طريقة التغليف المزدوج لتصميم الخلطات الخرسانية باستخدام المواد المحلية

حكيم سالم السموعي وعلي سعيد البادن

قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة طرابلس
E-mail: hakimsa@poczta.onet.pl

ABSTRACT

Considerable studies, particularly in the last twenty to thirty years, have led to a much better understanding of the structure and behaviour of concrete. This has been accompanied by an improved and more sophisticated technology and the product now made, in its variety of forms, is much more capable of satisfying the huge increasing demands required of it. Because the behaviour of both fresh and hardened concrete is significantly related to their composition it should be possible, at least in principle, to choose better ingredients with suitable proportion to gain the required satisfaction. A good mix design for concrete mixtures is considered as a milestone for the construction of any concrete member or structure that meets economical, service and durability requirements, as well as safety and efficiency throughout its life cycle. Currently, there are many international methods locally approved for mix designs, such as: the ACI method and the BS method, which are widely used in Libya at research centers, Universities, and concrete batch plants as well as pre-cast concrete manufacturing plants (e.g.: pre-stressed concrete beams, concrete columns and slabs, etc.). These methods depend on certain equations and graphs based on mathematical analysis of results obtained from previous field experience. Generally speaking, mix design methods give some indication to the designer to validate and adjust them via experimental mixes in the local laboratories in order to check the variables related to the characteristics and properties of the local materials and the surrounding environment conditions. This paper illustrates the steps used for mix design using the double coating method, which is currently used in some research centres in Poland and was recently applied in the laboratories of the Civil Engineering Department at the University of Tripoli in Libya. Results obtained by this method using the local materials subject to local environmental conditions are presented and discussed.

الملخص

يعتبر التصميم الجيد للخلطات الخرسانية من الركائز الأساسية لتنفيذ أي عضو أو منشأ خرساني كفؤ قادر على تحقيق المتطلبات الاقتصادية والخدمية ومتطلبات المتانة والآمان والكفاءة وطول مدة العمر الوظيفي للعضو أو المبنى. المقصود بتصميم الخلطة الخرسانية هو تحديد كميات المواد الأساسية الداخلة في تكوين الخرسانة (الإسمنت، الركام الخشن، الركام الناعم والماء). يوجد في الوقت الحاضر العديد من الطرق العالمية والمعتمدة محلياً في تصميم الخلطات مثل: طريقة المعهد الأمريكي للخرسانة (ACI)، وطريقة المواصفات البريطانية (BS)، .....الخ. وتلك الطرق تستخدم على نطاق واسع في ليبيا لتصميم الخلطات الخرسانية. ونشير هنا إلى أن العموم فإن

طرق تصميم الخلطات تعطي مؤشرات وخطوط عريضة للمصمم يتم التحقق منها وتعديلها بإجراء خلطات تجريبية في المعامل المحلية لكي تحقق المتغيرات المتعلقة بخواص المواد المحلية المستعملة والظروف البيئية المحيطة. سنتناول في هذه الورقة استعراض طريقة جديدة لتصميم الخلطات الخرسانية تعرف بطريقة التغليف المـزدوج (Double coating method) وهي طريقة معتمدة لدى المراكز البحثية بدولة بولندا وتم إخضاعها للتجربة حديثا على المواد المحلية الليبية بمعامل قسم الهندسة المدنية بجامعة طرابلس. تعتمد هذه الطريقة على عنصرين أساسيين وهما: 1- حساب كمية الإسمنت اللازم لتغليف حبيبات الرمل استنادا على فرضية معرفة المسافة بين حبيبات الرمل. 2- حساب كمية المونة اللازمة لتغليف حبيبات الركام الخشن على فرضية معرفة المسافة بين حبيبات الركام الخشن. كما سيتم استعراض بعض النتائج المعملية التي تم الحصول عليها بإتباع هذه الطريقة باستخدام المواد المحلية. أظهرت التجارب المعملية توافق النتائج المتحصل عليها بهذه الطريقة مع بقية الطرق الشائعة لتصميم الخلطات الخرسانية.

الكلمات المفتاحية: الخلطة الخرسانية؛ التغليف المزدوج؛ مقاومة الضغط؛ مؤشر الانتفاخ.

