استخدام مسحوق مخلفات الآجر لتحسين خواص الخرسانة ذاتية الدمك

علي محمد الترهوني وسعيدعمرو الحرابي ونضال حسين المقرحي

قسم الهندسة المدنية كلية الهندسة جامعة طرابلس
E-mail: nidalhoussen@gmail.com

ABSTRACT

Self compacting concrete is one of the concrete technology field developments of the last twenty years of the previous century. It is characterized by having a high degree of fluidity and flow under its self weight. This will help to cast it successfully into narrow section with heavy steel reinforcement without resorting to any external compaction techniques. Researchers, in the late eighties of the previous century, have done laboratory experiments with the aim of developing a self compacting concrete witch has a high degree of fluidity and flow, and that is by adding soft materials to the concrete mix.

This research is based on substituting imported soft materials used in the concrete mixes with local material and that is by making use of clay blocks remains. Those clay blocks remains, instead of being thrown in open spaces in an environmentally harmful way, are ground and then used again thereby forming a new building materials cycle.

This paper presents several different laboratory experiments done on several self compacting concrete mixes. It studies the effects of adding different proportions of soft material in the form of ground clay material on the concrete characteristics in both solid and plastic states.

الملخص

تعتبر الخرسانة ذاتية الدمك احد التطورات التي حصلت في مجال تقنية الخرسانة خلال العشرين سنة من القرن الماضي، حيث تتميز الخرسانة الذاتية الدمك بدرجة عالية من السيولة والانسياب تحت وزنها الذاتي وبما يساعد على صبها بنجاح في القطاعات الضيقة والمزدحمة بحديد التسليح وذلك بدون الاستعانة بأي وسيلة دمك خارجية، وقد قام الباحثون منذ أواخر الثمانيات من القرن الماضي بإجراء التجارب المعملية لغرض الوصول إلى أنتاج خرسانة ذاتية الدمك تتمتع بدرجة عالية من السيولة والانسياب وذلك عن طريق إضافة مواد ناعمة للخلطة الخرسانية.

تم في هذا البحث استبدال المواد الناعمة الداخلة في الخلطة الخرسانية المستوردة من الخارج بمواد محلية وذلك بالاستفادة من مخلفات طوب الآجر الأحمر عن طريق إدخالها مرة ثانية في دورة مواد البناء بعد طحنها بدلا من رميها في الأماكن المفتوحة مما سبب في إلحاق الضرر بالبيئة.

تم في هذه إجراء عدة تجارب معملية على عدة خلطات خرسانية ذاتية الدمك لدراسة مدى ثاتير إضافة نسب مختلفة من مسحوق الآجر كمادة ناعمة على خواص الخرسانة في الحالتين الحالة اللدنة والحالة الصلبة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية الدمك؛ قابلية التشغيل؛ نسبة الامتصاص؛ البوزلانا؛ الخبث؛ مسحوق الآجر

المقدمة

يعتبر طوب الأجر من أقدم مواد الإنشاء التي عرفها الإنسان حيث يصنع من خلال حرق الطين إلى درجات مرتفعة تتراوح ما بين 500 - 600 درجة مئوية، ويتم استخدام كميات كبيرة من هذا الطوب المصنع محليا أو المستورد كأحد مواد البناء مصاحبا لتطور النهضة العمرانية في مجال البناء، وان عدم إتباع الطرق السليمة في التصنيع وسوء التخزين والمناولة أدى إلى ظهور كميات من المخلفات في الساحات المفتوحة وبشكل عشوائي على جوانب الطرق الزراعية، كما في الشكل (1) مما أضر بالبيئة وخلق أماكن ملائمة لحياة الزواحف والقوارض والحيوانات الضارة كما أصبحت أماكن استفزاز لدى الناس ولهذه الأسباب أجريت العديد من الدراسات والبحوث في الآونة الأخيرة على إعادة استخدام هذه المخلفات وإدخالها مرة أخرى في دورة مواد البناء لتقليل إرهاق البيئة من جانب والاستفادة منها من جانب أخر كمادة ناعمة يمكن إضافتها إلى الخرسانة ذاتية الدمك لتحسين خواصها.

