مقاومة الصدم وسلوك التشغيلية للخرسانة ذاتية الدمك

الصادق اعبيد عبدالله وعبدالرحمن محمد عوض ومحمد فتحي ابوكلوب

قسم الهندسة المدنية كلية الهندسة جامعة طرابلس
E-mail: Abaid2@yahoo.com

ABSTRACT

In recent time great development in concrete technologies and manufacturing have led to the simplicity of producing new concrete types that can withstand direct pressure continuously. The new types are self-compacting concrete characterized by their high operating fluidity and their ability for free flow through construction elements. Developing of such concrete types require knowledge of their composition and performance under systematic testing methodology.

In this study, a compression resistance test apparatus was manipulated to examine the compact resistance of self-compacting concrete samples (fresh and hard). The examined concrete samples are mixtures of different compositions that were prepared by the addition of different percentage of different cairn. A relation between impact resistance and pressure resistance was developed using the same energy units (Joule).

Results show that addition of 6% of grounded cairn instead of rude cairn gave the highest impact resistance of 63N/mm^2, and first crack occurred at highest pressure resistance of 441 Joule, whereas collapse occurred at 480Joule. From the obtained results, an empirical correlation relating compression (pressure) resistance to impact resistance was formulated using curve-fitting methods.

الملخص

شهدت الآونة الأخيرة تطوراً كبيراً في تقنيات اعداد الخرسانات وانتاج أنواع جديدة منها تتميز بقدرتها على تحمل الضغوط المسلطة عليها مع الاستمرارية العالية بالإضافة الي سهولة إعدادها. ومن أجل الحصول على خرسانة ذات قابلية تشغيل عالية وقادرة على التدفق الحر والانسياب خلال الأعضاء الخرسانية، تم دراسة وتطوير الخرسانة ذاتية الدمك وطرق اختبارها. في هذا البحث تم دراسة تطوير استخدام جهاز اختبار مقاومة الصدم للخرسانة ذاتية الدمك، وإيجاد علاقة بين مقاومة الصدم ومقاومة الضغط للخرسانة باستخدام نفس وحدات الطاقة (جول)، حيث تم تنفيذ خلطات خرسانية متعددة وإجراء الاختبارات عليها في الحالة الطرية والمتصلدة.

من خلال هذه الدراسة تبين أن الخلطة التي يضاف إليها نسبة 6% من الركام المجروش (القرنيليا) كبديل للركام الخشن يكون لها أعلى قيمة لمقاومة الصدم عند حدوث اول تصدع 441 جول وعند الانهيار 480 جول وبمقاومة ضغط 63 نيوتن لكل مليمتر مربع والفرق بين مقاومة الصدم عند التصدع والانهيار كانت 39 جول.

كما تم من خلال النتائج التوصل إلى معادلات تربط العلاقة بين مقاومة الصدم ومقاومة الضغط للخرسانة عند حدوث أول تصدع وكذلك عند الانهيار.

الكلمات المفتاحية: مقاومة الصدم؛ مقاومة الضغط؛ الخلطات الخرسانية؛ المعادلات التجريبية.

المقدمة

الخرسانة ذاتية الدمك تعتبر ذات مزايا كثيرة مقارنة بالخرسانة التقليدية بقدرتها العالية على الانسياب والعبور خلال قضبان الحديد الكثيف ومقاومة للانفصال الحبيبي. ويمكن صبها في القطاعات الضيقة وذلك بدون الاستعانة بأي وسيلة دمك خارجية أو داخلية ويتحقق ذلك عن طريق استخدام إضافات خاصة لتحسين اللزوجة وعن طريق تقليل نسبة الركام الخشن في الخلطة وتقليل المقاس الاعتباري الأكبر للركام [1]. وكذلك تحد من ظاهرة النضح وهناك مزايا اقتصادية من حيث ان انسيابها عالي فهي تقلل من تلف معدات ضخ الخرسانة وتقليل تكلفة شراء او صيانة هذه المعدات وتوفير شراء اجهزة دمك الخرسانة والحد من الضوضاء. وفي هذه الدراسة تم تصميم خلطة خرسانية ذاتية الدمك لغرض الحصول على خرسانة تتمتع بخاصية مقاومة الصدم وتم قياس مقاومة الصدم بتطوير طريقة اختبار مقاومة الصدم نظراً لعدم وجود طريقة قياسية (لم تكن معتمدة من المنظمات العالمية للأبحاث) لقياس مقاومة الصدم للخرسانة العادية والخرسانة ذاتية الدمك الا في حالات محدودة.

أهداف الدراسة

تلخص أهداف الدراسة في النقاط التالية:

- تطوير جهاز لقياس اختبار مقاومة الصدم للخرسانة ذاتية الدمك.
- تصميم خلطة خرسانية لها خواص الخرسانة ذاتية الدمك واجراء الاختبارات لإيجاد العلاقة بين مقاومة الضغط والصدم.

منهجية الدراسة

لتحقيق المستهدف من الدراسة تم وضع منهجية تتضمن أربعة مراحل يمكن عرضها كالتالي:

- استجلاب عينات من المواد اللازمة للدراسة وضبط جودة المواد الداخلة في الخلطة.
- تنفيذ خلطات تجريبية للوصول إلى خلطة خرسانة تحقق متطلبات أداء خرسانة ذاتية الدمك في الحالة الطرية.
- تنفيذ خلطات من الركام الخشن مقاس 14 مم والركام المجروش كنسبة من الركام الخشن، واجراء الاختبارات على الخرسانة في الحالة الطرية لتقييم أدائها وكذلك في الحالة الصلبة لعمل مكعبات وكمرات مع المعالجة واختبار مقاومة الضغط والصدم.
- تحليل البيانات والنتائج.

