دراسة الخواص الميكانيكية والحرارية لإضافة البولسترين في الخرسانة

محمد إحسان فوزي عزيز[1]، محمد حسن الشاوش[2]، د. زيدان علي حتوش[3]
1 مهندس مدني، شركة الإنماء لإدارة المشاريع
2 مهندس مدني، شركة الإنماء لإدارة المشاريع
3 عضو هيئة تدريس، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة طرابلس

ملخص

يستدعي التطور العمراني والظروف الاقتصادية منذ الأزل إلى بحث الإنسان عن مواد بديلة رخيصة الثمن ومتوفرة محليا يسهل مناولتها وتقوم بحمايته من تقلبات الطقس المتغيرة. يهدف هذا البحث إلى فهم التغيرات المصاحبة لدمج مادة البولسترين بالخلطة الخرسانية كالتغيير في الكثافة ومقاومة الضغط والمقاومة الحرارية، حيث كانت هذه الدراسة مبنيّة على التجارب التي تضمنها الجانب العملي من اختبارات متعددة تحدد سلوك الخلطة ، منها اختبارات كالضغط والامتصاص والتشغيلية والكثافة والتوصيل الحراري ومنها ثم حساب استهلاك الطاقة ومعدلات التخفيض، وقد تم تلخيص الطريقة التي يتم بها إحلال أو استبدال الركام بمادة البولسترين .

حيث كانت قيم الإحلال بنسب ثابتة ومحددة، تم إختيارها لتخدم أهدافًا معينة في الظروف الطبيعية للمعمل لتحاكي النتائج بمخرجات قريبة من الواقع والمناخ المحلي بكثافة بولسترين= 15 كجم/م^3 وبقطر=2مم ، وبنسبة ثابتة من الماء إلى الأسمنت(w/c=0.45) واستبدال البولسترين من حجم الركام بنسب (eps=%0,20,30,40,50,60)، حيث تم معالجة الخرسانة على مرحلتين (7 أيام، 14 يومًا).

في البداية تمت مقارنة الكثافة بين كل من الخرسانة الاعتيادية و المضافة بالبولسترين وكان الفارق بينهما بنسبة 20%.

ثم تسجيل نتائج مقاومة الضغط لقيم الاستبدال المختلفة بأبعاد مكعبات (0.15×0.15×0.15 سم) وظهرت النتائج في داخل إطار الصلاحية التصميمية للخرسانة وتم اختيار نسبة البولسترين ب 60% والتي اعطت اجهاد ضغط يساوي 30Mpa. لتكون النسبة الأمثل التي أجري عليها باقي الاختبارات المعملية

وقد تم دراسة المقاومة الحرارية ومعدلات إنتقال الحرارة للخرسانة المصممة لعينات عدة بأبعاد إسطوانة (طول=8سم، قطر=10سم) وكانت قيمة العزل الحراري فيها (k=0.51W/m.k). وتم حساب الاحمال الحرارية لمبنى باستخدام خرسانة معزولة واخرى غير معزولة وكان التخفيض في الحمل الحراري بحدود 30% مما ينعكس اقتصاديا في استهلاك الطاقة الكهربائية

كلمات دالة: البولسترين-الخرسانة المرجعية الإعتيادية -عزل حراري-إجهادات خرسانية-الإحلال الجزئي-خلطة خرسانية-إستهلاك طاقة-مناولة-خواص ميكانيكية-الجدوى الاقتصادية.

مقدمة

تمثل هذه الدراسة واحدة من الدراسات التي تتعلق بتحسين خواص الخرسانة سواء الميكانيكية او غيرها ، وتهدف بالدرجة الاولى الى معرفة تأثير اضافة البوليسترين على خواص العزل الحراري للخرسانة . في هذا المجال تناول كيفية انتاج خرسانة خفيفة الوزن مع دراسة شاملة لخواصها الميكانيكية والحرارية، وبينت النتائج أن بزيادة نسبة البولسترين الى الاسمنت وصل التوصيل الحراري إلى 78% من الخلطة المرجعية في حين تقل مقاومة الضغط بعد 28 يومًا الى السدس من المرجعية وتقل الكثافة الى النصف تقريبا كما تناولت الدراسة تأثير الركام الخشن على الخواص الميكانيكية والفيزيائية ومن خلال 9 خلطات خرسانية تدرجت فيها الكثافة من 2335.67 كجم/م^3 الى 1400 كجم/م^3 والموصلية الحرارية انخفضت بنسبة 70% بالإضافة الى دراستين المتعلقة بإنتاج خرسانة خفيفة الوزن عن طريق الاحلال الجزئي للركام باستخدام مادة البولسترين والدراستين توصلتا الى انه بزيادة نسبة البولسترين الى الركام لنسب مختلفة من الماء إلى الإسمنت فان مقاومة الضغط انخفضت بنسبة 75% لكل من 7 ايام و28 يومًا في الدراستين في حين انخفضت الكثافة بنشبة 18% وكذلك الدراسة التي تتعلق بدراسة تأثير التكاليف المصاحبة لتركيب العازل على السمك الامثل، وبينت النتائج أنه كلما زادت كثافة البولسترين من 15 الى 22 كجم/م^3 قل السمك الامثل المطلوب من 6 سم الى 3.5 سم وانخفضت الموصلية .

واعتمدت هذه الدراسة كغيرها أسلوب منهجية التجارب المعملية في جزئها الاول بغرض ايجاد البيانات الدقيقة لنتائج الضغط والعزل الحراري وغيرها لتضمينها في الجزء الثاني المتعلق بحساب الحمل الحراري لعينة ببديلين الاول بدون عزل والثاني بالخليط الجديد .

نأمل ان تشكل هذه الدراسة مدخلا لاستخدام مواد بديلة بخواص تتماشى مع الظروف المناخية الموجودة وما تعانيه البيئة الليبية مما يسمي بالارتياح الحراري داخل المباني والعجز الكهربائي الذي امتد لسنوات، وفي مساهمة من البحاث لتطوير المواد الإنشائية من الناحية الميكانيكية والفيزيائية بمواد متوفرة محليا .

