تحسين تدرج الركام الناعم الطبيعي بإضافة الركام المجروش لإنتاج الخرسانة ذاتية الدمك

علي محمد منصور وأسعد أحمد الشعاب وعبد الخالق جمعة الحطماني و رواد فرج يوسف
جامعة طرابلس – كلية الهندسة – قسم الهندسة المدنية
E-mail: bomndi@yahoo.com

ABSTRACT

Fine aggregate is considered one of the key elements in a self compacted concrete and as the natural sand sources near the city of Tripoli and provides low quality graded sand with modulus of fineness less than 2. On the other hand aggregate crushing plants produce crushed aggregates with good quality and grading that contain fine materials.

This study is based on the use of fine aggregate crushed product of crushing plants as a partial substitute for natural sand for the purpose of improving the aggregate gradation which contains fine material less than 0.125 mm that can be used as a filler in the concrete instead of imported materials such as silica fume and fly ash, and to give self compacted concrete the required viscosity.

Several experiments are performed on a number of concrete mixes of self compacting to study the effect of replacing the proportion of crushed aggregate as a substitute for natural sand and thus the effect of the fine material associated with the crushed aggregate on the properties of concrete in both cases of fresh and hard.

The results showed an improvement in the flow of concrete, a reduction of the separation of constituents in the fresh state and an improvement in compressive strength and density in the hardened state.

الملخص

الركام الناعم يعتبر أحد العناصر الأساسية في إنتاج الخرسانة ذاتية الدمك وحيث إن مصادر الرمل الطبيعي القريبة من مدينة طرابلس توفر رمل ردئ التدرج وذو معامل نعومة اقل من 2. ومن ناحية أخري تنتج كسارات الركام ركام ناعم مجروش (crushing) جيد التدرج ويحتوي على مواد ناعمة.

تقوم هذه الدراسة على استخدام الركام الناعم المجروش المنتج من كسارات الركام كبديل جزئي للرمل الطبيعي لغرض تحسين تدرجه لاحتوائه على مواد ناعمة اقل من 0.125 مم لاستخدامها كمادة مالئة في العجينة الإسمنتية عوضا من المواد المستوردة مثل غبار السيليكا والرماد المتطاير, وإعطاء الخرسانة المدموكة ذاتيا اللزوجة المطلوبة.

عدة تجارب معملية أجريت على عدد من الخلطات الخرسانية ذاتية الدمك لدراسة مدى تأثير إحلال نسبة من الركام المجروش كبديل للرمل الطبيعي وبالتالي تأثير المواد الناعمة المصاحبة للركام المجروش، على خواص الخرسانة في الحالتين اللدنة والمتصلدة.

النتائج أظهرت تحسن انسياب الخرسانة وانخفاض في انفصال مكوناتها في الحالة الطازجة وتحسن في مقاومة الضغط وزيادة في نسبة الكثافة في الحالة المتصلدة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية الدمك؛ الركام المجروش؛ الرمل الطبيعي.

