إنتاج خرسانة خفيفة الوزن باستخدام النبات البحري (البوزيدونيا)

د. محمد سلمان اللامي[*1] و أ. عماد عبد المجيد ياسين السعدي[2]

[1] دكتوراه هندسة إنشائية.

[2] ماجستير هندسة تصميم وتكنولوجيا الخرسانة.

[*] msallamy56@yahoo.com

الملخص

يستدعى التطور العمراني والظروف الاقتصادية إلى البحث عن مواد بديلة رخيصة الثمن ومتوفرة محليا يمكن إضافتها إلى الخرسانة للحصول على خرسانة خفيفة الوزن؛ لما لهذا النوع من الخرسانة من فوائد ومزايا من حيث قدرتها على العزل الحراري، والجدوى الاقتصادية من استخدامها نظرا لخفة وزنها، مما يؤدي إلى تقليل الأحمال المسلطة على العناصر الإنشائية وبالتالي تقليل الكلفة الإجمالية للمبنى من خلال الاقتصاد في تصميم تلك العناصر. يهدف البحث إلى دراسة التغيرات التي يمكن إن تحصل لبعض خواص الخرسانة مع تغيير نوع الركام العادي بنبات بحري يعرف محليا بقش البحر (البوزيدونيا)، وذلك لتوفر هذا النبات بكميات هائلة على السواحل الليبية حيث جاءت فكرة الاستفادة منه، من خلال إجراء العديد من الفحوصات المختبرية لبيان هذه التغييرات .

حيث تم إعداد وتنفيذ برنامج عملي لبيان تأثير استبدال الركام العادي بنبات البحر (البوزيدونيا) على خواص مقاومة الضغط والامتصاص والعزل الحراري والمتانة (مقاومة التعرض للمواد الكيماوية) حيث كان المتغير نسبة الماء إلى الاسمنت (W/C). أظهرت النتائج مقاومة انضغاط جيدة لخرسانة ركام النبات البحري بالرغم من تأشير نقصانا فيها بنسبه قاربت 50% مقارنة مع خرسانة الركام العادي بالمقابل كان التحسن ملحوظا في العزل الحراري لخرسانة النبات البحري بالمقارنة مع خرسانة الركام العادي.

الكلمات الرئيسية: بوزيدونيا – نبات بحري؛ خرسانة خفيفة؛ ركام.

Abstract

Urban development and economic conditions necessitate the search for alternative materials that are cheap and available locally that can be added to concrete to obtain

lightweight concrete. This type of concrete should be characterized by its ability to insulate heat, its economic feasibility and its lightweight. For a concrete, being light weight helps it reduce the loads placed on the structural elements, which consequently reduces the total cost of the building.

This research aims to study the changes that may occur to some of the properties of concrete when changing the type of the ordinary aggregate to a marine plant, which is known locally as sea straw (poseidonia); the availability of this plant in huge quantities on the Libyan coasts triggered the idea of being used and tested. Many laboratory tests were conducted to find out the changes that may occur.

Aplan was set and implemented to demonstrate the effect of replacing the ordinary aggregates with sea plants (poseidonia) on pressure resistance, absorption, thermal insulation and durability i. e. resistance to exposure to chemical substances; the variable was the ratio of water to cement (W / C).

Although the results showed good compressive strength of aggregate concrete, it was indicated that it decreased by about 50% compared to normal aggregate concrete. In contrast, the thermal insulation of the marine plant concrete was improved compared to the normal aggregate concrete.

المقدمة

تعتبر الخرسانة خفيفة الوزن عندما تقل كثافتها عن 2000 كغم/م^3 وهي واحدة من أهم أنواع الخرسانة؛ لما لها من خواص فيزيائية مميزه بالمقارنة مع الخرسانة العادية كخفة وزنها وقلة كثافتها مما يكسبها خصائص اضافية كالموصلية الحرارية والعزل الصوتي ومقاومتها للظروف الجوية المختلفة ومقاومتها للحريق. (وزارة الأشغال العامة الأردنية، 2003). يمكن أنتاج الخرسانة الخفيفة بطرق ووسائل متنوعة وذلك لاستعمالها في أغراض العزل الحراري أو أية أغرا ض إنشائية أخرى منها استعمال المواد الرغوية أو المواد الحابسة للهواء أو من خلال أحداث تفاعلات كيميائية تنتج غازات تدخل بين مكونات الخلطة أو استخدام ركام من نوع خفيف يحتوي على خلايا هوائية ومسامات أو ألياف ويمكن إنتاج خرسانة بدمج النوعين معا وذلك بالاستعاضة عن الرمل الطبيعي الذي يدخل في تركيب الخرسانة الرغوية بالركام خفيف الوزن.تسمى الخرسانة الخفيفة بأسماء مختلفة تبعًا للطريقة التي يتم فيها أنتاج الخرسانة. (علي العناني وأدهم، 2001). منها:

خرسانة الركام الخفيف (Light Weight – aggregate Concrete)، والخرسانة خالية من المواد الرقيقة (Finless Concrete)، والخرسانة الخلوية (Cellular Concrete).

وتستعمل في العديد من التطبيقات سواء في أعمال الردم أو كطبقات أساس الطرق أو في الجدران والسقوف والأرضيات وصناعة الطوب الخفيف وصبات الميول للأسطح. (الجمعية العلمية الملكية الأردنية، 2006)، (حسين، 2007).

تستعرض هذه الدراسة التغيرات التي يمكن إن تحصل في بعض خواص الخرسانة عند استبدال الركام العادي بالنبات البحري البوزيدونيا المعروف محليًا بقش البحر. (الهادي وسعد، 1997)، من خلال أجراء العديد من الفحوصات المختبرية، نظرًا لتوفر هذا النبات بكميات هائلة على السواحل الليبية حيث جاءت الفكرة في أمكانية الاستفادة منها.

البرنامج العملي

تم إجراء اختبارات مقاومة الضغط والامتصاص والعزل الحراري والاختبار القرصي للخرسانة لبيان مدى تأثر هذه الخواص باستبدال الركام العادي بأخر عبارة عن ألياف لنبات بحري يسمى البوزيدونيا من خلال عدة خلطات خرسانية كان المتغير فيها نسبة الماء إلى الإسمنت (0.7، 0.6، 0.5، W/C=0.4). تتكون الخلطة الخرسانية المستخدمة من إسمنت وركام ناعم بنسبة خلط (2.25:1) من النسب الحجمية للمواد حيث تم استخدامها لجميع الفحوصات فيما عدا الاختبار القرصي الذي استخدم فيه نسبة ماء إلى اسمنت (W/C = 0.5) فقط .نوع الإسمنت المستخدم بورتلاندي عادي صنع محلي (زليتن)، أما الركام فهو على نوعين وهما:

1- الركام العادي (قرينيلية)

وهو ركام محلي ذو شكل دائري وغير منتظم تم إشباعه بالماء لمدة ساعة، ثم ترك ليجف بالهواء لمدة 24ساعة.

2- الركام النباتي (البوزيدونيا):

وهو نبات بحر ي شريطي عبارة عن ألياف نباتية يتخللها الهواء يوجد على شاطئ البحر (قش البحر) تم جمعه وغسله بالماء النقي عدة مرات حتى يتم تنظيفه من الأملاح العالقة فيه، ومن ثم تجفيفه في درجة حرارة 65 درجة مئوية، وتقطيعه وتمريره من المنخلين قياس (2.36، 4.75 ملم).

وفيما يلي أنواع الخلطات الخرسانية:

المجموعة الأولى: نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C = 0.4) ويتم صب النماذج الخرسانية باستخدام الركام العادي (قرينيلية) والركام النباتي بحجم 2.36 ملم.

المجموعة الثانية: نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C = 0.5) ويتم صب النماذج الخرسانية باستخدام الركام العادي والركام النباتي بحجم 2.36 ملم.

المجموعة الثالثة: نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C = 0.6) ويتم صب النماذج الخرسانية باستخدام الركام العادي والركام النباتي بحجم 2.36 ملم.

المجموعة الرابعة: نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C = 0.7) ويتم صب النماذج الخرسانية باستخدام الركام العادي والركام النباتي بحجم 2.36 ملم.

المجموعة الخامسة: نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C =0.4) ويتم صب النماذج الخرسانية باستخدام الركام العادي والركام النباتي بحجم 4.75 ملم.

المجموعة السادسة: نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C =0.5) ويتم صب النماذج الخرسانية باستخدام الركام العادي والركام النباتي بحجم 4.75 ملم.

المجموعة السابعة: نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C =0.6) ويتم صب النماذج الخرسانية باستخدام الركام العادي والركام النباتي بحجم 4.75 ملم.

