Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Vol. 38, No. 2, pp. 437-447, March, 2010.

LIGHTWEIGHT CONCRETE IN YEMEN

Hassan S. Abdul-Moghni
Civil Engineering Dept., Faculty of Engineering, Sana'a University, Sana'a, Yemen

(Received January 19, 2010 Acepted February 5, 2010).

Light-weight concrete (LWC) has been successfully used since the ancient Roman times and it has gained its popularity due to its lower density and superior thermal insulation properties Compared with normal weight concrete (NWC).The main objective of the present study is to provide some information on properties of light-weight concrete using Yemeni light-weight aggregate, this study covers the use of light-weight coarse aggregate, two types of fine aggregates, superplasticizer and silica fume in concrete. The effects on density, absorption, compressive and splitting tensile strengths of lightweight concrete are reported. The resulting concretes were seen to have densities varying from 1420 to 1760 kg/m3, with the corresponding compressive strengths varying from 13.4 to 22.7 MPa .The results of absorption, show that the mixes containing superplasticizer and silica fume have lower levels of absorption compared to the mixes without admixtures. Further, the mixes made with light-weight fine aggregate have absorption values greater than that mixes made with normal fine aggregate.

الخرسانة خفيفة الوزن في اليمن

د. حسان سعد محمد عبد المغني
كلية الهندسة – جامعة صنعاء – اليمن أستاذ الهندسة الإنشائية المشارك
E-mail ***has_mogni@maktoob.com***

الملخص:

استخدمت الخرسانة خفيفة الوزن بنجاح منذ القدم، وقد كثر استخدامها نتيجة لمميزاتها الكثيرة مثل كثافتها المنخفضة وعزلها الحراري الجيد بالمقارنة مع الخرسانة الاعتيادية، ولعل أسهل طريقة للحصول على هذا النوع من الخرسانة هي باستخدام الركام خفيف الوزن ذو المصدر البركاني.
ونظراً لتوفر الركام البركاني بكميات كبيرة في أماكن كثيرة من اليمن مثل العاصمة صنعاء والمناطق المحيطة بها، فإن هذا البحث يهدف إلى دراسة إمكانية إنتاج خرسانة خفيفة الوزن من مواد محلية.
تم في هذا البحث استخدام ركام خشن خفيف الوزن من مصدر بركاني و نوعين من الركام الناعم من مصدرين مختلفين كما تم استخدام نوعين من المضافات الخرسانية هما الملدن المتفوق وأبخرة السليكا.
أظهرت النتائج إمكانية الحصول على خرسانة خفيفة الوزن ذات كثافة تتراوح بين 1420 -1760 كجم/م3 ومقاومة لِلانضغاط تتراوح بين 13.4 – 22.7 ميجا باسكال . ودلت النتائج على ان استخدام المضافات بالخلطات الخرسانية خفيفة الوزن قد أدى إلى الحصول على خرسانة خفيفة الوزن ذات مقاومة جيدة وامتصاصاً اقل. كما ان الخلطات الخرسانية المكونة من الركام الناعم خفيف الوزن أظهرت امتصاصاً اكبر من الخلطات المكونة من الركام الناعم الاعتيادي.

/لكلمات الدالة: الركام الخفيف، الخرسانة الخفيفة، مقاومة الخرسانة ، الكثافة، الامتصاص، المضافات الخرسانية.

مقدمة:

تعرف الخرسانة الخفيفة (LWC) على أنها الخرسانة التي تقل كثافتها عن كثافة الخرسانة العادية حيث تتراوح كثافتها بين 300 -1800 كجم/م^3 وذلك تبعاً للغرض من استخدامها والمواصفات المطلوبة . وقد استخدمت الخرسانة الخفيفة الوزن بنجاح منذ العصر الروماني وزاد استخدامها ازدياداً كبيراً في الآونة الأخيرة لمزاياها المتعددة مثل قدرتها العالية على العزل الحراري والصوتي نتيجة لكثرة وجود الفراغات فيها ونظراً لخفة وزنها وكثافتها فإن ذلك يؤدي إلى تقليل وزن المنشأ نتيجة تقليل الأحمال الميتة وبالتالي تقليل ابعاد المقاطع الخرسانية للعناصر الإنشائية وهذا يؤدي إلى تقليل أبعاد الأساسات وكميات الحديد المستخدمة كما أنها تمتاز بمقاومتها للحريق مقارنة مع الخرسانة الاعتيادية (1،2) .

وعلى الرغم من أن سعر المتر المكعب للخرسانة الخفيفة قد يكون مساوي أو أكبر من سعر المتر المكعب للخرسانة الاعتيادية ولكن الكلفة الإجمالية للمنشاء بالنهاية تكون أقل في حالة استخدام الخرسانة الخفيفة (3). وقد تناولت دراسات عديدة مميزات الخرسانة الخفيفة الوزن وكذا خواصها والطرق المختلفة لإنتاجها وكيفية رفع كفائتها ومقاومتها. فيشير الباحث Yasar وجماعته (4) إلى ان الخرسانة الخفيفة تستخدم لتخفيض أحمال المنشآت وهذا بدوره يؤدي إلى تقليل مخاطر الزلازل كون قوى الزلازل التي تؤثر على المنشأ تتناسب مع كتلة المنشأ التي تعتبر عامل مهم في تقليل مخاطر الزلازل، وفي دراسة قام بها Alduaij وجماعته (5) تم استخدام ثلاثة أنواع من الركام الخشن ذات أوزان نوعية مختلفة وبدون استخدام ركام ناعم وتم الحصول على خرسانة خفيفة الوزن ذات كثافة 1520كجم/م^3 ومقاومة 22 ميجاباسكال بعمر 28 يوماً.