مقدمة

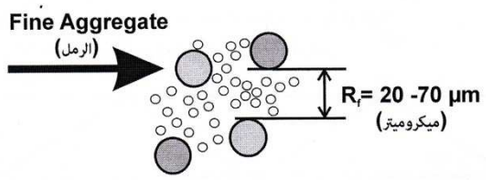
إن التطور العلمي والتكنولوجي الهائل خلال العقود الثلاثة الماضية ساهم مساهمة فعالة في ترسيخ وتوضيح المعرفة بمكونات وسلوك الخرسانة. وصاحب ذلك تطورا ملحوظا وجليا في عمليات ضبط الجودة والإنتاج. مما أعطى المقدرة الفائقة في تلبية احتياجات سوق الإنشاءات الخرسانية بكل كفاءة ويسر. ونظرا لأن سلوك الخرسانة سواء أكانت في حالتها الطازجة أو الصلبة يعتمد اعتمادا أساسيا ومباشرا على سلوك المواد الداخلة في تركيبها ونسبتها والعلاقة بينهما، لذلك فإن الحصول على خرسانة ذات خصائص مناسبة يعتمد على تصميم الخلطة الخرسانية. بصفة عامة يحتوى تصميم الخلطة الخرسانية على خطوتين أساسيتين وهما: (1)- إختيار المكونات الأساسية المناسبة للخرسانة (الإسمنت، الركام، الماء، الإضافات) و (2)- تحديد الكميات النسبية لمكونات الخلطة بطريقة أكثر اقتصادية تحقق متطلبات قابلية التشغيل والمقاومة والكفاءة.

يوجد في الوقت الحاضر العديد من الطرق العالمية المعتمدة محليا في تصميم الخلطات الخرسانية وعلى الرغم من أنها غير مرتبطة ببعضها البعض بصورة مباشرة إلا أنها تعطي تقريبا قيم متقاربة نسبيا لمكونات الخلطة و لها القدرة جميعا على إنتاج خرسانات مناسبة [1]. ويجب الأخذ في الاعتبار أن هذه الطرق تعطي قيم تقريبية وخطوط عريضة يجب التحقق منها بإجراء خلطات تجريبية للحصول على نتائج تتناسب مع متطلبات البيئة والمواد المحلية المستعملة بطريقة أكثر اقتصادية وكفاءة. تعتبر طريقة المعهد الأمريكي للخرسانة (ACI)، والطريقة البريطانية (BS) من أكثر الطرق الشائعة لتصميم الخلطات الخرسانية، وتعتمد هاتان الطريقتان على علاقات بيانية وجداول قياسية ناتجة من ترجمة للخبرات المتراكمة والبحوث العلمية السابقة في مجال تصميم وتنفيذ الخلطات الخرسانية ودراسة سلوك المواد الداخلة في تكوينها [2]. والى جانب الطريقتين السابقتين وغيرهما توجد العديد من الطرق المستخدمة لتصميم الخلطات الخرسانية ومنها طريقة: التغليف المزدوج والتي سيتم تناولها فيما يلي مع عرض مفصل لكيفية استخدامها بالإضافة إلى تقييم لنتائج الخلطات الخرسانية المنفذة بهذه الطريقة [3].

خطوات تصميم الخلطات الخرسانية بطريقة التغليف المزدوج

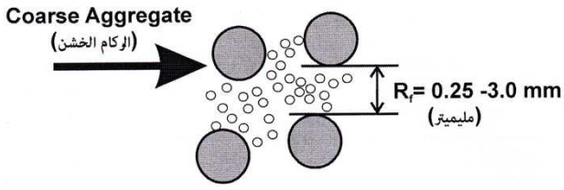
تعتمد خطوات التصميم بهذه الطريقة على أساس حساب أوزان المواد الرئيسية الداخلة في تكوين الخرسانة والتي تشغل حجم لتر واحد من الماء. مع الأخذ في الاعتبار للفرضيتين التاليتين:

- فرض المسافة بين حبيبات الركام الناعم (R_f). وهي تمثل قطر المسافة بين حبتي الركام الناعم الذي يملئه الإسمنت أو المونة الإسمنتية (العجينة الإسمنتية). كما هو موضح بالشكل (1).



شكل 1: مخطط توضيحي لتعريف المسافة بين حبيبات الرمل (R_f).

- فرض المسافة بين حبيبات الركام الخشن (R_g). وهي تمثل قطر المسافة بين حبتي الركام الخشن الذي يملئه الملاط وهو خليط من المونة الإسمنتية والرمل. كما هو موضح بالشكل (2).



شكل 2: مخطط توضيحي لتعريف المسافة بين حبيبات الركام الخشن (R_g).

