:

Ft: مقاومة الشد البرازيلي(n/mm^2)

P: أقصى حمل (n)

L: طول المكعب (mm)

B: عرض المكعب(mm)

جدول: (5) حساب قوة الشد الغير مباشر

العينات	نسبة الخلط	المساحة(mm2)	أقصى حمل (n)	مقاومة الشد n/mm2
M1	**6-1-1**	**22500**	**5700**	**0.5067**
M1	**6-1-1**	**22500**	**10600**	**0.942**
M1	**6-1-1**	**22500**	**14500**	**1.2978**
M 2	**4-1-1**	**22500**	**44200**	**3.928**
M2	**4-1-1**	**22500**	**41200**	**3.662**
M2	**4-1-1**	**22500**	**38700**	**3.44**
M3	**3-1-1**	**22500**	**127200**	**11.306**
M3	**3-1-1**	**22500**	**123500**	**10.978**
M3	**3-1-1**	**22500**	**122500**	**10.889**

حساب الكثافة لكل عينة

$\text{الكثافة}=\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}=\text{kg/cm}^3$ ، $\rho = \frac{m}{v}$ kg/cm^3

$$\rho = \frac{1.830}{0.15^3} = 542.22\,\text{kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{1.950}{.0.15^3} = 577.92\,\text{kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{1.910}{0.15^3} = 565.92\,\text{kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{2.655}{0.15^3} = 786.67\,\text{kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{2.600}{0.15^3} = 770.37\,\text{kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{2.690}{0.15^3} = 797.04\,\text{kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{4.485}{0.15^3} = 1328.26\,\text{kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{4.520}{0.15^3} = 1339.26\,\text{kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{4.525}{0.15^3} = 1340.74\,\text{kg/m}^3$$

جدول: (6) حساب الكثافة لكل العينات

رقم العينة	الوزن kg	الحجم m^3	مقاومة الضغط	الكثافة$kg\m^3$
1	1.830	0.15	n\mm²	542.22
1	1.950	0.15	0.25	577.78
1	1.910	0.15	0.50	565.92
2	2.655	0.15	0.6	786.67
2	2.600	0.15	2.0	770.37
2	2.690	0.15	1.8	797.04
3	4.485	0.15	1.5	1328.88
3	4.520	0.15	5.7	1339.26
3	4.525	0.15	5.5	1340.74

اختبار نسبة امتصاص الماء لخرسانة البولسترين (W%)

تم إجراء فحص نسبة الامتصاص لعينتين من خرسانة البولسترين مع عينة من الياجور الأحمر المفرغ لاستخدامها لاحقاً، حيث تم قياس الوزن الرطب بعد إخراج النماذج من الماء مباشرا ثم تجفيفها بالفرن بدرجة حرارة (115C) ولمدة 24 ساعة لقراءة الوزن الجاف.

نسبة الامتصاص = ((الوزن الرطب – الوزن الجاف) / الوزن الجاف*100٪)

الشكل: (7) فرن التجفيف المستخدم معمل كلية العلوم التقنية بن وليد

العينة رقم (1)

Wt = وزن الخرسانة الكلي بعد وضعه في الماء

Ww = وزن الماء الممتص من خلال سطح الخرسانة

Wc = وزن الخرسانة الصافي بعد التجفيف العينه

$$wt = ww + wc$$

$$ww = wt - wc$$

$$ww = 4327 - 3811.5 = 515.5g$$

$$w\% \frac{ww}{wc} * 100$$

$$w\% = \frac{515.5}{3811.5} * 100 = 13.5\%$$

العينة رقم (2)

$$ww = 3114 - 2520.5 = 593.5g$$

$$w\% = \frac{ww}{wc} * 100$$

$$w\% = \frac{593.5}{2520.5} * 100 = 23.6\%$$

جدول (7) وزن العينة بعد وضعها في الفرن لمدت24ساعة في الفرن التجفيف.

العينة (1)	حجم الخلط 1.1.3	3811.5 جرام
العينة (2)	حجم الخلط 1.1.4	2520.5 جرام

جدول (8) وزن العينة بعد وضعها في الماء لمده 24ساعة.