المواد المستخدمة

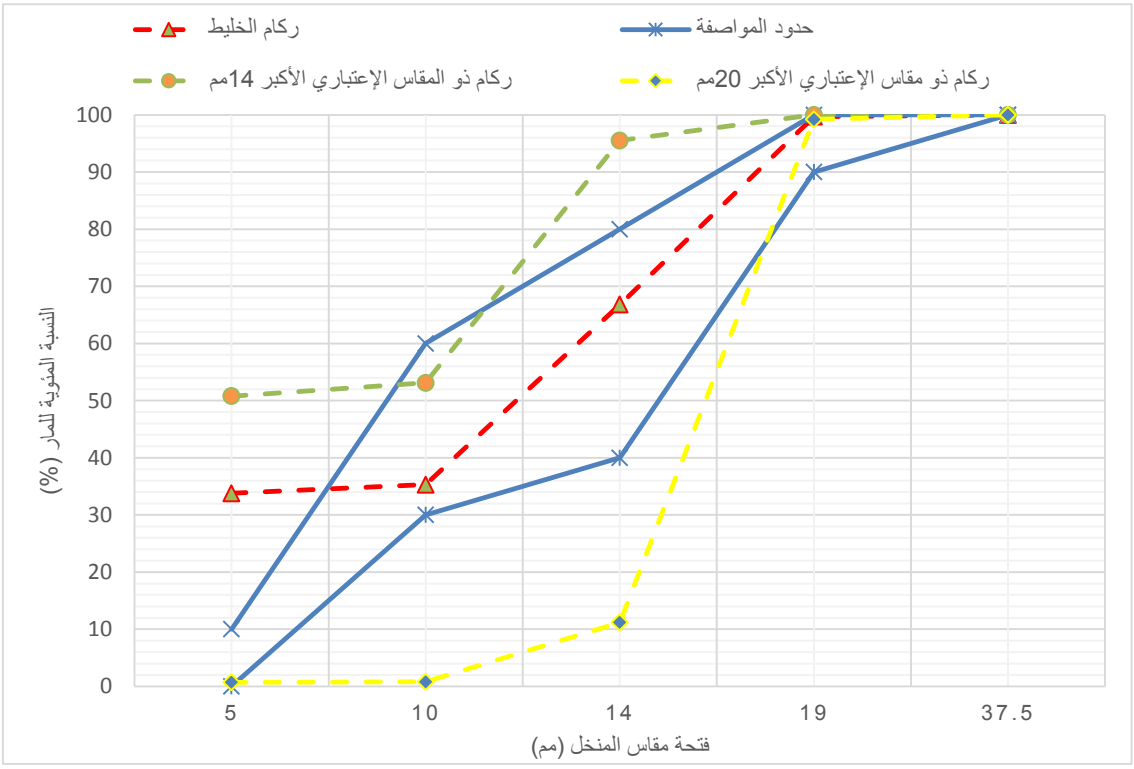
تم استخدام المواد المكونة للخرسانة وهي الاسمنت والركام بنوعيه والماء بالإضافة الى البولسترين والمادة المضافة بغرض خلط البولسترين بالخليط . تم استخدام الأسمنت البورتلاندي والجدول(1) يلخص الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت المستخدم . بالإضافة الى الركام الخشن المستخدم بثقل نوعي 2.65، وعدل امتصاص 0.3٪ ومعامل صفاء يساوي 2.45. حصى مكسورة بمقاسات 20 مم. يوضح الجدول (2) الخصائص الميكانيكية للركام الخشن المستخدم علاوة على ذلك ، والشكلان (1،2) يوضحان تحليل حجم الحبيبات للركام الخشن والناعم وكذلك ماء الخلط الصالح للشرب . تمت إضافة الملدن (SIKA viscocrete tempo-12) بجرعة (1٪) من أجل التعديل قابلية العمل، وتم استخدام بولسترين ذات مواصفات محددة سيتم تفصيلها في الفقرة القادمة لتركز الدراسة على تأثيرها على الخرسانة

جدول 1: الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للأسمنت المستخدم

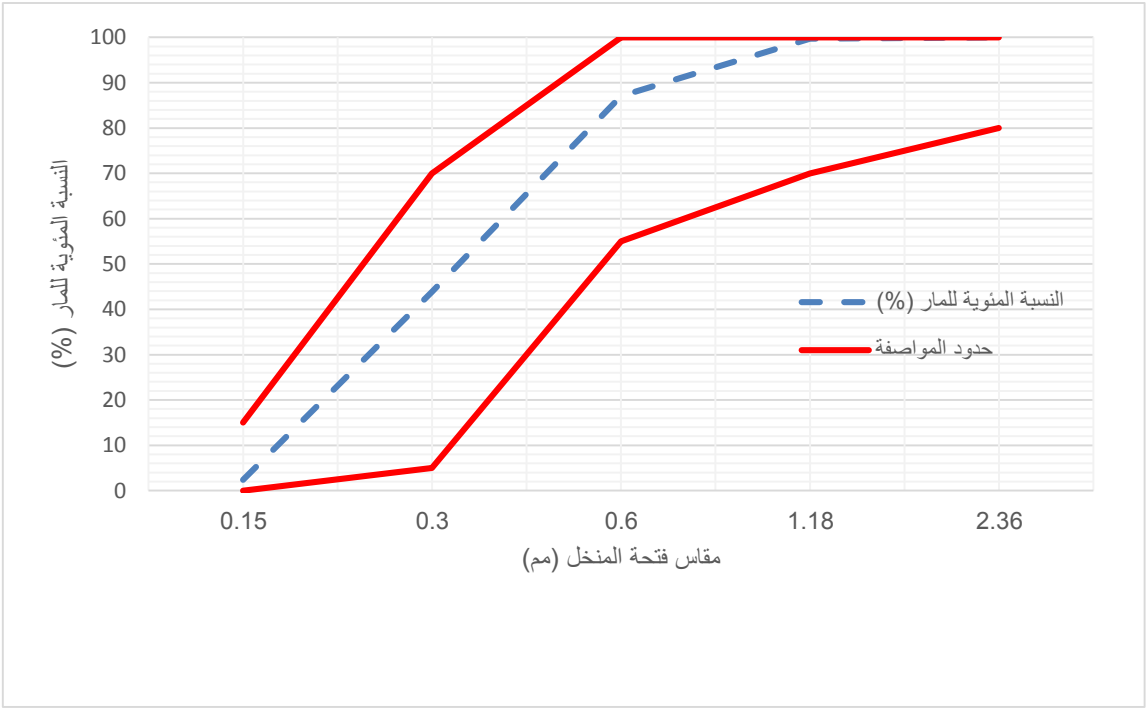
الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة	مواصفة الاختبار
القوام القياسي	30%	غير مشروطة	م ق ل 341
زمن الشك الابتدائي	140 دقيقة	لا يقل عن 45 دقيقة	م ق ل 341
زمن الشك النهائي	3.4 ساعة	لا يزيد عن 10 ساعات	م ق ل 341
ثبات الحجم	0.3 مم	لا يزيد عن 10 مم	م ق ل 341
مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية عمر 3 أيام	25 ن/مم^2	أعلى من 21 ن/مم^2	م ق ل 341
مقاومة الضغط للمونة الإسمنتية عمر 28 يوم	46 ن/مم^2	أعلى من 39 ن/مم^2	م ق ل 341