المجموعة الثامنة: نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C = 0.7) ويتم صب النماذج الخرسانية باستخدام الركام العادي والركام النباتي بحجم 4.75 ملم.

تم إعداد القوالب الخرسانية من المكعبات ذات قياس (100×100×100) ملم لفحوصات مقاومة الضغط والامتصاص وقوالب أسطوانية قطرها (10سم) وارتفاعها (2.5 سم) لاستخدامها في الاختبار القرصي الذي يوضح التأثير القلوي على الخرسانة ومدى التآكل السطحي لها، اما في اختبار العزل الحراري فتم استخدام اسطوانات بقطر (2.5سم) وارتفاع (3 سم) كما موضحة في الشكل (1).

تم تحضير أوزان مناسبة من مواد الخلطة المستخدمة اعتمادا على نسبة الخلط من المواد الجافة؛ ليتم خلطها وصبها في القوالب، بعد مرور 24 ساعة يتم ازالة القوالب، ثم ترفع المكعبات الخرسانية إلى المرحلة التي تليها و هي الغمر بالكامل بالماء لمدة 28 يوما، وأما الاسطوانات فتتم معالجتها بغمرها في الماء لمدة 7 أيام بعدها يتم تجهيزها حسب المقياس المناسب لجهاز الاختبار، أي بتنعيم سطحها العلوي والسفلي لكي يضمن الاتصال الجيد مع وجهي المعدن الذي يسبق ويلي العينة في الجهاز، ويوضح الشكل (2) نماذج فحص العزل الحراري بعد تجهيزها. أما بالنسبة للأقراص فتغمر في محلول كيميائي، نتيجة لما تتعرض له الخرسانة من مواد كيميائية مختلفة خاصة في مصانع الكيماويات، ونتيجة قرب الأساسات من صرف مصانع المواد الغذائية والكيميائية، وكما تتعرض أحيانا بعض المنشاءات إلى ارتفاع وانخفاض في منسوب مستوى المياه الجوفية، وبما أنها تحتوي على نسب أملاح وأحماض وقلويات تضر بالخرسانة، فقد تم إعداد هذا المحلول الملحي القريب لما تتعرض له الخرسانة في الطبيعة، وذلك حتى نستطيع فهم معظم الأمور ومعالجتها. والمحلول يتكون من كلوريد الصوديوم مع كلوريد البوتاسيوم مضافا إليه 5% من أكسيد الكالسيوم أو الجير وكلهم يتم تذويبهم في لتر من الماء المقطر، ومن ثم يتم وضع العينات بداخله وتدوين النتائج أسبوعيا من حيث التآكل السطحي للخرسانة مع تغير درجة حرارة المحلول (Nacl+Kcl+5%Cao).



الشكل (1): قوالب الاسطوانات المستخدمة في اختبار العزل الحراري.



الشكل (2): نماذج اختبار العزل الحراري.

تم اجرا ء العديد من الاختبارات منها اختبار الضغط واختبار العزل الحراري باستخدام جهاز يسمى (Linear heat Connection) الموضح في الشكل(3) .



الشكل (3): جهاز العزل الحراري.

وتحسب الموصلية الحرارية كالتالي:

$$Kint = Q * Xint / Aint * (Thot - Tcold) \quad (1)$$

$$Thot = T3 - (T2 - T3) / 2 \quad (2)$$

$$Tcold = T6 + (T6 - T7) / 2 \quad (3)$$

حيث ان:

Xint = 0.03 m سمك العينة Aint = 0.00049 $/m^2$ مساحة مقطع العـينة

T2 درجة الحرارة المتوسطة في الجزء الساخن T3 درجة الحرارة السفلى في الجزء الساخن

T6 درجة الحرارة العليا في الجزء البارد T7 درجة الحرارة المتوسطة في الجزء البارد

Thot درجة حرارة الوجه الساخن من العينة Tcold درجة حرارة الوجه البارد من العينة

كما تم أجراء اختبار الامتصاص والاختبار القرصي (الكيميائي) لمعرفة التفت في الخرسانة حيث يعتبر هذا الاختبار أحد الاختبارات المعملية البصرية التي تم استخدامها لأول مرة في نهاية السبعينات من القرن الماضي بعد المؤتمر الثالث الذي عقد عام (1978) في جامعة يردو في أنديانا بالولايات المتحدة الأمريكية حيث طبق سنة 1980 في بحث للحصول على شهادة الدكتوراه في تقنية الخرسانة . وقد حاول الفريق البحثي هنا محاولة استخدام نفس الأسلوب المتبع والذي جاء في بحث pole (1983) في المؤتمر العالمي الرابع المنعقد كوبنهاجن بالدنمارك، وقد تضمن الاختبار استعمال الركام بأحجام (أقطار) مختلفة مع عجينة (ماء وإسمنت) باستخدام الأقراص المذكورة سابقا. وتم صنع عجينة ذات الركام العادي وأخرى ذات النبات البحري كما في الشكل (4). يتم إخراج الأقراص من القوالب بعد 24 ساعة، وجلي أحد أوجه القرص لإظهار الركام الحجري أو النباتي وبشكل مصقول، ثم توضع بالمحلول الذي ذكر سابقا، وخزنها بدرجات حرارة مختلفة حسب الحاجة والظروف البيئية المتوقعة، وبعدها تتم دراسة طبيعة التفاعل للأقراص في المحلول كما في الشكلين (5)، (6).

نتائج الاختبارات

يوضح الجدول (1) نتائج الاختبارات لمقاومة الضغط والموصلية الحرارية والامتصاص والعزل الحراري، كما تبين الأشكال (8)-(19) تأثير نسبة الماء إلى الاسمنت على مقاومة الضغط والامتصاص والموصلية الحرارية للخرسانة باستخدام الركام العادي والخرسانة باستخدام الركام البحري.



الشكل (4): الأقراص المستخدمة في الاختبار القرصي.



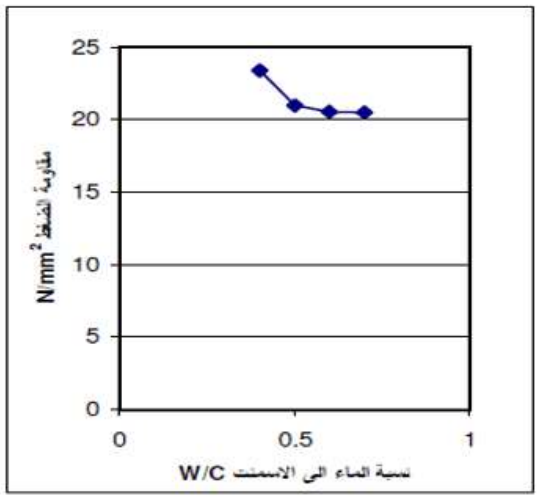
الشكل (5): أقراص النبات البحري.



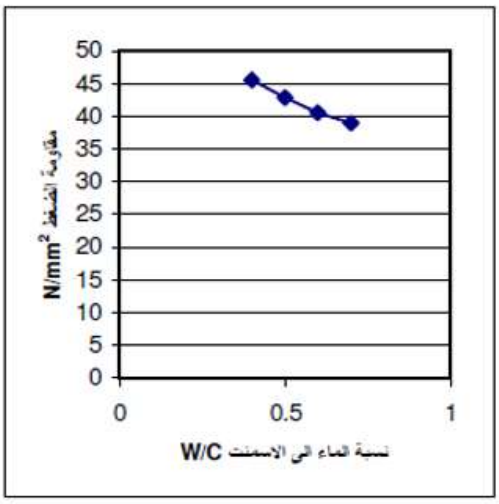
الشكل (6): أقراص الركام العادي.

الجدول (1): نتائج التجارب التي أجريت على مجموعات الخلطات الخرسانية.

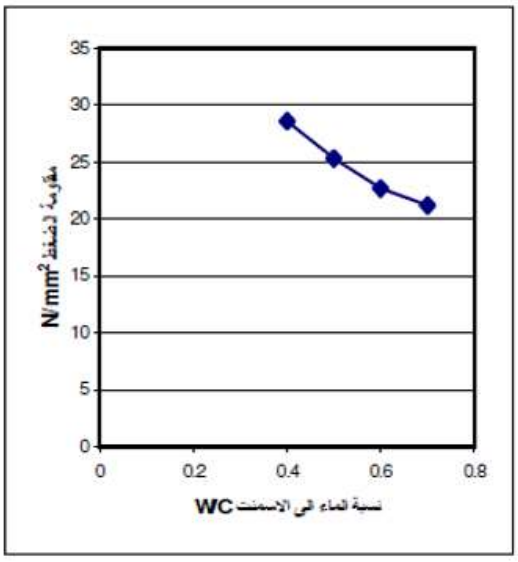
رقم المجموعة	قطر فتحة المنخل	نسبة W/C	مقاومة N/mm^2 الضغط		الموصلية الحرارية W/m.k°		نسبة الامتصاص%	
			ركام نباتي	ركام عادي	ركام نباتي	ركام عادي	ركام نباتي	ركام عادي
1	2.36	0.4	23.4	45.6	0.6	0.89	13.868	5.251
2		0.5	21.00	42.9	0.616	0.9	9.473	5.321
3		0.6	20.58	40.55	0.683	0.96	8.412	11.531
4		0.7	20.5	39.02	0.69	0.97	6.046	13.55
5	4.75	0.4	28.59	51.92	0.596	1.020	14.17	5.332
6		0.5	25.3	49.00	0.66	1.05	9.1	5.358
7		0.6	22.71	45.13	0.68	1.108	8.399	11.711
8		0.7	21.18	41.5	0.73	1.17	5.976	13.66



