إنتاج خرسانة جديدة خفيفة الوزن مع دراسة بعض خصائصها الميكانيكية و الحرارية

يوسف خلف يوسف

مدرس مساعد

كلية الهندسة/ جامعة الانبار.

Abstract:

This research work includes production of new type of light weight concrete and studies the mechanical and thermal properties. Several proportions of raw materials were used to produce this type of concrete. This study is intended to produce light weight concrete with low thermal conductivity so that it can be used for concrete masonry units. Polystyrene aggregate was added as percentages by weight of cement to improve the thermal properties of this type of concrete .Mechanical , and thermal tests with difference ages were made in this work .For polystyrene concrete with polystyrene cement ratio (p/c) of (2.67 – 6)% , the28-day compressive strength range is from (4.31 – 2.67)MPa, flexural strength range is from (3.05-1.719) MPa , density range is from (1493-1213) kg/m ^{3} ,and thermal conductivity range is from (0.91-0.782)% as a percentage by that of reference mix. The study show suitability of this type of concrete to be used in concrete masonry units of non-bearing walls.

الخلاصة:

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 البولي ستايرين المعروف محليا (الفلين) كنسبة من وزن الإسمنت لغرض تحسين خاصية العزل الحراري.

فحوصات ميكانيكية وحرارية أجريت على العديد من النماذج وبأعمار مختلفة وتم التوصل إلى إنتاج خرسانة خفيفة ذات مقاومة انضغاط تتراوح ما بين (2.67 -4.31) ميكا باسكال بعمر 28 يوم وبكثافة تتراوح ما بين (1213- 1493) كغم /م^3 ومعاير كسر يتراوح مابين (1.719 - 3.05) ميكاباسكال أما قيمة التوصيل الحراري لهذا النوع فتراوحت مابين (0.782 -0.91) ٪ نسبة إلى الخلطة المرجعية

اظهر البحث إمكانية استخدام هذا النوع من الخرسانة في تصنيع الوحدات البنائية للقواطع غير المحملة وكذلك الاهتمام بالمحافظة على البيئة وتقليل مسببات التلوث وذلك باستهلاك وحدات التغليف المصنعة من مادة البولي ستايرين -(الفلين).

1- مقدمة

تجدر الإشارة إلى الحاجة الملحة لإيجاد مواد بنائية بديلة ذات عزل حراري جيد وبأقل كلفة ممكنة مع الاحتفاظ بالخصائص الميكانيكية المميزة لتلك المواد .

وفي هذا البحث تم إجراء دراسة لإنتاج نوع جديد من الخرسانة المستخدمة في إنتاج الوحدات البنائية للقواطع غير المحملة ، حيث تم استخدام نسب مختلفة من حبيبات البولي ستايرين - الفلين- كنسبة من وزن الإسمنت. وقد تم اختيار هذه المادة بسبب كثافتها الواطئة مقارنة مع أنواع الركام الأخرى المستخدمة لأغراض العزل الحراري كما هو موضح في الجدول(1)، إضافة لتوفرها بنسب كبيرة في النفايات البشرية، كما تجدر الإشارة إلى الأهمية القصوى لإدخال هذه المادة في مجال الصناعة الإنشائية لغرض حماية البيئة وتقليل مسببات التلوث.

تم اختيار مادة الركام الناعم الاعتيادي لتوفرها بأسعار مناسبة مقارنة مع الأنواع الأخرى من الركام.

فوائد خرسانة البولي ستايرين:

1- زيادة العزل الحراري للمنشات لما تتمتع به مادة البولي ستايرين من عزل حراري مقارنة مع المواد الإنشائية، لاحظ الجدول (2).
2- تقليل الأحمال الميتة مما يؤدي إلى تقليل الكلفة وذلك باستخدام مقاطع تصميمية وحديد تسليح اقل من تلك التي تستخدم في الخرسانة الاعتيادية.
3- استهلاك مادة البولي ستايرين -الفلين- من النفايات مما يساهم في تقليل اسباب التلوث البيئي.

عرفت خرسانة البولي ستايرين منذ أواخر الخمسينات ،إلا أن الكلفة العالية للبولي ستايرين حالت دون شيوعها في ذلك الوقت، ففي عام 1959 أجرى Kohling [1] بحثاً بين فيه إمكانية استخدام ركام البولي ستايرين في صناعة خرسانة ذات عزل حراري عالي.

