African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)
Online ISSN: 2957-644X
Volume 3, Issue 4, October - December 2024
Page No: 256-263
Website: https://aaasjournals.com/index.php/ajapas/index
ISI 2024: 0.877 **SJIFactor 2024: 6.752** **معامل التأثير العربي: 1.55**

تأثير تخفيض كمية الإسمنت على بعض خواص الخرسانة ذاتية الدمك

عبد الرحمن محمد أحمد [1*]، إبراهيم محمد الحاج [2]، فيصل سالم مسعود الغبيني [3]، أيمن أنور توفيق ميلاد [4]،
علي ميلاد مفتاح احميدات [5]، محمد ابوالقاسم محمد [6]
[1،2،3،4،5،6] قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة بني وليد، ليبيا

Effect of reducing the amount of cement on some properties of self-compacting concrete

Abdulrahman Mohammed Ahmed [1*], Ibrahim Mohamed Elhaj [2], Faysil Salim Alghubeeni [3], Ayman Anwar Meelad [4], Ali Meelad Miftah Ahmeedat [5], Mohammed Abu Al-Qasim Mohammed [6]
[1,2,3,5,5,6] Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Bani Waleed University, Libya

[*]Corresponding author: alborhanbani@gmail.com

تاريخ الاستلام: 2024-09-12	**تاريخ القبول:** 2024-10-27	**تاريخ النشر:** 2024-11-02

الملخص

الخرسانة ذاتية الدمك لها القدرة على الانسياب والتدفق تحت تأثير وزنها وملء القوالب بالكامل حتى في حالة وجود حديد تسليح مزدحم بالعنصر الإنشائي بدون استعمال معدات لدمكها وبدون حدوث انفصال لمكوناتها، تعتبر هذه الخصائص من أهم مميزات هذا النوع من الخرسانة مما يجعلها من أفضل انواع الخرسانة لما تقدمه من توفير في المعدات والعمال، وهذا يسهم بشكل كبير في سرعة إنجاز المشاريع. توصي معظم المواصفات بأن تكون كمية المواد الإسمنتية المستعملة في هذا النوع من الخرسانة كبيرة مقارنة بالخرسانة التقليدية مما ينتج عنه زيادة في تكلفة إنتاجها. يهدف هذا البحث إلى دراسة عدة خلطات خرسانية تم فيها تخفيض كمية الاسمنت بشكل تدريجي، وإجراء الاختبارات اللازمة لهذه الخلطات في الحالة اللدنة لمعرفة درجة التدفق والعبور من خلال قياس قطر وزمن الانسياب وفي الحالة الصلبة لمعرفة مقاومة الخرسانة، بالإضافة لدراسة تأثير التخفيض في كمية الإسمنت بهذه الخلطات على بعض الخواص الطازجة والمتصلبة للخرسانة ذاتية الدمك. أظهرت النتائج أنه بالإمكان إنتاج خرسانة ذاتية الدمك بكمية إسمنت أقل مما توصي به بعض المواصفات وأن التخفيض في كمية الإسمنت المستعمل تؤثر بشكل أكبر على مقاومة الخرسانة وبشكل أقل على خواص الخرسانة ذاتية الدمك في حالتها اللدنة.

الكلمات المفتاحية :الخرسانة ذاتية الدمك، الملدنات الفائقة، قطر الانسياب، كمية المواد الاسمنتية.

Abstract

Self-compacting concrete can flow under the influence of its weight and fill the molds completely even in the presence of reinforced steel crowded with the structural element without using equipment to compact it and without separation of its components. These properties are considered among the most important features of this type of concrete, which makes it one of the best types of concrete due to the savings in equipment and workers, which contributes significantly to the speed of completion of projects. Most specifications recommend that the amount of cement materials used in this type of concrete be large compared to traditional concrete, which increases its production cost. This research aims to study several concrete mixtures in which the amount of cement was gradually reduced, and to conduct the necessary tests for these mixtures in the plastic state to determine the degree of flow and crossing by measuring the diameter and flow time, and in the solid state to determine the resistance of the concrete, in addition to studying the effect of reducing the amount of cement in these mixtures

on some of the fresh and hardened properties of self-compacting concrete. The results showed that self-compacting concrete can be produced with less cement than recommended by some specifications and that the reduction in the amount of cement used has a greater effect on the strength of concrete and less on the properties of self-compacting concrete in its plastic state.

Keywords: Self-compacting concrete, superplasticizers, flow diameter, amount of cementitious materials.