ويقترح الباحثانAltun, & Haktanir (6) أن يتم استخدام الخرسانة الخفيفة الوزن مع الخرسانة الاعتيادية كمقطع مركب لبعض الأعضاء الإنشائية بحيث تكون الطبقة السفلى من الخرسانة الاعتيادية والعلوية من الخرسانة الخفيفة، وأشار الباحثان إلى أن المقطع المركب سيتصرف كمقطع من الخرسانة الاعتيادية مع اكتسابه للمميزات الخاصة بالخرسانة الخفيفة مثل تقليل الأحمال الميتة وغيرها.

وتوصل الباحث Molotra (7) إلى أن مقاومة الخرسانة الخفيفة تصل إلى 50 ميجاباسكال باستخدام ركام خفيف ويمكن زيادتها إلى 70 ميجا باسكال بإضافة مضاف الملدن المتفوق وأبخرة السليكا، وفي دراسة أخرى قام بها الباحثان Bing Chen & Juanyu Liu(8) لدراسة تأثير المضافات الكيميائية والبوزلانية على خواص الخرسانة الخفيفة، أوضحت النتائج أن استعمال المضافات الخرسانية يؤدي إلى زيادة تماسك الخلطة الخرسانية وبالتالي إلى زيادة المقاومة في الأعمار المبكرة والنهائية.

ويشير الباحث Kayali وجماعته (9) إلى أن إضافة الألياف المعدنية بنسبة 1.7% من حجم الخرسانة يؤدي إلى مضاعفة مقاومة الشد، بينما يشير الباحثان Bengi Arisoy & Hwai-Chung (10) إلى إمكانية زيادة كفاءة الخرسانة الخفيفة، بإضافة الألياف المعدنية بحيث يمكن رفع مقاومة الإنحناء بمقدار 50 – 250% مقارنة مع الخرسانة الخفيفة الغير حاوية على الألياف المعدنية، وفي دراسة أخرى يشير الباحثان Sari & Pasamehmetoglu (11) إلى أن إضافة مضاف الملدن المتفوق والهواء المقصود يؤدي إلى تحسين المقاومة وقابلية التشغيل. وفي دراسة حديثة لدراسة إمكانية إنتاج خرسانة خفيفة الوزن باستخدام مواد محلية تم استخدام ثلاثة أنواع من الركام الخشن الخفيف الوزن من مناطق مختلفة ونوعين من الركام الناعم وقد توصلت الدراسة إلى إمكانية إنتاج خرسانة خفيفة الوزن ذات كثافة 865 كغم/م3 ومقاومة 4 ميجاباسكال(12).

هدف الدراسة:

إنتاج خرسانة خفيفة الوزن باستخدام الركام البازلتي الفقاعي خفيف الوزن المتواجد بكثرة في المناطق اليمنية، كما تهدف الدراسة إلى معرفة تأثير بعض المضافات الكيميائية والبوزلانية على خواص الخرسانة خفيفة الوزن المنتجة.

أهمية الدراسة:

بالرغم من توفر الكثير من الدراسات والأبحاث التي تناولت إنتاج خرسانة خفيفة من الركام الخفيف الوزن ولكن قليلة جداً هي الدراسات التي استخدمت الركام البازلتي الفقاعي الخفيف وكذلك هي قليلة جداً الدراسات التي استخدمت الركام البازلتي الفقاعي مع مضافات خرسانية مثل الملدنات المتفوقة وأبخرة السليكا.

الأعمال المختبريـــة

المواد المستخدمة:

الأسمنت: تم استخدام الأسمنت البورتلاندي الاعتيادي الموافق لمتطلبات المواصفات (ASTM C150) لجميع الخلطات الخرسانية.

الركام الناعم: تم استعمال نوعين من الركام الناعم:

الأول: خفيف من منطقة ذمار وزنه النوعي 2.1 وامتصاصه 3.5%.

والثاني: ركام ناعم اعتيادي من منطقة ثلاء وزنه النوعي 2.65 وامتصاصه 1.5 %.

الركام الخشن: تم استعمال الركام البازلتي الفقاعي خفيف الوزن ذو مقاس أقصى 12.5ملم ووزنه النوعي 1.8 وامتصاصه 7.7%

الملدن المتفوق: تم استعمال مضاف الملدن المتفوق بنسبة 4% كنسبة من وزن الأسمنت وهو موافق لمتطلبات المواصفات (ASTM C494).

أبخرة السليكا: تم استعمال أبخرة السليكا بنسبة 10% كنسبة من وزن الأسمنت وهو مطابق لمتطلبات المواصفات (ASTM C1240-9).

تم تحديد نسب $\frac{w}{c}$ لكل الخلطات الخرسانية المستخدمة بحيث تحقق هطول أولي مقداره 60±20 ملم وكانت نسب مكونات الخلطات الخرسانية 1: 1.7: 2 (اسمنت : ركام ناعم : ركام خشن) كنسب وزنية والجدول (1) يوضح أنواع الخلطات الخرسانية المستخدمة.

جدول (1) أنواع الخلطات الخرسانية المستخدمة

اسم الخلطة	الرمز	$\frac{W}{C}$	نوع الركام الناعم	نوع وكمية المضاف المستخدم %
مرجعية	M1	1.23	خفيف	-
حاوية على الملدن المتفوق	M2	0.9	خفيف	4% ملدن متفوق
حاوية على أبخرة السليكا	M3	0.97	خفيف	4% ملدن+10% أبخرة السليكا
مرجعية	M4	1.1	اعتيادي	-
حاوية على الملدن المتفوق	M5	0.77	اعتيادي	4% ملدن متفوق
حاوية على أبخرة السليكا	M6	0.8	اعتيادي	4% ملدن+10%أبخرة السليكا