العينة (1)	حجم الخلط 1.1.3	4327 جرام
العينة (2)	حجم الخلط 1.1.4	3114 جرام

اختبار الهبوط

ثم اجراء اختبار الهبوط للعينة المرجعية لخرسانة البولسترين للخلطة (1.1.4) وعند أضافة نسبة50% من وزن الاسمنت وتبين ان هبوط الخرسانة قليل جدا ويساوي (9مم)

شكل: (8) اختبار الهبوط لخرسانة البولسترين.

فحص معامل التوصيل الحراري

تم إجراء باستخدام جهاز قياس التوصيل الحراري (heat conduction apparatus) حيث يتم وضع النموذج بين قطبين يحتويان على الماء بدرجة حرارة معينة، وتتم عملية الفحص برفع درجة الحرارة على أحد الجانبين بمستوى حراري معين وقراءة درجة الحرارة على الجانب الأخر، تتم عملية تكرار الفحص لمستويين حراريين على الأقل، وبعد ذلك يتم احتساب معدل معامل التوصيل الحراري بموجب المعادلة التالية:

$$K = Q.\ L\ /\ A.(\Delta T)$$

ΔT) .معامل التوصيل الحراري (واط/م²K:

كمية الحرارة المنتقلة بين جانبي النموذج (واط)Q :

سمك النموذج (م)L :

مساحة مقطع النموذج (م²)A :

فرق درجة الحرارة بين جانبي النموذجΔT :

الواط: معامل التوصيل وليس درجة حرارة

الجدول: (9) حساب معامل التوصيل الحراري عند درجة (100م°)

العينة	C°	Q		ΔT	A	L	K
1	100	25		75	0.0225	0.05	0.740
2	100	28		72	0.0225	0.05	0.864
3	100	31		69	0.0225	0.05	0.998

الجدول: (10) حساب معامل التوصيل الحراري عند درجة (90م°)

العينة	C°	Q	ΔT	A	L	K
1	90	22	68	0.0225	0.05	0.718
2	90	23	67	0.0225	0.05	0.762
3	90	26	64	0.0225	0.05	0.902

6- دراسة خواص (الياجور الأحمر)

اختبار نسبة الامتصاص لطوبة الياجور المفرغ من خلال السطح والتجويف المفرغ w%

وزن العينة الياجور المفرغ بعد24ساعة من وضعه في فن التجفيف = 2065جرام

وزن العينة الياجور المفرغ بعد24ساعة من وضعه في الماء =2265جرام

Wt = وزن الكلي لطوبة الياجور المفرغ بعد وضعه في الماء

Ww = وزن الماء الممتص من خلال الياجور

Wc = وزن الياجور الصافي بعد التجفيف

$$wt = ww + wc$$

$$ww = wt - wc$$

$$ww = 2265 - 2065 = 200g$$

$$w\% = \frac{200}{2065} * 100 = 9.68\%$$

إيجاد الكثافة لمكعب الياجور المفرغ

وزن الياجورة =2.135كجم

ابعاد الياجورة للشكل المفرغ =ا (لطول*العرض*الارتفاع*4من الفرغات داخل الياجورة)

حجم الياجورة الصافي = حجم الكلي للياجورة – حجم الشكل المفرغ للياجورة (سم)

حجم الياجورة الكلي=15 *15*16*10^{-6}=0.0036 م^3

حجم الشكل المفرغ لطوبة الياجورة =6.9 *6*4*15*10^{-6}= 0.00248 م^3

حجم الياجورة الصافي =0.00248-0.0036=0.00112 م^3

الكثافة =$\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} = \frac{2.135}{0.00112}$=1906.25كجم\المتر المكعب

مقاومة الضغط لمكعب الياجور المفرغ

الجدول:(11) مقاومة الضغط للياجور الاحمر

العينة (1)	الوزنkg	kn	n/mm^2	الحجم	كثافة الياجور المفرغ
مكعب الياجور	$2.135kg$	53.8	4.2	16*15*15	$1906.25kg/m^3$

شكل: (9) اجراء اختبار الضغط لمكعب من الياجور

صناعة نموج بشكل (الياجور الأحمر)

ثم صناعة نموذج بنفس الابعاد الياجورة الاصلية لمقارنتها ومعرفة إمكانية استخدامها في بلاطات الأسقف، باستعمال الخلطة المرجعية.

