تحسين خواص الخرسانة ذاتية الدمك باستخدام المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام

علي محمد الترهوني والصادق عبيد ومحمد الشيباني وعبد العزيز الصادق امبارك

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

ABSTRACT

The production of course aggregate is accomplished with an amount of fine materials wastes that causes environmental pollution. In order to limit this pollution and improve the properties of self compacting concrete, the fine wastes are being used as an alternative to imported materials such as fly ash and silica fume which adding to self compacting concrete to get equilibrium between high viscosity and segregation resistance in fresh and with good durability in hardened state.

This paper deals with the properties of the product mixtures through several laboratories experiments focusing on the effects of adding different percents of fine materials on the concrete characteristics in both plastic and solid state.

The results showed an improvement of concrete flow and reduction in components segregation with increase of strength and density in solid state. Finally; the study came to attain some conclusion and remarks on the prospect of utilizing the aggregate production wastes in making the self compacting concrete, and a safe way to reduce its environmental harm.

الملخص

نتيجة للتطور في مجال التشييد في ليبيا زاد الطلب على استخدام الركام الخشن، وصاحب إنتاج هذا الركام مخلفات من المواد الناعمة مما أدى إلى ظهور كميات من هذه المخلفات في ساحات الإنتاج مسببا أضرارا بالبيئة. من أهم الطرق السليمة المقترحة للتخلص من هذه المخلفات هي إعادة إدخالها إلى دورة مواد البناء مرة أخرى، حيث تضاف المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام إلى الخرسانة ذاتية الدمك لإيجاد اتزان بين الحصول على خرسانة ذات لزوجة عالية سهلة الانسياب ومقاومة لانفصال مكوناتها في حالتها الطرية مع توفر متطلبات الديمومة في الحالة المتصلدة لهذه الخرسانة. ونظرا للنتائج المرضية التي تحققت في دراسات سابقة [1،2] لتطوير صناعة الخرسانة المدموكة ذاتيا، فقد تم إجراء هذه الدراسة المعملية للاستفادة من هذه المخلفات بإعادة ادخالها لدورة مواد البناء مرة أخرى عن طريق استعمالها كبديل عن المواد الناعمة المستوردة التي تضاف إلى الخرسانة ذاتية الدمك بهدف التعرف على تأثير هذه المواد الناعمة على خواص الخرسانة الطرية والمتصلدة من خلال تنفيذ خلطات من الخرسانة ذاتية الدمك وإجراء الاختبارات عليها في الحالة الطرية والحالة الصلبة.

من خلال النتائج المتحصل عليها والتي أظهرت تحسين انسياب الخرسانة والتقليل من انفصال مكوناتها في الحالة الطرية مع ارتفاع قيمة كل من المقاومة والكثافة في الحالة المتصلدة، توصلت هذه الدراسة إلى بعض الاستنتاجات والتي من أبرزها إمكانية الاستفادة من استخدام المخلفات المصاحبة لإنتاج الركام في صناعة الخرسانة ذاتية الدمك وتخليص البيئة من الآثار السلبية لتلك المخلفات.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية الدمك؛ غبرة الركام؛ الرماد المتطاير؛ غبار السيليكا.

المقدمة

تعتبر الخرسانة ذاتية الدمك Self Compacted Concrete (SCC) أحد التطورات التي حصلت في مجال تقنية الخرسانة خلال العشرين سنة الأخيرة من القرن الماضي لما تمتاز به من درجة عالية من السيولة والانسياب حيث يمكن صبها بنجاح في القطاعات الضيقة والمزدحمة بحديد التسليح وذلك بدون الاستعانة بأي وسيلة دمك خارجية أو داخلية. ويمكن التحكم بخواصها عند تصميم الخلطة لتلائم الغرض من تنفيذ المنشأ، ولهذا أصبح تطويرها هدف مرغوب به في مجال الإنشاءات والتنفيذ بغية التغلب على المشاكل التي تصاحب الخرسانة التقليدية. ولإثبات نجاحها من جهة، وتطويرها من جهة أخرى أجريت العديد من التجارب عليها واستخدمت بكثرة في مناطق عدة خاصة باليابان وأوروبا من قبل الشركات الكبيرة الخاصة للوصول إلى خلطات خرسانية اقتصادية وتفادي أي عملية دمك خارجي أو داخلي [3]. وبغض النظر عن تركيبها فإن الخرسانة ذاتية الدمك (SCC) لها نفس المواد التي تحويها الخرسانة التقليدية مع اختلاف في نسب هذه المواد، وتضاف المواد الناعمة لإيجاد اتزان بين الحصول على خرسانة ذات لزوجة عالية سهلة الانسياب ومقاومة انفصال مكوناتها في حالتها الطرية مع توفر متطلبات