جدول 2: نتائج الإختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن بنوعية

الاختبار	النتيجة		حدود المواصفة	مواصفة الاختبار
	مقاس 14 مم	مقاس 20 مم		
الوزن النوعي Specific gravity	2.657	2.665	2.6-2.7	م ق ل 256
نسبة الإمتصاصAbsorption	0.98%	0.79%	لا تزيد عن 3%	
وزن وحدة الحجومUnit Weight	1451 كجم/م^3	1459 كجم/م^3	1400-1800 كجم/م^3	ASTM C29
معامل التهشيمCrushing Value	20.2%	21.7%	لا تزيد عن 45%	م ق ل 253
معامل الصدمImpact Value	15.5%	20.5%	لا تزيد عن 45%	م ق ل 255



شكل 1 : التدرج الحبيبي للركام الخشن للخليط



شكل 2 : التدرج الحبيبي للركام الناعم

البولسترين يعتبر مادة عازلة للحرارة والصوت وله خاصية خفة الوزن وتحمل الانضغاط بسبب ما تحتويه المادة من هواء داخلها. فهي عبارة عن حبيبات كروية صغيرة الحجم يتم إضافتها كبديل جزئي للركام الخشن، وتساعد على تقليل الكثافة والعزل الحراري. ويبين الجدول (3) خواص البولسترين المستخدم في الخلطة الخرسانية والصورة 1 شكل البولسترين

مادة البولسترين

جدول 3: خواص البولسترين المستخدم في الخلطة الخرسانية

الوصف	
المقاومة الحرارية عند 40 سº ، (متر . سº/ واط)	ألواح جاسئة بيضاء اللون .
الكثافة ، (كغ / م^3)	تتراوح ما بين (25) و (33) .
نفاذية بخار الماء (غرام . متر / ميغانيوتن . ثانية)	تتراوح ما بين (15) و (35) .
امتصاص الماء ، (بالمائة بالحجم)	تتراوح ما بين (0.002) و (0.006) .
مقاومة الكسر بالضغط ، (ن / ملم^2)	يتراوح ما بين (2) و (5) .
ثبات المقاسات	(0.1) عند انضغاط يعادل (10) بالمائة لكثافة (20) كغ / م^3. (0.2) عند انضغاط يعادل (10) بالمائة لكثافة (30) كغ / م^3 .
تأثير عوامل التجوية	ثابت
الاحتراق	يتأثر بالأشعة فوق البنفسجية ويتأكل عند تعرضه فترة طويلة لدرجات حرارة أعلى من أقصى درجة حرارة تشغيلية .
أقصى درجة حرارة تشغيلية ، (سº)	قابل للاحتراق ويولد دخانا ساما ، ويمكن الحصول على نوعيات ذاتية الإخماد .
	(75)

الاختبارات المعملية

اشتمل برنـامج تنفيذ الخلطات على إعداد عدد 42 مكعبًا ذات مقـاس قياسي معلـوم الأبـعاد (15×15×15) سم لقياس المقاومة وتم الخلط معمليا كما بالمواصفات الامريكية في طريقة الخلط والتحضير. وعدد 8 إسطوانات (l=8 cm , d=10 cm) لقياس العزل الحراريو يلاحظ ان ابعاد العينة الخرسانية لقياس العزل الحراري تعتمد على الأسطونة المستخدمة في جهاز قياس العزل كما هو مبين في صورة الخلية الحرارية

لقد اجريت العديد من الاختبارات على الخرسانة وتشمل إختبار درجة التشغيل والامتصاص وتحديد الكثافة ومقاومة الضغط والموصلية الحرارية وسيتم إعطاء تفصيل للاختبار الاخير الخاص بالموصلية الحرارية.

ولقد تم استخدام العديد من الأدوات والأجهزة في هذا الاختبار وتشمل:

1- كمبيوتر شخصي (PC). 2- خلية حرارية لوضع عينات الإختبار. 3- جهاز وحدة التحكم الحرارية POWER SUPPLY30V5A. 4- مستشعر درجة الحرارة (R.T.D). 5-مستشعر درجة الحرارة (S.T.T) النوع Thermocouple المزدوج الحراري. 6- جهاز قارئ البيانات TC-08 Data LOGGER.

جهاز قارئ البيانات

مستشعر درجة الحرارة

جهاز تحكم حراري

الخلية الحرارية

إعداد العينة

ركزت الدراسة على تأثير البوليسترين في الخلطة الخرسانية في التوصيل الحراري، بعد أن تمت عملية الخلطة الخرسانية للأسطوانات المستخدمة في اختبار العزل الحراري منها الخلطة العادية (المرجعية) والخلطة المضافة التي كانت أبعادها بطول 8 سم وقطر 10 سم، وتترك العينة لتتصلد في جو المعمل لمدة 24 ساعة في مكان خالٍ من الاهتزازات والرطوبة في درجة حرارة بين 15 إلى 25 درجة مئوية، لقد تم تجفيف العينة في الفرن لمدة 24 ساعة لتحاكي الواقع عند تنفيذ واستخدام هذه الخرسانة في ظروف العمل الطبيعية، وتركها لتبرد في مكان جاف قبل استخدامها، تم حساب الكثافة الجافة والمبللة باستخدام علاقات الكتلة والحجم لكل حالة على حدة، في الخلطتين تم القيام بأخذ أربع عينات لكل خلطة مرجعية ومضافة، وكل عينة تم حفرها بعمق مختلف (1,3,5,8) سم وكانت العينات الأربع تقريبا بأوزان متساوية في الخلطة العادية وعينات الخلطة المضافة أيضا كانت متساوية.