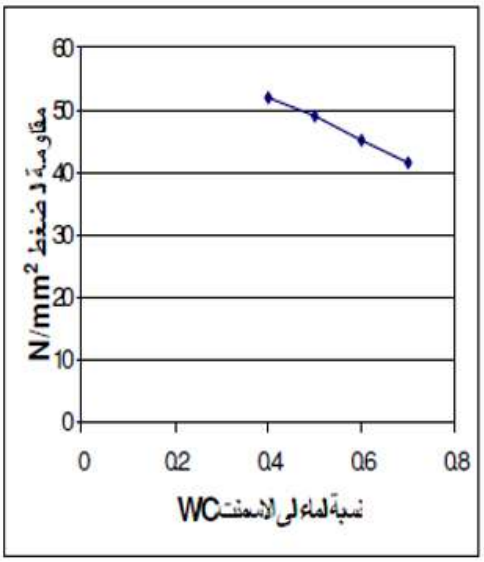
الشكل (8): تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) على مقاومة الضغط باستخدام النبات البحري المار من المنخل قطر 2.36.



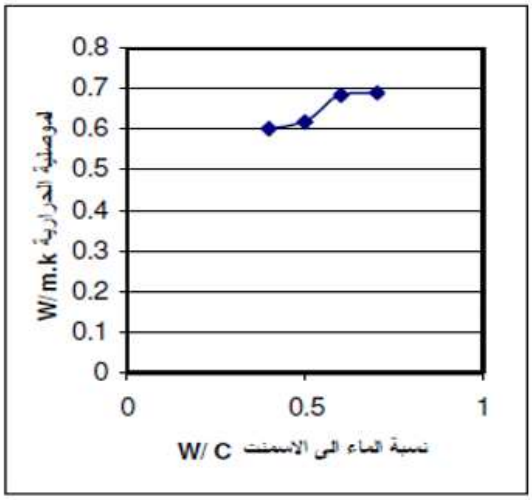
الشكل (9): تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) على مقاومة الضغط باستخدام الركام العادي المار من المنخل قطر 2.36.



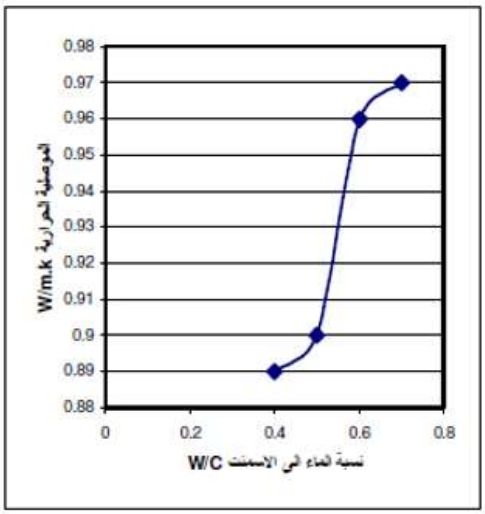
الشكل (10): تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) على مقاومة الضغط باستخدام النبات البحري المار من المنخل قطر 4.75.