الديمومة في الحالة المتصلدة لهذه الخرسانة. وتتمثل هذه المواد الناعمة في الرماد المتطاير (Fly ash)، وغبار السيليكا (Silica Fume)، والخبث (Slag)؛ ولعدم توفر هذه المواد بليبيا وارتفاع تكلفة استيرادها من جهة وتوفر بعض المواد التي يمكن أن تحل محلها محليا من جهة أخرى أمكن استخدام المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام الخشن وهو المستهدف بهذه الدراسة المعملية، شكل (1) والتي قد تساهم ولو بالقدر البسيط في الاستفادة من هذه المخلفات عن طريق إضافتها للخلطات الخرسانية وإدخالها كبديل للمواد الناعمة المستوردة لإنتاج الخرسانة ذاتية الدمك.

الشكل 1: المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام.

أهداف الدراسة

استمرارا للدراسات السابقة [1،2] واستغلالا للمواد المحلية في تطوير الخرسانة ذاتية الدمك للرفع من قدرتها على سهولة الانسياب ومقاومة انفصال مكوناتها بالإضافة للرغبة في إيجاد بدائل محلية للمواد المستوردة ومدى إمكانية استخدام المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام الخشن كمواد ناعمة تضاف إلى الخلطات الخرسانة ذاتية الدمك بحيث تتضمن أهداف هذه الدراسة النقاط التالية:

- تحسين خواص الخرسانة الذاتية الدمك وذلك بإضافة المواد الناعمة المصاحبة لإنتاج الركام الخشن (غبرة الركام) كمادة ناعمة بديلا للمواد المستوردة
- التخلص من هذه المخلفات عن طريق إدخالها لدورة مواد البناء مرة أخرى والتي سوف تساهم في المحافظة على نظافة البيئة
- تنبيه الجهات ذات العلاقة بإمكانية الاستفادة من مخلفات الركام والحيلولة دون التخلص منها بالطرق التقليدية والأضرار البيئية المترتبة على ذلك.

البرنامج العملي

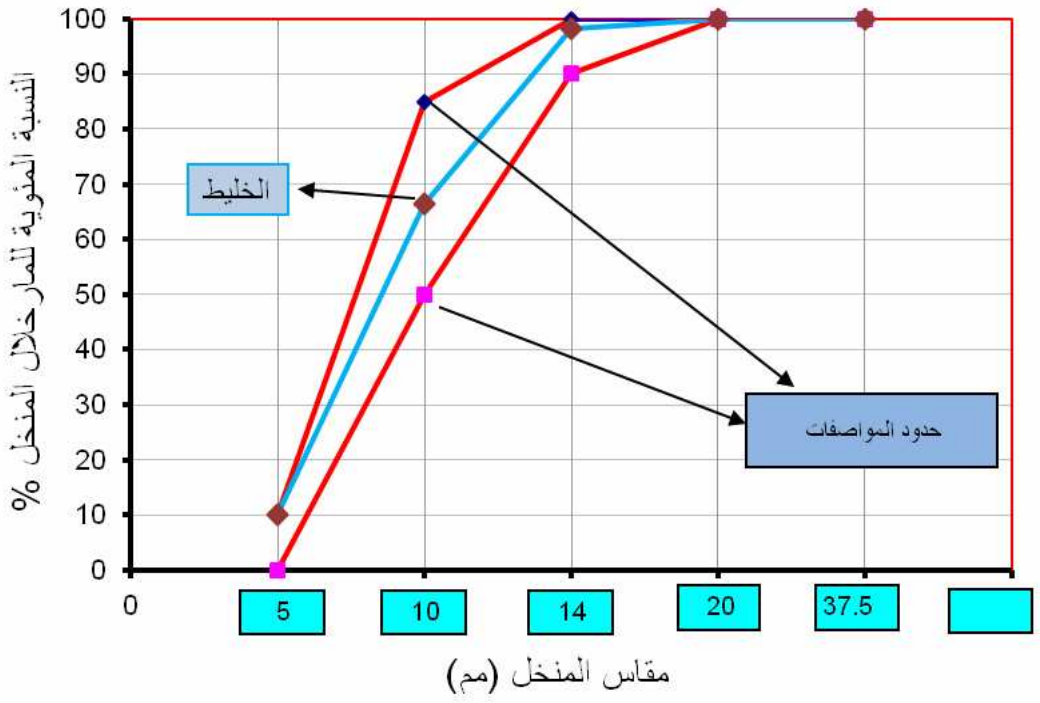
اعتمدت هذه الدراسة لتحقيق الأهداف المشار إليها أعلاه على عدة محاور منها:

- استجلاب عينات من المواد الناعمة والمتمثلة في غبرة الركام من المحاجر.
- إجراء الاختبارات الميكانيكية على المواد المكونة للخرسانة ومقارنة نتائجها بحدود المواصفات المقترحة ذات العلاقة.
- تنفيذ خلطات خرسانية بإضافة نسب مختلفة من المادة الناعمة (غبرة الركام) إلى مكونات الخرسانة ذاتية الدمك.
- تنفيذ مجموعة من الاختبارات المعملية والتي من شانها تحديد ودراسة خواص الخرسانة في حالتيها اللدنة والمتصلدة.
- دراسة وتحليل النتائج المتحصل عليها من الاختبارات المنفذة ومقارنتها بالمواصفات ذات العلاقة.
- الوصول إلى توصيات من شأنها التشجيع على استخدام المواد المستهدفة واستمرار الدراسات في هذا الشأن.

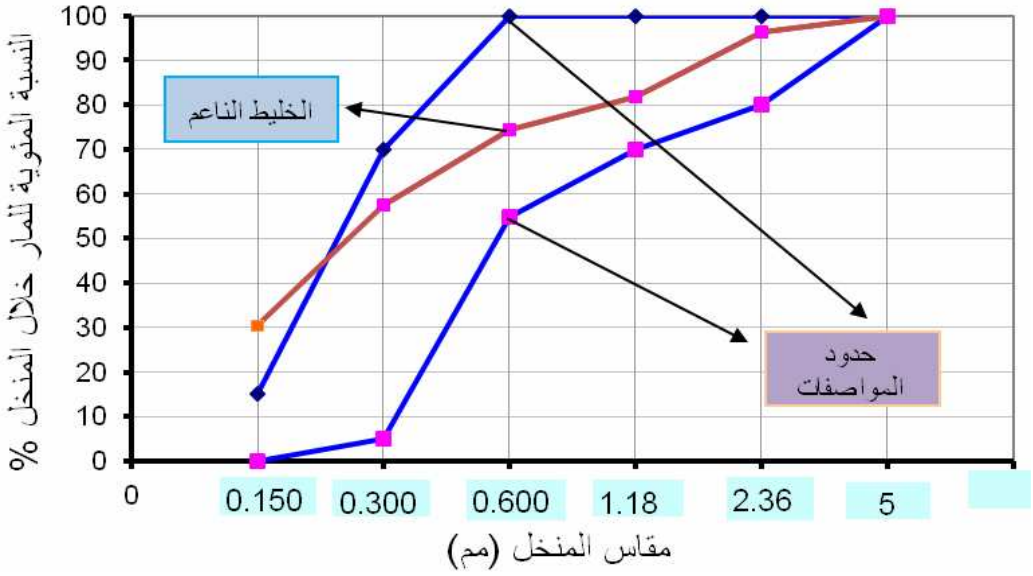
المواد المستخدمة

تتكون الخرسانة كما هو معلوم من إسمنت وركام وماء، وفي هذه الدراسة تم استخدام الاسمنت البورتلاندي العادي السائب من إنتاج مصنع البرج بزليطن، وتم استخدام مياه صالحة للشرب (صالحة للاستخدام في الخلطات الخرسانية)، أما الركام فقد تم استخدام ركام خشن مقاس 14 ملم، ولأن نتائج التحليل الخاصة به كانت خارج حدود المواصفات ذات العلاقة [4] فقد توجب خلطه مع ركام مقاس 10 ملم لتحسين جودة الخليط بحيث كانت نسبة الخلط هي 90% للركام مقاس 14 ملم و10% للركام مقاس 10 ملم. والشكل (2) يوضح نتيجة التحليل المنخلي للركام الخشن الخليط، أما بالنسبة للركام الناعم فقد تم عمل خليط بنسبة 60% للرمل الطبيعي

و40% للركام المجروش (بدون مواد ناعمة ذات القطر الاقل من 0.15 ملم) ليكون مطابق للمواصفات [4] كما هو موضح بالشكل (3).