الصدم (Impact) [2]

هو الحمل الفجائي المسلط على الخرسانة ويمكن تعريفه بتأثير الوزن وطاقة الوزن المسلط على الخرسانة، ويتم في هذه الحالة معرفة الطاقة المبذولة والممتصة بالعنصر الخرساني المعرض لهذه الأحمال. وأن العوامل المؤثرة على مقاومة الصدم تتمثل في مقاومة الضغط والعجينة الإسمنتية والركام ونوعيته وعدد الضربات ووزن وارتفاع مطرقة الصدم.

ويتم تسليط الأحمال على العينة بإحدى الصور الأتية:

- الصدم بالبندول (مائل بزاوية) [3]
- الصدم المباشر من أعلى لا سفل (الحمل الساقط عمودي) تم تطويره واستعماله في هذه الدراسة . [4]
- الصدم عن طريق المقذوفات يمكن أن يكون الحالتين معا (عمودي وأفقي) [4] .

ومقاومة الصدم يتم حسابها بعدد الضربات التي تحدث فيها أول شرخ ظاهر في العينة وعدد الضربات التي يحدث فيه انهيار العينة

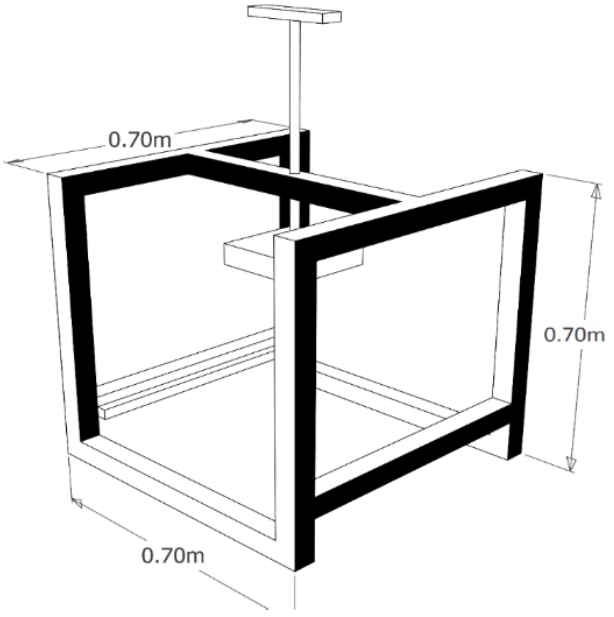
مقاومة الصدم = طاقة الصدم (بالجول).
طاقة الصدم (بالجول) = الوزن (نيوتن)×الارتفاع (متر)×عدد الضربات

تطوير نموذج لقياس مقاومة الصدم

حيث ان الهدف الأساسي لهذه الدراسة تطوير جهاز لقياس مقاومة الصدم تم إجراء العديد من المحاولات لقياس مقاومة الصدم وذلك باستحداث طريقة قياس مقترحة لحساب الصدم المباشر أساسه تسليط حمل من أعلى إلى أسفل حيث استخدمت أحمال 0.25 كجم و0.5 كجم و1 كجم و2 كجم واعتبار الطاقة المبذولة من الصدم مباشرة بدلاً من الصدم البندولي. ويتم حساب الطاقة المبذولة في كل إسقاط أو ضربة.

وصف مفصل للجهاز الذي تم استحداثه

تم تصنيع الجهاز من مربعات حديدية مفرغة مقطع (30×30 مم) ذات مقاومة خضوع (300 ن/مم^2) متوفرة في السوق المحلي وكان ارتفاع الجهاز (700 مم) وعرضه (700 مم) وعمل مكان مخصص لوضع العينة المراد اختبارها وكذلك عمل مسامير لتثبيت العينة من الجهتين وكذلك تم عمل مطرقة موصلة بقضيب طولهما (500 مم) وقطره (12 مم) وكذلك عمل دليل ليتحرك فيه عمودياً (لمنع انحراف كتلة المطرقة عن مركز العينة) وكان هناك سماحيه لتغيير كتلة حمل الصدم عند إجراء الاختبار وتم عمل مسامير لتثبيت قاعدة الجهاز وصب خرسانة عليها. كما هو موضح بالشكل (1) وذلك بأوزان تجريبية تتراوح من 0.25 كجم إلى 2 كجم. وبناء عليه تم اعتماد الكتلة 2 كجم لإجراء هذا الاختبار. ومن مميزات الجهاز أنه سهل النقل وسهل تغيير أحمال الصدم وسهولة إجراء الاختبار.



الشكل 1: جهاز الصدم المقترح.

خطوات اختبار تقدير مقاومة الصدم للخرسانة ذاتية الدمك

بعد تصنيع الجهاز الموضح بالشكل (1) بحيث كان الحمل w عمودي وعلى ارتفاع H بطاقة صدم محدودة عن طريق وزن محدود وارتفاع سقوط محدد. تم اعداد عينات من كمرات مقاس

(100×100×700) مم لاختبار الصدم وعينات من مكعبات ذات مقاس (150×150×150) مم لاختبار مقاومة الضغط.