مقدمة:

الخرسانة هي مادة البناء الأساسية في بلادنا بسبب تكلفتها المنخفضة مقارنة بالإنشاءات المعدنية، ولمواكبة متطلبات البناء السريع في البلاد، هناك حاجة ماسة إلى ايجاد طرق تسهم في الاسراع من وتيرة تنفيذ المشاريع المختلفة، تعد الخرسانة المصبوبة مسبقًا والخرسانة الجاهزة أكثر الطرق استخدامًا بدلاً من الخرسانة التقليدية في الوقت الحالي، تُستخدم الخرسانة ذاتية الدمك على نطاق واسع في مجال الخرسانة المصبوبة مسبقًا والخرسانة الجاهزة والخرسانة المصبوبة في الموقع، ما يتميز به هذا النوع من الخرسانة أنها تتطلب عمالة أقل ولا تتطلب اهتزازًا ميكانيكيًا حيث يمكنها أن تستقر وتسوى ذاتيًا كما أن الوقت اللازم لتصلبها أعلى من الخرسانة التقليدية ويعتبر ذلك عامل مساعد أثناء نقل وصب الخرسانة، استخدام عامل تعديل اللزوجة والمُلدِّن الفائق بهذا النوع من الخرسانة يعمل على تحقيق تدفق عالٍ مع وجود رابط جيد بين الاسمنت والركام والماء مما يساعد على منع النزيف وانفصال مكونات الخرسانة و للحفاظ على قدرة التدفق وقابلية التشغيل وقوة الخرسانة ذاتية الدمك فإن جودة المواد الاولية المستخدمة والخلط بنسب مناسبة والحفاظ على نسبة الماء/ المواد الاسمنتية هي العوامل الرئيسية لتحقيق ذلك.

في عام 1980 اقترح البروفيسور (Okamura) لأول مرة الخرسانة ذاتية الدمك في جامعة أوتشي، اليابان [1][2][3]، وفي عام 1988 قدم (K. Ozawa) ونشر نسخة معدلة من اقتراح (Okamura) [4]، المبادئ التوجيهية المقترحة من قبل (Okamura & Ozawa) تتلخص فيما يلي : اولاً يجب تقليل نسبة الكتل إلى المواد الإسمنتية من حيث الحجم، ثانياً يجب زيادة نسبة الماء إلى المواد الاسمنتية ولكن يجب أن تكون كمية الماء في حدود لتحقيق اللزوجة دون فصل ونزيف، ثالثاً يلعب الحجم الأقصى الاسمي للركام دورًا مهماً في تحقيق خصائص القوة وفي انفصال مكونات الخرسانة التي يجب أن تكون تحت السيطرة، اقترح (Nan-Su) طريقة تصميم بسيطة للخلطة تتضمن تحديد كمية الركام المطلوبة ثم يتم ملء عجينة المواد الرابطة في فراغات الركام[5].

أما في أوروبا فعلى الأرجح إن الخرسانة ذاتية الدمك استخدمت لأول مرة في شبكات الطرق في السويد منتصف عام 1990، الهيئة الأوروبية (European Commission EC) مولت عدة مشاريع أهلية وحكومية للخرسانة ذاتية الدمك ما بين عامي 1997-2000 بعد ذلك انتشر استخدام هذا النوع من الخرسانة في عموم أوروبا، في عام 2002 قامت المنظمة الأوروبية المعروفة باسم ايفنارك (EFNARC) بتطوير مواصفات وإرشادات لاستخدام الخرسانة ذاتية الدمك والتي تغطي العديد من الموضوعات بداية من اختيار المواد المستعملة وتصميم الخلطة الخرسانية إلى أهمية طرق الاختبار[6]، في عام 2010 قدم كلا من (Soo-Duck Hwang & Kamal H. Khayat) نتائج الاختبار التي أجريت لتقييم امكانية معالجة والتحكم في التشقق الناتج عن الانكماش المقيد للخرسانة ذاتية الدمك وقد ثبت أن نهج تصميم الخلطة الخرسانية الجديد هذا ونوع المادة الرابطة للخرسانة ذاتية الدمك له تأثير كبير على إمكانية التشقق[7]، في عام 2012 قدمت (Sandra Nunes et.al) خلطات الخرسانة ذاتية الدمك القوية من خلال تصميم الخلطة حيث تهدف هذه الورقة إلى توضيح كيفية تقييم ومقارنة مثانة خلطات الخرسانة ذاتية الدمك المحسّنة وفقًا لمعايير اقتصادية مختلفة مع الحفاظ على نسبة الماء/الإسمنت وخصائص الحالة الطازجة المستهدفة[8]، في عام 2013 قدم (P. Dinakar et.al) تصميم الخرسانة ذاتية الدمك باستخدام خبث أفران الصهر وخلص إلى أن المنهجية قد تم التحقق منها بنجاح من خلال تحقيق تجريبي مناسب وتم تقييم خرسانة الخبث ذاتية الدمك من حيث قدرتها على الضغط الذاتي وخصائص القوة و تشير النتائج إلى أن الطريقة المقترحة يمكن أن تكون قادرة على إنتاج خرسانة عالية الجودة[9]، في عام 2014 اقترح (Miguel CS Nepomuceno et.al) منهجية لتصميم خلطات الخرسانة ذاتية الدمك للتوفيق بين قابلية التشغيل والقوة[10]، في عام 2016 قدم (Behnam Vekhsouri) تصميم مزيج من الخرسانة خفيفة الوزن ذاتية الدمك و أدى استخدام الإضافات المعدنية والكيميائية في تكنولوجيا الخرسانة إلى تغييرات في التركيبة وتصميم الخلطة مما جعل الخرسانة أقوى وأكثر متانة، الخرسانة خفيفة الوزن (LWC) هي حل ممتاز من حيث تقليل الحمل الميت للهيكل، بينما تسهل الخرسانة ذاتية الدمك (SCC) الصب و إن الجمع بين مزايا النوعين LWC و SCC هو مجال بحث جديد نظرًا لوزنها الخفيف وسهولة صبها، قد تكون الخرسانة خفيفة الوزن ذاتية الدمك (LWSCC) هي حل مهم يلبي متطلبات البناء المتزايدة للعناصر الانشائية النحيلة والقوية بشكل أكبر[11].