في عام 1978 استنتج Maura [2] أن مقاومة الانضغاط لخرسانة البولي ستايرين بكثافات تتراوح بين (220 -460)كغم/م^3 تكون بمدى (0.7 -2.3) ميكاباسكال بينما يتراوح معاير الكسر ما بين (0.3 – 0.36)ميكابسكال.

في عام 1982 لاحظ Parton [3] ان خوص خرسانة البولي ستايرين مثل الكثافة ،مقاومة الانضغاط ،معاير الكسر ،والعزل الحراري تعتمد بشكل رئيسي على نسبة البولي ستايرين إلى الإسمنت.

في عام 1997 حصلت ندى الجيلاوي [4] على خرسانة بولي ستايرين ذات معامل توصيل حراري يتراوح ما بين (0.11 – 0.34) واط/م.كلفن بموجب خلطات أعدت في ذلك البحث.

في عام 2004 تمكن الباحثان Bing Chen &Juanyu Liu[5] من تصنيع خرسانة بولي ستايرين ذات كثافة (800-1800)كغم/م^3 وبمقاومة انضغاط (10-25)ميكاباسكال،حيث قاما باستبدال جزئي للركام الخشن والركام الناعم بحبيبات البولي ستايرين ،توصل الباحثان الى ان استخدام مادة (Fine silica Fume) يزيد من الربط بين حبيبات البوليستايرين وعجينة الاسمنت ويؤدي الى زيادة مقاومة الانضغاط ،اما اضافة الالياف الحديدية فيقلل من انكماش الجفاف.

الجدول (1) : مقارنة بين ركام البولي ستايرين وأنواع الركام الأخرى[6]

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 ستايرين	20 – 10

الجدول (2) : معامل التوصيل الحراري لبعض المواد الإنشائية[4]

المادة	الكثافة كغم /م^3	معامل التوصيل الحراري

		(واط/م.كلفن)
جدران الطابوق الاعتيادي	1540 – 1460	0.6 – 0.45
طابوق خفيف الوزن	1000	0.32
الخرسانة الخفيفة الإنشائية	1900 – 1600	0.65 – 0.22
الخرسانة الخفيفة العازلة	960 – 230	0.29 – 0.07
الكتل الخرسانية الصلدة	2300	1.7 – 1.4
الثرمستون	800 – 700	0.23 – 0.13
التهوير بالتراب	1514	0.328
البياض بالجص	1445	0.47
اللبخ بالسمنت	1857	0.721
الصوف الزجاجي	144 – 64	0.0361
البولي ستايرين	32 – 16	0.0403

2- المواد المستخدمة :

2-1 الإسمنت :

تم استعمال الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي في جميع الخلطات التجريبية لهذا البحث.

2-2 الماء:

استخدم الماء الصالح للشرب المجهز من قبل محطة الإسالة في جامعة الانبار .

2-3 الركام :

أ) الركام الناعم :

تم استخدام الركام الناعم المجهز من مقالع (السبعين كم) في محافظة الانبار والذي يقع ضمن منطقة التدرج 2 بموجب المواصفة القياسية العراقية (م.ق.ع 45

/1984) [7] ويظهر الجدول (3) التحليل المنخلي للركام الناعم المستخدم في جميع خلطات هذا البحث

ب) حبيبات البولي ستايرين:

تم استخدام حبيبات البولي ستايرين المعروفةمحلياً (الستايروبور او الفلين) وهي من المواد المتوفرة بنسب كبيرة في النفايات البشرية حيث تستخدم في تغليف البضائع الغذائية والأجهزة المنزلية. وقد تم الحصول على هذه الحبيبات بطريقة تهشيم قطع الستايروبور الى حبيبات صغيرة تراوحت مابين(0.3 -4.75)ملم، والجدول (3) يبين التحليل المنخلي لهذه الحبيبات.