ولاختبار الصدم وضعت العينات في المكان المخصص لها في آلة الاختبار وتم حساب وزن المطرقة وارتفاع المطرقة. وصدم العينة بحمل صدم وذلك بترك مطرقة في وضع السقوط الحر المباشر على العينة ويحسب عدد الضربات ويتم تكرار العملية بنفس الأسلوب السابق للوصول إلى أول شق ظاهر في العينة ويتم تحديد مدى تطور الشق بعد كل ضربة من ظهوره أول في العينة إلى أن يحدث انهيار في العينة حيث تسجل عدد الضربات. وتقاس قوة الصدم بتحديد عدد الضربات اللازمة عند حدوث اول شق ظاهر وعند حدوث انهيار للعينة.

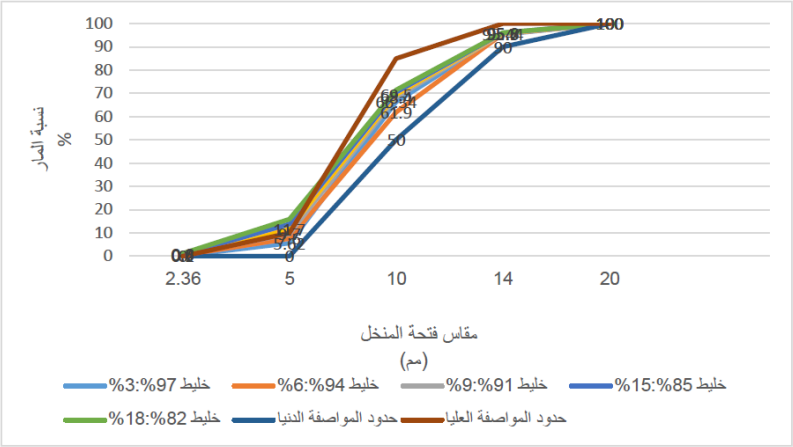
المواد المستعملة

تم استخدام الإسمنت البورتلاندى العادي [5] لجميع الخلطات الخرسانية وهو من إنتاج شركة الاتحاد العربي للمقاولات وقد تم اختباره معمليا لتحديد خواصه الفيزيائية والتأكد من مطابقته للمواصفات، حيث تبين أنه مطابقا لما تنص عليه المواصفة الليبية للإسمنت (2009/340)، والمواصفة الأوروبية (BS-EN197-1-2000). اما الركام الناعم [6] الذي تم استخدامه فهو عبارة عن رمل طبيعي مورد من مدينة زليطن وقد أجريت عليه الاختبارات المعملية لمعرفة مدى مطابقته للمواصفات وكان مطابق للمواصفة الليبية (م ق ل 2002:49). والركام الخشن [6] المستعمل في الدراسة ذو تدرج (14 مم) وتم إضافة نسب من الركام المجروش [6] بنسبة (3، 6،9،12،15،18) % من وزن الركام الخشن بعد اجراء الاختبارات ومطابقته للمواصفات وإجراء الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية عليه ومقارنتها بالمواصفات ذات العلاقة حيث تم اجراء اختبار التحليل المنخلي لمعرفة تدرج الركام المنتج بالمحاجر ومقارنة النتائج باشتراطات المواصفات القياسية الليبية رقم م ق ل (252-49-250) والموضحة بالجدول (1) والشكل (2). للحصول على ركام متدرج مطابق لحدود المواصفات لغرض استخدامه في انتاج الخرسانة.

وتم استخدام الماء الصالح للشرب في الخلطة الخرسانية وفقا للمواصفات الليبية (م ق ل 294) [7] واستخدمت الملدنات الفائقة مع معدل اللزوجة بنسبة 0.56 % من وزن الإسمنت.

الجدول 1: التحليل المنخلي للخليط.

مقاس المنخل (مم)	الركام الخشن مقاس 14 مم (%)	الركام المجروش (القرينيليا) (%)	الخليط الركام الخشن مقاس 14 مم ونسب من الركام المجروش (القرينيليا) المختلفة:						حدود المواصفة
			%3	%6	%9	%12	%15	%18	
20	100	100	100	100	100	100	100	100	100
14	95.3	100	95.44	95.6	95.7	95.8	96	96.1	100-90
10	65.3	100	66.34	67.38	68.4	69.5	70.5	71.5	85-50
5	3.56	72.10	5.62	7.6	9.7	11.7	13.8	15.9	10-0
2.36	-	6.64	0.2	0.4	0.5	0.8	0.8	1.2	-

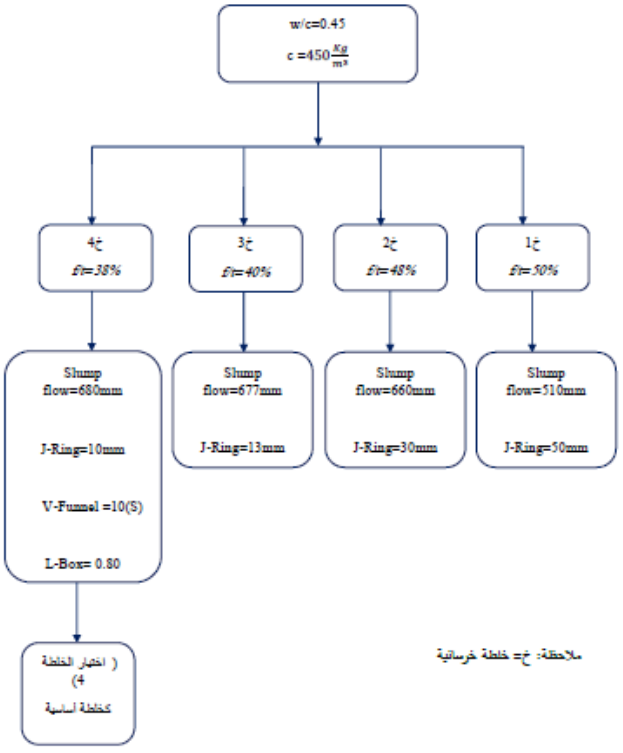


الشكل 2: التحليل المنخلي لخليط الركام الخشن والمجروش.

