المواد البديلة كأحد تقنيات البناء الحديثة لإنتاج خرسانة ذاتية الدمك منخفضة التكلفة

فاطمة مسعود المزوغي[1] ، نوري محمد الباشا[2]، الصغير محمد اللطيف [3]

1 جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا، بريد إلكتروني: felmezoughi@gmail.com

2 جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا ، بريد إلكتروني:nurielbasha@gmail.com

3 جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا ، بريد إلكتروني:eltaif2010@gmail.com

الملخص

الخرسانة ذاتية الدمك مرغوبة جداً في عميلة البناء فما يميزها هو انسيابها بسبب وزنها الذاتي، وبالتالي يمكن الاستغناء عن كل أجهزة الدمك وأنابيب الرفع والأعمدة الكبيرة. إن خاصية السيولة للخرسانة ذاتية الدمك تعمل على طرد كل الهواء المحبوس خارج القوالب وهذا السبب الرئيسي الذي يجعل أسطح الخرسانة ذاتية الدمك ملساء وناعمة كالزجاج، ولكن تنفيذ الخرسانة ذاتية الدمك يتطلب استخدام محتوى عالي من العجينة الإسمنتية، وهذا يجعلها عرضة للانكماش (Shrinkage) واكثر كلفة.

أصبح استخدام التكنولوجيا الحديثة ومواد البناء البديلة في صناعة التشييد من المسائل الملحة في السنوات الأخيرة لما تقدمه من جودة عالية وكذلك ما توفره من وقت ومال. في الدول النامية هذه المسألة قد تستغرق وقتاً طويلاً نسبياً للاقتناع بها، وفي ليبيا لازالت العمليات التقليدية في البناء سائدة منذ فترة طويلة بسبب خوف المطورين والاستشاريين من إدخال التقنيات الجديدة في البناء لقلة الأبحاث والدراسات بالخصوص. في هذه الورقة تم دراسة استخدام المواد البديلة المتمثلة في مسحوق الرخام في تنفيذ الخرسانة ذاتية الدمك باحلاله جزئياً بدل الاسمنت بنسب 5، 10، و 15%. تم دراسة الخواص اللدنة والمتصلدة وأيضا حساب كلفة الخلطات ذات نسب الاحلال المذكورة، حيث تبين أن النسبة المثلى هي 15% حيث استوفت كل شروط القبول وكانت الأقل كلفة.

كلمات مفتاحية: الخرسانة ذاتية الدمك، المواد البديلة، الكلفة.

1. المقدمة

أنتجت الخرسانة ذاتية الدمك Self–Compacting Concrete (SCC) بواسطة باحثين في أواخر الثمانينات بجامعة Kochi في اليابان، ويعتبر اليابانيون هم رواد صناعة هذا النوع من الخرسانة حيث قاموا باستخدامها في منشآت وتطبيقات عديدة ومفيدة، ولاقت اهتماماً كبيراً لما تتميز به من سيولة تجعلها قادرة على رص نفسها ذاتياً دون الحاجة لاستخدام أجهزة الدمك والهزازات. وبالرغم من أن SCC تعتمد في انتاجها على استعمال حجم كبير من العجينة الإسمنتية والملدنات الفائقة (المكونات الأكثر تكلفة) لتحقيق الاستقرار المطلوب، إلا أن تكلفتها الفعلية أقل من الخرسانة الاعتيادية، حيث يتم تعويض تكلفة المواد الأولية عن طريق إلغاء استخدام الهزازات اللازمة لعملية الدمك وكذلك عدم الحاجة لأعمال إنهاء الأسطح [1] .