شكل 1: مخلفات الأجر وتأثيرها على البيئة

ومن جهة تعتبر الخرسانة ذاتية الدمك (Self-compacting concrete) احد التطورات التي حصلت في مجال تقنية الخرسانة خلال العشرين سنة الأخيرة من القرن الماضي، لما تمتاز به من درجة عالية من السيولة والانسياب ويمكن صبها بنجاح في القطاعات الضيقة والمزدحمة بحديد التسليح وذلك بدون الاستعانة بأي وسيلة دمك خارجية أو داخلية، وتضاف المواد الناعمة لإيجاد اتزان بين

الحصول على خرسانة ذات لزوجة عالية سهلة الانسياب ومقاومة انفصال مكوناتها في حالتها الطازجة مع توفر متطلبات الديمومة في الحالة المتصلدة لهذه الخرسانة وتمثلت هذه المواد الناعمة في الرماد المتطاير (Fly ash) وغبار السليكا (Silica Fume) والخبث (Slag) ولعدم توفر هذه المواد بليبيا وارتفاع تكلفة استيرادها من جهة وتوفر بعض المواد التي يمكن إن تحل محلها محليا من جهة أخرى يمكن استخدام مسحوق مخلفات الأجر والمستهدفة بهذه الدراسة المعملية والتي قد تساهم ولو بالقدر البسيط في كيفية الاستفادة من هذه المخلفات عن طريق طحنها وإنتاج مسحوق وإدخاله كبديل عن المواد الناعمة في إنتاج خرسانة ذاتية الدمك وخاصة إن لهذا المسحوق خواص المواد البوزلانية.

الهدف من الدراسة

نظرا لما لإضافة المواد الناعمة من تأثير ايجابي 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 مسحوق طوب الأجر كمواد ناعمة تضاف إلى خلطات الخرسانة ذاتية الدمك بحيث تتضمن أهداف هذه الدراسة النقاط التالية :

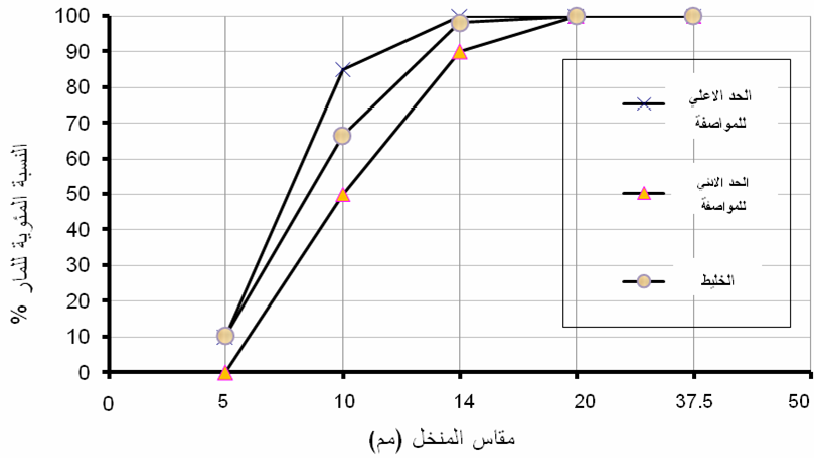
- تحسين خواص الخرسانة الذاتية الدمك وذلك بإضافة مسحوق الأجر أو الطوب الحراري المحروق كمادة ناعمة بديلا للمواد المستوردة.
- التخلص من مخلفات طوب الأجر عن طريق إدخالها لدورة مواد البناء مرة أخرى والتي سوف تساهم في المحافظة على نظافة البيئة.
- تنبيه الجهات ذات العلاقة بإمكانية الاستفادة من مخلفات الأجر والحيلولة دون التخلص منها بالطرق التقليدية والأضرار البيئية المترتبة على ذلك.