الشكل 2: التحليل المنخلي للركام الخشن الخليط



الشكل 3: التحليل المنخلي للركام الناعم الخليط

أما بالنسبة للإضافات الكيميائية فقد تم استعمال نوع من الملدنات الفائقة (SP) [5] بنسبة 1.50% من وزن الاسمنت لجميع الخلطات، وأما فيما يتعلق بالمادة الناعمة والمتمثلة في غبرة الركام فقد تم استجلابها من محاجر كسارات منطقة الهيرة، وهي تعتبر كمخلفات مصاحبة لإنتاج الركام، وتشكل عبء من ناحية وجودها وتكاليف التخلص منها، حيث قمنا باستخدامها كمواد ناعمة في خلطات الخرسانة ذاتية الدمك بعد نخلها على منخل 150 ميكرومتر واستخدام المار ليضاف بنسب مئوية (0%، 5%، 7.5%، 10%، 12.5%، 15%، 17.5%) من وزن الاسمنت.

باستخدام الطريقة الحجمية تم تحديد كميات مكونات الخلط لمتر مكعب من الخرسانة وتم ضبط وتعديل نسب الخلط بحيث تتوافق مع المواصفة الأوروبية المقترحة (EFNARC)[6]. ونفذت عدد 7 خلطات مضافا إليها نسب مختلفة من غبرة الركام مع تثبيت نسبة الإضافة لهذه الخلطات كما هو موضح بالجدول (1).

جدول 1: أوزان مكونات الخلطات

رقم الخلطة / المواد المكونة للخلطة		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
الاسمنت(كجم)		400	400	400	400	400	400	400
المواد المالئة	النسبة %	0	5	7.5	10	12.5	15	17.5
	الوزن (كجم)	0	20	30	40	50	60	70
الماء (كجم)	الماء الحر	180	180	180	180	180	180	180
	الماء الممتص	20	20	20	20	20	20	20
	المجموع	200	200	200	200	200	200	200
الركام الخشن (كجم)	مقاس 14 مم	865	865	865	865	865	865	865
	مقاس 10 مم	100	100	100	100	100	100	100
الركام الناعم (كجم)	ركام مجروش	342	342	342	342	342	342	342
	رمل	513	513	513	513	513	513	513
الإضافة (SP) كجم		6	6	6	6	6	6	6

الاختبارات على الخرسانة الطازجة

أجريت بعض الاختبارات على الخرسانة وهي في حالتها الطرية لدراسة إمكانية استعمالها كخرسانة ذاتية الدمك وذلك طبقا للمواصفات ذات العلاقة [7]، والجدول (2) يوضح الاختبارات التي تم إجراؤها وحدود مواصفاتها.

جدول 2: اختبارات الخرسانة ذاتية الدمك

اسم الاختبار	الغرض من الاختبار	مكان اجراء الاختبار		القيمة المقاسة في الاختبار	حدود مواصفات الاختبار	شكل جهاز الاختبار
		المعمل	الحقل			
اختبار قطر الانتشار Slump Flow	يهدف هذا الاختبار إلي تحديد قابلية التعبئة للخرسانة ذاتية الدمك و تقييم وصولها الى قيم حدود المواصفة	نعم	نعم	القطر الكلي لانتشار التدفق	(800 - 650) ملم	
T50	تحديد سرعة انسياب الخرسانة و الذي يعطي مؤشرا على لزوجتها	نعم	نعم	الزمن اللازم لبلوغ الخرسانة لقطر 500 ملم	(2 - 5) بالثوانى	
اختبار (L-Box)	تعيين قابلية العبور للخرسانة ذاتية الدمك وقدرتها على الاستواء الذاتي بعد عبورها من خلال عوائق الجهاز	نعم	لا	معدل المرور	(0.8 - 1)	
اختبار (J-Ring)	تعيين قابلية العبور للخرسانة ذاتية الدمك من خلال العوائق ومدي مقاومتها للانفصال الحبيبي	نعم	نعم	قياس فرق أقطار الانتشار بين (DS -Dj)	أقل من 10 ملم	
اختبار (V-funnel)	تعيين قابلية الملء وتقييم لزوجتها اثناء التدفق	نعم	نعم	زمن المرور	(12 – 6) بالثوانى	