الخلطات التجريبية

الهدف منها هو دراسة سلوك التشغيلية الخرسانة وتقييم أدائها في الحالة الطرية والوصول إلى خلطة تحقق شروط وخواص الخرسانة ذاتية الدمك في الحالة الطرية، والتي سوف تعتمد كخلطة أساسية لاحقا. حيث تم تصميم الخلطات التجريبية على الأسس التالية:

- محتوى الإسمنت (C) 450 كجم/م^3.
- نسبة الماء إلى الإسمنت (w/c) 0.45.
- المقاس الاعتباري الأكبر للركام الخشن 14 مم.
- نسبة الركام الناعم للركام الكلي 38%.



الشكل 3: المخطط الانسيابي للخلطات التجريبية

وتم تنفيذ أربع خلطات تجريبيه بنسب مختلفة من الركام الناعم (50،48،40،38) % وهي نسبة وزنية من وزن الركام الكلي، ومن خلال النتائج تيبين أن سلوك التشغيلية للخرسانة والانسيابية جيدة وكذلك قابليتها للعبور خلال العوائق جيدة مع انخفاض نسبة الركام الناعم للركام الكلي كما هو مبين بالشكل (3) والدي يوضح المخطط الانسيابي للخلطات التجريبية، واعتمدت الخلطة الرابعة كالخلطة أساسية والتي سوف يتم استخدامها في هذه الدراسة وهي نسبة 38% من الركام الكلي.

الخلطات النهائية

في هذه المرحلة تمت دراسة مدى إمكانية استخدام الركام المجروش (القرينيليا) لتحسين خواص الركام الخشن مقاس 14 مم وتأثيرها على خواص وسلوك تشغيلية الخرسانة ذاتية الدمك ومدى مقاومتها للصدم والضغط وهو موضوع الدراسة. ولدراسة مقاومة الصدم للخرسانة ذاتية الدمك تم تثبيت (نسب الخلط وهي نسبة الماء للإسمنت 0.45 ووزن الإسمنت 450 كجم/م^3 ونسبة الركام الناعم للركام الكلي 38%) ماعدا نسبة الركام الخشن سوف يتم تغيرها بنسب ثابتة من الركام المجروش. وتنفيذ عدد من الخلطات الخرسانية والجدول (2) يوضح نسبة المواد بالخلطة المستعملة.

الجدول 2: أوزان مكونات الخرسانة بالمتر المكعب.

رقم الخلطة	الإسمنت كجم/م^3	الماء كجم/م^3	الركام الناعم كجم/م^3	الركام الخشن كجم/م^3	الركام المجروش (القرينيليا) كجم/م^3	الملدن (لتر/م^3)
1	450	202.5	627	1023	0	2.5
2	450	202.5	627	992.31	30.69	2.5
3	450	202.5	627	961.62	61.38	2.5
4	450	202.5	627	930.93	92.07	2.5
5	450	202.5	627	900.24	122.76	2.5
6	450	202.5	627	869.55	153.45	2.5
7	450	202.5	627	838.86	184.14	2.5

عرض ومناقشة النتائج للخرسانة ذاتية الدمك في الحالة الطرية

يوضح جدول (3) ملخص لنتائج اختبارات الخرسانة في الحالة الطرية حيث يتضح أنها مطابقة للتوصيات الأوروبية EFNARC [8]

الجدول 3: ملخص نتائج الاختبارات لنسب مختلفة من الركام المجروش (القرينيليا).

رقم الخلطة	نسبة الركام المجروش (%)	J-Ring (مم)		قطر الانتشار(مم) Slump Flow		L-Box H2/H1		V-Funnel (ث)	
		النتائج	توصيات EFNARC[8]	النتائج	توصيات EFNARC[8]	النتائج	توصيات EFNARC[8]	النتائج	توصيات EFNARC[8]
1	0	10	0-10 مم	680	650-800 مم	0.80	1.0-0.80	10	6-12 ث
2	3	7		750		0.89		7.2	
3	6	5		754		0.92		7.5	
4	9	7.5		730		0.88		7.3	
5	12	9		690		0.81		8.9	
6	15	11		560		0.78		12	
7	18	15		495		0.71		15	