ملاحظات هامة

- الأقطار التي تمثل المسافة بين حبيبات الركام أما أن يتم فرضها وفقاً لخبرة متوفرة في الموضوع أو اختيارها من جداول قياسية تضعها المواصفات القياسية كما سيرد توضيحه لاحقا.
- تلعب معرفة المسافة بين حبيبات الركام دوراً أساسيا وهاماً في المعرفة والتحكم في أوزان كل من الإسمنت والرمل الذي يملاء هذه المسافات.
- يجب أن يتم إجراء اختبارات ضبط الجودة علي المواد الداخلة في تصميم الخلطة الخرسانية ومعرفة بعض خواصها الأساسية ومدي مطابقتها للمواصفات القياسية. وعلى سبيل المثال لا الحصر يجب معرفة كثافة المواد الداخلة في التصميم وأيضا تدرجها الحبيبي لأهميتهما في الحسابات التصميمية بهذه الطريقة وعليه وبالرُجوع إلي الجداول التي سيرد ذكرها في هذا الفصل سيتبين معرفة وأهمية كل من هذه الاختبارات التي سبق ذكرها في الحسابات التصميمية لهذه الطريقة.

- يعتمد اختيار القطر R_f بصورة أساسية على نوعية الإسمنت ومقاومته وكذلك نعومته. وتتراوح قيمته مابين 20 إلى 70 ميكروميتر (mμ).
- يعتمد اختيار القطر R_g بصورة أساسية على نوعية الرمل ومقطع الشكل و كمية حديد التسليح ووضع التسليح خلال المقطع. وتتراوح قيمته مابين 0.25 إلى 3 مليميتر (mm).

ويمكن تلخيص خطوات التصميم كما يلي:

- نفرض كل من القطرين R_f و R_g وذلك ضمن المدى المسموح به والمذكور سابقاً.
- بمعرفة التدرج الحبيبي للركام يتم حساب مؤشر الانتفاخ لكل من الركام الناعم والخشن M_f و M_g وذلك باستخدام جداول قياسية معدة بالخصوص كما هو موضح من خلال الجدولين (1 و 2).
- يتم حساب كمية الماء الضرورية للركام (W_f & W_g) وكذلك الإسمنت (W_c) وذلك بمعرفة كل من: التدرج الحبيبي لكل من الركام الناعم والخشن والدرجة التشغيلية للخرسانة ومؤشرات الانتفاخ (R_f و R_g). الجدول (4) يوضح القيم القياسية لوزن كمية الماء الضرورية اللازمة بالكيلوجرام (kg) لكل 1 كيلوجرام من أجزاء الركام.
- يتم حساب أوزان المواد الداخلة في الخلطة الخرسانية بالكيلوجرام والحجوم بالديسميتر المكعب (dm^3) أما مقاومة الضغط تقاس بوحدات النيوتن لكل مليمتر مربع (نيوتن/ملم^2) وذلك باستخدام المعادلات الموضحة في الخطوات التالية:

أولاً: وزن الركام الخشن (G)

$$\text{وزن الركام الخشن (G)} = \frac{\text{وزن وحدة الحجوم للركام الخشن}}{\text{(Mg)مؤشر الإنتفاخ للركام الخشن}} \quad (\text{kg}) \qquad (1)$$

وزن وحدة الحجوم يمثل لكل لتر أو لكل ديسميتر مكعب (kg/liter) أو (kg/dm^3)

ثانياً : وزن الرمل (F)

$$\text{حجم الملاط (Z)} = \frac{\text{وزن الركام الخشن}(G)}{\text{الوزن النوعي للركام الخشن}} - 1 \quad (dm^3) \qquad (2)$$

$$\text{وزن الرمل (F)} = \frac{\text{وحدة الحجوم للركام الناعم}}{(M_f)\ \text{مؤشر الإنتفاخ الركام الناعم}} * \text{كمية الملاط} \quad (\text{kg}) \qquad (3)$$

المقصود بالملاط هو المونة المتكونة من العجينة الإسمنتية والرمل (Mortar).

ثالثاً: وزن الإسمنت (C)

$$\text{حجم المونة الإسمنتية } (Z_0) = \left[\frac{\text{وزن الركام الناعم}}{\text{الوزن النوعي للركام الناعم}} - \frac{\text{وزن الركام الخشن}}{\text{الوزن النوعي للركان الخشن}}\right] - 1 \quad (dm^3) \qquad (4)$$

$$\text{وزن الإسمنت (C)} = \frac{\left[(\text{حجم المونة الإسمنتية}) - (\text{وزن الركام الخشن} * Wg) - (\text{وزن الركام الناعم} * Wf)\right]}{\left[\frac{1}{\text{الوزن النوعي للإسمنت}} + Wc\right]} \quad (\text{kg}) \qquad (5)$$

المقصود بالمونة الإسمنتية عجينة الإسمنت والماء (Cement Paste).