الشكل: (10) صناعة نموذج الياجور من خرسانة البولسترين

مناقشة مشكلة تخزين الماء داخل بلاطات الأسقف

لوحظ في الآونة الاخيرة مشكلة إنشائية خطيرة، وهي تخزين كميات كبيرة من المياه بداخل فراغات الياجور، حيث أن وضع ورص الياجور يحتاج الي ايدي عاملة ماهرة، وفي بعض الاحيان يتهشم اثناء الصب مما يسبب في تعشيش للخرسانة وحدوث فتحات لا يمكن رؤيتها

في هدا البحث نقترح استبدال الياجور الأحمر بمكعبات من خرسانة البولسترين، او تعبئة فتحات الياجور المفرغ بهذه الخرسانة لتفادي هذه العيوب حيث اننا لم نلاحظ زيادة كبيرة للوزن.

الشكل: (11) عيوب رص ووضع الياجور

حساب كميات المياه التي يمكن ان تتسرب داخل الياجور

ثم حساب كمية المياه عن طريق ملء قطعة ياجور واحدة بالماء وحساب كمية الماء باللتر ووجد بسعة (8.368 لتر) ، وإذا اعتبرنا ان المتر مكعب من الياجور يساوي (32 قطعة) فإن كمية المياه المسربة حوالي (267.584 لتر\م^3 ياجور).

جدول: (12) مقارنة بين خرسانة البولسترين والياجور

اسم العينة	الوزنkg	الحجمcm3	الحمل الاقصى	مقاومة الضغط	الامتصاص	الكثافة kg/m3
خرسانة البولسترين	2.655	15*15*15	44.2	2.0	23.6	786.67
الياجور المفرغ	2.134	16*15*15	53.8	4.2	9.68	1906.25

من خلال المقارن بين الياجور الأحمر وخرسانة البولسترين تبين بان، خواص الياجور الأحمر أفضل من ناحية نسبة الامتصاص ومتقاربة من ناحية الوزن، أما من ناحية الكثافة فكانت كثافة خرسانة البولسترين اقل كثافة مما يعطي عزل حراري أفضل.

7- النتائج

1. **الكثافة:** من خلال مقارنة نتائج الفحص يمكن ملاحظة الارتباط الوثيق بين الكثافة ونسبة البولسترين إلـى الإسمنت حيث تنخفض الكثافة مع ازدياد نسبة البولسترين كما موضح فـي الجدول (4-6) المعلوم أن للكثافة تأثيرا مباشر على جميع الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة.
2. **مقاومة الضغط:** تزداد مقاومة انضغاط خرسانة البولسترين بانخفاض نسبة (p\c) كما يبين الجدول (4-4) حيث تـنخفض الكثافة مع ازدياد نسبة .مما يؤدي الى انخفاض مقاومة الانضغاط(p/c)
3. **نسبة الامتصاص:** تزداد مع ازديـاد نسـبة البولسترين وذلـك يعود إلى ازدياد نسبة الفراغات في الخرسانة مع ازدياد نسبة البولسترين كما مبين بالجداول (4-7) (4-8).
4. **التوصيل الحراري:** العلاقة بين التوصيل الحـراري ونسـبة البولسترين، يزداد معامل التوصيل الحراري بانخفاض نسبة البولسترين حيث يؤدي انخفـاض الفجـوات فـي الخرسانة إلى ازدياد معامل التوصيل الحراري مبن بالجداول (4-9 ، 4-10).
5. **مقاومة الشد:** تم الاستناد علي الدارسات السابقة واستخراج مقاومة الشد الغير مباشر بعد الحصول علي اقصي حمل من اختبارات مقاومة الضغط واستخدام معادلة مقاومة الشد البرازيلية المذكورة سابقا، وكانت النتائج بحدود (5067.0 -11.306) زكما مبين بالجدول.(4-5)

8- الاستنتاج

تم إجراء العديد من التجارب لغرض إيجاد خواص الخرسـانة المصنوعة من الاسمنت والرمل وحبيبات البولسترين، ومن خلال دراسة نتـائج الفحـص يمكن استنتاج ما يلي:

1. إن إضافة حبيبات البولسترين إلى مكونات الخرسانة له تأثير مباشر على الكثافة والتي لهـا ارتباط وثيق بجميع خصائص الخرسانة ، حيث تنخفض الكثافة بازدياد نسبة البولي ستايرين إلى الاسمنت وفي هذا البحث تم إنتاج خرسانة خفيفة الوزن تراوحت كثافتها ضمن المـدى (786.67- 1340.74) كغم\م^3 باستخدام نسبة تتراوح مـا بـين (2.88- 4.3 %) مـن وزن (p/c) الاسمنت في الخلطة.
2. يمكن الحصول على مقاومة انضغاط بعمر 28 يوم تتـراوح مـابين (2 -5.4n\mm^2 باستخدام نسبة (p/c) (% 2.88- 4.3) .ضمن المدى
3. إن إضافة حبيبات البولسترين إلى مكونات الخلطة الخرسـانية يـؤدي إلـى انخفاض نسـبة الامتصاص ، حيث تراوحت قيم نسبة الامتصاص في هذا البحث ما بين (3811.5 -2520.5 جرام).
4. بالإمكان تحسين خاصية العزل الحراري للخرسانة بإضافة حبيبات البولسترين إلى مكونات الخلطة الخرسانية حيث يمكن الوصل إلى قيم معامـل توصـيل حـراري تراوحت ما بين (0.718 – 0.998).
5. يمكن استعمال خرسانة البولسترين كبديل للياجور الأحمر في بلاطات الأسقف لتفادي تخزين المياه والرطوبة.

9- الخاتمة

لقد تناول هدا البحث بعض الخواص المهمة لخرسانة البولسترين ، حيث لم اتمكن من أجراء بعض الاختبارات الأخرى، بسبب عدم توفرها ومنها علي سبيل المثال العزل الصوتي ومقاومة الانحناء وغيرها.

حيث وجدث من خلال هذا البحث العديد من الاختبارات المطلوبة لتحسن خاصية هذا النوع من الخرسانة، وأن استخدام هذه الخرسانة سوف يفتح المجال لبناء منشآت بموصفات أفضل وبتكلفة ربما أقل وذلك بالاستمرار في البحث والتطوير في هدا المجال.

تبن من خلال هذه الدراسة أنه بالإمكان تصميم خلطات خرسانية حسب الحاجة فمثلاً، العزل الحراري قد يحتاج إلى نسبة قليلة من مادة البولسترين ويمكن زيادة هذه النسبة عند الحاجة لتخفيف الاحمال الميتة، وبالتالي لم نعد مقيدين بخلطات خرسانية ذات مواصفات ثابتة، وهذا بدوره سوف يقلل التكاليف إلى أكبر قدر ممكن.
اتضح لنا في هذه الدراسة الأبحاث في هذا المجال لاتزال مستمرة وهي ليست جديدة وهدا يعني أن الوصول إلى تصاميم ثابتة صعب بعض الشي، والمجال مفتوح للإبداع والاختراع في مجال الخرسانة الخفيفة.

قائمة المراجع:

1. **يوسف، يوسف خلف** .(2009) .إنتاج خرسانة جديدة خفيفة الوزن مع دراسة بعض خصائصها الميكانيكية والحرارية .
2. **انبية، خالد السائح؛ فنير، صابر التهامي؛ محمد، أسامة اللافي؛ هندر، معمر أحمد؛ فرج، معمر علي .** .(2021)دراسة تأثير إضافة الملدنات الفائقة على بعض الخواص الهندسية للخرسانة)ورقة علمية .(
3. **مطر، إياد عبد الرزاق** .(2017) .استخدام مخلفات البولي ستايرين في الخرسانة .
4. **روفا، فارس موسى** .(2010) .تأثير إضافة حبيبات مواد عازلة الحرارة إلى الخرسانة المستخدمة في البناء على الموصلية الحرارية ومقاومة الانضغاط .
5. **الجيلاوي، ندى** .(1997) .خواص الخرسانة الخفيفة بالإشارة إلى العزل الحراري والمعاوقة الصوتية .
6. **بن طاهر، لبنى سليمان** .(2018) .دراسة مقاومة الشد والضغط للخرسانة المعززة بألياف من مخلفات الأكياس البلاستيكية.