المواد المستخدمة والبرنامج العملي:

توصي بعض المواصفات بأن تكون كمية المواد الاسمنتية المستعملة بالخرسانة ذاتية الدمك كبيرة وتتراوح من 450 Kg/m^3 الى 600 Kg/m^3 وهذا الامر يزيد من تكلفة انتاجها ويشكل عائقاً لانتشار استعمالها وعدم الاستفادة من مميزاتها، نهدف من خلال هذا البحث الى دراسة امكانية انتاج خرسانة ذاتية الدمك باستعمال كميات منخفضة من الاسمنت، نتناول في البرنامج

العملي بهذا البحث دراسة عدة خلطات خرسانية تم فيها تخفيض كمية الاسمنت بشكل تدريجي، وإجراء الاختبارات اللازمة لهذه الخلطات للتأكد اولاً من انطباق شروط الانسياب والعبور التي تتميز بها الخرسانة ذاتية الدمك وفق ما توصي به المواصفات ثم دراسة تأثير تخفيض كمية الاسمنت المستعمل بكل خلطة على بعض خواص هذا النوع من الخرسانة .

المواد الاولية التي تم استخدامها في تنفيذ الخلطات الخرسانية بهذا البحث هي عبارة عن الاسمنت البورتلاندي العادي من انتاج مصنع البرج زليتن، وتم استخدام نوع واحد من الركام من محجر النجوم بني وليد مقاس 12.5mm مبلل جاف السطح، وتم استخدام الركام الناعم الطبيعي (رمل زليتن)، وتم استخدام الملدن الفائق (GLENIUM® 51) والذي يعمل على خفض نسبة ماء الخلط وإنتاج خرسانة ذات انسيابية عالية (خرسانة ذاتية الدمك)، كما تم استخدام مياه صالحة للشرب.

باستخدام الطريقة الحجمية تم تحديد كميات المكونات لخلط متر مكعب من الخرسانة والكميات موضحة بالجدول (1) لعدد 4 خلطات باستخدام الملدن (GLENIUM® 51) بنسبة (0.8 L) من وزن الاسمنت مع تغيير وزن الاسمنت في كل من الخلطات الاربعة، بعد تجهيز المواد ووزنها باستخدام ميزان لوزن الرمل والركام والاسمنت بدقة (± 5 جم) وميزان حساس لوزن الماء المضاف بدقة (± 1 جم) حسب الكميات اللازمة لخلط عدد ثلاث مكعبات ذات مقاس (150× 150 150×) مم لكل خلطة، حيث خلطت المواد جيداً على الجاف قبل اضافة الماء حتى تعطي خليطاً متجانساً ثم أضيف الماء وبعدها تم اضافة الملدن ثم الخلط لمدة دقيقتين .

الجدول (1) كميات المواد الاولية المستخدمة بالخلطات المنفذة.