البرنامج العملي

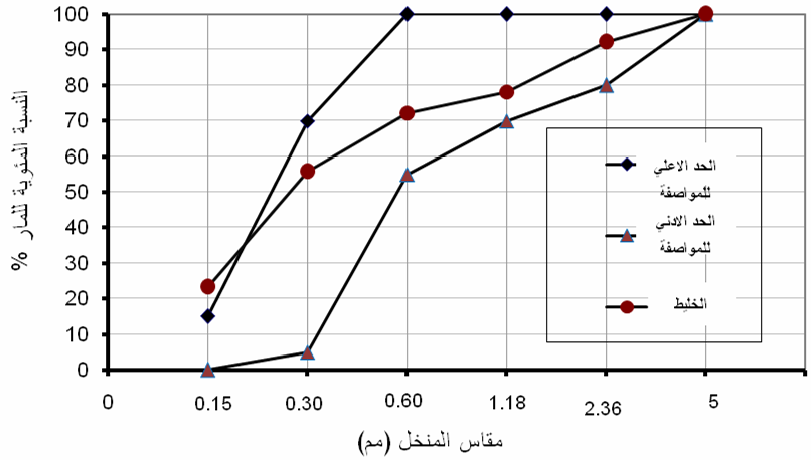
تضمن البرنامج العملي على عدة خطوات من أهمها:

- استجلاب مخلفات طوب الآجر وتحويلها إلى مواد ناعمة.
- إجراء الاختبارات المعملية للمواد الداخلة في الخلطة الخرسانية.
- إجراء خلطات خرسانية ذاتية الدمك بإضافة نسب مختلفة من مسحوق الآجر.
- إجراء تجارب على الخرسانة في الحالة اللدنة فيما يتعلق بسهولة انسيابها ومقاومتها للانفصال الحبيبي ومدى تأثير المادة الناعمة (مسحوق الآجر) على هذه الخواص وإجراء تجارب معملية على الخرسانة في الحالة الصلدة من حيث مقاومتها للضغط ومدى تأثير المادة الناعمة على النتائج.

كما أجريت عدة تجارب للمواد الداخلة في تكوين الخرسانة ذاتية الدمك ويوضح الشكل (2) نتائج التحليل المنخلي للركام الخشن المستجلب كما يوضح الشكل (3) نتائج التحليل المنخلي للركام الناعم وكانت نتائج الاختبارات الميكانيكية والفيزيائية للركام بنوعيها مطابقة للمواصفات الليبية ذات العلاقة [1] وكذلك المواصفات البريطانية [2] أما بالنسبة للإضافات الكيمائية فقد تم استعمال مادة Viscocrete وهي مادة سائلة تستخدم لإنتاج الخرسانة ذاتية الدمك [3].



شكل 2: التحليل المنخلي للركام الخشن (الخليط)



شكل 3: التحليل المنخلي للركام الناعم (الخليط)

أما فيما يتعلق بالمادة الناعمة فقد تم استجلاب كميات من مخلفات طوب الآجر من مصنع السواني لصناعة مواد البناء و تم طحنها في مطاحن مصنع الحديد والصلب بمصراته إلى درجة نعومة اقل من 75 ميكرومتر ويوضح شكل (4) مسحوق مخلفات الآجر.

شكل 4: مسحوق مخلفات الأجر

الجدول (1) يبين نتائج التحليل الكيميائي للمسحوق بعد إجراء الاختبارات الكيميائية التي تمت بمركز البحوث الصناعية باستخدام حيود الأشعة السينية (XRD) والتحليل الحراري التفاضلي (DTA) [4].