الجدول (3) :التحليل المنخلي لركام البولي ستايرين والركام الناعم الاعتيادي

مقاس المنخل(ملم)	النسبة المؤية المجمعة المارة		
	ركام البولي ستايرين	الركام الناعم الاعتيادي	(م.ق.ع 45 /1984) للركام الناعم الاعتيادي[7] منطقة التدرج رقم 2
4.75	100	100	100-90
2.36	50.97	86.16	100-75
1.18	15.31	73.84	90-55
0.6	5.81	42.4	59-35
0.3	1.74	9.36	30-8
0.15	0	1.6	10-0

3- البرنامج العملي :

3-1 الخلطات التجريبية:

ا) الخلطة الأولى (الخلطة المرجعية) : وكانت بنسب خلط (1سمنت : 3 رمل) وزناً، اما نسبة الماء/السمنت فكانت مساوية الى (0.5)

ب)الخلطة الثانية: تم استخدام نسبة خلط (1سمنت :3 رمل)وزناً مع اضافة ركام البولي ستايرين بنسبة(2.67٪) من وزن الإسمنت مع الاحتفاظ بنسبة الماء الى الاسمنت مساوية الى (0.5)

ج) الخلطة الثالثة : تم استخدام نسبة خلط (1سمنت :3 رمل)وزناً مع إضافة ركام البولي ستايرين بنسبة (3٪) من وزن الإسمنت مع الاحتفاظ بنسبة الماء إلى الاسمنت مساوية إلى (0.5)

د) الخلطة الرابعة : تم استخدام نسبة خلط (1سمنت :3 رمل)وزناً مع إضافة ركام البولي ستايرين بنسبة(6٪)من وزن الإسمنت مع الاحتفاظ بنسبة الماء إلى الاسمنت مساوية إلى (0.5)

الجدول (4): أوزان المواد المستخدمة لكل متر مكعب

تسلسل الخلطة	الوزن(كغم /م^3)			
	سمنت	رمل	ماء	بولي ستايرين
1	513	1539	257	0
2	291	874	146	7.77
3	277	831	138	8.31
4	190	570	95	11.4

3-2 طريقة خلط الخرسانة:

تم خلط المواد يدوياً وذلك لضمان تجانس الخلط حيث إن استخدام الخلاط الكهربائي يؤدي إلى تطاير حبيبات البولي ستايرين 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 البولي ستايرين مع الخلط المستمر.
4) إضافة الكمية المتبقية من ماء الخلط مع استمرار عملية الخلط لحين تجانس الخليط.

3-3 صب ورص الخرسانة:

1) طلاء الأوجه الداخلية للقوالب الحديدية بطبقة من الزيت .
2) وضع الخليط الخرساني بطبقتين متساويتين في السمك.
3) رص الخليط باعتماد أسلوب الدك اليدوي وذلك باستخدام قضيب معدني لتعذر استخدام الهزاز الكهربائي الذي يؤدي إلى انفصال حبيبات البولي ستايرين.

3-4 الإنضاج:

بعد الانتهاء من عملية الصب ،تركت النماذج في القوالب لمدة 24 ساعة، ثم رفعت القوالب وتم غمر النماذج في الماء لحين موعد الفحص.

3-5 القوالب المستخدمة:

تم استخدام قوالب حديدية مكعبة الشكل بأبعاد (50*50*50) ملم لغرض صب النماذج المطلوبة لإجراء فحوصات مقاومة الانضغاط ،الكثافة ، ونسبة الامتصاص،إضافة إلى قوالب حديدية موشورية الشكل بأبعاد (40*40*160)ملم لغرض تهيئة النماذج اللازمة لإجراء فحص مقاومة الانثناء، في حين تم استخدام قوالب بلاستيكية اسطوانية الشكل بأبعاد (30ملم ارتفاع *30ملم قطر) لغرض تهيئة النماذج اللازمة لإجراء فحص معامل التوصيل الحراري[8].

3-6 فحوصات الخواص الميكانيكية و الحرارية للخرسانة:

1) فحص مقاومة الانضغاط : تم إجراء فحص مقاومة الانضغاط بعمر 14يوم وبعمر 28 يوم وبواقع ثلاثة نماذج لكل عمر .
2) فحص مقاومة الانثناء : تم إجراء فحص مقومة الانثناء بعمر 28 يوم و بواقع ثلاثة مواشير لكل خلطة، وذلك بإتباع طريقة التحميل الأحادي ،وتم احتساب مقاومة الانثناء من المعادلة الاتية:

$$\sigma = 3PL/2b^3$$

σ: معاير الكسر بوحدات (ميكاباسكال).