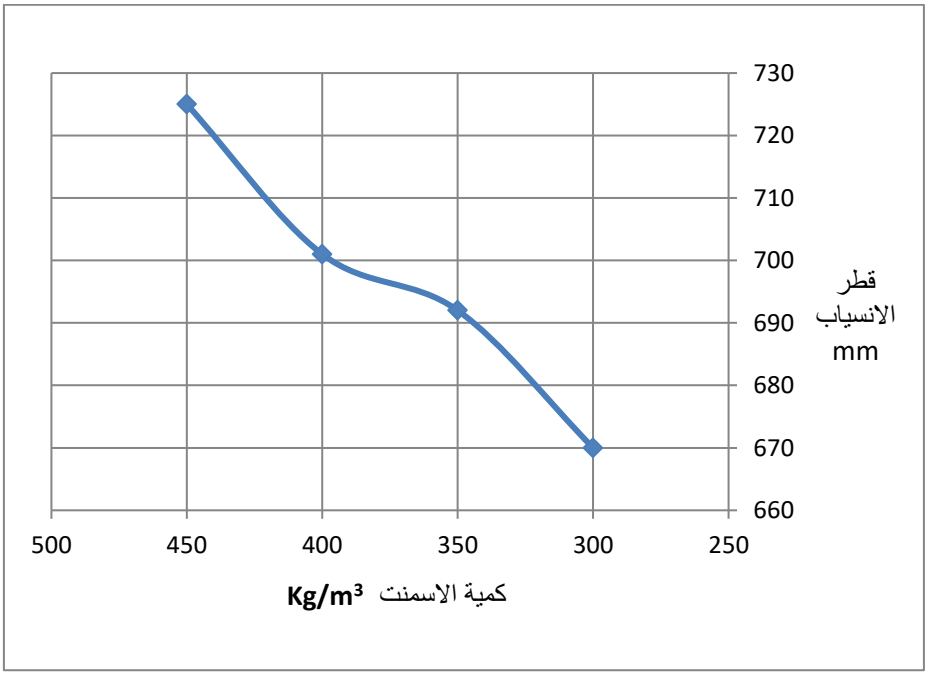
المواد الاولية المستخدمة	الخلطة (1)	الخلطة (2)	الخلطة (3)	الخلطة (4)
الاسمنت (كجم)	300	350	400	450
الماء (كجم)	180	195	200	208
الركام الخشن (كجم)	1025	1060	1065	1068
الركام الناعم (كجم)	839	754	710	685
الملدن (لتر/100كجم اسمنت)	0.8	0.8	0.8	0.8
نسبة الماء الى الاسمنت (w/c)	60%	56%	50%	47%

لتحديد درجة انسياب الخرسانة الطازجة ومدى مقاومتها للانفصال تم اجراء عدد من الاختبارات طبقاً للمواصفات الاوروبية (EFNARC) وهي اختبار هبوط التدفق (Slump Flow + T50) وأجري هذا الاختبار لتحديد قابلية التعبئة للخرسانة ذاتية الدمك بتعيين قطر انتشار التدفق وزمن الانسياب (T50)، كما تم اجراء اختبار (J-Ring Test) لتعيين قابلية المرور والعبور للخرسانة ذاتية الدمك ويمكن أيضاً معرفة مدى مقاومة الخرسانة للانفصال (Segregation) .
تم اعداد قوالب العينات وطريقة الصب بعد الخلط تمهيداً للقيام بالاختبارات على الخرسانة الطازجة تلتها عملية صب الخرسانة في ثلاث مكعبات ذات مقاس (150 X 150 X 150) مم بدون دمك ووضعت في مكان رطب لمدة 24 ساعة، تم معالجة العينات بعد فك القوالب واستخراج العينات ووضعت في حوض به ماء درجة حرارته لا تزيد عن 24 درجة مئوية حتى موعد اختبار العينة، تم اجراء اختبار مقاومة الضغط لتحديد أقصى اجهاد ضغط للخرسانة المتصلدة باستخدام آلة ضغط بدقة (10N) وقد أجري هذا الاختبار بعد 7 أيام وبعد 28 يوم.
اختبارات الخرسانة في الحالة اللدنة تضمنت اولاً اختبار هبوط التدفق (Slump flow +T 50) وأجري هذا الاختبار لتعيين قابلية الانتشار والتدفق للخرسانة ذاتية الدمك عن طريق تحديد قطر وزمن الانسياب، اتضح من خلال معاينة تصرف الخرسانة أثناء اجراء هذا الاختبار سهولة انسيابها و تدفقها و مقاومتها للانفصال الحبيبي والنضح بشكل طردي مع زيادة وزن الاسمنت، اختبارات الخرسانة في الحالة اللدنة تضمنت أيضا اختبار انتشار التدفق بوجود عوائق (J-Ring Test) وأجري هذا الاختبار لتعيين قابلية المرور والعبور للخرسانة ذاتية الدمك ومعرفة مدى مقاومة الخرسانة للانفصال الحبيبي ومن خلال الفحص البصري لوحظ أن الخلطات المنفذة تسلك نفس السلوك من حيث الانسياب ومقاومة الانفصال الحبيبي أثناء مرورها من العوائق فكلما زاد وزن الاسمنت في الخلطة زادت قدرتها على العبور من خلال العوائق ومقاومتها للانفصال الحبيبي .