أما الاختبارات التي تم إجراؤها على الخرسانة وهي في الحالة المتصلدة فهي اختبار مقاومة الضغط [8] واختبار الكثافة [9].

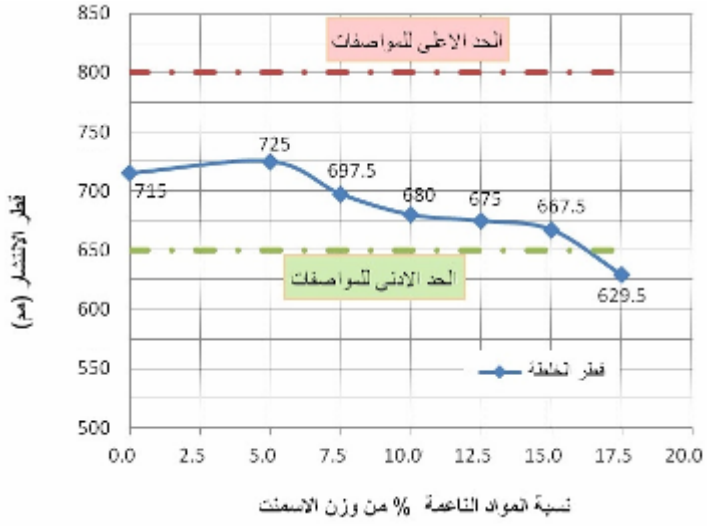
نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة الطرية ومناقشتها

تم في هذه الاختبارات دراسة خواص الخرسانة الموضحة في الجدول (2) باستخدام الأجهزة المبينة في ذات الجدول (2)، أما النتائج المتحصل عليها وحدود المواصفات فتم تلخيصها في الجدول (3).

الجدول 3: نتائج اختبارات الخرسانة في حالتها اللدنة

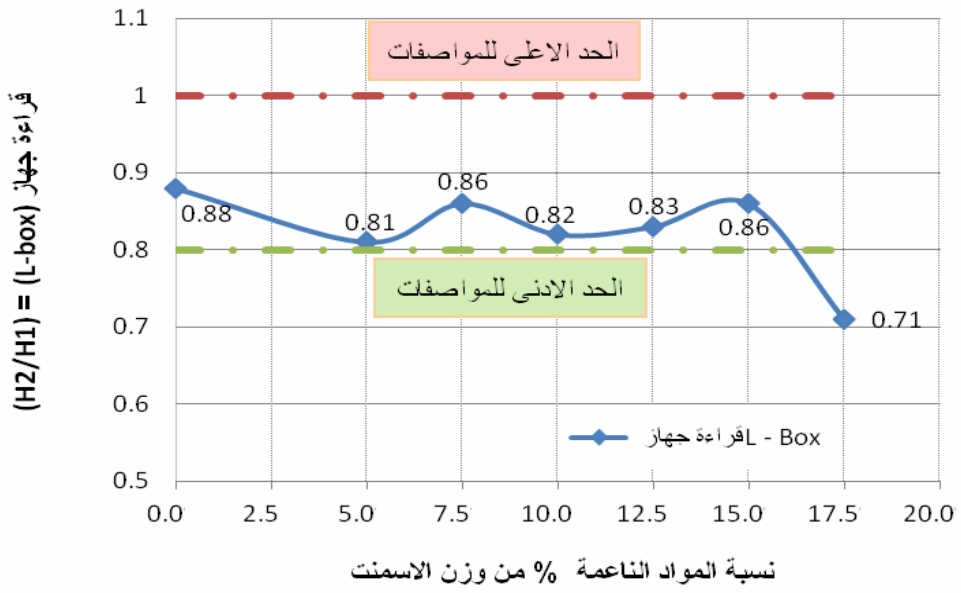
رقم الخلطة	Slump flow test قطر الانتشار (mm)	زمن الانتشار T50 (sec)	J-Ring (mm)	L – box Test	V-Funnel (sec)	الاضافة % (SP)	نسبة المواد الناعمة %
1	715	2.53	10	0.88	5.30	1.50	0
2	725	1.65	20	0.81	7.10	1.50	5
3	697.5	2.81	17.5	0.86	7.21	1.50	7.5
4	680	3.93	22.5	0.82	7.35	1.50	10
5	675	3.72	13	0.62	7.58	1.50	12.5
6	667.5	3.43	2.5	0.86	7.50	1.50	15
7	480	5.51	12.5	0.55	7.63	1.50	17.5
حدود المواصفة	800 – 650	5 – 2	10 – 0	1 – 0.8	12 – 6	(0.3 – 2) من وزن الإسمنت	–