جدول 1: التحليل الكيميائي للطين المحروق

التحليل الكيميائي	%	التحليل	حدود المواصفات ASTM Standard C618–89a
الفاقد بالحرق	0.69	الفاقد بالحرق	لا يزيد عن 5%
السيلكا	76.9	السيلكا	لا يقل عن 40%
أكسيد الكالسيوم	1.96	أكسيد الكالسيوم	لا يزيد عن 10%
ثالث أكسيد الكبريت	0.28	ثالث أكسيد الكبريت	لا يزيد عن 3%
أكسيد الحديد	5.6	السيلكا + أكسيد الألمنيوم+ أكسيد الحديد	لا يقل عن 70%
أكسيد الألمنيوم	10.0	-----	-----
أكسيد الصوديوم	0.32	-----	-----
أكسيد البوتاسيم	2.94	-----	-----
أكسيد المغنسيوم	0.28	-----	-----

أما فيما يتعلق بتصميم خلطات الخرسانة ذاتية الدمك فقد اختبرت ستة خلطات وبنسب متفاوتة من مسحوق طوب الآجر كما هو موضح بالجدول (2) وقد تم مراعاة تجهيز الخلطات في ظروف مناخية متشابهة.

جدول 2: أوزان مكونات الخلطات

رقم الخلطة		الخلطة رقم (1)	الخلطة رقم (2)	الخلطة رقم (3)	الخلطة رقم (4)	الخلطة رقم (5)	الخلطة رقم (6)
المواد المكونة للخلطة							
الاسمنت (كجم)		420	420	420	420	420	420
المواد المالئة	النسبة	% 0	%5	%10	%15	%20	% 25
	الوزن (كجم)	0	21	42	63	84	105
الماء (كجم)	الماء الحر	195.3	202.3	207.9	210.2	214.2	217.9
	الماء الممتص	19	19	19	19	19	19
	المجموع	214.3	221.3	226.9	229.2	233.2	236.9
الركام الخشن (كجم)	مقاس 14 مم	865	865	865	865	865	865
	مقاس 10 مم	100	100	100	100	100	100
الركام الناعم (كجم)	ركام مجروش	300	300	300	300	300	300
	رمل	555	555	555	555	555	555
الإضافة (لتر) (viscocrete)		6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3

تم اختبار عينات من هذه الخلطات وهي في الحالة اللدنة لدراسة خواصها الانسيابية طبقا للمواصفات الأوروبية (EFNARC) [5-6] واستعملت عدة طرق منه:

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

أما الاختبارات المعملية للخرسانة وهي في الحالة المتصلدة فقد تم أجراء اختبارات مقاومة الضغط واختبارات نسبة الامتصاص

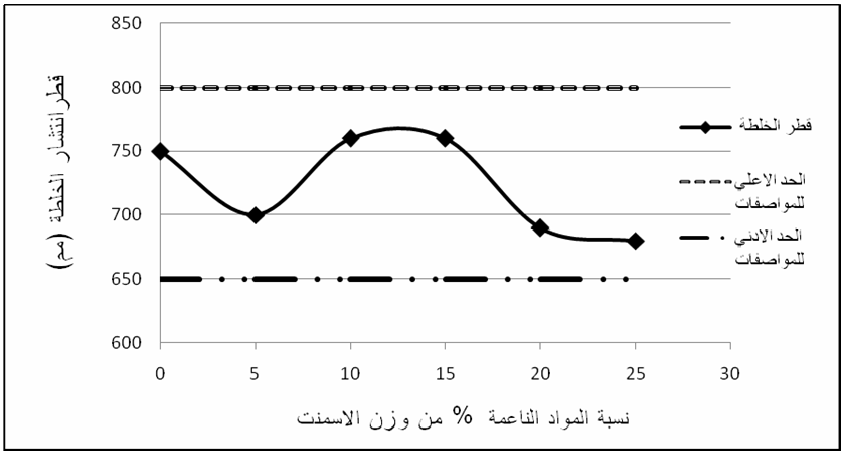
نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة الطازجة ومناقشتها

تم في هذه الاختبارات دراسة كل من قابلية الانسياب ومقاومة الانفصال ومدي قدرة الخرسانة على العبور خلال العوائق والقوالب المتغيرة الإبعاد والمقطع وكذلك الاستقرارية بحيث تم ذلك بواسطة الاختبارات السالفة الذكر ويوضح الجدول (3) نتائج هذه الاختبارات وكذلك حدود المواصفات المتبعة.