إن تقليل تكلفة المشاريع الهندسية أصبح أحد أهم القضايا التي تشغل بال المهندسين والمقاولين والمُلّاك على حدٍ سواء، وهو ما أدى إلى ظهور أنماط غير تقليدية في البناء مثل أنظمة البناء السريع والتي تستخدم فيها تكنولوجيا تضمن لها القوة والمتانة والديمومة فضلاً عن مقاومة العوامل البيئية على اختلاف أنواعها، بالإضافة إلى مواد البناء البديلة ذات التكلفة القليلة والتي تحافظ على الجودة المطلوبة، حيث يقع المهندسون والمقاولون والمنتجون والمالكون تحت ضغط كبير لتنفيذ مباني بجودة أفضل وتكلفة أقل للعمالة والمواد والمعدات. إن تكلفة المواد الأولية لـ SCC أعلى بنسبة 10–15 ٪ من تكلفة الخرسانة الاعتيادية اعتمادًا على مقاومة الضغط المطلوبة وعلى توافر المواد الناعمة [2]، ولكن من المقدر أن استخدام SCC قد يؤدي إلى تنفيذ أسرع للمشاريع بنسبة تصل إلى 40٪ من استخدام الخرسانة الاعتيادية [3]. تظهر فوائد SCC بوضوح في العديد من مراحل عملية التنفيذ، ابتداءً من الإنتاج مروراً بالصب وصولاً إلى تشطيب المنتج النهائي. تهدف هذه الدراسة الى إدخال تقنية استخدام المواد البديلة و المواد معادة الصنع، والتي تتوافق مع معايير الحفاظ على البيئة، الى سوق البناء والتشييد بما يضمن سرعة تنفيذ المشاريع وتقليل الكلفة وذلك من خلال برنامج عملي مكثف يتم فيه تحويل مخلفات مصانع الرخام الى مسحوق ناعم واحلاله جزئياً بدلاً عن الاسمنت والتحقق من تأثيره على الخواص اللدنة والمتصلدة لإنتاج خرسانة ذاتية الدمك منخفضة التكلفة.

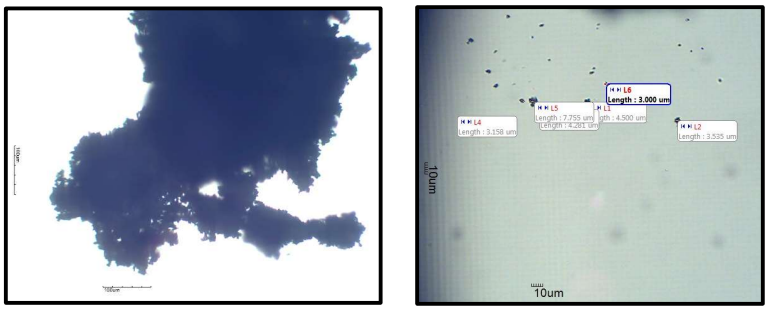
2. البرنامج العملي

1.2 مواد الخلط

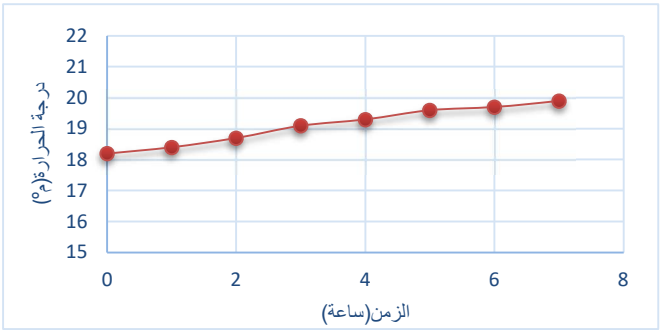
أ. الاسمنت: تم استخدام إسمنت بورتلاندي عادي صنف N42.5، مطابق للمواصفات القياسية الليبية [4].