النتائج والمناقشة

الكثافـــة

من خلال النتائج الموضحة بالجدول (2) والشكل(1) يلاحظ أن الخلطات المنتجة قد حققت المتطلبات الخاصة باشتراطات الخرسانة الخفيفة الوزن بأن تكون الكثافة ضمن المدى 300 – 1800كجم/م^3. وتشير النتائج بأن للركام الناعم تأثير مهم على كثافة الخرسانة المنتجة، فعند استبدال الركام الناعم الخفيف بركام ناعم اعتيادي لوحظ زيادة واضحة لكثافة الخرسانة المنتجة بمقدار 14.8% للخرسانة المرجعية الخالية من المضافات و 17.8، 18% للخرسانة الحاوية على الملدن المتفوق وأبخرة السليكا على التوالي. كما اوضحت النتائج أن الخلطات الحاوية على المضافات قد أظهرت كثافة أكبر من الخلطات المرجعية الغير حاوية على المضافات. حيث لوحظ أن الخرسانة المكونة من الركام الناعم الاعتيادي والحاوية على أبخرة السليكا قد أظهرت زيادة بالكثافة بمقدار 4.9 ، 8% عن الخلطة المرجعية المكونة من الركام الناعم الخفيف والاعتيادي على التوالي. ويرجع سبب زيادة الكثافة للخرسانة الحاوية على المضافات إلى أن مضاف الملدن المتفوق يعمل على تقليل المحتوى المائي وبالتالي تقليل المسامات

كما أن أبخرة السليكا المضافة تعمل على التفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من عملية الإماهة مكونة كمية إضافية من الجيل (Gel) التي تعمل بدورها على سد المسامات وتقليلها وبالتالي زيادة الكثافة (13).

مقاومة الانضغاط:

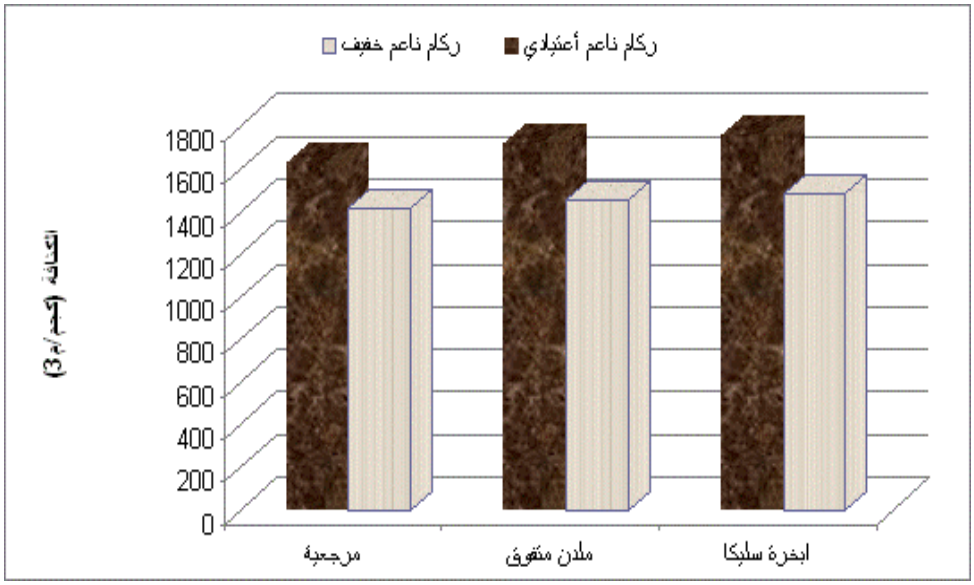
إن تأثير الركام الخفيف على مقاومة انضغاط الخرسانة خفيفة الوزن يكون رئيسياً بعكس تأثير الركام على مقاومة الخرسانة الاعتيادية كون الركام الخفيف يكون أضعف من عجينة الأسمنت المحيطة به وبالتالي فإن الفشل عادة يكون من خلال حبيبات الركام، كما أن الركام الخفيف نتيجة لاحتوائه على المسامات الكبيرة فإنه يحتاج إلى كمية ماء أكبر من الركام الاعتيادي للحصول على نفس قابلية التشغيل لذلك فإن لخواص ومقاومة الركام تأثيراً كبيراً على مقاومة الخرسانة المنتجة.

وبملاحظة النتائج الموضحة بالجدول (2) والأشكال (2-7) يلاحظ أن الخرسانة المكونة من الركام الناعم الاعتيادي قد أبدت زيادة واضحة في مقاومة الانضغاط بالمقارنة مع الخرسانة المكونة من الركام الناعم الخفيف، حيث تشير النتائج إلى أن استبدال الركام الناعم الخفيف بركام ناعم اعتيادي قد أدى إلى زيادة المقاومة بعمر 28 يوماً بمقدار 32.6 ، 35.2 ، 34.4% للخرسانة المرجعية والحاوية على الملدن المتفوق والحاوية على أبخرة السليكا على التوالي، ويفسر ذلك كون الركام الناعم الخفيف يحتوي على كثير من المسامات ويحتوي على مواد ناعمة بشكل كبير وذلك يؤدي إلى زيادة ماء الخلط مما يؤدي إلى تقليل المقاومة، لإن المقاومة ترتبط ارتباط مباشراً بكمية ماء الخلط فكلما زاد ماء الخلط قلت المقاومة، حيث لوحظ أن نسبة $\frac{w}{c}$ اللازمة للحصول على قابلية التشغيل المطلوبة لخلطة الركام الناعم الخفيف قد تراوحت من 0.97 – 1.23 بينما الخلطة المكونة من الركام الناعم الاعتيادي تراوحت نسبة $\frac{w}{c}$ من 0.8 – 1.1 للحصول على نفس قابلية التشغيل، وهذا يفسر سبب زيادة المقاومة للخلطات الحاوية على الركام الناعم الاعتيادي.