المقدمة

تعتبر الخرسانة ذاتية الدمك (SCC) نتاج التطور الحاصل في مجال دراسات الخرسانة والإضافات خلال العقدين الأخيرين، وتعتبر إضافات تقليل ماء الخلط أو ما يعرف بالملدنات الفائقة (Superplasticizers) وإضافات تحسين اللزوجة هما الإضافات الأساسية اللازمة لإنتاج خرسانة ذاتية الدمك، ويتميز هذا النوع من الخرسانة بدرجة عالية من السيولة والانسيابية، مما يجعلها الأكثر استخدام في تنفيذ العديد من المنشآت والتطبيقات المفيدة، وذلك لسهولة صبها في القطاعات المختلفة وبخاصة المزدحمة بأسياخ التسليح دون الحاجة لاستخدام الأنواع المختلفة من الهزازات لغرض دمك الخرسانة مثلما يحدث مع الخرسانة التقليدية، ولهذا أصبحت دراسة وتطوير هذا النوع من الخرسانة هدف من أهداف الشركات المنفذة ولأبحاث التطوير في مجال الإنشاءات للتغلب على المشاكل المصاحبة للخرسانة التقليدية أثناء التنفيذ في الموقع، حيث يمكن ضخ الخرسانة ذاتية الدمك إلى أماكن عالية مع عدم التأثر بمهارة العمالة ولا بشكل المنشأ ولا بكمية حديد التسليح المستعملة بالمقطع الخرساني، نتيجة لما تتمتع به من انسيابية وسيولة عالية (high deformability) وكذلك مقاومتها العالية للانفصال الحبيبي (good stability) وفي هذا المجال قامت العديد من الدول بأجراء الاختبارات والدراسات لتطوير هذا النوع من الخرسانة وتعتبر اليابان وأوروبا من الدول الرائدة في مجال تطوير الخرسانة ذاتية الدمك واختيار المواد المستخدمة في أنتاجها والتي هي نفس المواد المستخدمة في الخرسانة العادية مع الاختلاف في نسب المواد ونوع الإضافات المستخدمة مع زيادة المواد الناعمة ذات القطر الأصغر من 0.125 مم بهدف الحصول على أتزان بين الانسيابية والسيولة العالية ومقاومة الانفصال الحبيبي لمكونات الخرسانة في الحالة اللدنة والحفاظ على الديمومة في الحالة المتصلدة، وتتمثل المواد الناعمة التي تستعمل في أنتاج الخرسانة ذاتية الدمك في غبار السيلكا (silica fume) والرماد المتطاير (fly ash) والخبث (slag) وبما أن هذه المواد غير متوفرة محليا ولارتفاع تكلفة استيرادها فقد يكون من الممكن الاستغناء عن هذه المواد باستخدام المواد المتوفرة محليا كبودرة الرخام ومسحوق الأجر والمواد الناعمة المصاحبة لعملية إنتاج الركام الخشن، والجدير بالذكر أيضا فإن الركام الناعم يعتبر من احد العناصر الأساسية المهمة في تحسين خواص الخرسانة المدموكة ذاتيا حيث يمثل جزءا من المواد الناعمة التي تساعد بدورها على زيادة لزوجة الخرسانة ومقاومة انفصال مكوناتها.

أهداف الدراسة

نتيجة للنهضة العمرانية التي تشهدها ليبيا بصفة عامة ومدينة طرابلس بصفة خاصة في مجالي الإنشاء والمقاولات والتي تعتمد غالبا على الخرسانة لما لها من سهولة في التشكل والتكوين. ونظرا للنقص الكبير في توفر الرمل الناعم المطابق للمواصفات ذات العلاقة [1] والذي يعتبر من أهم مكونات الخلطة الخراسانية، حيث يستعمل الرمل الطبيعي المعروف محليا برمل سيدي السائح في إنتاج الخرسانة ذاتية الدمك (SCC) والذي يتميز بدرجة نعومته العالية بحيث إنها في كثير من الأحيان لا تكاد تفي بأدنى متطلبات التدرج والذي يعرف بالمنطقة 3 طبقا المواصفات الليبية [1]

والمواصفات البريطانية [2] حيث تنصح هذه الموصفات بعدم استخدام هذا النوع من الرمل ومع هذا نجد أنفسنا مضطرين لاستعماله باعتباره الركام المتوفر، ولهذا تهدف هذه الدراسة إلى محاولة تحسين تدرج الرمل الناعم (رمل سيدي السائح) وذلك بإضافة نسب مختلفة من الركام الناعم المجروش الجيد التدرج والذي يحتوي على المواد المالئة الأنعم من 0.125 ملم واستعمال هذا الخليط في إعداد خلطات خراسانية لإنتاج خرسانة ذاتية الدمك، حيث أثبت هذا الخليط نجاحه في إنتاج الخرسانة العادية [3].