P:القوة المسلطة عند الفشل بوحدات (نيوتن).

L:المسافة الصافية بين المساند (ملم).

b:سمك النموذج (ملم) .

3) فحص نسبة الامتصاص : تم إجراء فحص نسبة الامتصاص لثلاثة نماذج لكل خلطة حيث تم قياس الوزن الرطب بعد إخراج النماذج من الماء مباشرةً ثم تجفيفها بالفرن بدرجة حرارة 60 ^{0} م ولمدة 24 ساعة لقراءة الوزن الجاف.

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

4) فحص الكثافة : تم إجراء فحص الكثافة الجافة للنماذج وذلك بأخذ أوزانها بعد تجفيفها بالفرن لمدة 24ساعة وبدرجة 60 ^{0} م ،تم إجراء الفحص على ثلاثة نماذج لكل خلطة .
5) فحص معامل التوصيل الحراري : تم إجراء الفحص في مختبر انتقال الحرارة-قسم الهندسة الميكانيكية –جامعة الانبار وذلك باستخدام جهاز قياس التوصيل الحراري (heat conduction apparatus) حيث يتم وضع النموذج الاسطواني بين قطبين يحتويان على الماء بدرجة حرارة معينة ،وتتم عملية الفحص برفع درجة الحرارة على احد 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 [8] :

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

K: معامل التوصيل الحراري (واط/م.كلفن)

Q: كمية الحرارة المنتقلة بين جانبي النموذج (واط).

L: سمك النموذج (م).

A: مساحة مقطع النموذج ($م^2$)

ΔT: فرق درجة الحرارة بين جانبي النموذج (كلفن).

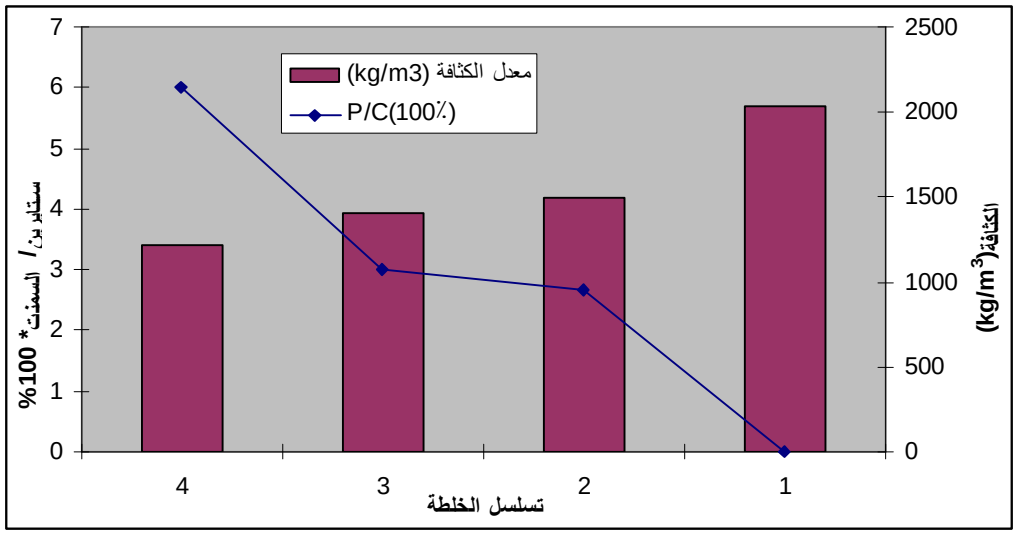
4- النتائج ومناقشتها :

من خلال مقارنة نتائج الفحص يمكن ملاحظة الارتباط الوثيق بين الكثافة ونسبة البولي ستايرين إلى الإسمنت (p/c) ، حيث تنخفض الكثافة مع ازدياد نسبة (p/c) كما موضح في الشكل (1)، ومن المعلوم أن للكثافة تأثيرا مباشراً على جميع الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة.