تبين نتائج الاختبارات أن معظم الخلطات المنفذة لها قطر انتشار يقع ضمن الحدود المستهدفة في هذه الدراسة وهو 650-800 ملم كما هو موضح بالشكل (4)، إلا أن الخلطات التي لها نسبة مواد مالئة عالية لها قطر تدفق أقل لارتفاع لزوجتها (وذلك لأن المواد المالئة أدت إلى زيادة المساحة السطحية وبذلك تقل انسيابية الخرسانة). ولوحظ أنه في اختبار J-Ring يحدث تكدس لحبيبات الركام أمام قضبان الحديد ويقل تكدس هذه الحبيبات كلما تم زيادة نسبة المواد المالئة حتى نسبة 15% والتي أعطت أفضل نتيجة، بعدها يكون تأثير نسبة المواد المالئة عكسيا.



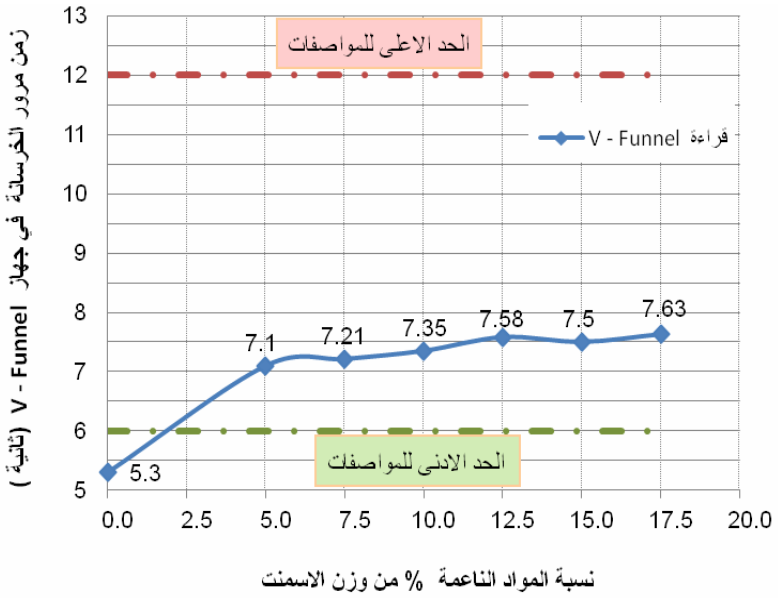
الشكل 4: نتائج قراءة جهاز (flow Slump) لنسب مختلفة من غبرة الركام

أما نتائج اختبار L-Box فكانت ضمن حدود المواصفات ذات العلاقة باستثناء الخلطة الاخيرة والتي تحتوي على نسبة 17.5% من المواد المالئة مما يدل على صعوبة في الاستواء الذاتي للخرسانة وأن لزوجتها عالية جدا كما هو موضح بالشكل (5).



الشكل 5: نتائج قراءة جهاز (L – box) لنسب مختلفة من غبرة الركام

أما في اختبار V-Funnel فكانت معظم نتائج الخلطات ضمن حدود المواصفات ذات العلاقة [6] كما هو موضح بالشكل (6) باستثناء الخلطة التي تحتوي على نسبة 0% من المواد المالئة وذلك بسبب نسبة (الماء إلى الإسمنت) العالية حيث لوحظ ظهور ماء النضح في هذه الخلطة.