خطوات الاختبار

1. بعد الإنتهاء من تحضير العينات (المرجعية و المضافة) تم وضع أول عينتين بأعماق 7و5 سم معا ومن ثم باقي العينات بأعماق 3 سم وعند قاعدة العينة ، تم وضعها في جانبي الأسطوانة الداخلية العازلة لجهاز الخلية الحرارية بحجم معين بحيث يضمن تلامس العينة مع قرص التسخين وتغليفها بالورق المقوى لتملأ الفراغ الفاصل بين العينة وقطر الخلية الداخلي ولعزل الحرارة المتسربة في جوانب العينة.
2. لمراقبة تدرج درجة الحرارة على طول كل عينة ، تم وضع مستشعر درجة الحرارة طوليا من خلال الفتحات الجانبية الموجودة وسط العينات في الخلية الحرارية للوصول إلى أعماق 7،5،3،0 سم من المسخن.
3. تم استخدام مستشعر درجة حرارة من نوع S.T.T للتحكم في درجة حرارة قرص التسخين ومراقبتها.
4. بمجرد تحقيق التوازن الحراري يتم تشغيل مصدر طاقة التيار المستمر والتي تبعث درجة حرارة ثابتة 42°Cومن ثم تشغيل الاختبار حتى تحقق الحالة المستقرة عند باقي الأعماق وأخذ القراءة عندها.

تم تنفيذ مجموعة من الخلطات الخرسانية مع ثبوت نسبة الماء للإسمنت واختلاف نسب البوليسترين المستبدل من حجم الركام الخشن، وتم تصميم الخلطات الخرسانية باستخدام المعادلة الحجمية وكان اعتماد الوزن النوعي 2.65 لكل من الركام الناعم والخشن و3.15 للإسمنت و0.14 للبولسترين.

المعادلة الحجمية

$$\frac{W}{1000}+\frac{A}{1000\rho A}+\frac{C}{1000\rho C}=1\ m^3 \qquad (1)$$

عرض النتائج ومناقشتها

سيتم في هذه الفقرة عرض النتائج المتحصل عليها ومناقشتها من خلال الاختبارات والتجارب المعملية.

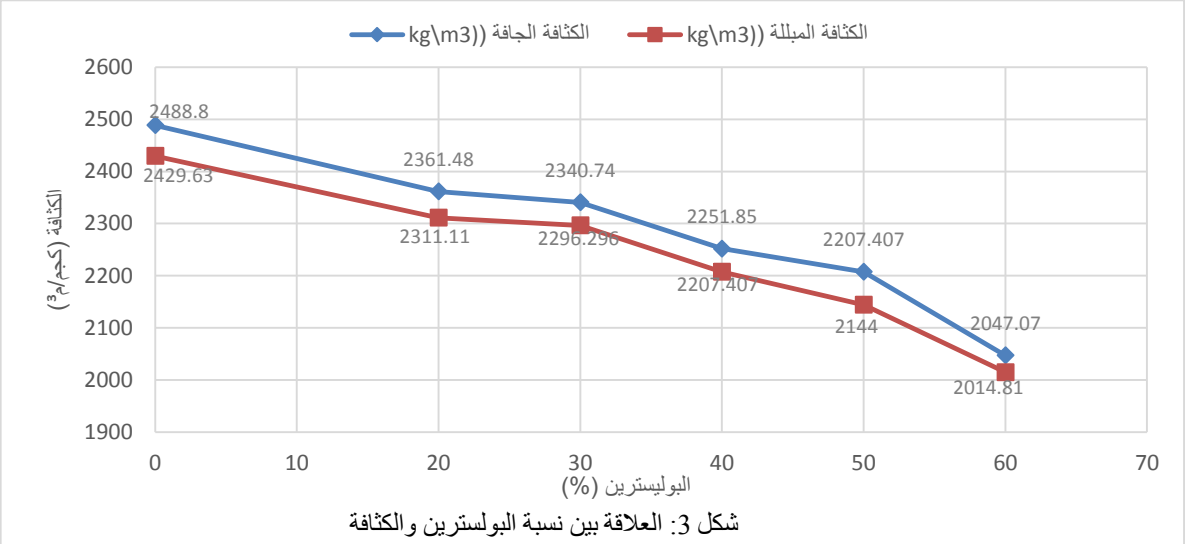
الامتصاص والكثافة

تم في هذا الاختبار حساب التغير في الكثافة المشبعة للمكعبات مع ثبات الحجم لجميع الخلطات حيث تبين من النتائج المتحصل عليها ، انه كلما زادت نسبة البوليسترين قلت الكثافة لأن العلاقة عكسية والكثافة تعكس مدى خفة الوزن للعينات الخرسانية.