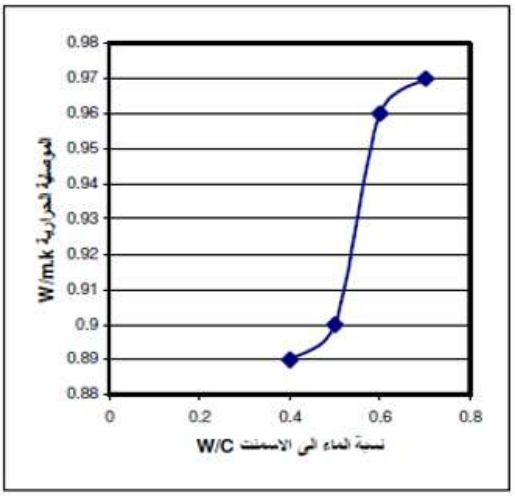
الشكل (11): تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) على مقاومة الضغط باستخدام الركام العادي المار من المنخل قطر 4.75.



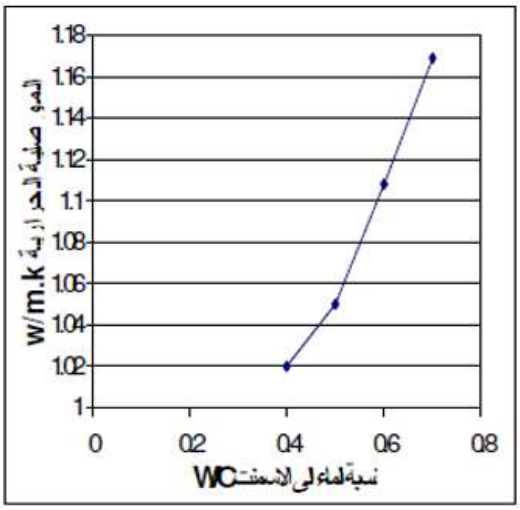
الشكل (12): تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) على الموصلية الحرارية باستخدام النبات البحري المار من المنخل قطر 2.36.



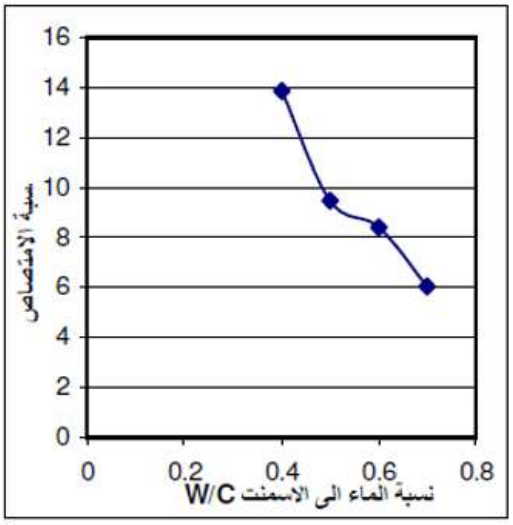
الشكل (13): تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) على الموصلية الحرارية باستخدام الركام العادي المار من المنخل قطر 2.36.



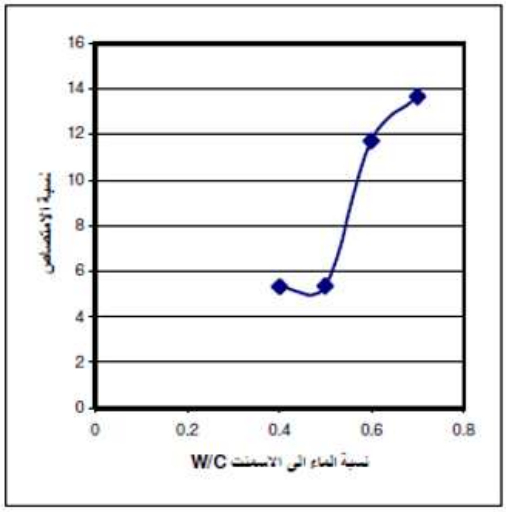
الشكل (14): تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) على الموصلية الحرارية باستخدام النبات البحري المار من المنخل قطر 4.75.



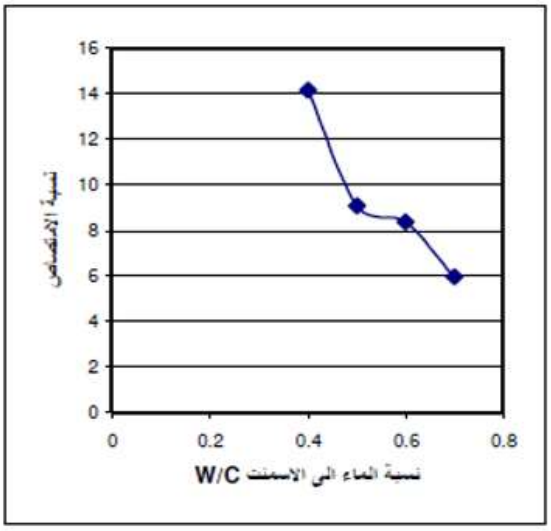
الشكل (15): تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) على الموصلية الحرارية باستخدام الركام العادي المار من المنخل قطر 4.75.