ب. المادة الناعمة: تم استخدام مسحوق بقايا الرخام (WMP) الناتج من قص ألواح الرخام في المصانع بعد تكسيره وطحنه وتمريره من منخل 90 ميكرون، ثم أخذت له صوره مجهرية مبينة بالشكل رقم (1)،

تظهر الصورة أن حبيبات WMPغير منتظمة الشكل (Irregular)، ولكنها ذات ترابط جيد، وأن نسبة كبيرة منها ذات أقطار أقل من 10 ميكرون. أجري أيضاً اختبار (Reactivity Test)، بعمل عجينة من الرخام، ثم قياس درجة الحرارة لفترة تتجاوز 6 ساعات. الشكل رقم (2) يوضح التغير البسيط في درجة الحرارة ما يدل على أن WMP مادة خاملة[5]. تم إجراء اختبارات التحليل الكيميائي والفيزيائي لمسحوق الرخام كما موضحة بالجدول رقم (1).



شكل 1: صورة مجهرية لمسحوق الرخام



شكل 2: قياس درجة حرارة عجينة الرخام

جدول 1: نتائج اختبار الخواص الكيميائية والفيزيائية للرخام

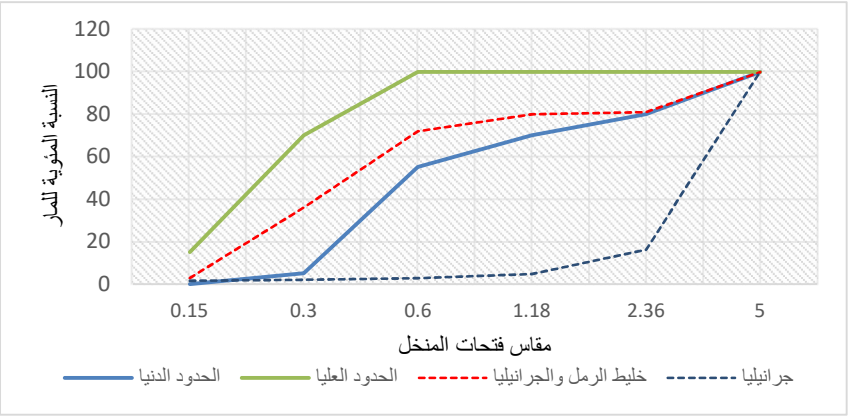
رخام	النتيجة(%)
أكاسيد الكالسيوم (CaO)	56.32
ثاني أكسيد السليكون (SiO_2)	0.44
ثالث أكسيد الألمونيوم (Al_2O_3)	0.14
ثالث أكسيد الحديد (Fe_2O_3)	0.06
أكسيد الماغنيسيوم (MgO)	0.16
ثالث أكسيد الكبريت (SO_3)	0.04
أكسيد الصوديوم (Na_2O)	0.63
أكسيد البوتاسيوم (K_2O)	0.01
الفاقد بالحرق	42.2
الكثافة	2.64
النعومة	3600

د. الركام الخشن: زلط بمقاس اعتباري 16 مم، ذو حواف دائرية مطابق للمواصفات القياسية الليبية [6] .

هـ. الماء: المستخدم في الخلط والمعالجة هو ماء صالح للشرب مطابق للمواصفات القياسية الليبية [7].

و. الملدن: تم استخدام Viscocrete Tempo 12 دون دخوله في تصميم الخلطة، فقد أُضيفت جرعة بنسبة 1.5% والتي حققت الانتشار المستهدف(650–800) مم[8].

ج. الركام الناعم: رمل زليطن مخلوط بركام مجروش بنسبة 25%،مطابق للمواصفات القياسية الليبية [6]. كما مبين بالشكل رقم(3).



شكل 3: التحليل المنخلي للجرانيليا وللخليط (75%رمل زليطن+ 25% جرانيليا)

2.2 نسب الخلط

تم تصميم 4 خلطات خرسانية ذاتية الدمك، بنسب إحلال 0، 5، 10 و15% من WMP بدل الاسمنت. كل الخلطات صممت بالطريقة الحجمية [9] الجدول رقم 2 يوضح الكميات لكل خلطة