البرنامج العملي

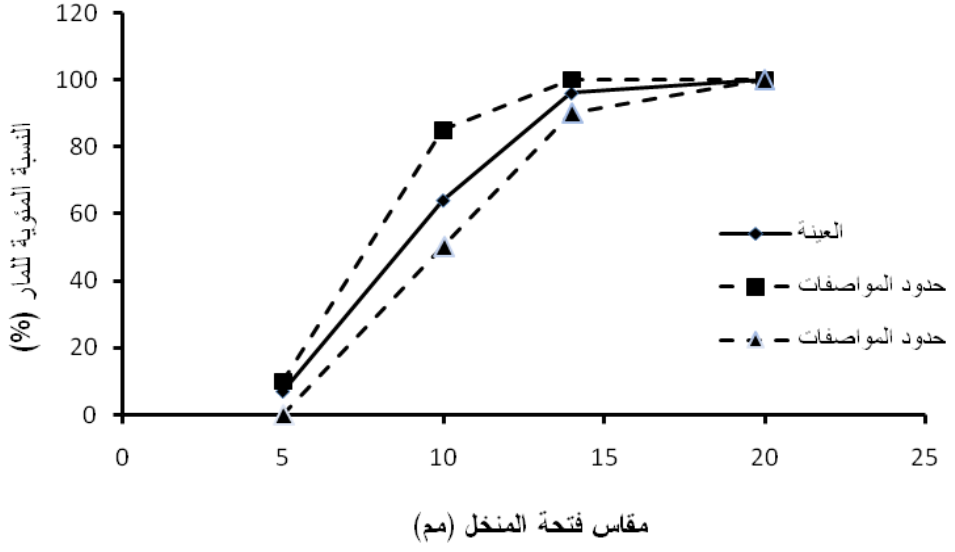
لتحقيق أهدف هذه الدراسة فقد اعتمدت على عدة محاور منها:-

- استجلاب عينات من الركام الناعم المتمثل في رمل سيدي السائح وركام المحاجر المجروش.
- إجراء الاختبارات الفيزيائية الميكانيكية على المواد المكونة للخرسانة ومقارنة النتائج المتحصل عليها بحدود الموصفات ذات العلاقة.
- تنفيذ خلطات خرسانية بإضافة نسب إحلال مختلفة من الركام المجروش (0 - 25%) من الكمية المستعملة بالخلطة من رمل سيدي السائح للحصول على خرسانة ذاتية ألدمك.
- تنفيذ مجموعة من الاختبارات المعملية لتحديد تأثير إضافات الركام المجروش على خواص الخرسانة في حالتيها اللدنة والمتصلدة
- دراسة وتحليل النتائج المتحصل عليها من الاختبارات المنفذة ومقارنتها بالتوصيات ذات العلاقة.
- الوصول إلى نتائج وتوصيات من شأنها التشجيع على استخدام المواد المستهدفة والتشجيع على استمرار الدراسات في مجال الخرسانة ذاتية الدمك.

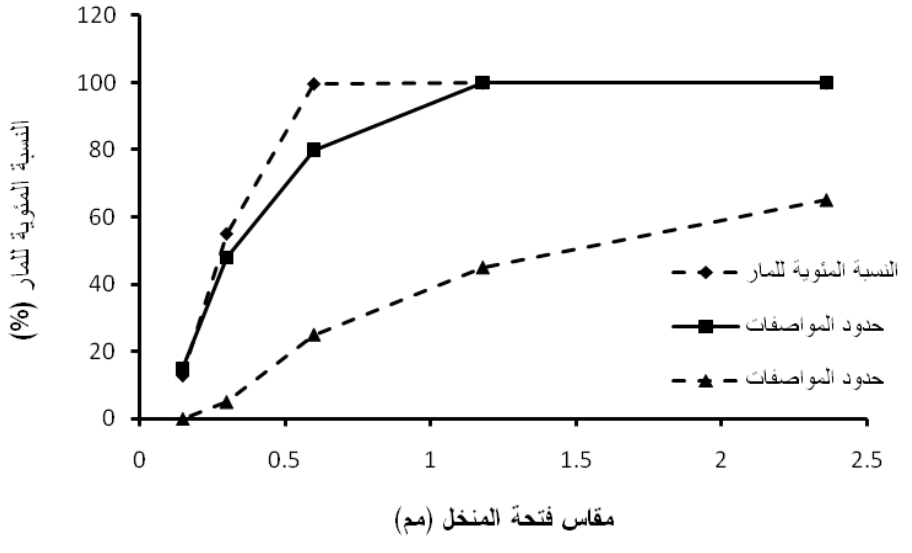
المواد المستخدمة

تتكون الخرسانة ذاتية الدمك من الاسمنت، الركام الخشن، الركام الناعم، المواد الناعمة، الماء، الملدنات.

- **الاسمنت:** الاسمنت البورتلاندى العادي السائب من إنتاج مصنع البرج زليتن.
- **الماء:** مياه صالحة للشرب وبالتالي صالحة للاستعمال في الخرسانة.
- **الركام الخشن:** ركام خشن ذو تدرج (14 - 5 مم) مستجلب من محاجر الجبل الغربي (محجر شركة الاتحاد العربي للمقاولات). الشكل (1) يوضح نتائج التحليل المنخلي لعينة الركام.
- **الركام الناعم الطبيعي:** تم جلبه من محاجر منطقة سيدي السائح. الشكل (2) يوضح نتائج التحليل المنخلي لعينة الركام الناعم الطبيعي.