بشكل عام فان معظم الخلطات لها قطر تدفق يقع ضمن الحدود المستهدفة لهذه الدراسة وهو 650-800 مم كما هو موضح بالشكل (5) ألا إن الخلطات التي لها نسبة مواد مالئة عالية لها قطر تدفق اقل وذلك بسبب تجانس مكونات الخلطة مع بعضها البعض ولان المواد المالئة شرهة اكتر للماء فتكون الزيادة عكسية. ولوحظ أيضا إن الاحتجاز في اختبار J-Ring كان كبيرا في الخلطة التي لا تحتوي على مواد مالئة وتكون نسبة الاحتجاز قليلة عند نسبة 15% و20% من المواد المالئة.

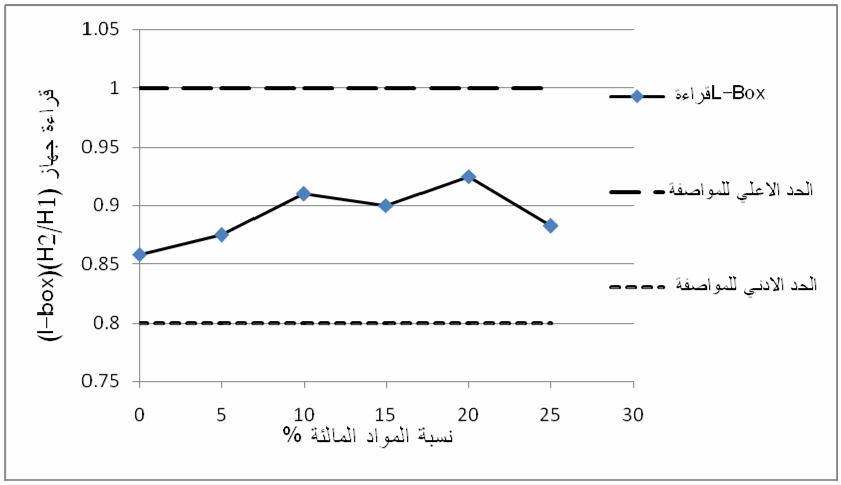
جدول 3: نتائج الاختبارات وكذلك حدود المواصفات المتبعة

رقم الخلطة	نسبة المواد المالئة	w/c ratio	Slump Flow (mm)	T50 (sec)	J-Ring Test (mm)	L-Box Test H2/H1	V-Funnel Test (sec)	النضح
1	%0	0.465	750	3.2	15	0.858	6.8	متوسط
2	%5	0.460	700	2.8	10	0.875	7.2	بسيط
3	%10	0.450	760	3.4	10	0.910	5.0	بسيط
4	%15	0.435	760	4.1	5	0.900	6.3	لا يوجد
5	%20	0.425	690	3.9	5	0.925	7.0	لا يوجد
6	%25	0.410	680	4.2	10	0.882	8.0	لا يوجد
توصيات EFNARC	اقل قيمة		650	2	0	0.8	6	-
	أعلى قيمة		800	5	10	1.0	12	-