جدول 2: نسب المواد للخلطات الخرسانية

رقم الخلطة		w/b	الماء (كجم/م³)	الاسمنت (كجم/م³)	الركام (كجم/م³)			الملدنات (% من وزن المواد الاسمنتية)
					الركام الخشن	الركام الناعم		
						25% رمل	75% جرانيليا	
M1	0% رخام	0.4	188	470	868	678	226	1.5
M2	5% رخام	0.4	188	446.5	868	678	226	1.5
M3	10% رخام	0.4	188	423	868	678	226	1.5
M4	15% رخام	0.4	188	399.5	868	678	226	1.5

3. النتائج والمناقشة

تم في هذه الدراسة إجراء اختبارات في الحالة اللدنة والحالة المتصلبة للخرسانة ذاتية الدمك والتي تم فيها استبدال الاسمنت استبدال جزئي بمسحوق الرخام بنسب (0، 5، 10 و 15) % .أجريت اختبارات الحالة اللدنة حسب المواصفات القياسية البريطانية ومعايير القبول حسب الدليل الأوروبي EFNARC . الاختبارات التي تم اجرائها في الحالة اللدنة هي اختبار الانتشار الحر و زمن T500 [10]، و اختبار الصندوق L [11]، أما بالنسبة للحالة المتصلدة فقد تم إجراء اختبار مقاومة الضغط طبقاً للمواصفات القياسية البريطانية [12] لعينات مكعبة الشكل لعمر 7، 28 و 56 يوم.

1.3 التشغيلية

نتائج اختبارات الحالة اللدنة مبينة في الجدول رقم (3). حيث تظهر انخفاض طفيف في الانتشار بزيادة نسبة مسحوق الرخام مقارنة بالخلطة المرجعية. كل الخلطات كانت ضمن الحدود الموصى بها من قبل EFNARC [8] وذات تصنيف SF2 [13]. الخلطة المرجعية سجلت أعلى قطر انتشار(720 مم)، أما الخلطاتM2، M3 وM4 فقد كان قطر انتشارها 715 ،705 و710مم على التوالي.

إن الانخفاض في قطر الانتشار الذي حدث للخلطات M2وM3 مشابه لنتائج أبحاث سابقة [14، 15] وسبب هذا الانخفاض هو استعمال نفس نسبة الماء للإسمنت (0.4) واستعمال نسب متزايدة من المادة الناعمة(WMP) التي أظهرت الصورة المجهرية في الشكل رقم (1) أن حبيباتها غير منتظمة الشكل (irregular)، وهذا ما زاد من المساحة السطحية للخلطة الخرسانية وزاد الاحتكاك بين الحبيبات، حيث أشار الباحثون [16] أن ذلك يسبب في زيادة كمية الماء المطلوبة (water demand) وبالتالي أصبحت الخلطة الخرسانية أقل سيولة. أما بالنسبة للخلطة M4 والتي احتوت على أعلى نسبة من WMPفقد حدث بها تحسن بسيط في الانسيابية عن الخلطة M3 فقد سجلت قطر انتشار 710 مم لأن انسيابية الخرسانة تتأثر بنعومة ونسبة المادة الناعمة [17]. الزمن (T_{500}) يزداد بانخفاض قطر الانتشار، وقد تراوح من (3–4) ثواني حيث كان ضمن الحدود المسموح بها [8] وتصنيفه VS2 [13]. بالنسبة لاختبار L–Box فالملاحظ أن قابلية المرور للخلطات M2 وM3 متقاربة مع قابلية المرور للخلطة المرجعية(M1)، وقد حدث احتجاز بسيط للركام الخشن بين القضبان بسبب سيولة الخلطات، أما الخلطة M4 التي احتوت على نسبة احلال 15% فقد سجلت أفضل نسبة وهي 0.95 وذلك بسبب احتوائها على أعلى نسبة من WMPوالذي حسّن تجانس الخلطة فانسابت بين القضبان دون احتجاز أو انفصال لمكوناتها. كل الخلطات كانت ضمن الحدود المسموح بها وتصنيفها PL2 [13].