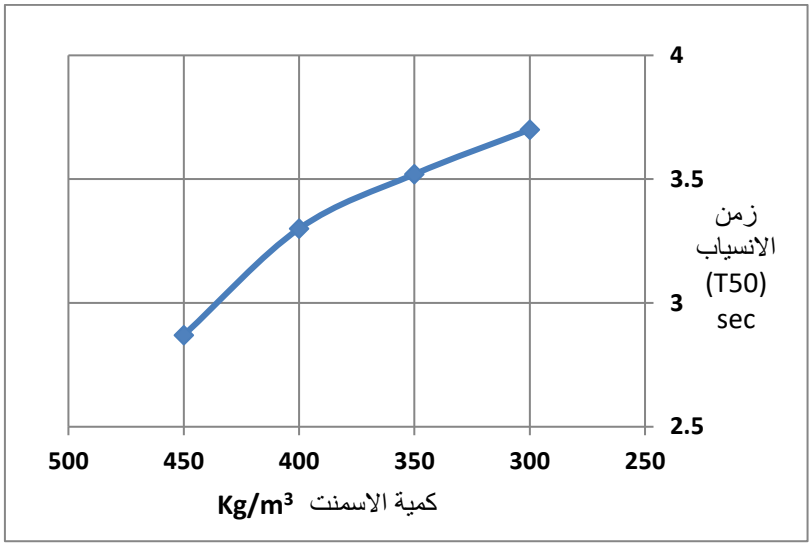
الجدول (2) قطر وزمن الانتشار للخلطات بالأوزان المختلفة للإسمنت.

رقم الخلطة	الخلطة رقم1	الخلطة رقم 2	الخلطة رقم 3	الخلطة رقم 4
وزن الاسمنت (Kg/m3)	300	350	400	450
قطر الانسياب(Ds) (mm)	670	692	701	725
زمن الانسياب (T50) (sec)	3.7	3.52	3.3	2.87
حدود المواصفة لـ (T50) (sec)	5-2			
حدود المواصفة لـ (Ds) (mm)	800-650			

بينت نتائج اختبار قابلية الانسياب والتي تم الحصول عليها من خلال اجراء اختبار انتشار التدفق (Slump flow +T 50) بشكل عام أن جميع الخلطات المنفذة لها قطر تدفق أو انتشار (Ds) يقع ضمن حدود قطر التدفق المطلوب بالمواصفات وهو الواقع ما بين (650-800) مم وكذلك زمن التدفق T50 للخرسانة يقع ضمن ما توصي به المواصفات وهو الواقع ما بين (2-5) ثانية ، الشكل 1 يوضح أن قطر الانتشار يزداد بزيادة وزن الاسمنت في الخلطة بينما الشكل 2 يبين أن زمن الانتشار يقل كلما زادت كمية الاسمنت بالخلطة، من خلال النتائج المتحصل عليها من اختبار انتشار التدفق بوجود عوائق (J-Ring Test) نستنتج أن معظم الخلطات لها قطر انتشار(Dj) في حالة وجود العوائق يقع ضمن ما توصي به المواصفات كما لوحظ أن الفرق بين قطر الانتشار Ds وقطر الانتشار Dj يتناقص كلما زاد وزن الاسمنت في الخلطة ويدل هذا على تحسن خاصية العبور للخرسانة كلما زاد وزن الاسمنت في الخلطة الا أن الفرق في قطري الانتشار (Ds، Dj) في الخلطة الاولى لا يقع ضمن حدود المواصفات بحيث يجب أن يكون اقل من 10 mmوبالتالي لا تتوفر فيها خاصية العبور بشكل كامل والفرق كان أكبر قليلاً من تلك الحدود وهذا يعني أن الخلطة لا تتوفر فيها جميع الشروط الفنية للخرسانة ذاتية الدمك .