شكل 5: تأثير تغير المواد الناعمة على قيم اختبار الهبوط

اما في اختبار V-Funnel فكانت معظم نتائج الخلطات جيدة وضمن توصيات (EFNARC) والتي تتراوح ما بين 6-12 ثانية إلا أن قراءة نسبة 10 % من المواد المالئة كانت اقل من حدود المواصفة وهذا بسبب نسبة الماء العالية بعض الشي إلا انه في جميع الحالات لوحظ تجانس مكونات الخلطة بعد سقوطها واستقرارها في الوعاء. كما يعتبر اختبار L-Box مهما لتقييم قدرة الخرسانة على الاستواء ذاتيا في حالة صبها في عناصر كثيفة التسليح ومتغيرة المقطع وهذا الاختبار له علاقة مباشرة مع لزوجة الخرسانة حيث أن جميع النتائج للخلطات المنفذة كانت أعلى من 0.8 والتي تمثل الحد الادني الموصي به من (EFNARC) بخصوص قدرة الخرسانة على الاستواء الذاتي ولوحظ إن النتائج كانت تتراوح بين 0.9 و 0.93 عند نسب 10% 15% 20% من المواد المالئة وذلك لتجانس الخلطات جيدا كما في الشكل (6) عموما من الملاحظ انه كلما زادت نسبة المواد المالئة قلت نسبة الماء مع الحصول على تشغيلية أعلى.



شكل 6: تأثير تغير المواد الناعمة على قيم اختبار L-Box

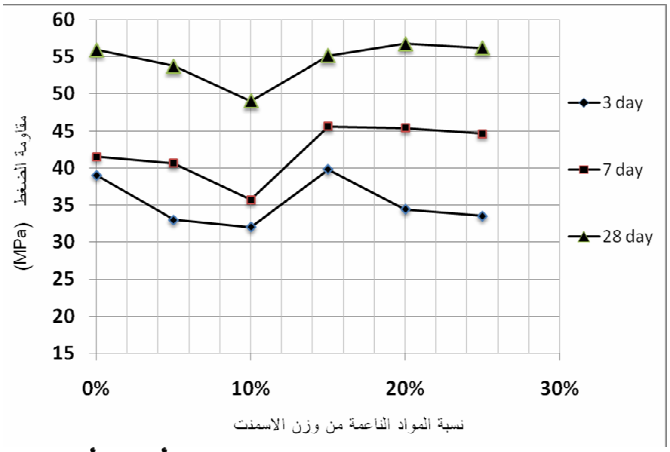
نتائج اختبارات الخرسانة في الحالة الصلدة ومناقشتها

يبين الجدول (4) والشكل (7) نتائج اختبارات مقاومة الضغط للخرسانة ذاتية الدمك وبنسب متفاوتة لمسحوق الآجر (المواد المالئة) ومقارنتها بالمواصفات الأوروبية ذات العلاقة [7-8].

لوحظ إن نتائج مقاومة الضغط للخلطات 0 % من المواد المالئة كانت متقاربة عند 3 أيام و7 أيام بحيث كان الفرق لا يتجاوز 2 ميجابسكال ولكن في باقي الخلطات يتراوح الفرق من 6 ميجابسكال إلى 12 ميجابسكال ويلاحظ هذا في الخلطات التي تحتوي على نسب عالية من المواد المالئة.

جدول 4: نتائج اختبار مقاومة الضغط

رقم الخلطة	نسبة المواد المالئة %	مقاومة الضغط (MPa)			الزيادة المئوية في قيمة مقاومة الضغط من 3 إلى 7 أيام	الزيادة المئوية في قيمة مقاومة الضغط من 7 إلى 28
		3 أيام	7 أيام	28 يوم		
1	%0	39.00	41.50	55.92	6.40	34.77
2	%5	33.10	40.56	53.72	22.50	27.51
3	%10	32.00	35.71	49.00	11.60	37.22
4	%15	39.84	45.60	55.11	14.50	20.83
5	%20	34.40	45.50	56.74	32.40	24.70
6	%25	33.53	44.66	56.17	33.20	25.77