جدول 3: نتائج اختبارات الحالة اللدنة

الخلطات		المؤشر البصري	قطر انتشارDs (مم)	T_{500} (ثانية)	L-Box
NO	WMP%				
M1	0	1-0	720	3	0.855
M2	5	1-0	715	3.5	0.83
M3	10	0	705	4	0.823
M4	15	0	710	3.5	0.95
[8] EFNARC		(2-1)	(800-650) مم	(5-2) ثانية	(1-0.8)

2.3 مقاومة الضغط

نتائج اختبار مقاومة الضغط مبينة في الجدول رقم (4). سجلت الخلطة المرجعية M1 أعلى قيم لمقاومة الضغط، وكانت 44.71، 56.14، 60.39 ميجا باسكال عند الأعمار 7، 28، 56 يوم على التوالي. يمكن ملاحظة أن مقاومة الضغط عند 7 أيام فاقت 40 ميجا باسكال وذلك بسبب محتوى الإسمنت العالي والذي ينتج عنه حرارة عالية في الساعات من 18– 72 وهذا ما يُعجِّل عملية التميؤ [18]. نتائج مشابهة بانت في دراسة سابقة [19]. أيضا تم ملاحظة أنه كلما زادت نسبة WMP كلما قلت مقاومة الضغط بنسبة قليلة مقارنة بالخلطة المرجعية لكل الأعمار، فعند عمر 7 أيام قلت قيم مقاومة الضغط مقارنة بالخلطة المرجعية بنسب 7.09، 10.66 و6.78، وفي عمر 28 يوم كانت نسب الانخفاض 8.35، 9.14 و4.76 وعند 56 يوم كانت نسب الانخفاض 4.29، 10.81و 6.01 وهذا مشابه لنتائج الباحثين [20]. إن الانخفاض التدريجي في مقاومة الضغط للخلطات M2 وM3، حدث بسبب أن WMP عنصر خامل كما ظهر في Reactivity Test، أيضاً أظهر التحليل الكيميائي افتقاره لعنصر SiO_2 وبالتالي لا يمكن التفاعل مع $Ca(OH)_2$ الموجود في الإسمنت لإنتاج calcium silicate hydrate التي تعتبر مسؤولة عن زيادة المقاومة والديمومة [15]. الملاحظ أيضاً أنه لم يحدث انخفاض كبير لمقاومة الضغط مقارنة بالخلطة المرجعية وذلك بسبب، نعومة WMP العالية التي فاقت نعومة الإسمنت وبالتالي قلت مسامية الخرسانة وحدث تحسن في مقاومة الضغط للخلطة رقم M4 التي احتوت على أعلى نسبة من WMP.

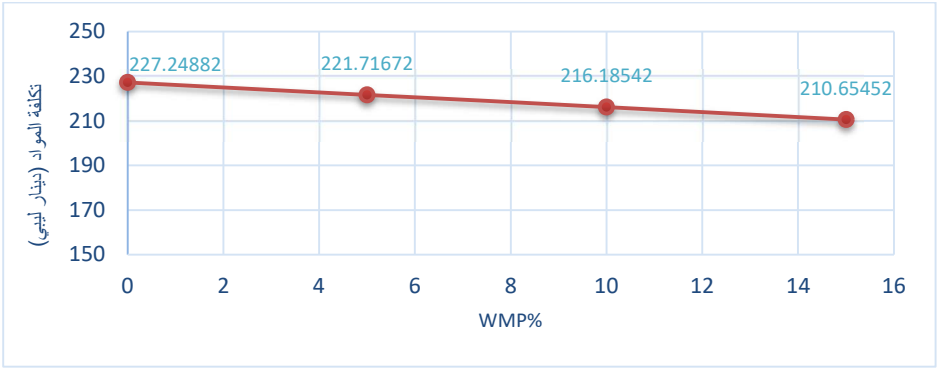
جدول 4: نتائج اختبارات مقاومة الضغط

الخلطات		مقاومة الضغط (MPa)		
NO	WMP %	7 ايام	28 يوم	56 يوم
M1	0	44.71	56.14	60.39
M2	5	41.54	51.45	57.8
M3	10	39.94	51.01	53.86
M4	15	41.68	53.47	56.76