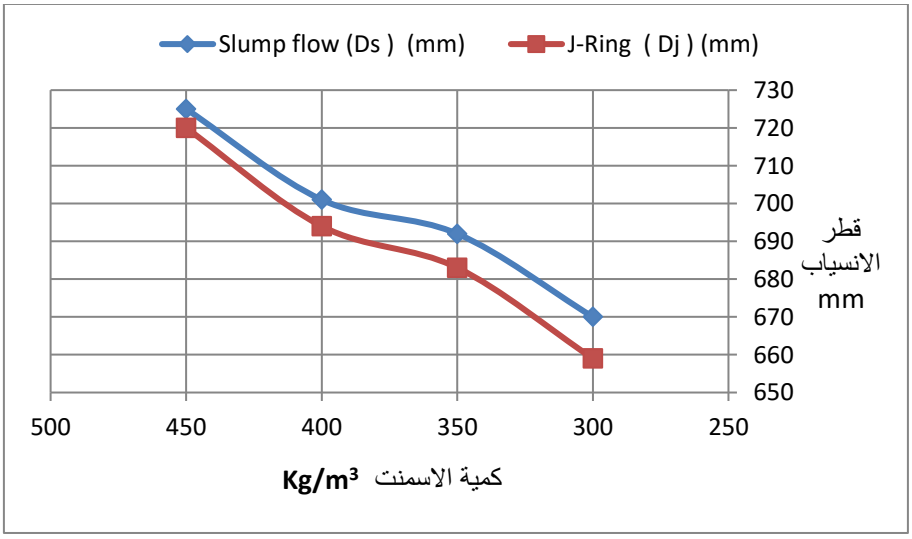
الشكل (1) العلاقة بين كمية الاسمنت المستعمل وقطر الانسياب.



الشكل (2) العلاقة بين كمية الاسمنت المستعمل وزمن الانسياب.

الجدول (3) قطري الانتشار والفرق بينهما للخلطات بالأوزان المختلفة للإسمنت.

رقم الخلطة	الخلطة رقم1	الخلطة رقم 2	الخلطة رقم 3	الخلطة رقم 4
كمية الاسمنت (Kg/m^3)	300	350	400	450
قطر الانتشار(Ds) (mm)	670	692	701	725
قطر الانتشار (Dj) (mm)	659	683	694	720
الفرق بين قطري الانتشار (Ds-Dj)	11	9	7	5
حدود المواصفات للفرق (mm)	10-0			



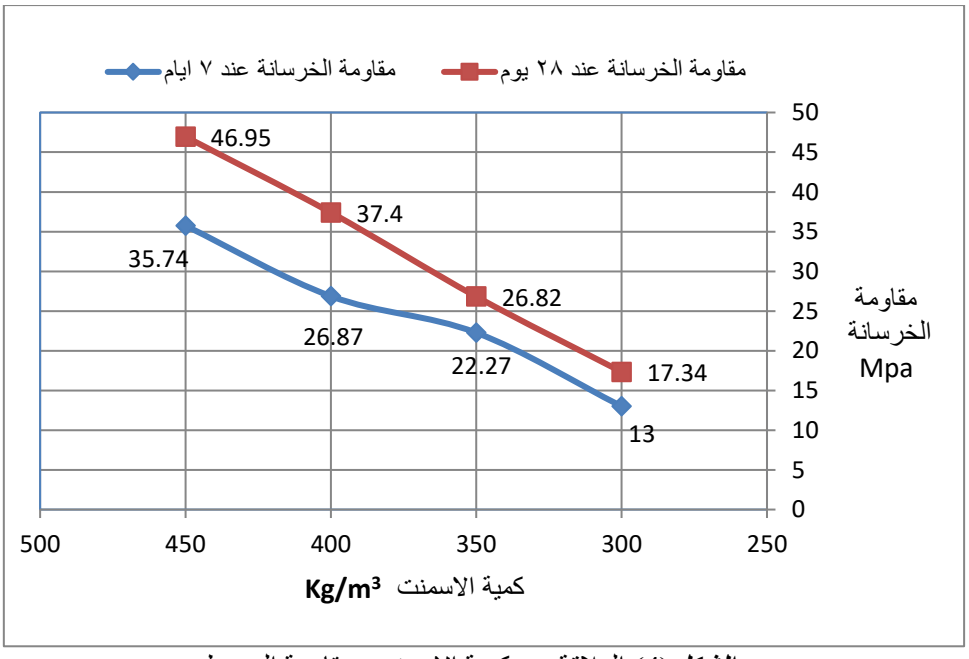
الشكل (3) العلاقة بين وزن الاسمنت وقطري الانتشار (Ds, Dj).