رابعاً: وزن الماء (W)

$$\text{وزن الماء } (W) = W_c * (C) + W_g * (G) + W_f * (f) \quad (kg) \qquad (6)$$

خامساً: التأكد من الحجوم بإستخدام المعادلة الحجمية

$$\frac{\text{وزن الإسمنت}(C)}{\text{الوزن النوعي للإسمنت}(\rho_c)} + \frac{\text{وزن الخشنالركام}(G)}{\text{الوزن النوعي للركام الخشن}(\rho_g)} + \frac{\text{وزن الناعمالركام}(f)}{\text{الوزن النوعي للركام الناعم}(\rho_f)} + \text{وزن الماء} = 1 \quad (dm^3) \qquad (7)$$

سادسا: حساب المقاومة التصميمية للخلطة (lab.) $f_c^{`}$:

بعد حساب أوزان المواد الداخلة في الخلطة لكل لتر يتم حسابها لكل متر مكعب ويتم حساب نسبة (C/W) واستخدام المعادلة الأولى لطريقة الثلاثة معادلات (First Bolomeya Equation) [4]. يتم حساب المقاومة التصميمية للخلطة $fc'(lab)$ وذلك بإستخدام إحدى المعادلتين التاليتين:

$$\frac{C}{W} = \left[\frac{fc'}{A_1} + 0.5\right] \quad \text{(في حالة C/W اقل من 2.5)} \qquad (8\text{–أ})$$

$$\frac{C}{W} = \left[\frac{fc'}{A_2} - 0.5\right] \quad \text{(في حالة C/W أكبر من 2.5)} \qquad (8\text{–ب})$$

يتم إيجاد قيم A1 و A2 من الجدول (3) بمعلومية شكل الركام ومقاومة الضغط للإسمنت.

سابعاً: حساب المقاومة المطلوبة (req) $f_c^{`}$:

$$1.3*fc'(req)=fc'(lab) \quad (\text{نيوتن/ملم}^2) \qquad (9)$$

جدول 1: مؤشر الإنتفاخ للركام الناعم (M_f)

مقاس فتحة المنخل (ملم)	القطر بين كل حبة ركام ناعم وأخرى (R_f) (ميكروميتر)					
	20	30	40	50	60	70
2/1	1.03	1.06	1.08	1.10	1.12	1.15
0.5/1	1.09	1.12	1.17	1.21	1.26	1.31
0.25/0.5	1.16	1.26	1.36	1.45	1.56	1.67
0.125/0.25	1.37	1.56	1.79	2.03	2.30	2.59

جدول 2: مؤشر الإنتفاخ للركام الخشن (M_g)

مقاس فتحة المنخل (ملم)	القطر بين كل حبة ركام خشن وأخرى (R_g) (ملم)							
	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
63/32	1.02	1.03	1.04	1.05	1.09	1.12	1.17	1.27
32/16	1.03	1.06	1.09	1.13	1.20	1.27	1.35	1.44
16/8	1.06	1.13	1.19	1.27	1.42	1.59	1.76	1.95
8/4	1.13	1.27	1.37	1.60	1.95	2.37	2.85	3.36

جدول 3: قيم المتغير A1 و A2

شكل الركام	قيمة المتغير	مقاومة الضغط (نيوتن \ملم^2)		
	(A)-	32.5	42.5	52.5
دائري	A1	18.5	20.0	21.5
	A2	12.0	13.0	14.5
زاوي	A1	20.0	22.0	24.0
	A2	13.5	14.5	16.0

جدول 4: مؤشر كمية الماء اللازمة للركام والإسمنت (Wg, & Wf, Wc)

مقاس فتحة المنخل (ملم)	درجة التشغيلية				
	منخفضة جدا	منخفضة	متوسطة	عالية	عالية جدا
63/32	0.0085*	0.011	0.013*	0.015	0.016*
32/16	0.011	0.014	0.016	0.018	0.022
16/8	0.013	0.017	0.020	0.023	0.027
8/4	0.017	0.022	0.026	0.029	0.034
4/2	0.022	0.028	0.032	0.037	0.044
2/1	0.029	0.037	0.043	0.048	0.058
1/0.5	0.039	0.050	0.058	0.065	0.077
0.25/0.50	0.056	0.072	0.084	0.095	0.112
0.125/0.25	0.082	0.104	0.122	0.137	0.151
0/0.125	0.160	0.205	0.239	0.255	0.296
0/0.5	0.098	0.127	0.148	0.168	0.198
0/0.25	0.124	0.160	0.186	0.211	0.248
الإسمنت	0.230*	0.250	0.270	0.290	0.310*