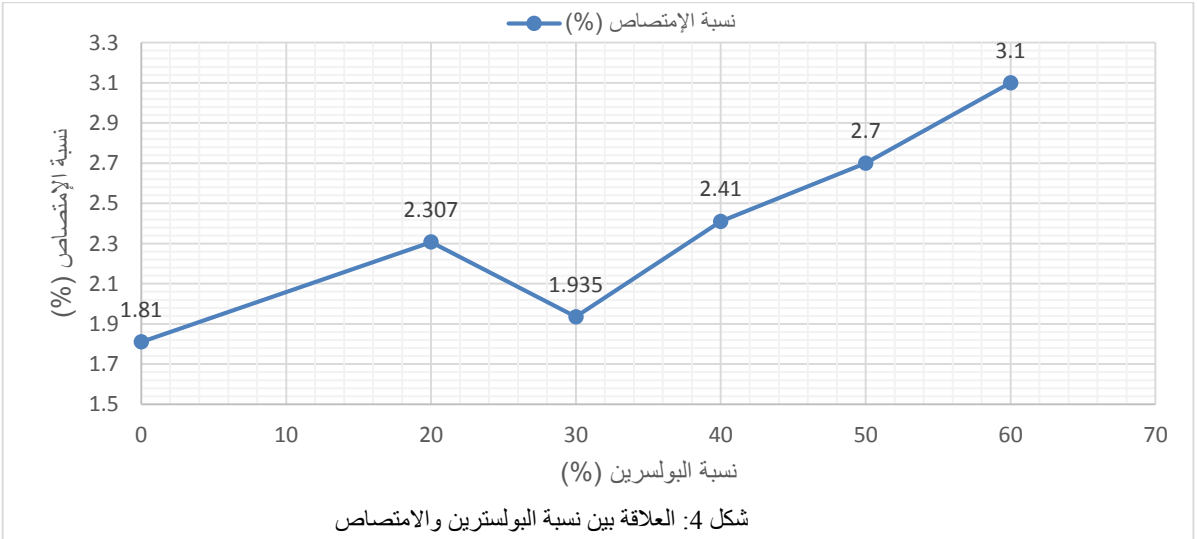
وتم حساب التغير في الإمتصاص حيث تعتمد نسبة الإمتصاص للخرسانة المتصلدة بشكل كبير على نسبة الماء للإسمنت وتعتمد أيضا على محتوى المواد الإسمنتية الرابطة ونوعها ونتائج الإختبار التي تم تنفيذها عند عمر14 يومًا وكانت العلاقة بين البوليسترين ونسبة الامتصاص طردية، أي كلما زادت نسبة البوليسترين زادت نسبة الامتصاص . ويبين الجدول رقم (4) نتائج اختبارات الامتصاص والكثافة بعد تحويلها الى المتر المكعب. كما يبين الشكلان 3 و 4 العلاقة بين كل من البولسترين والكثافة وكذلك البولسترين والامتصاص.

جدول 4: نتائج اختبارات الامتصاص والكثافة

Polystyrene (%)	الوزن قبل التجفيف(kg)	الوزن بعد التجفيف(kg)	نسبة الإمتصاص(%)	كثافة العينات الجافة(kg/m^3)	كثافة العينات المبللة(kg/m^3)
0	8.45	8.2	1.81	2488.8	2429.63
20	7.98	7.8	2.307	2361.48	2311.11
30	7.9	7.75	1.935	2340.74	2296.296
40	7.55	7.45	2.41	2251.85	2207.407
50	7.45	7.23	2.7	2207.407	2144
60	7	6.8	3.1	2047.07	2014.81



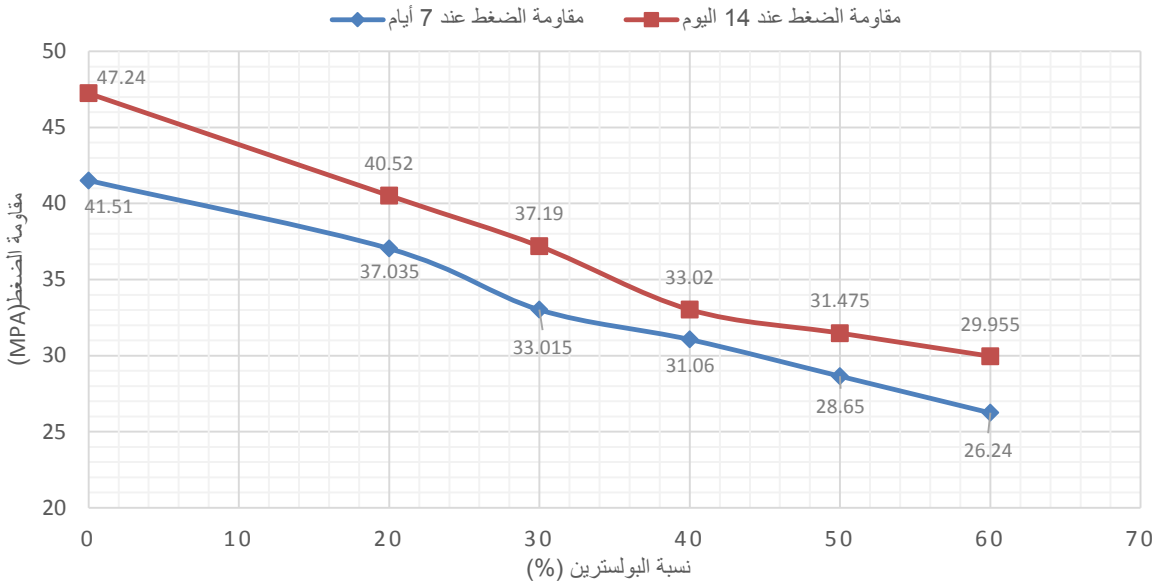
شكل 3: العلاقة بين نسبة البولسترين والكثافة



شكل 4: العلاقة بين نسبة البولسترين والامتصاص

مقاومة الضغط

الشكل (5) يبين نتائج اختبار الضغط ونسبة البولسترين عند 7 أيام و14 يومًا. ويتبين من خلال النتائج المتحصل عليها والشكل أن مقاومة الضغط تتناسب عكسيا مع زيادة نسبة البوليسترين في الخرسانة وعزا هذا الى أن البوليسترين المستخدم ليس من خواصه الميكانيكية مقاومة الضغط وتبين أيضا أنه يمكن الحصول على مقاومة مقبولة للخرسانة في وجود 60% من البوليسترين في الخلطة ولكن مع إضافة ملدان فائقة. هذا وقد تم اختبار عدد المكعبات 24، بمعدل سرعة الضغط: 6.80



شكل 5: العلاقة بين مقاومة الضغط ونسبة البوليسترين

درجة التشغيلية

تم إجراء اختبار الهبوط ولوحظ أن قيمة الهبوط تقل بزيادة نسبة البولسترين كما هو مبين بالجدول رقم (5)

جدول 5: نتائج اختبار قيمة الهبوط

قيمة الهبوط (mm)	Eps (%)	w/c
198	0	0.45
185	20	
174	30	
157	40	
152	50	
146	60	

الموصلية الحرارية

تم تنفيذ اختبار الموصلية الحرارية على أسطوانات قياسية معلومة الابعاد حيث اختبرت عند حالتين (الخرسانة المرجعية، الخرسانة المضافة بالبوليسترين (في الحالة الجافة) ويبين الجدول (6) والشكل (6) نتائج اختبار الموصلية الحرارية المتغيرة . ومن خلال النتائج المتحصل عليها يتضح ان قيمة العزل الحراري زادت بوجود البوليسترين في الخلطة ، وذلك ناتج عن ان البوليسترين له خواص فيزيائية تعزل الحرارة .