نتائج اختبار مقاومة الضغط على الخلطات الخرسانية أوضحت التناسب الطردي بين زيادة كمية الاسمنت وارتفاع قيمة المقاومة وهذا أمر بديهي الا أن الملاحظ أن مقاومة الخلطة رقم 1 تعتبر ضعيفة بالإضافة الى معدل زيادتها الضعيف من عمر 7 ايام الى 28 يوم بعكس باقي الخلطات والسبب في ذلك هو الزيادة في نسبة الماء للإسمنت لزيادة تدفق وانسياب الخرسانة حتى يتم تحقيق قطر الانسياب المطلوب للخرسانة ذاتية الدمك، كما أوضحت المقاومة المرتفعة للخلطات رقم 3 ، 4 إضافة إلى ارتفاع مقاومتها المبكرة عند عمر 7 ايام كما هو موضح بالجدول التالي:

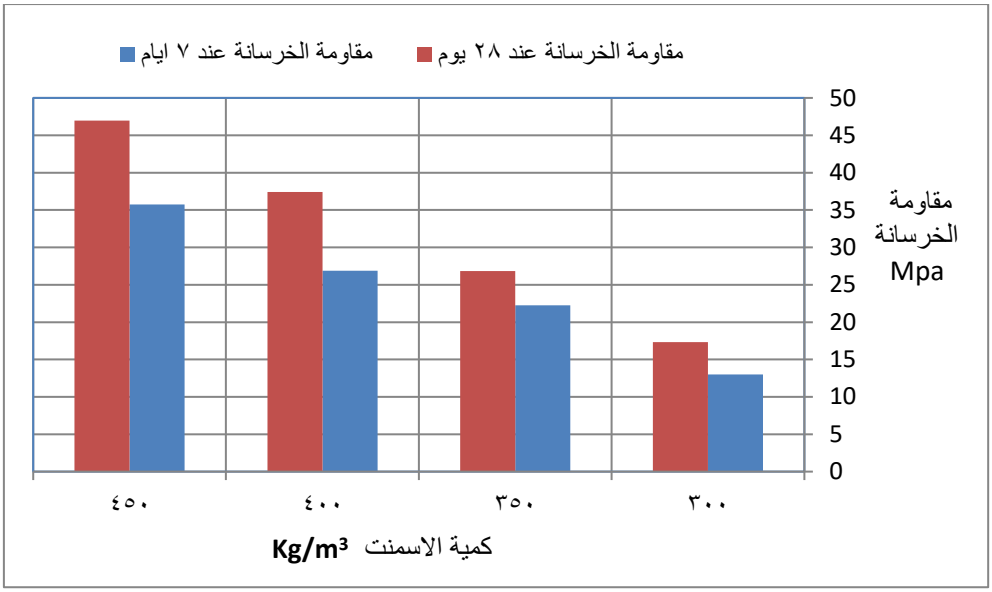
الجدول (4) مقاومة الخرسانة بالخلطات المنفذة.

مقاومة الضغط للخرسانة	الخلطة رقم1	الخلطة رقم 2	الخلطة رقم 3	الخلطة رقم 4
بعد 7 ايام (Mpa)	13	22.27	26.87	35.74
بعد 28 يوم (Mpa)	17.34	17.34	26.82	46.95

الشكل 4 يوضح تأثير زيادة كمية الاسمنت على مقاومة الضغط للخرسانة حيث تزداد هذه المقاومة كلما زادت كمية الاسمنت المستعمل ولكن بمعدلات مختلفة فنلاحظ أن مقاومة الخلطة رقم 1 ضعيفة نسبيا مما يجعلها محدودة الاستعمال بالإضافة الى أن معدل زيادتها الضعيف ما بين عمر 7 ايام وعمر 28 يوم، نلاحظ تحسن مقاومة الضغط للخلطة رقم 2 الا أن معدل زيادتها لم يتحسن بشكل ملحوظ، يبدأ التحسن الواضح في مقاومة الخلطات من الخلطة رقم 3 فنلاحظ أن مقاومتها عند 7 ايام تصل الى قيمة مقاومة الخلطة رقم 2 في 28 يوم بالإضافة الى معدل زيادتها الكبير من 7 ايام الى 28 يوم، يمكن ملاحظة ذلك بوضوح من خلال اتساع الفارق بين المنحنى الخاص بالمقاومة عند 7 ايام والمنحنى الخاص بالمقاومة عند 28 يوم ، يظهر التحسن الكبير في مقاومة الضغط للخلطة رقم 4 ومعدل زيادتها، الشكل 5 يبين بشكل أوضح الفرق في معدل الزيادة لمقاومة الضغط لكل خلطة .



الشكل (4) العلاقة بين كمية الاسمنت ومقاومة الضغط.



الشكل (5) الفرق في زيادة مقاومة الضغط من عمر 7 ايام الى 28 يوم للخلطات المنفذة.