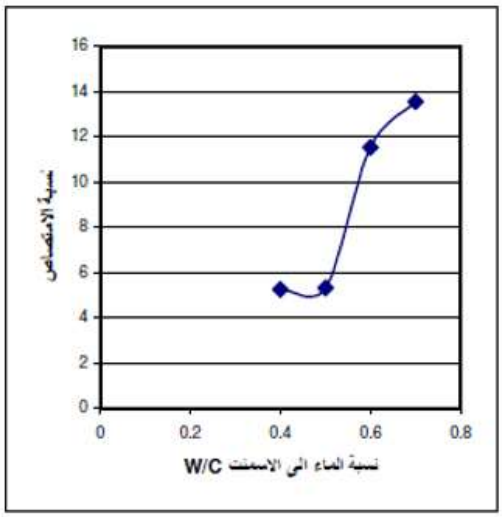
الشكل (16): تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) على نسبة الامتصاص باستخدام النبات البحري المار من المنخل قطر 2.36.



الشكل (17): تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) على نسبة الامتصاص باستخدام الركام العادي المار من المنخل قطر 2.36.



الشكل (18): تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) على نسبة الامتصاص باستخدام النبات البحري المار من المنخل قطر 4.75.



الشكل (19): تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) على نسبة الامتصاص باستخدام الركام العادي المار من المنخل قطر 4.75.

والجدولان (2)، (3) توضح النتائج المتحصل عليها لعينات اختبار الفحص القرصي في درجة حرارة المعمل (22 م) ومن ثم في درجة الفرن (45 م) على التوالي وكِلا الجدولين يوضحان مدى تأثير الركام العادي والنبات البحري على تفتت الأقراص، حيث أن الإشارة (-) تدل على أنه لم يحدث تفاعل للعينة في تلك الفترة.

الجدول (2): نتائج الأقراص في درجة حرارة المعمل (22) درجة مئوية لخلطات بنسبة (W/C=0.5).

القرص المستعمل					الفترة الزمنية بالأسابيع					
نوع الركام	نوع الاسمنت	نوع المحلول	قطر القرص	قطر فتحة المنخل	الاول	الثاني	الثالث	الرابع	الخامس	السادس
عادي	بورتلاندي عادي	ملحي Nacl + Kcl+5%Cao	10	4.75	-	-	-	-	-	تفتت
				2.36	-	-	-	-	-	تفتت
				4.75+2.36	-	-	-	-	-	تفتت
النبات البحري	بورتلاندي عادي	ملحي Nacl + Kcl+5%Cao	10	4.75	-	-	-	-	تفتت	تفتت
				2.36	-	-	-	-	تفتت	تفتت
				4.75+2.36	-	-	-	-	تفتت	تفتت

الجدول (3): نتائج الأقراص في درجة حرارة الفرن (45) درجة مئوية لخلطات بنسبة (W/C=0.5).

القرص المستعمل					الفترة الزمنية بالأسابيع					
نوع الركام	نوع الاسمنت	نوع المحلول	قطر القرص	قطر فتحة المنخل	الاول	الثاني	الثالث	الرابع	الخامس	السادس
عادي	بورتلاندي عادي	ملحيNacl + Kcl+5%Cao	10	4.75	-	-	تفتت	تفتت	تفتت	تفتت
				2.36	-	-	تفتت	تفتت	تفتت	تفتت
				4.75+2.36	-	-	تفتت	تفتت	تفتت	تفتت
النبات البحري	بورتلاندي عادي	ملحيNacl + Kcl+5%Cao	10	4.75	-	تفتت	تفتت	تفتت	تفتت	تفتت
				2.36	-	تفتت	تفتت	تفتت	تفتت	تفتت
				4.75+2.36	-	تفتت	تفتت	تفتت	تفتت	تفتت