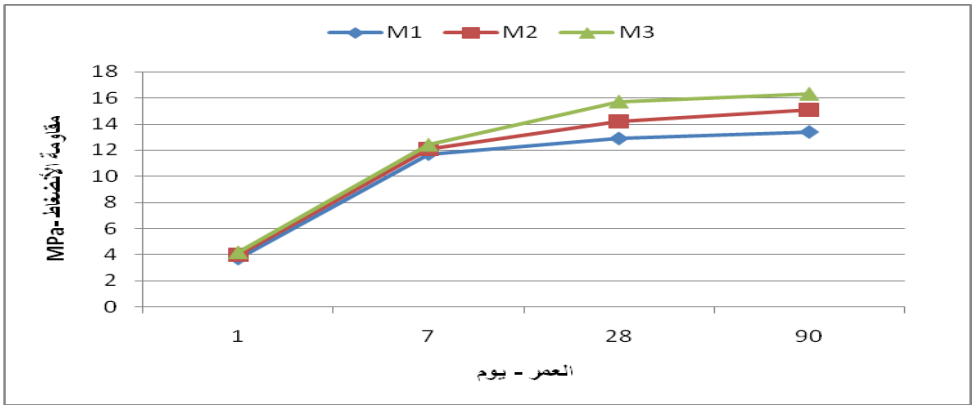
وتوضح النتائج تأثير المضافات الخرسانية على مقاومة الانضغاط حيث يلاحظ أن استخدام الملدن المتفوق وأبخرة السليكا للخلطات الخرسانية المكونة من الركام الناعم الخفيف يؤدي إلى زيادة المقاومة بعمر 28 يوماً بمقدار 10 ، 21.2% على التوالي مقارنة بالخلطة المرجعية الخالية من المضافات كما تظهر النتائج بعمر 28 يوماً للخلطات المكونة من الركام الناعم الاعتيادي وحاوية على الملدن المتفوق وأبخرة السليكا زيادة مقاومة الانضغاط بمقدار 12.3 ، 23.4% على التوالي مقارنة مع الخلطة الغير حاوية على المضافات، وقد يرجع سبب زيادة مقاومة الانضغاط للخلطات الحاوية على الملدن المتفوق كون هذا المضاف يعمل على تقليل المحتوى المائي للخليط وبالتالي تصغير المسامات وتحسين المنطقة الانتقالية، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة المقاومة، بينما يرجع سبب زيادة المقاومة للخلطات الحاوية على أبخرة السليكا كون هذا المضاف له تأثير بوزلاني يعتمد على التفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من عملية الإماهة ويقوم بإنتاج جيل إضافي (سليكات الكالسيوم المائية) يعمل على تصغير المسامات أو غلقها وبالتالي زيادة المقاومة.

جدول (2) نتائج مقاومة الانضغاط والكثافة للخلطات الخرسانية

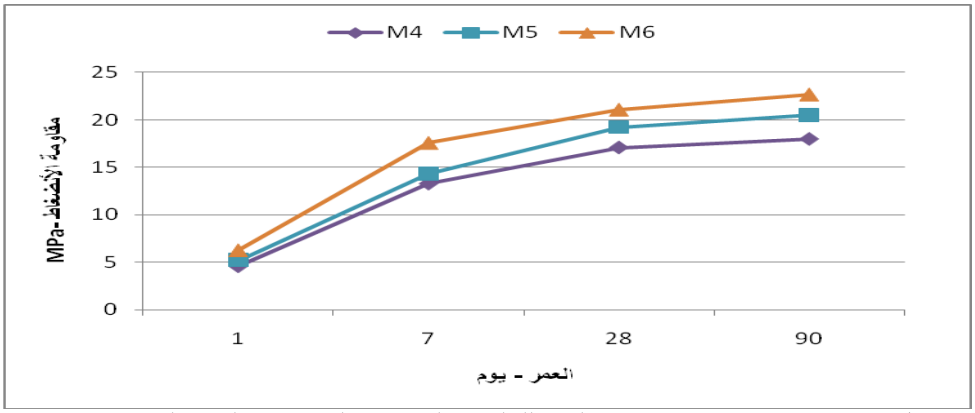
رمز الخلطة	مقاومة الانضغاط MPa للعمر (يوم)				الكثافة
	1	7	28	90	كجم/م3
M1	3.7	11.7	12.9	13.4	1420
M2	4	12.1	14.2	13.1	1460
M3	4.2	12.4	15.7	16.3	1490
M4	4.6	13.3	17.1	18.0	1630
M5	5.2	14.3	19.2	20.5	1720
M6	6.3	17.6	21.2	22.7	1760



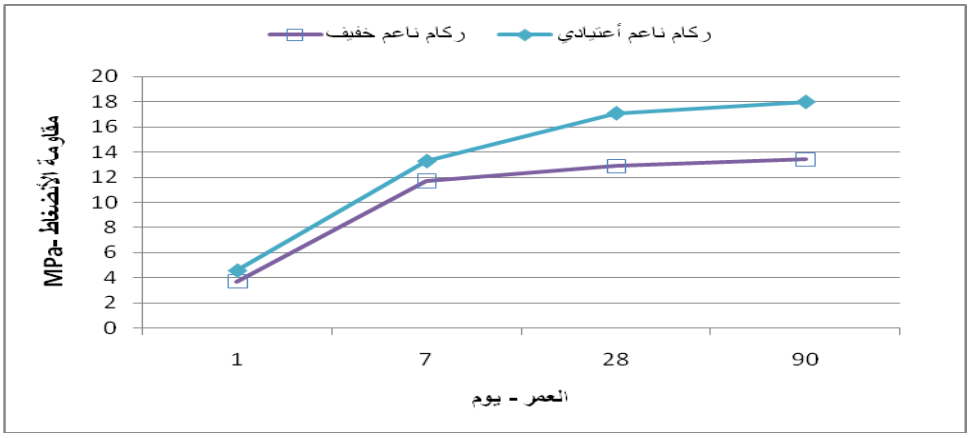
شكل (1) تأثير نوع الركام الناعم على كثافة الخرسانة.