شكل 1: التحليل المنخلي لعينة الركام الخشن



شكل 2: التحليل المنخلي لعينة الركام الناعم الطبيعي

- **الركام الناعم المجروش:** تم جلبه من محاجر الجبل الغربي. الشكل (3) يوضح نتائج التحليل المنخلي لعينة الركام الناعم المجروش. وقد لوحظ من نتائج التحليل المنخلي لعينة الركام الناعم الطبيعي (رمل سيدي السائح) بأنها قريبة جدا من الحدود العليا للتدرج المسموح به حسب المواصفات الليبية المعمول بها [1] وقد تكون أحيانا خارج حدود الموصفات، الهدف من هذه الدراسة هو تحسين تدرج الركام الناعم الطبيعي المستعمل وذلك بخلطه بنسب مختلفة من الركام الناعم المجروش تبدأ من 5% للركام المجروش و95% للرمل الطبيعي إلى 25%

للركام المجروش و75% للرمل الطبيعي (انظر الجدول 1) وكذلك الاستفادة من محتوى الركام المجروش من المواد الناعمة الأقل من 0.125 مم لتكون مواد مالئة في الخلطة الخرسانية.

- **الملدنات:** تم استعمال نوع من الملدنات الفائقة (SP) [4] بنسبة 2% من وزن الاسمنت لجميع الخلطات.

باستخدام الطريقة الحجمية تم تحديد كميات مكونات الخلط لمتر مكعب من الخرسانة وتم ضبط وتعديل نسب الخلط بحيث تتوافق مع التوصيات الأوربية المقترحة [5]. وقد تم تنفيذ عدد 6 خلطات مضافا إليها النسب المذكورة سابقا من الركام الناعم المجروش مع تثبيت نسبة الملدن كما هو موضح بالجدول (1).

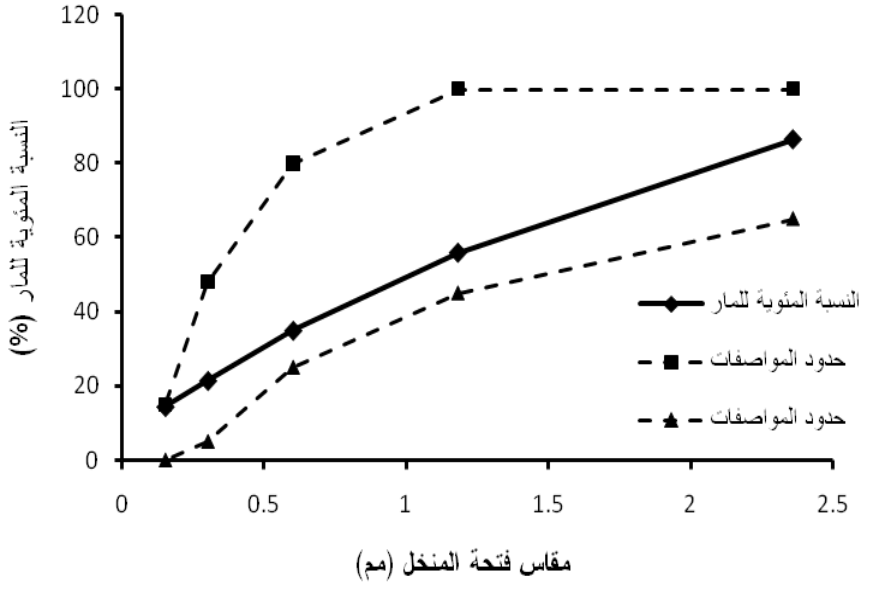
جدول 1: مكونات الخلطات الخرسانية.

رقم الخلطة	الركام الخشن	نسب مكونات الخلطة *	المحتوى الأسمنتي (كجم)	الملدنات ** (%)	مقاومة الضغط (نيوتن/مم^2) (28 يوم)***
1	14 مم حجر جيري	1: 2.41: 2.14: 0: 0.54	400	2	36
2		1: 2.41: 2.03: 0.107: 0.52	400	2	38
3		1: 2.41: 1.92: 0.214: 0.51	400	2	40
4		1: 2.41: 1.82: 0.32: 0.49	400	2	40
5		1: 2.41: 1.71: 0.428: 0.48	400	2	41
6		1: 2.41: 1.60: 0.534: 0.48	400	2	43

* اسمنت بورتلاندي: ركام خشن: ركام ناعم: ركام مجروش: ماء حر.