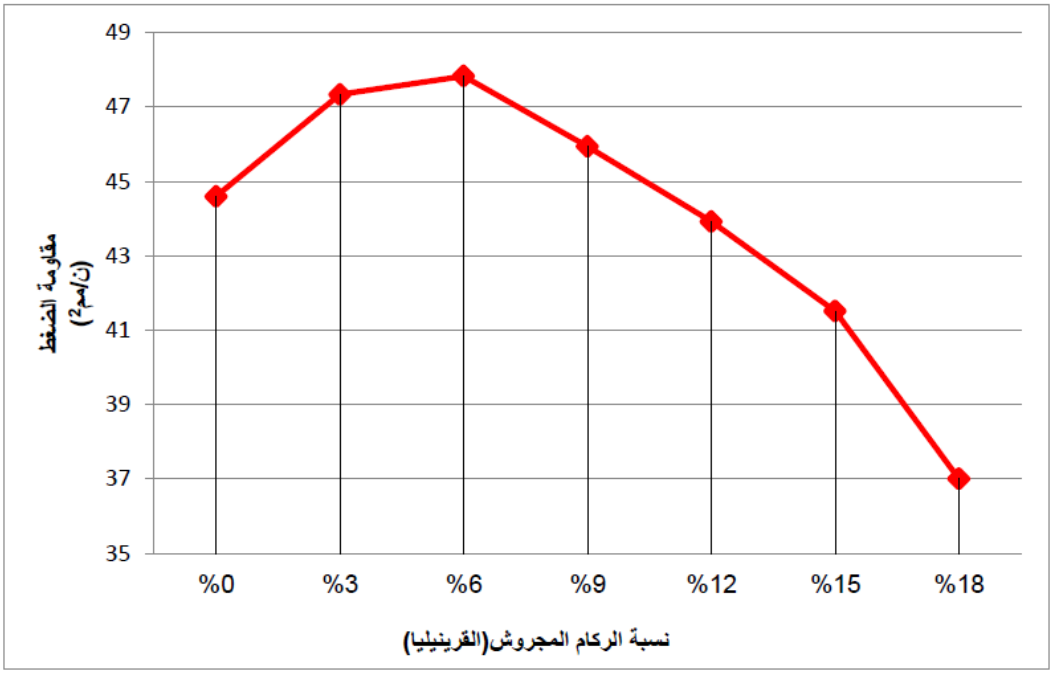
عرض ومناقشة النتائج للخرسانة في الحالة المتصلدة

نتائج متوسط مقاومة الضغط [9]

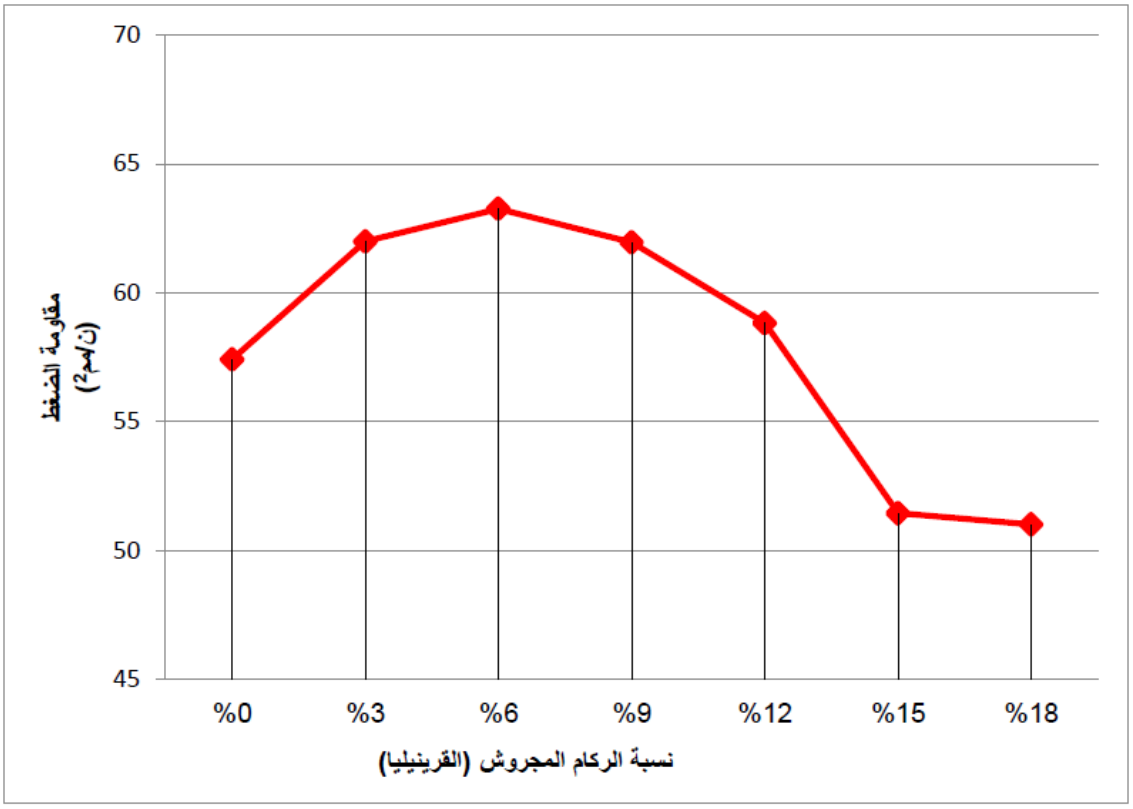
يوضح جدول (4) ملخصا لمتوسط نتائج مقاومة الضغط لعمر 7 أيام و28 يوم والشكل (4) والشكل (5) يوضحان تأثير استخدام الركام المجروش على متوسط مقاومة الضغط لعمر 7 أيام ولعمر 28 يوم على التوالي حيث كانت اعلى متوسط مقاومة الضغط عند نسبة 6 % من الركام المجروش.