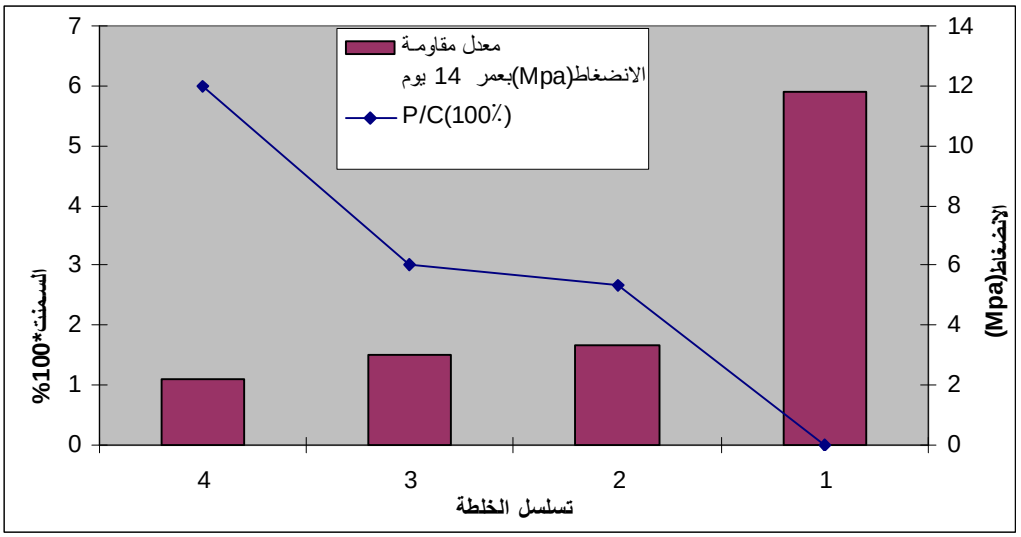
1) مقاومة الانضغاط : يوضح الشكل (3) ازدياد مقاومة انضغاط خرسانة البولي ستايرين بانخفاض نسبة (p/c) . كما يبين الجدول (5) قيم مقاومة الانضغاط مقارنة مع الكثافة حيث تنخفض الكثافة مع ازدياد نسبة (p/c) مما يؤدي الى انخفاض مقاومة الانضغاط.
2) مقاومة الانثناء: يوضح الشكل (4) ازدياد مقاومة الانثناء مع انخفاض نسبة (p/c)كما يوضح الجدول (5)ازدياد مقاومة الانثناء مع ازدياد الكثافة.
3) نسبة الامتصاص: يوضح الشكل (5) ازدياد نسبة الامتصاص مع ازدياد نسبة (p/c)وذلك يعود إلى ازدياد نسبة الفراغات في الخرسانة مع ازدياد نسبة (p/c).
4) التوصيل الحراري يوضح الشكل (6) العلاقة بين التوصيل الحراري ونسبة (p/c) ، حيث يزداد معامل التوصيل الحراري بانخفاض نسبة (p/c) والتي تمثل انخفاض الفجوات في الخرسانة مما يؤدي إلى ازدياد معامل التوصيل الحراري.