** الملدنات نسبة من وزن الاسمنت.

*** قياس مقاومة الضغط باستخدام مكعبات 150×150×150 مم



شكل 3: التدرج الحبيبي للركام الناعم المجروش

تم اختبار عينات من هذه الخلطات وهي في الحالة اللدنة لدراسة خواصها طبقا للتوصيات الأوربية (5) وذلك بأجراء مجموعة من الاختبارات والموضحة بالجدول (2) كتالي:-

- اختبار هبوط التدفق (Slump Flow +T50)
- اختبار (L-Box Test)
- اختبار (J-Ring Test)
- اختبار (V-Funnel)

أما في الحالة المتصلدة فقد تم إجراء الاختبارات التالية والموضحة بالجدول (3):

- اختبار مقاومة الضغط
- اختبار الكثافة

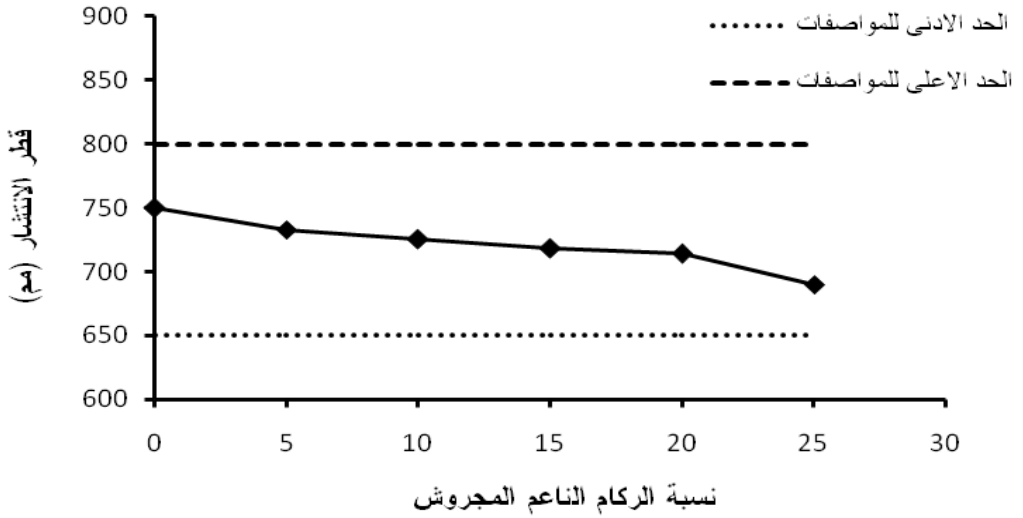
مناقشة نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة اللدنة

تم في هذه الاختبارات دراسة خواص الخلطات الخرسانية الموضحة في الجدول (1) وكانت النتائج كما في الجدول (2). تبين نتائج الاختبارات أن معظم الخلطات لها قطر تدفق يقع ضمن قطر التدفق المطلوب والذي تحدده المواصفات (650-800 مم) وقد تبين انه بزيادة نسبة الركام المجروش تزداد اللزوجة مع نقص في قطر الانتشار وذلك لنسب الركام المجروش المستعملة (حتى 25٪) كما هو موضح بالشكل (4) وبشكل عام فإن القراءات كانت متقاربة نسبيا.