الجدول 4: متوسط نتائج مقاومة الضغط لعمر 7 أيام و28 يوم.

رقم الخلطة	نسبة الركام المجروش (القرينيليا)	متوسط مقاومة الضغط (ن/مم^2)	
		7 أيام	28 يوم
1	0	44.60	57.41
2	3	47.34	61.99
3	6	47.83	63.25
4	9	45.94	61.95
5	12	43.92	58.82
6	15	41.51	51.44
7	18	37.00	51.00



الشكل 4: تأثير استخدام الركام المجروش على متوسط مقاومة الضغط لعمر 7 أيام.



الشكل 5: تأثير استخدام الركام المجروش على متوسط مقاومة الضغط لعمر 28 يوم.

نتائج مقاومة الصدم

العلاقة بين مقاومة الضغط ومقاومة الصدم

تم استخدام برنامج الإكسل 2007 لتحليل النتائج والبيانات لمعرفة مدى احتمالية تمثيل علاقة بين مقاومة الصدم والضغط، حيث تبين إنه هناك علاقة بين المقاومتين واحتمالية تمثيلها تصل إلى (0.8897 و0.8144) بعد 7 أيام لأول تصدع والانهيار وكانت حدود المعادلة (1) من 37.00 إلى 44.60 (ن /مم^2) على الترتيب، ويبين الجدول (5) متوسط نتائج مقاومة الضغط ومقاومة الصدم لعمر 7 أيام والشكل (6)، (7) يبينان العلاقة بين مقاومة الصدم عند ظهور أول تصدع والانهيار ومقاومة الضغط بعد 7 أيام. أما احتمالية تمثيل العلاقة بين مقاومة الصدم والضغط تصل (0.8917) بعد 7 أيام.

$$f_{\text{Impact (7)}} = 10(\text{fcu})^2 + 95\ \text{fcu} + 202 \qquad (1)$$

ويبين الجدول (6) متوسط نتائج مقاومة الضغط ومقاومة الصدم لعمر 28 يوم والجدول (7) الفرق بين نتائج مقاومة الضغط ومقاومة الصدم لعمر 28 يوم والشكل (8)، (9) يبينان العلاقة بين مقاومة الصدم عند ظهور أول تصدع والانهيار ومقاومة الضغط بعد 28 يوم. واحتمالية تمثيل العلاقة بين مقاومة الصدم والضغط تصل (0.9022) بعد 28 يوم وكانت حدود المعادلة (2) من 51.00 إلى 57.41 (ن/مم^2).

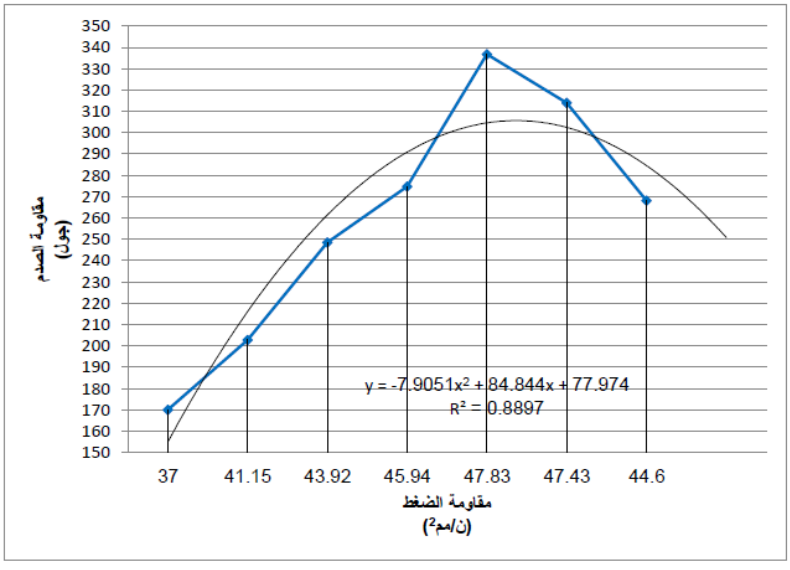
$$f_{\text{Impact (28)}} = 10(\text{fcu})^2 + 97\ \text{fcu} + 234 \qquad (2)$$

الجدول 5: متوسط مقاومة الضغط ومقاومة الصدم لعمر 7 أيام.