شكل (2) علاقة مقاومة الانضغاط مع العمر للخلطات الخرسانية المكونة من الركام الناعم الخفيف

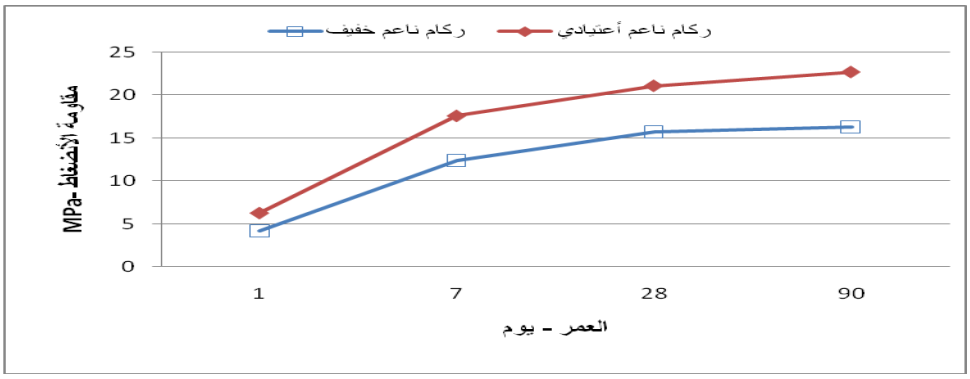


شكل (3) علاقة مقاومة الانضغاط مع العمر للخلطات الخرسانية المكونة من الركام الناعم الاعتيادي

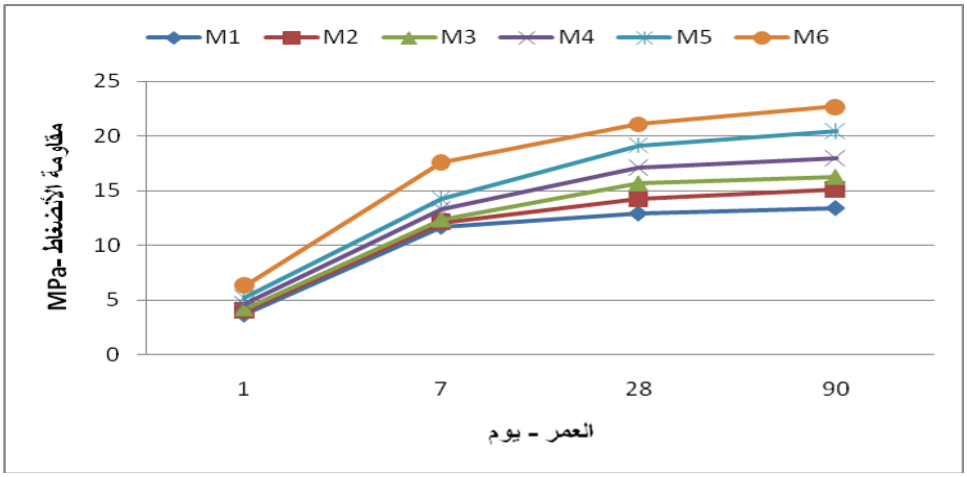


شكل (4) تأثير نوع الركام الناعم على مقاومة انضغاط الخرسانة المرجعية.

شكل (5) تأثير نوع الركام الناعم على مقاومة انضغاط الخرسانة الحاوية على الملدن المتفوق.



شكل (6) تأثير نوع الركام الناعم على مقاومة انضغاط الخرسانة الحاوية على أبخرة السليكا.



شكل (7) علاقة مقاومة الانضغاط مع العمر للخلطات الخرسانية المختلفة .

مقاومة الشد

تعطي مقاومة الشد للخرسانة معلومات مهمة في تقدير الأحمال التي تولد التشققات كما أن معرفة مقاومة الشد يساعد على فهم سلوكية الخرسانة المسلحة. ومن ملاحظة النتائج الموضحة بالجدول (3) والأشكال (8-13) تظهر النتائج أن مقاومة الشد تسلك سلوكاً مشابهاً لمقاومة الضغط، حيث يلاحظ أن استبدال الركام الناعم الخفيف بركام ناعم اعتيادي يؤدي إلى زيادة مقاومة الشد للعينات بعمر 28 يوماً بمقدار 13.6 ، 13.3 ، 12% للخرسانة المرجعية والحاوية على الملدن المتفوق وأبخرة السليكا على التوالي. ويرجح سبب ذلك كون الركام الناعم الخفيف يحتوي على مسامات ومواد ناعمة أكثر بما يؤدي إلى زيادة ماء الخلط وبالتالي تقليل المقاومة. كما تشير النتائج إلى أن استخدام المضافات يؤدي إلى زيادة مقاومة الشد لجميع الخلطات الخرسانية المحتوية على ركام ناعم خفيف أو اعتيادي، فيلاحظ أن إضافة الملدن المتفوق للخرسانة المكونة من الركام الناعم الخفيف يعمل على زيادة مقاومة الشد بمقدار 3% مقارنة بمقاومة الخرسانة المرجعية بعمر 28 يوماً، بينما الخرسانة المكونة من الركام الاعتيادي والحاوية على مضاف أبخرة السليكا تظهر زيادة بمقاومة الشد بعمر 28 يوماً بمقدار 5.3% مقارنة مع مقاومة الخلطة المرجعية المكونة من الركام الاعتيادي، وكما ذُكر سابقاً فإن استخدام الملدن المتفوق يعمل على تقليل المحتوى المائي وبالتالي تقليل المسامات وزيادة المقاومة، كما أن أبخرة السليكا تعمل على تكوين جل إضافي يؤدي إلى غلق المسامات أو تصغيرها وبالتالي زيادة المقاومة.