الجدول (5) : نتائج الفحوصات الميكانيكية والحرارية للنماذج

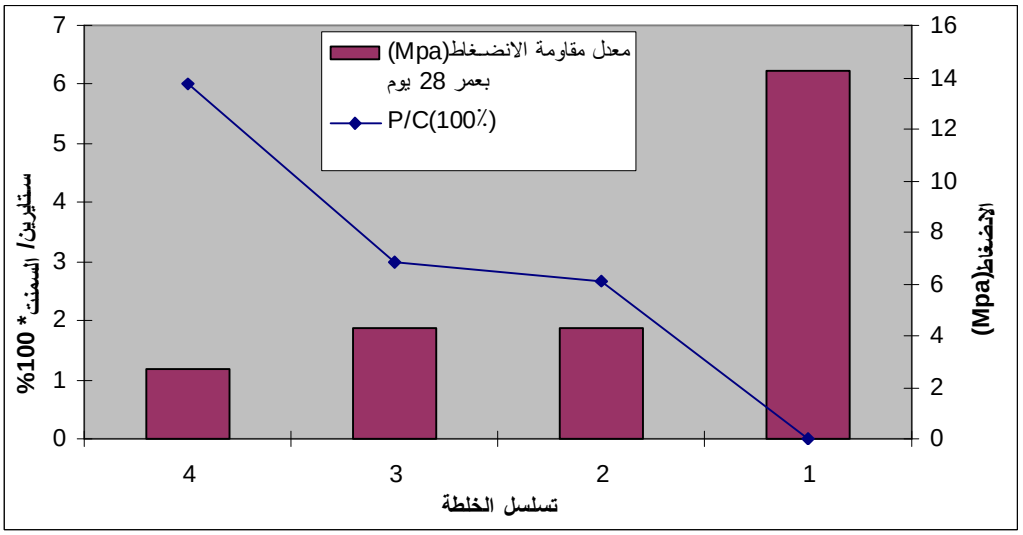
تسلسل الخلطة	(p/c)100%	معدل مقاومة الانضغاط (MPa) بعمر 14 يوم	معدل مقاومة الانضغاط (MPa) بعمر 28 يوم	معدل مقاومة الانثناء (MPa)	معدل نسبة الامتصاص(٪)	معدل الكثافة (kg/m^3)	التوصيل الحراري للخلطة التجريبية نسبة الى الخلطة المرجعية
1	0	11.8	14.24	6.25	8.5	2040	1
2	2.67	3.32	4.31	3.05	10.75	1493	0.91
3	3	3.04	4.28	1.758	11.43	1400	0.89
4	6	2.21	2.67	1.719	15.38	1213	0.782



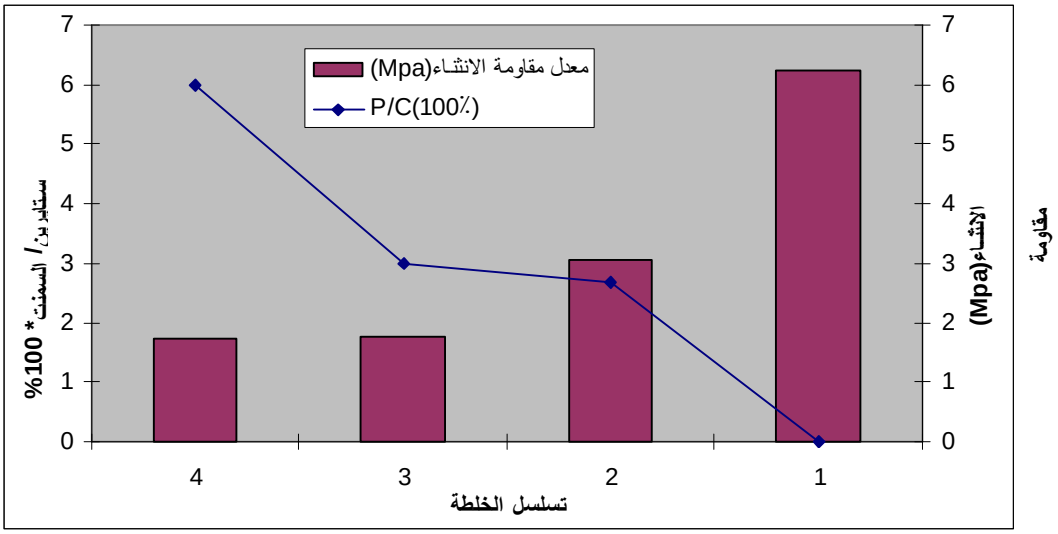
الشكل (1) : تاثير نسبة (p/c) على معدل الكثافة لخرسانة البولي ستايرين.