الاستنتاجات والتوصيات

تم تنفيذ برنامج عملي يتضمن العديد من الاختبارات المعملية لبيان مدى أمكانية الاستفادة من الكـميات الهائلة المتوفرة من النبات البحري المعروف محليا بقش البحر (البوزيدونيا) على السواحل الليبية في أعمال الخرسانة وبالتحديد في أنتاج خرسانة خفيفة الوزن؛ لما لذلك من منافع اقتصادية من خلال استخدام مادة عديمة الكلفة في أنتاج مادة معروفة الفوائد والمردود الاقتصادي بالإضافة إلى المنافع البيئية التي يتم الحصول عليها، أجريت فحوصات مقاومة الانضغاط والامتصاص والعزل الحراري ومقاومـة التفتت (التهديم)على خرسانة استبدل فيها الركام العادي بالنبات البحري وتمت مقارنة النتائج فيما بينها وتم التوصل إلى ما يلي:

1. تقل مقاومة الضغط مع زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C)، حيث لوحظ أن مقاومة الضغط للخرسانة أقل باستخدام ركام النبات البحري عما هو عليه باستخدام الركام العادي بنسبة 48.86% كمعدل لجميع النماذج، ووجد أن حجم الركام يؤثر تأثير كبيرا في مقاومة الضغط حيث كلما كان حجم الركام اكبر زادت مقاومة الضغط في كلتا الحالتين باستخدام الركام العادي و النبات البحري.
2. يقل العزل الحراري للخرسانة بزيادة نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C)، هذا يعني أنه بزيادة نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) تزداد الموصلية الحرارية، حيث لوحظ أن النبات البحري كان يعزل الحرارة تقريبا أكثر من الركام العادي بنسبة (34.86 %)، ووجد أن حجم الركام لا يؤثر بشكل ملحوظ على العزل الحراري.
3. يزداد امتصاص الخرسانة للماء مع نقص نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) في حالة استخدام النبات البحري، ويزداد امتصاص الخرسانة للماء مع زيادة نسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) في حالة استخدام الركام العادي، ولوحظ أن حجم الركام يؤثر تأثيرا بسيطا على قدرة امتصاص الخرسانة للماء، حيث أن كلما ازداد حجم الركام ازدادت نسبة الامتصاص.
4. لوحظ أن في درجة حرارة الغرفة (22) درجة مئوية يحدث التفتت في الأقراص النباتية بداية من الأسبوع الخامس تحت تأثير المحاليل الكيميائية، أما أقراص الركام العادي فكان التفتت فيها في منتصف الأسبوع السادس، ولوحظ أيضا في درجة حرارة (45) درجة مئوية كان التفتت في أقراص النبات البحري بداية من الأسبوع الثاني، أما أقراص الركام العادي فكان التفتت فيها في نهاية الأسبوع الثالث.

ومما سبق يمكن الاستنتاج إن الخرسانة المنتجة بركام النبات البحري ذات مقاومة ضغط جيدة من الناحية الإنشائية ويمكنها مقاومة الأحمال وذات عزل حراري جيد يمكن أن يكون له مردود اقتصادي واضح كما لها مقاومة جيدة لمهاجمة المواد الكيميائية .

يوصى بإجراء المزيد من الأبحاث لدراسة متغيرات أخرى حيث تمثل نتائج هذه الورقة بداية مشجعة لاستكمال دراسة الموضوع.

المراجع

- الجمعية العلمية الملكية الأردنية، (2006). "دليل مواد العزل الحراري للمباني"، مركز بحوث البناء– الاردن.
- الهادي مصطفى أوقيله، وسعد خليل القزيري، (1997). "الساحل الليبي". منشورات مركز البحوث والاستشارات، جامعة قاريونس– ليبيا، الطبعة الأولى.
- جامعة يردو في أنديانا بالولايات المتحدة الأمريكية، (1978). "اختبار الامتصاص والاختبار القرصي (الكيميائي) لمعرفة التفت في الخرسانة"، المؤتمر الثالث – نيويورك.
- حسين محمد جمعة، (2007). "عزل وحماية المنشآت الخرسانية"، العراق.
- علي العناني، وأدهم سبع العيش، (2001). "العزل الحراري في البناء وتوفير الطاقة وتأمين الراحة"، الاردن.
- وزارة الأشغال العامة الأردنية، (2003). "كود العزل الحراري دستور البناء الوطني الأردني"، المجلد الثالث عشر، الاردن.
- Pole (1983). "استعمال الركام بأحجام (أقطار) مختلفة مع عجينة (ماء وإسمنت) باستخدام اختبار الأقراص"، المؤتمر العالمي الرابع – كوبنهاجن بالدنمارك.