مما سبق يمكن استنتاج ملاحظة عامة حول معدل زيادة المقاومة نتيجة استخدام المضافات مفادها إن معدل الزيادة بالنسبة للخرسانة الخفيفة تكون أقل بكثير من معدل الزيادة بالخرسانة الاعتيادية، وقد يرجع سبب ذلك كون المضافات المستخدمة تعمل على زيادة مقاومة عجينة الأسمنت أو المنطقة البينية الرابطة بين الركام وعجينة الأسمنت التي تؤثر تأثيراً كبيراً على مقاومة الخرسانة الاعتيادية، ويحدث الفشل بالخرسانة الخفيفة بحبيبات الركام الخفيف نفسه حيث تفشل حبيبات الركام قبل فشل عجينة الأسمنت أو المنطقة البينية على عكس الخرسانة الاعتيادية التي غالباً ما يكون الفشل في المنطقة البينية (14).

الامتصاص

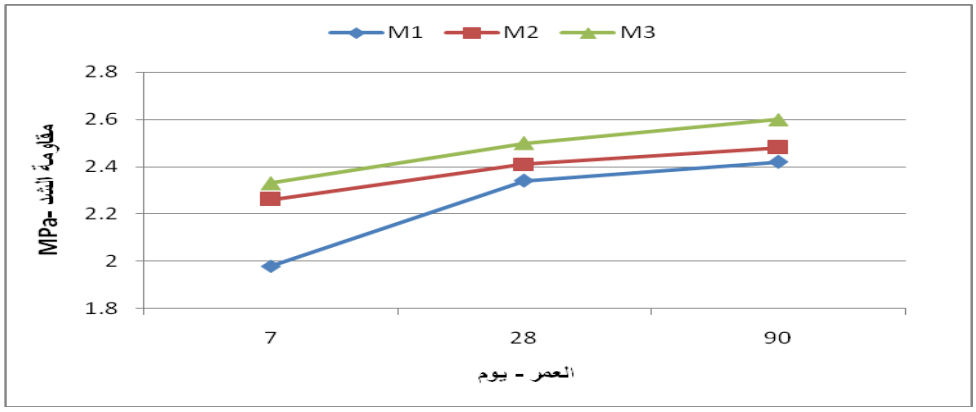
الامتصاص عملية فيزيائية يتم بواسطتها سحب الماء إلى داخل مسامات الخرسانة، وتعتبر هذه الخاصية كمقياس لحجم الفراغات والمسامات داخل الخرسانة، وبملاحظة الشكل (14) تشير النتائج إلى أن الخرسانة الخفيفة تبدي امتصاصاً أكبر من امتصاص الخرسانة الاعتيادية كون الركام الخفيف يحتوي على مسامات أكثر وبالتالي يكون امتصاصه للرطوبة أكبر. وتشير النتائج أن الخرسانة المكونة من الركام الناعم الاعتيادي تبدي امتصاصاً أقل بمقدار 28.9، 34.7 ، 88.8% مقارنة مع الخرسانة المكونة من الركام الناعم الخفيف للخلطات المرجعية والحاوية على الملدن المتفوق والحاوية على أبخرة السليكا على التوالي. كما توضح النتائج أن استخدام المضافات

الخرسانية قد عمل على تقليل الامتصاص بصورة واضحة، حيث أن استخدام الملدن المتفوق قد أدى إلى تقليل الامتصاص بمقدار 23.6 و 6.71% مقارنة مع الخلطة المرجعية المكونة من الركام الناعم الاعتيادي والخفيف على التوالي. بينما استخدام أبخرة السليكا يعمل على تقليل الامتصاص بمقدار 39.62 ، 39.5% مقارنة مع الخلطة المرجعية المكونة من الركام الناعم الاعتيادي والخفيف على التوالي.

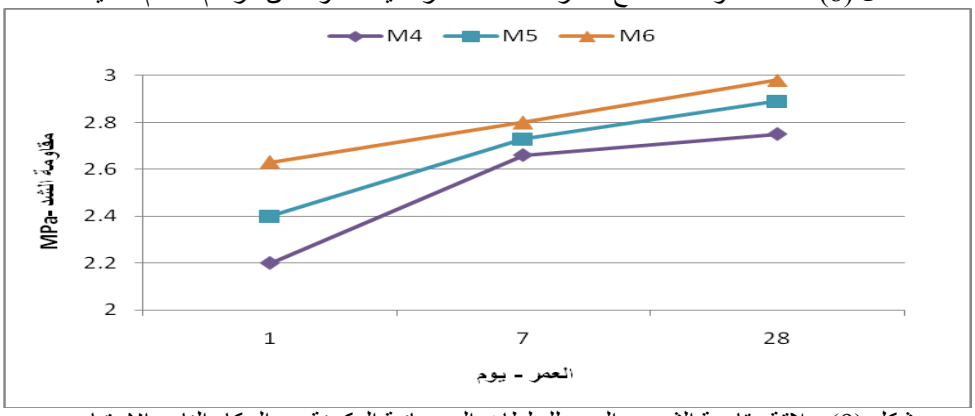
ويكون تأثير المضافات واضح في تقليل الامتصاص كون الملدن المتفوق يعمل على تقليل ماء الخلط وبالتالي تقليل المسامات الشعرية بينما تعمل أبخرة السليكا باتجاهين الأول التأثير البوزلاني حيث تتفاعل أبخرة السليكا مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من عملية الإماهة مكونة جل إضافي يعمل على غلق أو تصغر المسامات والاتجاه الثاني هو أن أبخرة السيليكا التي تمتاز بصغر مقاس حبيباتها حيث تعمل على غلق المسامات وبالتالي تقليل الامتصاص.