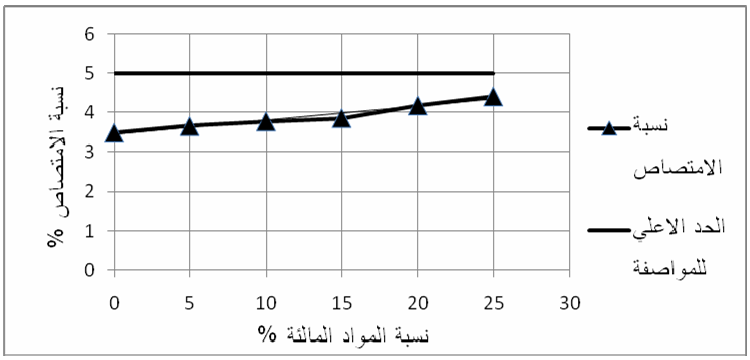


شكل 7: تغير مقاومة الضغط مع تغير نسبة المواد الناعمة عند 3 أيام و 7 أيام و 28 يوم

ويبين الجدول (5) نتائج اختبارات نسبة الامتصاص لعينات الخلطات ومدى تاثير إضافة المواد الناعمة (المالئة) على نسبة الامتصاص ومقارنتها بالمواصفات الأمريكية ذات العلاقة [9]. وقد وجد أن نسبة الامتصاص تزداد بزيادة المادة المالئة (مسحوق الآجر) حيث أن المواد الطينية شرهة لامتصاص الماء، كما أن إضافتها تزيد من المساحة السطحية. ويلاحظ من الشكل (8) أن نسبة الامتصاص اقل من 5% في جميع الخلطات وهي تعبر عن خرسانة متوسطة الامتصاص [10].

جدول 5: نتائج نسبة الامتصاص

رقم الخلطة	نسبة المواد المالئة من وزن الاسمنت	نسبة الامتصاص (%)
1	%0	3.48
2	%5	3.65
3	%10	3.77
4	%15	3.85
5	%20	4.17
6	%25	4.40



شكل 8: تأثير نسبة المواد الناعمة على نسبة الامتصاص

الخلاصة

من الأسس العلمية التي تم طرحها في هذه الدراسة ونتائج الاختبارات التي تم الحصول عليها نستخلص الاتى:

- تساهم عملية استخدام مخلفات الأجر بعد تحويلها إلى مادة ناعمة كمادة بناء بالتالي المحافظة على نظافة البيئة.
- إمكانية استخدام المواد الناعمة الناتجة من مخلفات الطوب الأجر كبديل للمواد الناعمة الأخرى المستوردة في إنتاج خرسانة ذاتية الدمك.
- يمكن تحسين خواص الخرسانة ذاتية الدمك بإضافة مسحوق طوب الآجر كالانسياب ومقاومة الانفصال الحبيبي والتجانس كمواد ناعمة مما يوفر الوقت والعمالة والجهد بعدم الحاجة إلى آلات الدمك ومن يقوم بتشغيلها.
- إن إضافة المواد المالئة لكونها مواد بوزلانية تبطئ من عملية التميؤ ، وبذلك تؤخر الحصول علي مقاومة ضغط مبكرة مقارنة بالخرسانة الخالية من إضافة المواد المالئة .
- لوحظ إن بزيادة المادة المالئة تزداد نسبة الامتصاص لكون هذه المادة طينية شرهة لامتصاص الماء وكذلك تزداد المساحة السطحية .

المراجع

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

[2] Guide to sampling and testing aggregates - British standard Institution, BS 812: part 101 " , London , 1984.

[3] النشرة الفنية لمادة سيكا فيسكوكريت 5400 الإصدار رقم 1 لسنة 2003.

[4] الصديق الزنداح وآخرون، "الاستفادة من الخواص البوزلانية لبقايا طوب أجر السواني في صناعة الاسمنت المخلوط" المؤتمر العربي الخامس للهندسة الإنشائية ، طرابلس 27-30 نوفمبر 1993.

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

[6] Advanced Concrete Technology 1,2,3 Constituent Materials (Advanced Concrete Technology Set)

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

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

[9] American society of testing materials: ASTM- C642 - 97 (Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete

[10] A review of methods and experience, technical report of a concrete society working party “permeability testing of site concrete” No.31,1988.