الشكل 6: نتائج قراءة جهاز (V-Funnel) لنسب مختلفة من غبرة الركام

نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة الصلدة ومناقشتها

أظهرت النتائج أن مقاومة الضغط تزداد بزيادة محتوى المواد المالئة، ويرجع ذلك إلى أن نسبة الماء إلى المواد الناعمة (الاسمنت، غبرة الركام) قلت بسبب الزيادة في المساحة السطحية للمواد الممتصة للماء وذلك حتى نسبة 15% بعدها لوحظ انخفاض في مقاومة الضغط يرجع إلى عدم قدرة الخرسانة على الدمك الذاتي وملء الفراغات بكفاءة، مما يتسبب في وجود فجوات داخل الخرسانة وهو ما يؤثر سلبا على مقاومتها للضغط، أما بالنسبة للكثافة فقد أظهرت جميع الخلطات كثافة جيدة قريبة من الحدود المتعارف عليها للخرسانة المدموكة 2400 كجم/م^3 كما هو موضح بالجدول (4) والشكل (7).

الجدول 4: نتائج اختبار مقاومة الضغط والكثافة

رقم الخلطة	نسبة الإضافة % (Viscocrete)	نسبة المواد الناعمة %	مقاومة الضغط (ن/مم^2)			الكثافة كجم / م^3
			بعد 3 أيام	بعد 7 أيام	بعد 28 يوم	
1	1.50	0	31.05	41.09	49.90	2394.07
2	1.50	5	34.25	43.66	56.27	2349.63
3	1.50	7.5	35.45	44.37	56.93	2382.29
4	1.50	10	36.23	45.14	58.28	2379.26
5	1.50	12.5	38.75	46.71	58.70	2405.93
6	1.50	15	40.15	49.32	60.66	2402.96
7	1.50	17.5	38.71	43.62	57.55	2394.07

الشكل 7: نتائج اختبار مقاومة الضغط

الخلاصة

اختصت هذه الدراسة بإمكانية إضافة غبرة الركام (المخلفات المصاحبة لإنتاج الركام) إلى الخلطات الخرسانية وكذلك الملدنات الفائقة (SP) مع محاولة استبدال المواد المستوردة بالمواد المحلية تم التوصل إلى الاستنتاجات الآتية:

- تساهم عملية استخدام مخلفات الركام كمادة بناء لإنتاج الخرسانة ذاتية الدمك في تقليل تكلفة التخلص منها.
- إمكانية استخدام المواد الناعمة الناتجة من مخلفات الركام كبديل للمواد الناعمة الأخرى المستوردة في إنتاج خرسانة ذاتية الدمك يمكن استخدامها في الأعمال الهندسية.
- ظهر تحسن واضح في تجانس الخرسانة عند إضافة غبرة الركام، بحيث كانت النسبة المثلى منها 15 % والتي حققت جميع قيم المواصفات وكذلك أظهرت زيادة في مقاومة الضغط.

المراجع

[1] سناء الباجقني وآخرون، ورقة بحثية بعنوان "تنفيذ الخرسانة الذاتية الدمك باستخدام المواد الحلية في ليبيا"، المؤتمر الوطني الخامس لمواد البناء والهندسة الانشائية، ليبيا، 2010.

[2] علي الترهوني، نظال المقرحي وآخرون، ورقة بحثية بعنوان" استخدام مسحوق الآجر لتحسين خواص الخرسانة ذاتية الدمك"، مجلة البحوث الهندسية العدد 16، جامعة طرابلس، ليبيا، 2012.

[3] Ouchi, Nakamura, Osterson, Hallberg, and Lwin, "Applications of self-compacting concrete in Japan, Europe and the United States", ISHPC 2003: Tokyo-Odaiba, Japan.

[4] المواصفات القياسية الليبية رقم (49) "ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية" لسنة 2002.

[5] النشرة الفنية لمادة سيكا فيسكوكريت 5400 "طريقة الاستخدام" الإصدار رقم 1 لسنة 2003.

[6] The European Guidelines for Self-Compacting concrete specification, production and use, 2005 edition.

[7] European Research Project. "Guidelines for testing fresh self compacting concrete", Sep. 2005.

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

[9] British standard Institution, "BS 1881: part 114, "Method for determination of density of hardened concrete", London, 1983.