جدول(3) مقاومة الشد والامتصاص للخلطات الخرسانية المستخدمة

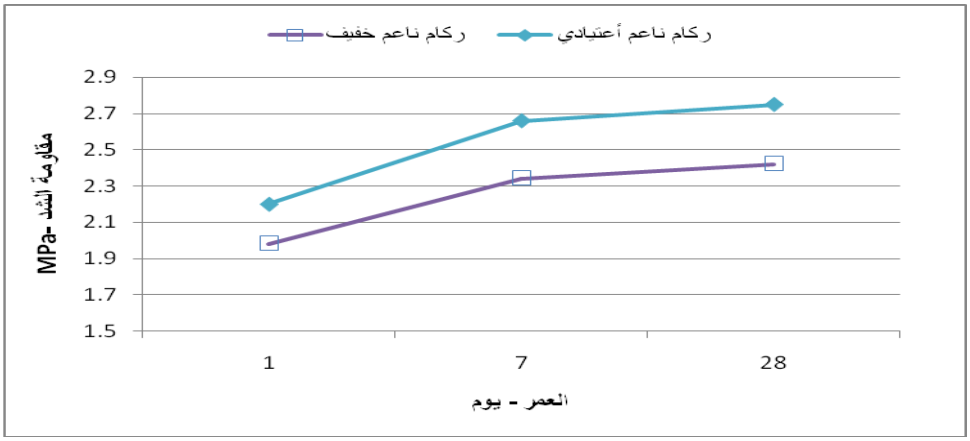
رمز الخلطة	مقاومة الشد MPa للعمر (يوم)			الامتصاص
	7	28	90	%
M1	1.98	2.34	2.42	14.9
M2	2.26	2.41	2.48	12.41
M3	2.33	2.5	2.6	9
M4	2.2	2.66	2.75	10.6
M5	2.4	2.73	2.89	8.1
M6	2.63	2.8	2.98	6.4



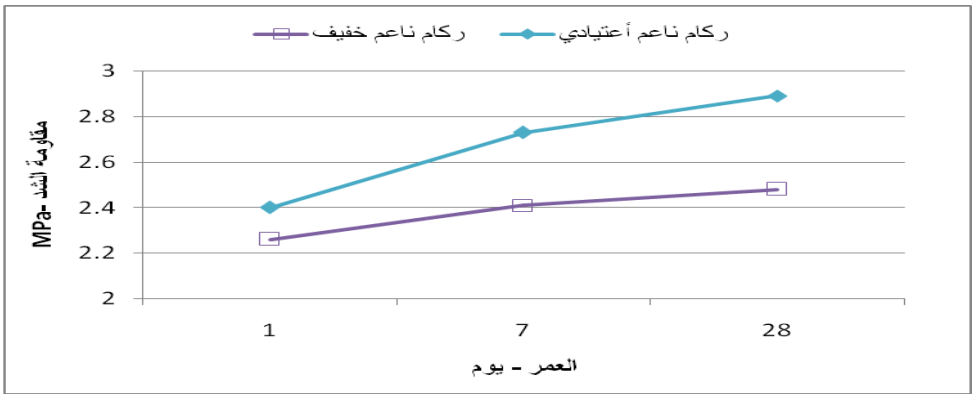
شكل (8) علاقة مقاومة الشد مع العمر للخلطات الخرسانية المكونة من الركام الناعم الخفيف



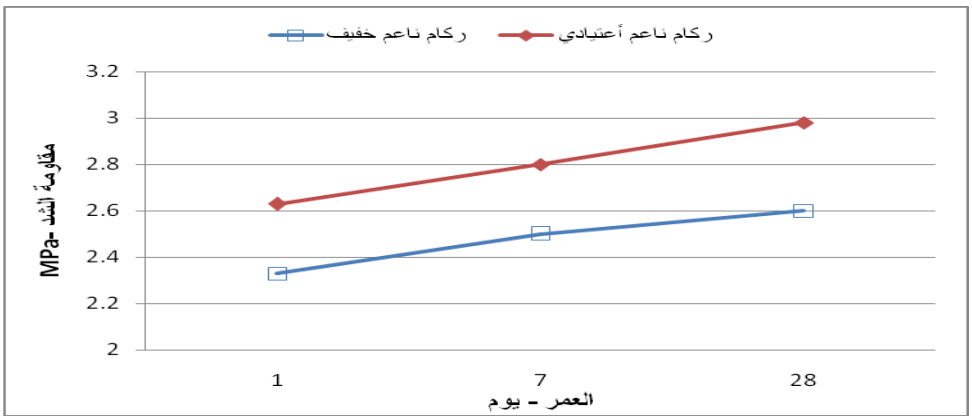
شكل (9) علاقة مقاومة الشد مع العمر للخلطات الخرسانية المكونة من الركام الناعم الاعتيادي



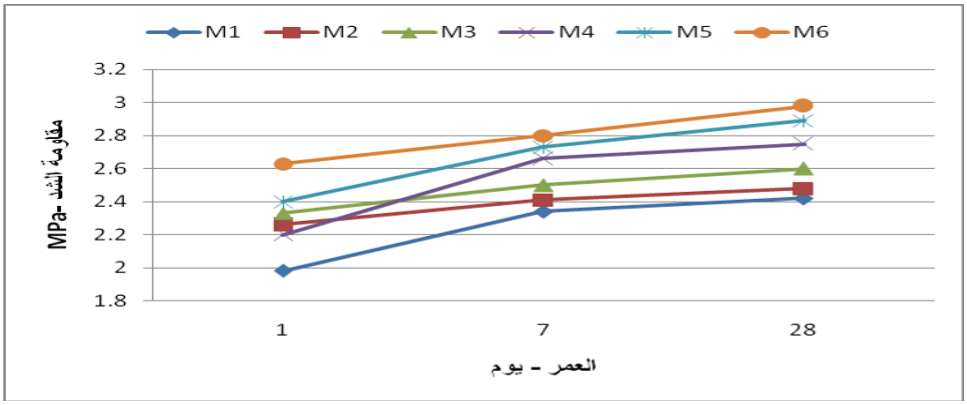
شكل (10) تأثير نوع الركام الناعم على مقاومة الشد للخرسانة المرجعية.