الاستنتاجات:

من خلال هذا البحث والعلاقات التي تم الحصول عليها نستخلص الأتي:

1. يمكن انتاج خرسانة ذاتية الدمك والاستفادة من أهم خواصها والمتمثلة في قدرتها العالية على الانسياب والعبور باستعمال كمية اسمنت أقل مما توصي به بعض المواصفات.
2. استعمال كمية منخفضة من الاسمنت في انتاج الخرسانة ذاتية الدمك بشكل مشابه لما يتم استخدامه بالخرسانة التقليدية يقلل من تكلفة انتاجها ويجعل منها خياراً جيداً للمساهمة في تسريع أعمال تنفيذ المشروعات المختلفة والتخلص من بعض المشاكل التي تظهر بعد الصب من بينها التعشيش.
3. زيادة كمية الاسمنت في الخلطات له تأثير كبير على خواص الخرسانة ذاتية الدمك من حيث قابلية التشغيل والسبب أنه كلما زادت كمية الاسمنت قلت كمية الركام في الخلطة أي زيادة المواد الناعمة والتقليل من المواد الخشنة للحصول على قابلية تشغيل جيدة.
4. مقاومة الخرسانة تتناسب طردياً مع زيادة كمية الاسمنت بالخرسانة وبشكل فعال عند استعمال الملدن (GLENIUM® 51) وهذا يعني أن تحديد نوع الملدن المستعمل له أهمية كبيرة في انتاج الخرسانة ذاتية الدمك ذات مقاومة ضغط عالية.
5. على الرغم من أن مقاومة الضغط تقل كلما قلت كمية الاسمنت في الخلطة الا أن بعض أو معظم الخلطات المنفذة بالملدن (GLENIUM® 51) ذات مقاومة جيدة وبذلك يمكن استخدامها في معظم العناصر الانشائية مهما كان شكل قوالبها.
6. التصميم الدقيق والمناسب للخلطة الخرسانية له دور كبير ومهم في انتاج خرسانة ذاتية الدمك والاستفادة من خواصها المميزة بشكل اقتصادي.

التوصيات:

بعد دراسة النتائج التي تم التوصل اليها بهذا البحث نوصى بالآتي:

1. دراسة امكانية استخدام مواد ناعمة بديلة للإسمنت غير مكلفة لزيادة التخفيض في كمية الاسمنت.
2. التركيز على دراسة عدم حدوث انفصال لمكونات الخرسانة ذاتية الدمك عند تخفيض كمية الاسمنت المستعمل من خلال اختيار نوع الملدن المناسب.
3. دراسة امكانية استعمال أنواع أخرى من الاسمنت مختلفة المصدر والتركيب الكيميائي ومدى تأثير استعمالها على خواص الخرسانة ذاتية الدمك.
4. دراسة أنواع أخرى من الملدنات الفائقة المستعملة مختلفة المصدر والتركيب الكيميائي وبجرعات مختلفة ومدى تأثير ذلك على خواص الخرسانة ذاتية الدمك.

قائمة المراجع:

[1] Ozawa K.، Maekawa K.، and Okamura H.، Development of the high-performance concrete، Proceedings of JSI، 1989، 11، 1، p. 699–704.

[2] Okamura H.، Ozawa K.، Mix design for self-compacting concrete، Concrete Library of Japanese Society of Civil Engineers، 1995، p. 107-120.

[3] Okamura H.، Self-compacting high-performance concrete. Concrete International ، 1997، 1; 19 (7)، p. 50-4.

[4] Okamura H.، Ozawa K.، Ouchy M.، Self-compacting concrete، Structural concrete، London Thomas Tele ford Limited، 2000، 1، p. 3-18.

[5] Su N.، Hsu K.C.، Chai H.W.، A simple mix design method for self-compacting concrete، Cement and concrete research، 2001، 31 (12)، p. 1799-807.

[6] EFNARC - The European guidelines for self-compacting concrete، Specification، Production and Use، 2005.

[7] Hwang S.D.، Khayat K.H.، Effect of mix design on restrained shrinkage of self-consolidating concrete، Materials and structures، 2010، 43 (3)، p. 367-80.

[8] Nunes S.، Milheiro-Oliveira P.، Coutinho J.S.، Figueiras J.، Robust SCC mixes through mix design، Journal of Materials in Civil Engineering، 2012، 25 (2)، p. 183-93.

[9] Dinakar P.، Sethy K.P.، Sahoo U.C.، Design of self-compacting concrete with ground granulated blast furnace slag، Materials & Design، 2013، 43، p. 161-9.

[10] Nepomuceno M.C.، Pereira-de-Oliveira L.A.، Lopes S.M.، Methodology for the mix design of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders، Construction and Building Materials، 2014، 64، p. 82-94.

[11] Vakhshouri B.، Nejadi S.، Mix design of light-weight self-compacting concrete، Case Studies in Construction Materials، 2016، 4، p. 1-4.