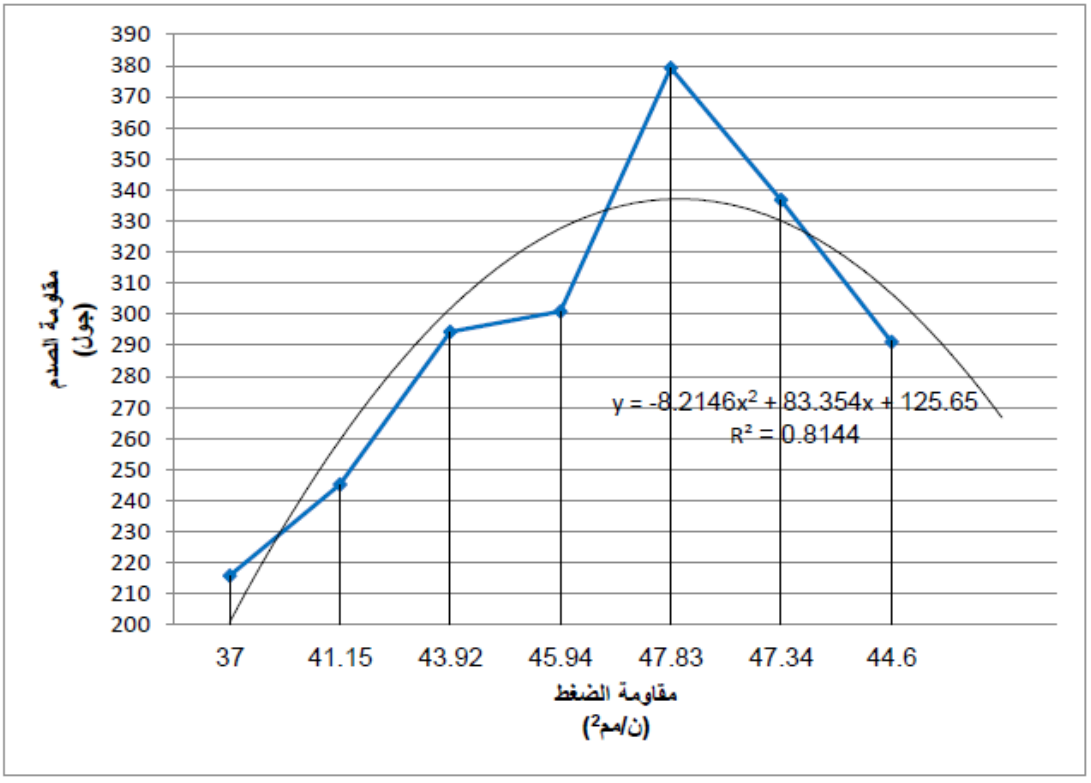
رقم الخلطة	متوسط مقاومة الضغط لعمر 7 أيام (ن/مم^2)	مقاومة الصدم عند حدوث أول تصدع 7أيام (جول)	مقاومة الصدم عند الانهيار 7 أيام (جول)
1	44.60	268.10	291.06
2	47.43	313.92	336.78
3	47.83	336.78	379.35
4	45.94	274.68	300.87
5	43.92	248.49	294.30
6	41.15	202.77	245.25
7	37.00	170.00	215.82

الجدول **6: متوسط مقاومة الضغط ومقاومة الصدم لعمر 28 يوم.**

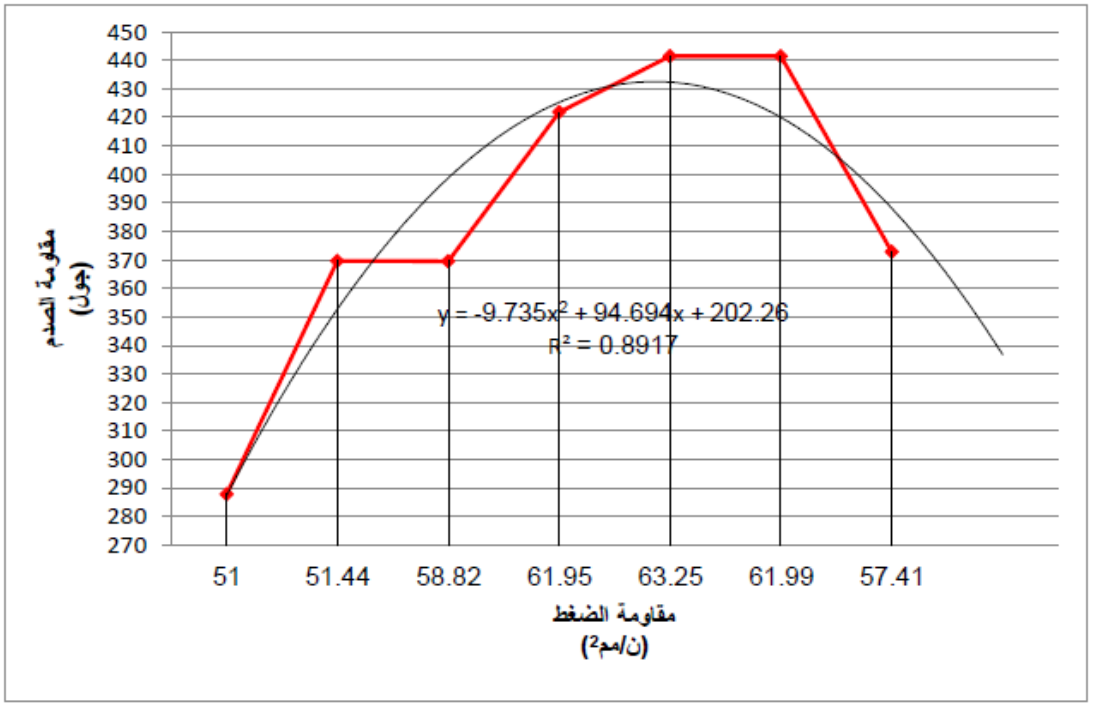
رقم الخلطة	متوسط مقاومة الضغط لعمر 28 يوم (ن/مم^2)	مقاومة الصدم عند حدوث أول تصدع 28 يوم (جول)	مقاومة الصدم عند الانهيار 28 يوم (جول)
1	57.41	372.78	392.40
2	61.99	441.45	457.83
3	63.25	441.45	480.69
4	61.95	421.83	454.50
5	58.82	369.54	405.45
6	51.44	346.59	385.83
7	51.00	287.73	330.30