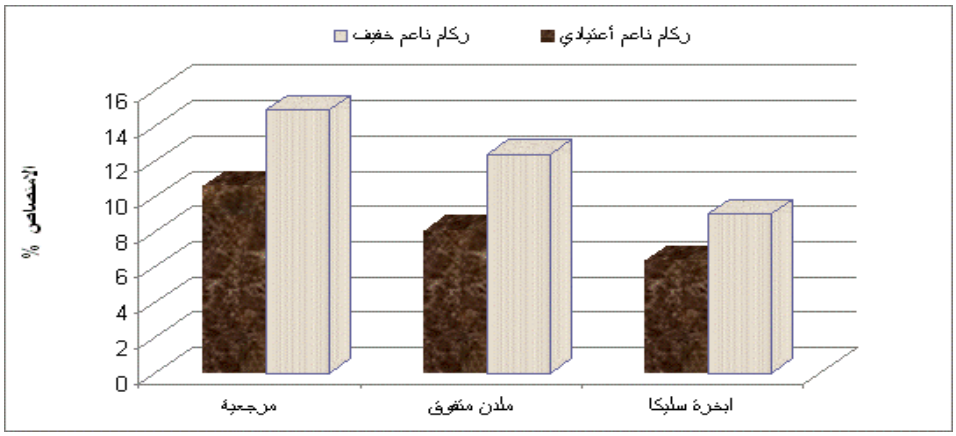
شكل (11) تأثير نوع الركام الناعم على مقاومة الشد للخرسانة الحاوية على الملدن المتفوق.



شكل (12) تأثير نوع الركام الناعم على مقاومة الشد للخرسانة الحاوية على أبخرة السليكا.



شكل (13) علاقة مقاومة الشد مع العمر للخلطات الخرسانية المختلفة .



شكل (14) تأثير نوع الركام الناعم على امتصاص الخرسانة.

التوصيات

من هذه الدراسة يمكن استخلاص النتائج التالية:

1. للركام الناعم تأثير واضح على كثافة الخرسانة المنتجة
2. الخرسانة الحاوية على المضافات أظهرت كثافة ومقاومة اكبر من الخرسانة الخالية منها.
3. أمكن الحصول على خرسانة خفيفة الوزن ذات كثافة تراوحت بين 1620-1760 كجم/م^3 ومقاومة انضغاط مقابلة تتراوح بين 13.4- 22.7 ميجاباسكال
4. تراوحت مقاومة الشد للخرسانة المنتجة بعمر 28 يوماً بين 2.34- 2.8 ميجاباسكال
5. الخلطات الخرسانية الحاوية على المضافات أظهرت تقليلاً واضحاً في قيم الامتصاص وبنسب تصل إلى 40 % مقارنة مع الخلطات المرجعية الغير الحاوية على المضافات

المصـــــادر

1. Topcu, I.B. ‘‘Semi-lightweight concretes produced by volcanic slags‘‘ Cem. Concr. Res. 27 (1997) 15– 21.
2. Chandra, S. and Berntsson, L. ‘‘Lightweight aggregate concrete’’ science, technology and applications. Noyes Publications.

3. Joao A. Rossignolo, Marcos V.C. Agnesini b, Jerusa A. Morais " Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates" Cement & Concrete Composites 25 (2003) 77–82.
4. Yasar E, Atis CD, Kilic A, Gulsen ''H. Strength properties of Lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash'' Materials Letters 2003;57:2267–70.
5. Alduaij, J. Alshaleh, K. Haque, M.N. Ellaithy, K. ''Lightweight concrete in hot coastal areas'', Cem. Concr. Compos. 21 (1999)
453– 458.
6. Altun, F. Haktanir, T. ''Flexural behavior of composite reinforced concrete elements'' J. Mater. Civ. Eng. ASCE 13(2001) 255–259.
7. Malhotra, V.M., "CANMET Investigation in the Development of High Strength Concrete Proceedings Utilization of High Strength Concrete," Symposium, Stavanger, Norway, June 1987, pp. 15-86.
8. Bing Chen a, Juanyu Liu ''Experimental application of mineral admixtures in lightweight concrete with high strength and workability'' Construction and Building Materials 22 (2008) 1108–1113
9. Kayali, O. Haque, M.N. Zhu B. ''Some characteristics of high strength fiber reinforced lightweight aggregate concrete'' Cement & Concrete Composites 25 (2003) 207–213
10. Bengi Arisoy a, Hwai-Chung Wu ''Material characteristics of high performance lightweight concrete reinforced with PVA'' Construction and Building Materials 22 (2008) 635–645
11. Sari, D. Pasamehmetoglu, A.G. ''The effects of gradation and admixture on the pumice lightweight aggregate concrete'' Cement and Concrete Research 35 (2005) 936–942.
12. Al-Nazily, Ali, "The ability of producing light-weight concrete utilizing indigenous materials'' A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master of philosophy, Sana'a university, 2009.
13. Alhalf, M.N., and Yousif, H. A., "Concrete Admixtures", University of Technology, Baghdad, 1982.
14. Tommy Y. Lo, W.C. Tang, H.Z. Cui "The effects of aggregate properties on lightweight concrete "Building and Environment 42 (2007) 3025–3029.
15. Tommy Y. Lo, H.Z. Cui, W.C. Tang, W.M. Leung "The effect of aggregate absorption on pore area at interfacial zone of lightweight concrete" Construction and Building Materials 22 (2008) 623–628.