3.3 الكلفة

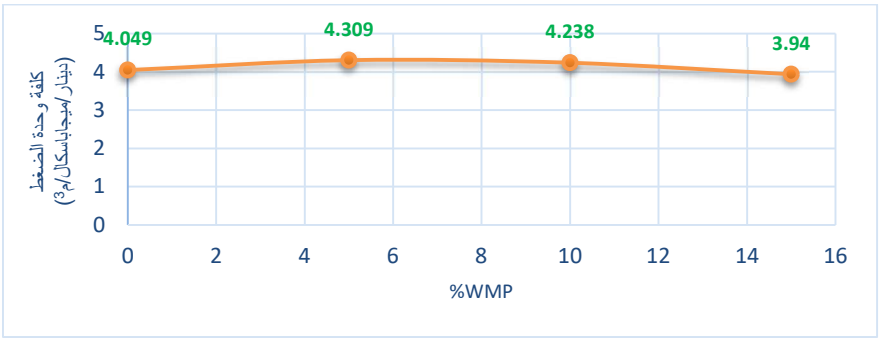
نظراً لاستخدام كمية كبيرة من المواد الاسمنتية والملدنات الفائقة لانتاج SCC ونظراً للجودة العالية لهذه المواد فإن النسبة الأكبر من الكلفة تذهب الى هذه الفئة [14] [21]. من الصعب تقليل كلفة الخرسانة ذاتية الدمك إلا إذا توفرت المواد الاقتصادية في السوق [22]، ويعتبر مسحوق الرخام WMP أحد المواد الاقتصادية التي تقلل من كلفة الخرسانة ذاتية الدمك باعتباره من نواتج مخلفات المصانع، وبالإضافة لأثره الواضح على التكلفة المباشرة لإنتاج SCC فإن استعماله بديلاً جزئياً للإسمنت سيقلل بشكل كبير من التلوث البيئي الناتج من المصانع والذي سيؤدي في النهاية الى تحسين الصحة العامة وبالتالي تقليل التكلفة الغير مباشرة. أجريت في هذه الدراسة عملية حساب كلفة SCC للمتر المكعب في حال إحلال WMP بدل الاسمنت بنسب 0، 5، 10 و15%. تم حساب كلفة المواد بالدينار الليبي شاملة أسعار النقل والمناولة، حيث أُخذت الأسعار من مؤشرات السوق الليبي لكل مادة للمتر المكعب خلال فترة اجراء الاختبارات. علماً بأن عملية حساب الكلفة لم تشمل تكاليف معدات الخلط والصب والعمالة. عملية حساب الكلفة شملت المواد المتوفرة في السوق كالإسمنت، الركام، الملدنات والماء. أما بالنسبة لمسحوق الرخام فقد تم توقع تكلفته باعتبار أنه لا يوجد في السوق بشكل مسحوق جاهز للاستخدام، إنما هو ناتج من مخلفات مصانع الرخام.

يبن الشكل رقم (4) كلفة الخلطات الخرسانية ذاتية الدمك المحتوية والغير محتوية على WMP والملاحظ أن سعر المتر المكعب يتناقص بزيادة نسبة WMP في الخلطة حيث كانت كلفة الخلطات M1، M2، M3 وM4 كالتالي 227.24882، 221.71672، 216.18542و 210.65452 دينار/م3، هذا التناقص التدريجي في كلفة المواد شابه نتائج الباحثان [15]. نسبة التناقص عن الخلطة المرجعية كانت 2.43، 4.89 و7.30%. الخلطة M4 والتي احتوت على WMP بنسبة 15% كانت الخلطة الأكثر اقتصادية حيث تم فيها توفير 16.594 دينار للمتر المكعب الواحد.