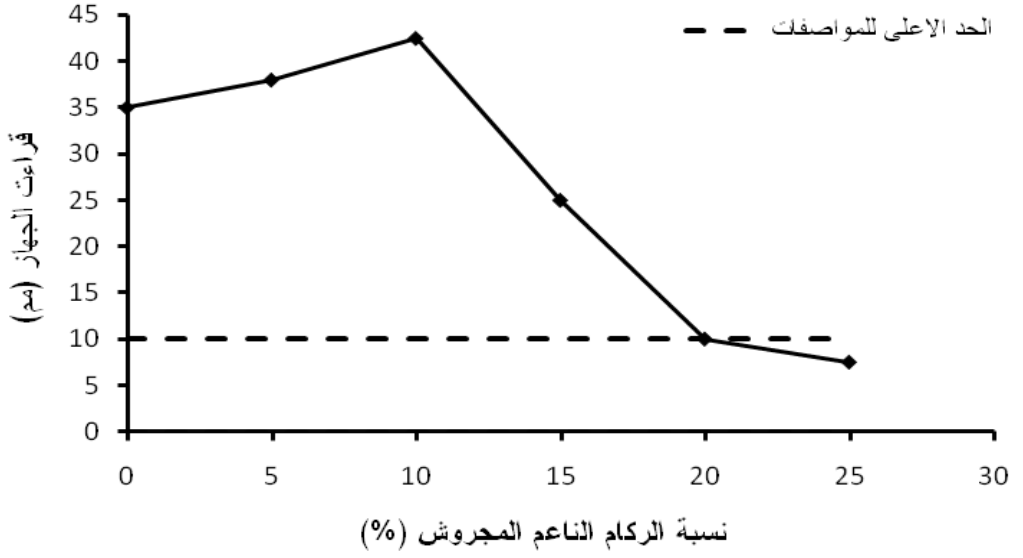
أما نتائج اختبار J-Ring فقد لوحظ إن الاحتجاز كان كبيرا في الخلطات التي تحتوي على نسب قليلة من الركام الناعم المجروش من 0٪ إلى 15٪ وكانت خارج حدود المواصفات، وذلك بسبب انخفاض لزوجة الخرسانة في هذه الخلطات، وتكون نسبة الاحتجاز قليلة في الخلطات التي احتوت على نسبة الركام الناعم المجروش 20٪ و 25٪ بسبب الزيادة في لزوجة الخرسانة ومقاومتها للانفصال الحبيبي كما في الشكل (5).

جدول 2: نتائج اختبارات الخلطات الخرسانية في الحالة اللدنة.

رقم الخلطة	قطر الانتشار (مم)	زمن الانتشار T50 (ثانية)	j-Ring (مم)	L-Box test	V-Funnel (ثانية)	مؤشر الاستقرار البصري	نسبة الركام المجروش (%)
1	760	0.7	35	0.9	3.68	3	0
2	733	1.61	38	0.91	5.0	3	5
3	725	1	42.5	0.87	5.34	3	10
4	718	3.3	25	0.80	8.6	2	15
5	714	2.3	10	0.85	9.45	2	20
6	690	3.03	7.5	0.81	11.51	1	25
حدود المواصفات	800-650	5-2	10-0	1-0.8	12-6	2-0	



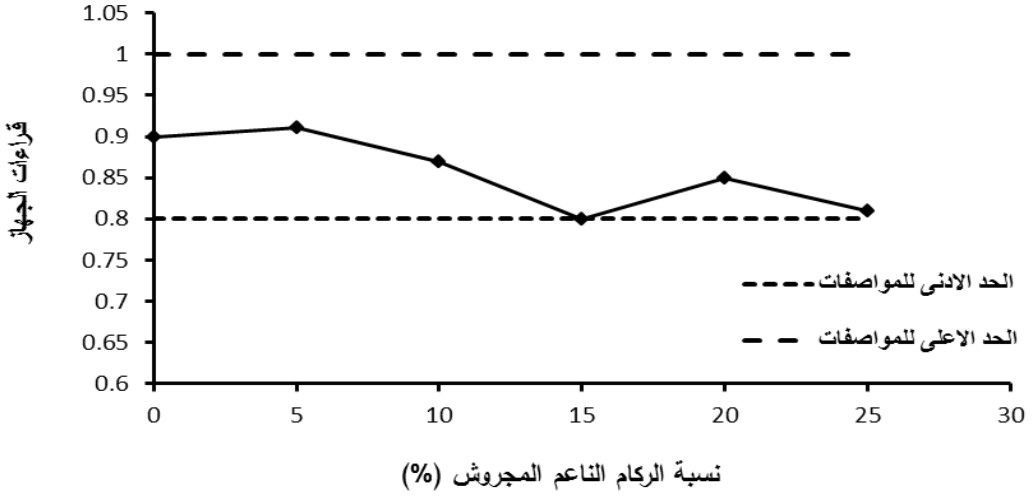
شكل 4: نتائج قراءات جهاز (Slump Flow) لنسب مختلفة من الركام الناعم والمجروش