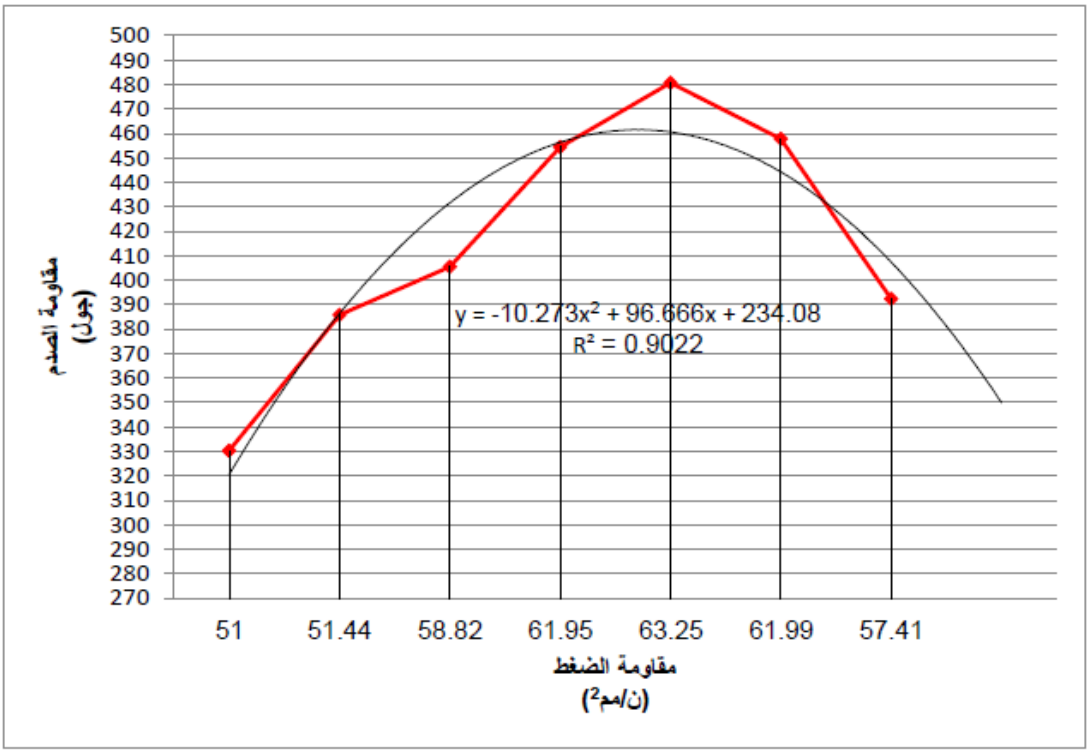
الشكل 6: العلاقة بين مقاومة الصدم عند ظهور أول تصدع ومقاومة الضغط لعمر 7 أيام.



الشكل 7: العلاقة بين مقاومة الصدم عند الانهيار ومقاومة الضغط لعمر 7 أيام



الشكل 8: العلاقة بين مقاومة الصدم عند ظهور أول تصدع ومقاومة الضغط لعمر 28 يوم



الشكل 9: العلاقة بين مقاومة الصدم عند الانهيار ومقاومة الضغط لعمر 28 يوم.

الاستنتاجات

من خلال النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة تم استنتاج الاتي:

- اضافة نسبة 6% من الركام المجروش اعطت أعلي قيمة لمقاومة الضغط ومقاومة الصدم عند اول تصدع والانهيار.
- توجد علاقة بين مقاومة الصدم ومقاومة الضغط عند حدوث أول تصدع والتي تم تمثيلها بالمعادلة: $f_{Impact\,(7)} = 10(fcu)^2 + 95\ fcu + 202$ وكدلك بين مقاومة الضغط ومقاومة الصدم عند حدوث الانهيار بالمعادلة: $f_{Impact\,(28)} = 10(fcu)^2 + 97\ fcu + 234$.
- انخفاض في سلوك التشغيلية للخرسانة من حيث قدرتها على الانسياب عند تجاوز نسبة الركام المجروش 12%.
- الفرق في مقاومة الصدم بين ظهور أول تصدع والانهيار كان في 4 ضربات و39 جول عند مقاومة ضغط 63 ن/مم^2.
- نسب اضافة الركام المجروش 3%، 6%، 9% لها مقاومة صدم أعلى من الخلطة الخرسانية المرجعية بدون اضافة الركام المجروش.

المراجع

[1] Bartos.J.M. Measurement of Key Properties of Fresh Self Compacting concrete " CEN/PNR Workshop, paris 2000.

[2] Bamforth, P., Chisdm, D., Gibbs, J., Harrison,T., "Properties of Concrete for use in Eurocod2"How to optimize the engineering properties of concrete in design to Eurocod2 , January, 2008, www.concretere.com.

[3] International Journal of Mechanics and Solids (www.ripublication.com) "Impact Strength and Workability Behaviour of Glass Fibre Self Compacting Concrete" 2008.

[4] The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, "The Response of Reinforced Concrete Matrix to Impact Loading" 1986.

[5] المواصفة القياسية الليبية رقم 340 "الاسمنت البورتلاندي العادي"، 2009.

[6] المواصفة القياسية الليبية رقم 49 "ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية "، 2006.

[7] المواصفة القياسية الليبية 295، "المياه في الخرسانة"، 1988.

[8] EFNARC," Specification and Guidelines for Self – Compacting – Concrete", February 2002.

[9] British Standard Institution"BS1881: Testing Concrete Part116: Method for determination of Compressive Strength of concrete cubes", London.