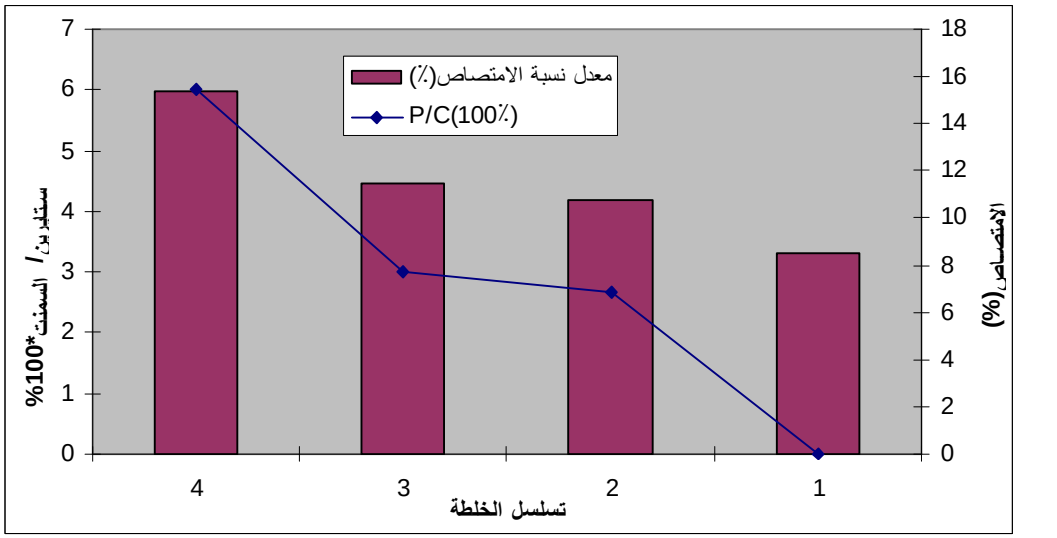
الشكل (2) : تاثير نسبة (p/c) على مقاومة الانضغاط لخرسانة البولي ستايرين بعمر 14 يوم.



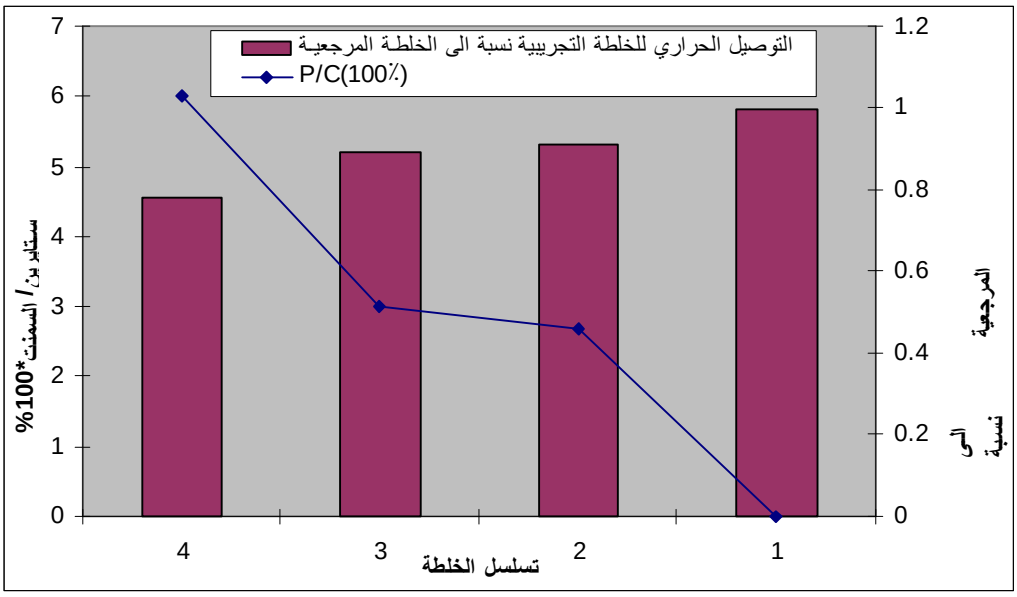
الشكل (3) : تاثير نسبة (p/c) على مقاومة الانضغاط لخرسانة البولي ستايرين بعمر 28 يوم.



الشكل (4): تاثير نسبة (p/c) على مقاومة الانثناء لخرسانة البولي ستايرين بعمر 28 يوم.



الشكل (5) : تاثير نسبة (p/c) على نسبة الامتصاص لخرسانة البولي ستايرين.



الشكل (6) : تاثير نسبة (p/c) على معامل التوصيل الحراري لخرسانة البولي ستايرين.