شكل 4: كلفة الخلطات بالدينار الليبي

ولكن كلفة المواد للمتر المكعب الواحد للخلطات M1، M2، M3و M4غير كافية لإجراء مقارنة شاملة للكلفة، لأن قيم مقاومة الضغط لهذه الخلطات كانت مختلفة. تم حساب كلفة الوحدة الواحدة من الضغط (1 ميجا باسكال) للخلطات المحتوية على WMP بنسب 0، 5، 10و 15% كما مبين في الشكل رقم (5)، حيث يمكن ملاحظة أن تكلفة وحدة الضغط للخلطتين M1 و M4 كانتا متقاربتين جداً وأقل من كلفة الخلطتين M2 و M3. كلفة الخلطة المرجعية M1 كانت 4.093 دينار/ ميجا باسكال/م3، أما كلفة الخلطة M4 وهي الخلطة المحتوية على WMP بنسبة 15% هي 3.94 دينار/ ميجا باسكال/م3، وبهذا تكون الخلطة M4 هي الخلطة الأكثر اقتصادية فقد حققت أقل كلفة بالنسبة للمواد وأيضاً لكلفة وحدة الضغط.



شكل 5: كلفة وحدة الضغط بالدينار الليبي

4. الخلاصة

من خلال برنامج عملي مكثف تم خلاله الاستبدال الجزئي للإسمنت البورتلاندي العادي بمسحوق مخلفات مصانع الرخام بنسب مختلفة لإنتاج خرسانة ذاتية الدمك، واجراء اختبارات الحالة اللدنة والمتصلدة وبحساب الكلفة تم استنتاج الاتي:

- مسحوق الرخام المستعمل صنف من خلال الاختبارات التي أجريت عليه في هذا البحث كمادة خاملة مالئة جيدة الترابط وأكدت النتائج امكانية استعماله لزيادة محتوى العجينة الرابطة بدلاً من استخدام محتوى عالٍ من الاسمنت فقط والذي يسبب في زيادة كل من التميؤ (hydration) والانكماش (shrinkage) والزحف (creep).
- احتواء الخرسانة ذاتية الدمك على WMP حسن قابلية التشغيل.
- استخدام النسب 5، 10، 15% من WMP لإنتاج SCC حقق مقاومة ضغط عالية.

- تزداد قوة الضغط لجميع الخلطات الخرسانية بما فيها الخلطة المرجعية بزيادة فترة المعالجة ولكن تتناقص بزيادة نسبة الاستبدال لمسحوق الرخام تناقصاً تدريجياً طفيفاً، ثم تعود لترتفع عند نسبة الاحلال 15%.
- نسبة الانخفاض في مقاومة الضغط عند نسبة الإحلال 15% لم تتجاوز 6.7، 4.75 و6.01 % عند الأعمار 7، 28 و56 يوم.
- استخدام مخلفات المصانع الصلبة سوف يقلل من استهلاك الإسمنت، والذي له تأثيرات بيئية كبيرة بما في ذلك انبعاثات ثاني أكسيد الكربون CO_2 واستهلاك الطاقة والموارد الطبيعية، بالإضافة إلى ذلك سيتم حفظ المضافات المعدنية الشائعة الاستخدام مثل غبار السليكا، والرماد المتطاير، وخبث الأفران لاستخدامها في تطبيقات أخرى.
- كلفة المواد للمتر المكعب من الخرسانة ذاتية الدمك تقل بزيادة نسبة WMP.
- كلفة وحدة الضغط لكل متر مكعب من الخرسانة ذاتية الدمك تقل بزيادة نسبة WMP.
- النسبة المثلى من WMP هي 15%، حيث استوفت هذه الخلطة كل شروط و معايير قبول الدليل الاوروبي EFNARC [8]، كما أنها الخلطة الأكثر اقتصادية حيث سجلت أقل كلفة بالنسبة للمواد وأيضاً سجلت أقل كلفة بالنسبة لوحدة الضغط لكل متر مكعب.

5. المراجع

[1] Khayat, K.H., Beaupre, D., Lacombe, P, Laboratory ivestigation of rheological properties and scaling resistance of air entrained self-consolidating concrete, (1999), Materials and Structures. 32, 235-240.