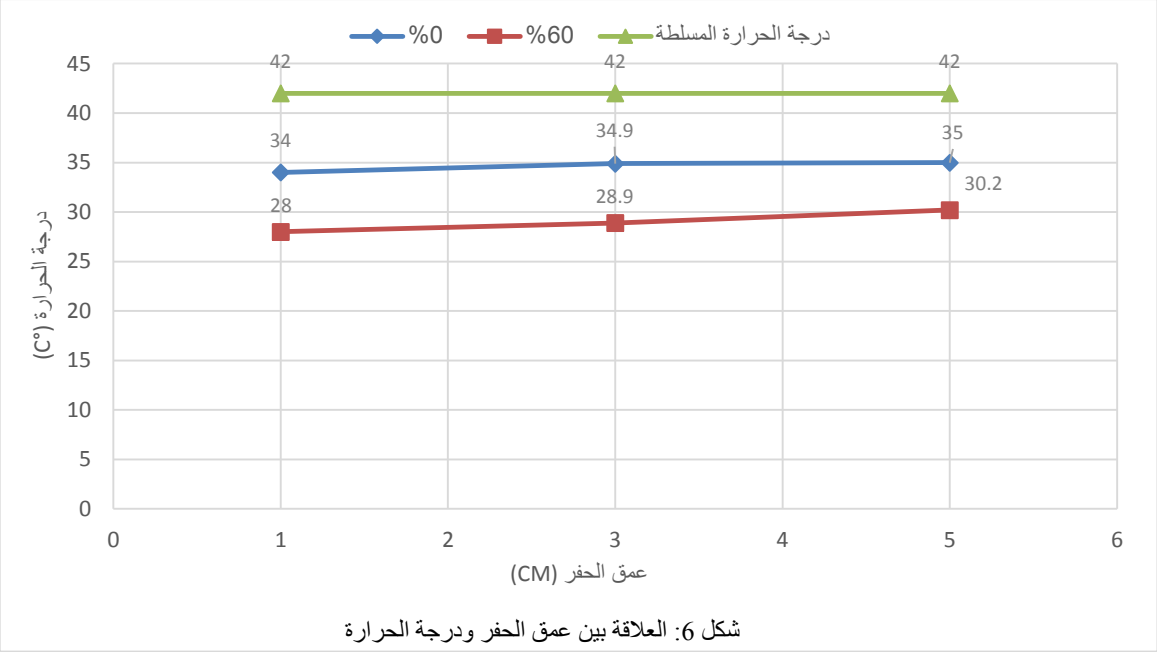
عدد العينات : 8

الجهاز المستخدم : (DC power supply CRXN-305D)

البرنامج المستخدم : (Picolog) الإصدار السابع مدة التجفيف : 24 ساعة ،التيار الكهربائي : 5.83 أمبير ،درجة حرارة تجفيف العينات : 40C°

جدول 6: نتائج اختبار الموصلية الحرارية

w/c	Eps %	تاريخ صب العينات	تاريخ إجراء الاختبار (بعد تجفيف العينات)	أبعاد العينات cm		وزن العينات g	عمق حفر العينات cm	درجة الحرارة المسلطة c^o	درجة الحرارة عند كل عمق c^o	الفرق في درجة الحرارة c^o	الموصلية الحرارية (k)	أوزان العينات G
				قطر	ارتفاع							
0.45	0	2021 12 9	2021 12 14	10	8	1608	1	42	34	8	1.05	1608
						1635	3		34.9	7.1		1635
						1640	5		35.3	6.7		1640
	60	2021 12 15	2021 12 20			1168	1		28	14	0.51	1168
						1170	3		28.9	13.1		1170
						1200	5		30.2	11.8		1200



شكل 6: العلاقة بين عمق الحفر ودرجة الحرارة

وتم حساب الموصلية الحرارية للخرسانة العادية (المرجعية) والمضافة بالبوليسترين، فكانت للخرسانة العادية 1.05(وات/م².ك) وللخرسانة المضافة بالبولسترين 0.51(وات/م².ك).

الأثر الاقتصادي للعزل الحراري (حالة دراسة مبنى سكني نموذجي)

سيتم في هذه الفقرة دراسة الاحمال الحرارية لمبنى سكني نموذجي وسيتم حساب الاحمال الحرارية صيفا وشتاءا لحالتين الاولى عندما يكون المبنى منفذ بخرسانة لا تحتوي مادة البولسترين والثانية عندما تكون الخرسانة مضافا اليها مادة البولسترين وفقا لنتائج هذه الدراسة وثم اعتبار ان الخفض في الاحمال الحرارية نتيجة العزل سيكون له أثر اقتصادي وبيئي.

وصف المبنى

يعتبر البناء وحدة سكنية نموذجية في طرابلس الغرب (منطقة السدرة) من تجمع سكني قابل للتكرار ، وستتم المقارنة الاقتصادية للعزل على نفس البناء في الحالتين (الخرسانة عادية أي غير معزولة والخرسانة مضاف لها مادة البولسترين أي معزولة) والعزل يشمل الجدران الخارجية والسطح الأخير للبناء فقط.

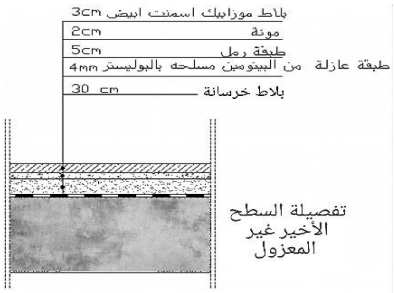
حساب الأحمال الحرارية

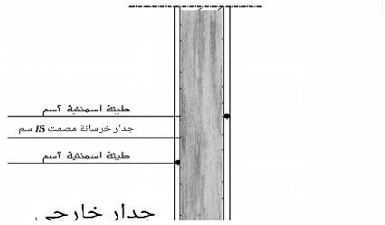
لحساب الاحمال الحرارية يستلزم ايجاد معامل الانتقال الحراري خلال الوسط وحسب المعادلة الآتية:

$$U = \frac{1}{Rse+R1+R2+R3+R4+\cdots+Rsi} \quad (\frac{W}{m^2.k}) \qquad (2)$$

وفيما يلي قيم المقاومات الحرارية R للعناصر المستخدمة في التفصيلات المعمارية { W / m².C° }:

1. طينة إسمنتية كثافة (1850 كجم/م³) سماكة 2سم (R=0.0278).
   بلاط خرساني سماكة 30سم (R=0.286).
2. حائط خرساني سماكة 15سم .R=(0.143).
3. بلاط خرساني معزول سماكة 30سم (R=0.0303).
4. حائط خرساني معزول سماكة 15سم (R=0.294).
5. رمل كثافة (1500 كجم/م³) سماكة 5سم (R=0.1667).
6. بلاط موزاييك أبيض كثافة (1900 كجم/م³) سماكة 3سم (R=0.0303)
7. مقاومة السطوح الخارجية للأسقف شديدة التعرض للرياح (R=0.020).
8. مقاومة السطوح الخارجية للجدران (R=0.030).
9. مقاومة السطوح الداخلية للأسقف (R=0.10).
10. مقاومة السطوح الداخلية للجدران (R=0.13).





قطاعات غير معزولة

الحالة الاولى المبنى غير معزول

الأسقف

المكونات :

-1 بلاط موزاييك أبيض سماكة 3سم (R1=0.0303).
-2 طينة إسمنتية سماكة 2سم (R2=0.0278).
-3 رمل سماكة 5سم (R3=0.1667).
-4 خرسانة سمكها 30سم $(R4 = \frac{0.3}{1.05} = 0.286)$.
-5 مقاومة السطوحي الخارجية للأسقف شديدة التعرض للرياح (R5=0.020).
-6 مقاومة السطوح الداخلية للأسقف (R6=0.10).

حساب معامل انتقال الحرارة الكلي :

$$U = \frac{1}{0.0303+0.0278+0.1667+0.286+0.020+0.10} = 1.585 \quad (\frac{W}{m^2.k}) \qquad (3)$$

الجدران

المكونات:

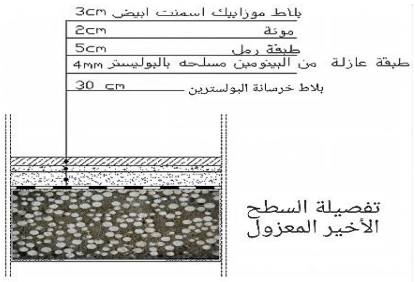
1- طبقتان من الطينة الإسمنتية سماكة 2سم (R2=0.0556).
2-خرسانة سمكها 15سم $(R4 = \frac{0.15}{1.05} = 0.143)$.
3- مقاومة السطوح الخارجية للجدران (R=0.030).
4- مقاومة السطوح الداخلية للجدران (R=0.13).

حساب معامل انتقال الحرارة الكلي :

$$U = \frac{1}{0.143+0.0556+0.030+0.13} = 2.7886 \quad (\frac{W}{m^2.k}) \qquad (4)$$

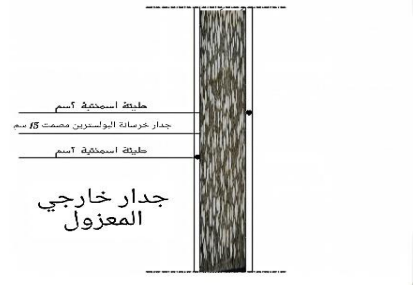
الحالة الثانية المبنى معزول

الأسقف



المكونات :

1- بلاط موزاييك أبيض سماكة 3سم (R1=0.0303).
2- طينة إسمنتية سماكة 2سم (R2=0.0278).
3- رمل سماكة 5سم (R3=0.1667).
4- خرسانة المضافة بالبوليسترين سمكها 30سم ($R4 = \frac{0.3}{0.51}$ =) (0.588).
5- مقاومة السطوح الخارجية للأسقف شديدة التعرض للرياح (R5=0.020).
6- مقاومة السطوح الداخلية للأسقف (R6=0.10).



قطاعات معزولة

حساب معامل انتقال الحرارة الكلي :

$$U = \frac{1}{0.0303+0.0278+0.1667+0.588+0.020+0.10} = 1.072 \quad (\frac{W}{m^2.k}) \quad (5)$$

الجدران :

المكونات:

1- طبقتان من الطينة الإسمنتية سماكة 2سم (R1=0.0556).
2- خرسانة سمكها 15سم ($R2 = \frac{0.15}{0.51} = 0.294$).
3- مقاومة السطوح الخارجية للجدران (R3=0.030).
4- مقاومة السطوح الداخلية للجدران (R4=0.13).

حساب معامل انتقال الحرارة الكلي :

$$U = \frac{1}{0.294+0.0556+0.030+0.13} = 1.9623 \quad (\frac{W}{m^2.k}) \quad (6)$$

يبين الجدول (7) معاملات الانتقال الحراري Uلعناصر وتركيبات المبنى ويبين الجدول 8 معاملات التوجيه Fo لعناصر البناء.

جدول 7: معاملات الانتقال الحراري لعناصر وتركيبات البناء السكني[6]

عناصر البناء	التوجيه	مساحة العنصر [m²]	معامل الانتقال الحراري للبناء المعزول [W/m²K]	معامل الانتقال الحراري للبناء غير المعزول [W/m²K]
الجدران الخارجية	شمال	104.199	1.9623	2.7886
	شرق	73.6	1.9623	2.7886
	جنوب	110.67	1.9623	2.7886
	غرب	95.334	1.9623	2.7886
النوافذ الزجاجية	شمال	18.61	3.2	5.6
	جنوب	3.71	3.2	5.6
	شرق	6.96	3.2	5.6
السقف الأخير		94.98	1.072	1.585

جدول 8: معاملات التوجيه لعناصر البناء [6]

التوجيه Orientation	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Roof
Fo	1.2	1.15	1.1	1.05	1	1.1	1.2	1.2	

حساب الأحمال الحرارية للبناء

يبين الجدولان (9 و 10) الاحمال الحرارية المحسوبة شتاءا وصيفا للحالتين المعزول وغير المعزول والذي نتج عنه تخفيض بنسبة 30% تقريبا في الحالتين، هذا ويتم حساب الأحمال الحرارية للبناء وفق المعادلة العامة :

$$Q = U \cdot A \cdot (t0 - tr) \cdot Fo \cdot Fs \quad (W) \qquad (7)$$

حيث:

Q الحمل الحراري الكلي (W) U معامل الانتقال الحراري لعنصر البناء ($W/m^2C°$)

A مساحة العنصر (m^2) Fs معامل الأمان للحمل و قيمته (1.1)

to درجة الحرارة الخارجية (C°) نفترض أنها : 2 درجة مئوية في الشتاء ، 38 درجة مئوية في فصل الصيف.

tr درجة الحرارة الداخلية التصميمية (C°) نفترض أنها : 18 درجة مئوية في الشتاء و24 في الصيف

جدول 9: الأحمال الحرارية Wالشتوية للبناء السكني في الحالتين (معزول وغير معزول)

عناصر البناء	التوجيه	مساحة العنصر م^2	الحمل الحراري للبناء المعزول	الحمل الحراري للبناء غير المعزول
الجدران الخارجية	شمال	104.199	2429.1	3451.9
	شرق	73.6	1572.75	2235
	جونب	110.67	2364.2	3360.75
	غرب	95.334	2037.4	2895.15
النوافذ الزجاجية	شمال	18.61	707.3	1237
	جونب	3.71	129.2	226.2
	شرق	6.96	220.5	385.86
السقف الأخير		94.98	1108.4	1639.35
الحمل الشتوي الكلي			10568	15431.4

جدول 10: الأحمال الحرارية W الصيفية للبناء السكني في الحالتين (معزول وغير معزول)

عناصر البناء	التوجيه	مساحة العنصر م^2	الحمل الحراري للبناء المعزول	الحمل الحراري للبناء غير المعزول
الجدران الخارجية	شمال	104.199	4318.4	6136.71
	شرق	73.6	2796	3973.33
	جونب	110.67	4203	5974.66
	غرب	95.334	3622	5146.93
النوافذ الزجاجية	شمال	18.61	1257.4	2199.11
	جونب	3.71	229.7	402.133
	شرق	6.96	392	685.97
السقف الأخير		94.98	1907.5	2914.4
الحمل الصيفي الكلي			18787.5	27433.6

الخلاصة

من خلال نتائج هذه الدراسة والبحث العلمي لاستخدام البولسترين في الخلطات الخرسانية يمكن تلخيص الاتي :

1. نتائج مقاومة الضغط للعينات التي تحتوي على بولسترين كانت بين (41.95mpa و24.55) في 7 أيام و(48.1mpa و29.67) في 14 يومًا وكانت العلاقة عكسية أي كلما زادت نسبة البولسترين قلت مقاومة الضغط حيث تم الوصول الى الهدف المرجو منه من هذه النتائج بالحصول على مقاومة ضغط تجعل الخرسانة صالحة للاستعمال الإنشائي إلى حد نسبة البولسترين 60% بمقاومة ضغط صالحة للتصميم والتحميل الإنشائي بمحتوى مائي 0.45.
2. نتائج الكثافة للعينات المكعبة في الحالة المبللة بين(2488.8kg/m^3 و2047.07) وفي الحالة الجافة بين (2429.63kg/m^3 و2014.81) ووزن العينات الإسطوانية بين (1608g و1200) وهذه نتيجة تثبت إنه يمكن الحصول على خرسانة خفيفة نسبيا عند إضافة البولسترين حيث كانت قيمة الخفض في الكثافة الى 20%.
3. نتائج الامتصاص المتحصل عليها كانت طردية مع نسبة البولسترين اي كلما زادت نسبة الإضافة زاد الامتصاص.
4. نتائج اختبار التشغيلية تضع علاقة عكسية بين البولسترين والتشغيلية حيث كلما زادت نسبة البولسترين قلت التشغيلية وقد يرجع السبب الى إضافة البولسترين في الخلطة. حيث يمكن استخدام هذا النوع من الخرسانات في الأغراض الانشائية كالخرسانات سابقة الصب.
5. نتائج اختبار الموصلية الحرارية للمادة رسمت علاقة بين زيادة نسبة البولسترين والعزل الحراري ثم اختبار الموصلية الحرارية في عينة ال 60% من البولسترين لتصل قيمة الموصلية في هذه الخرسانة إلى= 0.51W/m.k مقارنة بالخرسانة المرجعية التي تحمل قيمة 1.01 W/m.k كموصلية حرارية.
6. لا يوجد تأثير ملحوظ للمقاس الأكبر للركام الخشن على مقاومة الضغط ولكن بصفة عامة كلما قل المقاس الأكبر للركام زادت المقاومة.
7. نتائج دراسة الجدوى الإقتصادية عبرت عن أهمية الدراسة ومجال الاستفادة منها، ووضع قيم تثبت مقدار التوفير إقتصاديا واستهلاكيا من حيث التقليل في قيم الأحمال حراريا شتاء وصيفا لتجعل الفراغ الداخلي للمبنى مريحًا أكثر للإستخدام عن غيره غير المعزول مع تقارب سعر التأسيس لكليهما.

المراجع

1. إنتاج خرسانة جديدة خفيفة الوزن مع دراسة بعض خصائصها الميكانيكية والحرارية. (يوسف خلف يوسف) Iraqi journal of civil engineering.
2. تأثير الركام الخشن الخفيف الوزن من الصخور الطينية والثرمستون على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة. (عماد خلف احمد الجبوري) 2017 10(1) diyala journal of engineering sciences.
3. إنتاج خرسانة إنشائية خفيفة عن طريق الإحلال الجزئي للركام الخشن بالبولسترين المعاد تدويره. (زينب العرادي ،ليلي عبد السلام) خريف2018 جامعة طرابلس-قسم الهندسة المدنية.

4. استخدام مادة البولسترين كبديل جزئي للركام الخشن في الخلطة الخرسانية. (قصي أبوسبيته ،على تركمان) ربيع2015 جامعة طرابلس-قسم الهندسة المدنية.
5. تأثير التكاليف المصاحبة لتركيب العازل على السمك الأمثل وفترة الاسترداد على الجدران الخارجية للمباني. (مهاب البزنطي ،أحمد شنشن) خريف 2020ف جامعة طرابلس-قسم الميكانيكا.
6. ".م.و.ا.و.العرب، " الكودات العربية الموحدة لتصميم وتنفيذ المباني – كودة العزل الحراري.