5- الاستنتاجات و التوصيات:

تم إجراء العديد من التجارب لغرض إيجاد الخواص الميكانيكية و الحرارية للخرسانة المصنوعة من الاسمنت والركام الناعم وحبيبات البولي ستايرين. ومن خلال دراسة نتائج الفحص يمكن استنتاج مايلي :

1) إن إضافة حبيبات البولي ستايرين إلى مكونات الخرسانة له تأثير مباشر على الكثافة والتي لها ارتباط وثيق بجميع خصائص الخرسانة ، حيث تنخفض الكثافة بازدياد نسبة البولي ستايرين إلى الاسمنت (p/c)، وفي هذا البحث تم إنتاج خرسانة خفيفة الوزن تراوحت كثافتها ضمن المدى

(1213 – 1493)كغم /م ^{3} باستخدام نسبة (p/c) تتراوح ما بين (6 – 2.67)٪ من وزن السمنت في الخلطة.

2) يمكن الحصول على مقاومة انضغاط بعمر 28 يوم تتراوح مابين (2.67 - 4.31) ميكا باسكال باستخدام نسبة (p/c) ضمن المدى (6 – 2.67) ٪ ومن خلال مقارنة هذه القيم مع قيم مقاومة الانضغاط للكتل الخرسانية الخلوية المحددة بموجب (م.ق.ع 2000/1441)[7] حيث تحدد هذه المواصفة الحد الادنى لمقاومة الانضغاط (0.7)ميكاباسكال يتبين امكانية استخدام الخرسانة موضوع البحث في تصنيع الوحدات البنائية للقواطع غير المحملة.

3) تتراوح قيم معاير الكسر لنماذج خرسانة البولي ستايرين بعمر 28 يوم ما بين (1.719 – 3.05) ميكاباسكال باستخدام نسبة (p/c) ضمن المدى (6 – 2.67) ٪

4) إن إضافة حبيبات البولي ستايرين إلى مكونات الخلطة الخرسانية يؤدي إلى زيادة نسبة الامتصاص ، حيث تراوحت قيم نسبة الامتصاص في هذا البحث ما بين (10.75 – 15.38) ٪ باستخدام نسبة (p/c) ما بين(6 – 2.67) ٪

5) بالإمكان تحسين خاصية العزل الحراري للخرسانة بإضافة حبيبات البولي ستايرين إلى مكونات الخلطة الخرسانية حيث تم التوصل من خلال هذا البحث إلى قيم معامل توصيل حراري تراوحت ما بين (0.782 – 0.91) ٪ كنسبة من التوصيل الحراري للخلطة المرجعية وذلك باستخدام نسبة (p/c) ضمن المدى (6 – 2.67) ٪

6 التوصيات :

1) دراسة خصائص خرسانة البولي ستايرين بعد تطويرها بإضافة احد أنواع البوليمرات

2) إدخال خرسانة البولي ستايرين في مجال الصناعة الإنشائية لما تتمتع به هذه المادة من عزل حراري اضافة الى استهلاك النفايات مما يؤدي إلى تقليل مسببات التلوث البيئي.

المصادر :

1) Kohling , K.," The manufacture of light weight concrete using pre – expanded styropore particles as aggregates " betorstein – zeitung 26, 1960, pp208 -212

2) Maura , G., "Light weight concrete made with expanded substituted polystyrene ", IL Cemento (Rome), Vol.75,part 1, 1978, pp.21-29.

3) Parton, G.M. and shendy-EL- Barbary, M.E. " Poly styrene –bead concrete properties and mix design ", Journal Of Cement Composite And Light weight Concrete, Vol.4, No.3, Aug. 1982,pp.153-161.

4) ندى الجيلاوي " خواص الخرسانة خفيفة الوزن بالإشارة إلى العزل الحراري والمعاوقة الصوتية" أطروحة ماجستير ، جامعة بغداد ، 1997 .

5) Bing Chen and Juanyu Liu" Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber", Cement and Concrete Research,Volume 34, Issue 7, July 2004, Pages 1259-1263

6) قصي الراوي " خواص الخرسانة خفيفة الوزن المصنعة من ركام البورسلينايت " أطروحة ماجستير، جامعة بغداد، 1995 .

7) مواصفات المواد والأعمال الإنشائية ،المركز القومي للمختبرات الإنشـــائية ، 2001 ،بغـــداد – العراق .

8) P. J. Holmen " Principle of heat transfer " , 1980 , pp.26 - 35.