[2] Pai, B.V.B. ,How economic is self-compacting concrete, (2004), Indian Concrete J, pp. 58-59.

[3] Perssoiv, B. ,Technical Report, (1998), Japan Society for the Promotion of Science, Division of Building Materials, Lund Institute of Technology, Japan, 9803:12.

[4] Libyan Standard Specification. (2009), "LNS No. 340: Ordinary Portland Cement".

[5] Alyousef, R., Benjeddou, O., Soussi, CH., Khadimallah, M.A, Mohamed, A.M. (2019), Effects of Incorporation of Marble Powder Obtained by Recycling Waste Sludge and Limestone Powder on Rheology, Compressive Strength, and Durability of Self-Compacting Concrete, Advances in Materials Science and Engineering,

Volume 2019, Article ID 4609353, 15 page.

[6] Libyan Standard Specification. (2002), "LNS No. 49: Aggregates from Natural Sources for Concrete

[7] Libyan Standard Specification. (2013), "LNS No. 249: Mixing and curing water for concrete

[8] EFNARC, (2002). Specification and guidelines for self-compacting concrete. European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures.

[9] Neville, A, M. (1995), Properties of Concrete, Fourth and Final Edition, Pitman Books Limited, London.

[10] British Standard Institution, (2010). Testing fresh concrete. Self-compacting concrete. Slump-flow test. London: British Standard Institution. (BS EN 12350-8:2010).

[11] British Standard Institution, (2010). Testing fresh concrete. Self-compacting concrete. L box test. London: British Standard Institution. (BS EN 12350-10:2010).

[12] British Standard Institution (1983), Methods of testing concrete. Method for determination of compressive strength of concrete cubes. BS 1881: Part 116. BSI, London.

[13] British Standard Institution, (2010). Concrete, Part 9: Additional rules for self-compacting concrete (SCC). London: British Standard Institution. (BS EN 206-9:2010).

[14] Kumar, R., Kumar, S, K. (2015), Partial replacement of cement with marble dust powder. Int. Journal of Engineering Research and Applications, ISSN: 2248-9622, Vol. 5, Issue 8, (part-4). PP. 106-114.

[15] Mucteba, Uysal., Kemalettin, Yilmaz. (2011), Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete. Cement & Concrete Composites. 33(2011) 771-776.

[16] Yahia, A., Tanimura, M., and Shimoyama, Y. (2005), Rheological Properties of Highly Flowable Concrete.35(3); 532-9.

[17] Hackley, V.A., and Ferraris, C.F. (2001), Guide to Rheological Nomenclature: Measurements in Ceramic Particulate Systems, National Institute of Standards and Technology NIST, Special Publication 946, p. 9.

[18] Portland Cement Association (1997). Portland cement, concrete and heat of hydration. Concrete Technology Today, 18(2), 1-7.

[19] Hameed, A., Qazi, A., Abbas, S., and Abdul Rehman. (2016), Self-Compacting Concrete: Use of Waste Marble Powder as Filler Material. Journal of Pak. J. Engg. & Appl. Sci. Vol. 18 (p. 1–10).

[20] Boukhelkhal, A., Benabed, B., Belaidi, A, S, E., Akhtar, A. (2018), Strength and durability of self-compacting concrete made with new reduced carbon cement and waste marble powder: Proc. 14th ASEC. Conf. on Structural Engineering. Irbid, Jordan, Jordan University of Science & Technology.

[21] S. Tsivilis, E. Chaniotakis, E. Badogiannis, G. Pahoulas, and A. Ilias.(1999), A study on the parameters affecting the properties of Portland limestone cements, Cement and Concrete Composites, vol. 21, no. 2, pp. 107–116.

[22] Matrin, D.J. (2002), Economic impact of SCC in precast applications of the first North American conference on the design and use of self-consolidating concrete. United State: Center for Advanced Cement Based Materials, Northwestern University, p. 153-8.