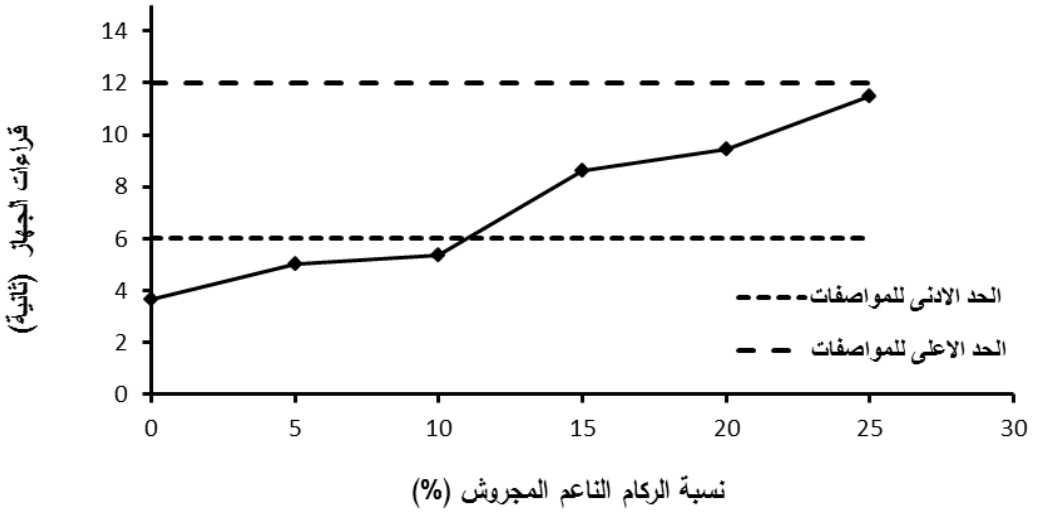
شكل 5: نتائج قراءات جهاز (J-Ring) لنسب مختلفة من الركام الناعم والمجروش

في اختبار L-Box فقد أتت معظم النتائج للخلطات المنفذة أعلى من 0.8 والتي تمثل الحد الأدنى الموصي بها من المواصفات الأوربية [5] EFNARC بخصوص قدرة الخرسانة على الاستواء الذاتي، كما هو موضح بالشكل (6).

أما اختبار V-funnel كانت نتائج الخلطات تزداد مع زيادة كمية الركام المجروش والملاحظ أن نتائج V-funnel لنسب الركام 15% - 25% قد وقعت ضمن توصيات EFNARC (6-12 ثانية) كما في الشكل (7) وكذلك بالنسبة لمؤشر الاستقرار البصري.



شكل 6: نتائج قراءات جهاز (L-Box) لنسب مختلفة من الركام الناعم والمجروش



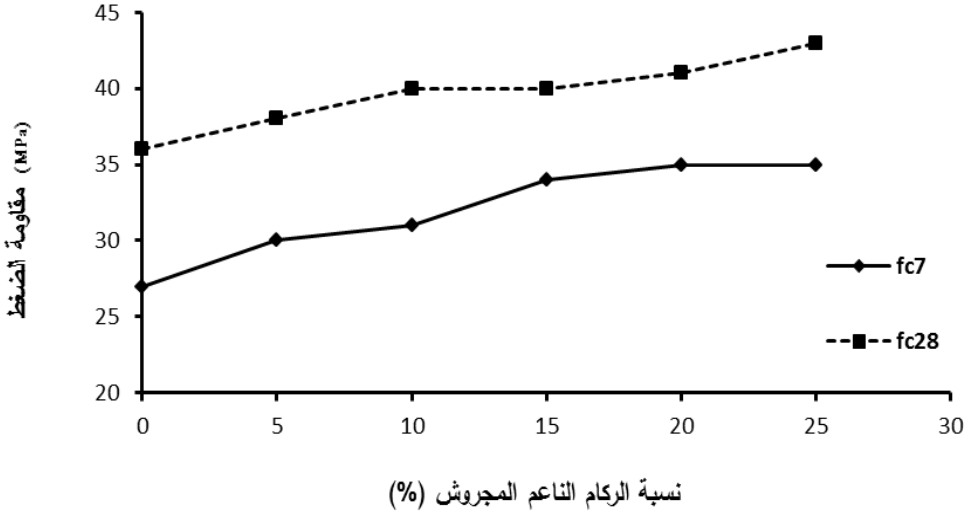
شكل 7: نتائج قراءات جهاز (V-Funnel) لنسب مختلفة من الركام الناعم والمجروش

نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة المتصلدة ومناقشتها

تم قياس مقاومة الخرسانة للضغط باستعمال مكعبات بمقاس 150×150×150 مم وقد لوحظ تغير واضح في مقاومة الضغط عند زيادة نسب الركام المجروش الناعم مع بعض التذبذب البسيط كما هو موضح بالجدول (3) وبالشكل (8)، وقد لوحظ أيضا تحسن في كثافة الخرسانة وهذا قد يكون مرجعه إلى قدرة الدمك الذاتي لهذه الخرسانة نتيجة لتحسن خواص الركام الطبيعي بإحلال الركام المجروش كما بالجدول (4).

جدول 3: نتائج اختبارات مقاومة الضغط.

رقم الخلطة	نسبة الركام المجروش (%)	مقاومة الضغط			
		7 أيام (نيوتن/مم^2)	نسبة الزيادة (%)	28 يوم (نيوتن/مم^2)	نسبة الزيادة (%)
1	0	27.3	0	36	0
2	5	29.5	8.1	38	5.6
3	10	30.5	11.7	40	11.1
4	15	34	24.5	40	11.1
5	20	35	28.2	41	13.9
6	25	35	28.2	43	19.4



شكل 8: العلاقة بين نسبة الركام الناعم المجروش ومقاومة الضغط

جدول 4: نتائج تأثير زيادة نسبة الركام المجروش على الكثافة الجافة للخرسانة.

رقم الخلطة	نسبة الركام الناعم المجروش (%)	الكثافة الجافة (كجم/ م^3)	نسبة الزيادة (%)
1	0	2289	0
2	5	2322	1.44
3	10	2378	3.89
4	15	2339	2.18
5	20	2378	3.89
6	25	2360	3.10

الخلاصة

قامت هذه الدراسة على إمكانية استخدام الركام المجروش كبديل جزئي للرمل الطبيعي لتحسين تدرجه وللاستفادة من المواد الناعمة لتكون كمادة مالئة في العجينة الإسمنتية وذلك كمحاولة لاستبدال المواد المستوردة بالمواد المحلية وتم التوصل إلى الاستنتاجات الآتية:

- ❖ يظهر تحسن واضح في تجانس الخرسانة عند زيادة نسب الإحلال الجزئي بحيث أعطت النسب من 15% إلى 25% نتائج جيدة والتي حققت جميع قيم التوصيات في اختبارات الخرسانة الطازجة وكذلك أظهرت زيادة في مقاومة الضغط مع الزيادة في نسب الإحلال.
- ❖ بينت الدراسة إمكانية الاستفادة من الركام المجروش كبديل جزئي للرمل الطبيعي وذلك بإحلال الركام المجروش وتحسين تدرج الركام الناعم حتى نسبة (25%) وذلك في إنتاج خرسانة ذاتية الدمك.
- ❖ من خلال النتائج المتحصل عليها ونظرا لتحسن تجانس الخرسانة والحصول على أفضل النتائج عند نسب الإحلال العالية المستعملة في هذه الدراسة يمكن دراسة نسب إحلال أعلى من الركام المجروش.

المراجع

[1] ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية –طريقة إجراء التحليل المنخلي "المواصفات القياسية الليبية رقم 252 " ، 2006 م.

[2] Methods for determination of aggregates particle size distribution – Sieve test- British standard Institution, "BS 812: part 103,1 " , London , 1985.

[3] علي محمد منصور وآخرون "استخدام نواتج المحاجر والكسارات في صناعة الخرسانة" المؤتمر الوطني الثاني لمواد البناء والهندسة الإنشائية. الخمس – ليبيا، 2004.

[4] Dynamon-SR345,''Superplasticizer based on modified acrylic polymer for concrete with very low water cement ratio, high compressive strengths and long slump retention'',MAPEI.

[5] The European Guidelines for Self - Compacting concrete 2005 edition.

[6] Testing concrete. Method of compressive strength of concrete cubes - British standard Institution, "BS 1881: part 116, London 1983.

[7] Testing concrete. Method of density of hardened concrete - British standard Institution, "BS 1881: part 114 London, 1983.