*كمية الماء الضرورية اللازمة بالكيلوجرام (kg) لكل 1 كيلوجرام من أجزاء الركام

الجانب العملي

يمثل هذا الجانب تصميم وتنفيذ عدد من الخلطات الخرسانية بإتباع طريقة التغليف المزدوج وباستخدام المواد الخام المحلية. هذه الورقة تستعرض النتائج المتحصل عليها من إعداد وتنفيذ أربعة وعشرون خلطة خرسانية بمقاومة تصميمية تتراوح مابين 25 إلى 47 (نيوتن/ملم^2) بحيث كانت مؤشرات الإنتفاخ للركام الناعم هي 30 و 50 ميكروميتر ومؤشرات الانتفاخ للركام الخشن هي 0.5، 1، 1.5، و 3 ملم. وتم اختبار كل خلطة لدرجات التشغيل المتوسطة والعالية والعالية جداً. تم إعداد وتنفيذ هذه الخلطات في معمل الخرسانة بكلية الهندسة جامعة طرابلس بواسطة مجموعة من البحوث أجريت من قبل بعض طلاب السنة النهائية كجزء من المتطلبات الأكاديمية للحصول على الدرجة التخصصية (البكالوريوس) في مجال الهندسة المدنية [5]. المراحل الأساسية لتنفيذ الخلطات الخرسانية يمكن إيجازها في العناوين الجانبية التالية:

المواد المستعملة في الخلطات الخرسانية

الإسمنت المستعمل هو الإسمنت البورتلاندي العادي المورد من مصنع زليتن للإسمنت. ويوضح الجدول (5) نتائج الإختبارات المعملية التي أجريت للتأكد من مطابقته للمواصفات القياسية BS12-[6]1991. الركام الخشن المستخدم طبيعي وخالي من الشوائب ذو شكل زاوي مقاسه الاعتباري الأكبر 19 ملم ومورد من أحد محاجر منطقة الوادي الحي (جنوب غرب

طرابلس) و تم إجراء بعض من التجارب للتأكد من مطابقته لحدود المواصفات القياسية البريطانية [7] BS 812-1992 كما هو موضح في الجدول (6).

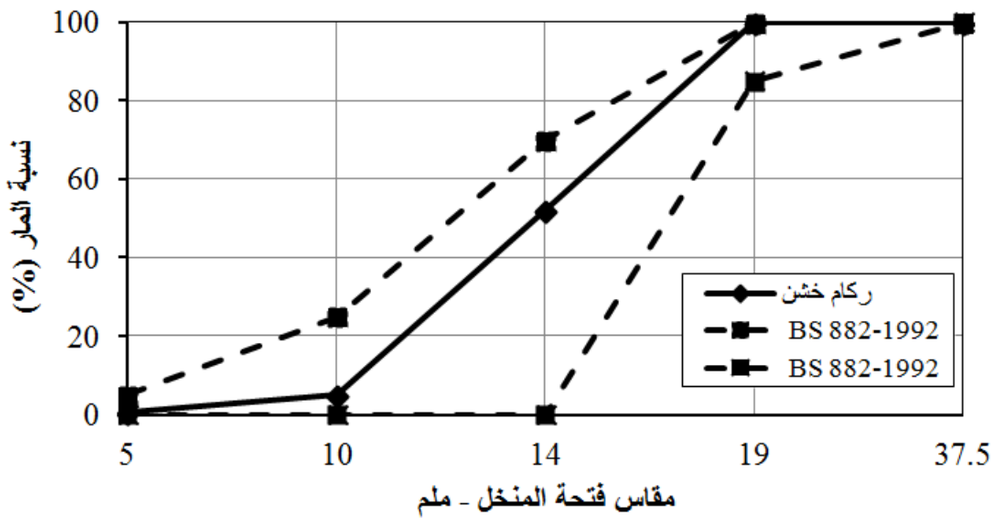
جدول 5: الخواص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت

اسم الاختبار	النتيجة	حدود المواصفات القياسية البريطانية (BS 12- 1992)
القوام القياسي	% 26.5	% 32 - 27
زمن الشك الابتدائي	132 دقيقة	لا يقل عن 45 دقيقة
زمن الشك النهائي	162 دقيقة	لا يزيد على 10 ساعات
معامل النعومة	3178.471 سم^2/جم	لا يقل عن 2500 سم^2/جم
ثبات الحجم	1.4 ملم	لا يزيد على 10 ملم
مقاومة الضغط بعد 3 أيام	22.2 (نيوتن/ملم^2)	لا تقل عن 21 (نيوتن/ملم^2)
مقاومة الضغط بعد 28 يوم	46.8 (نيوتن/ملم^2)	لا تقل عن 39 (نيوتن/ملم^2)

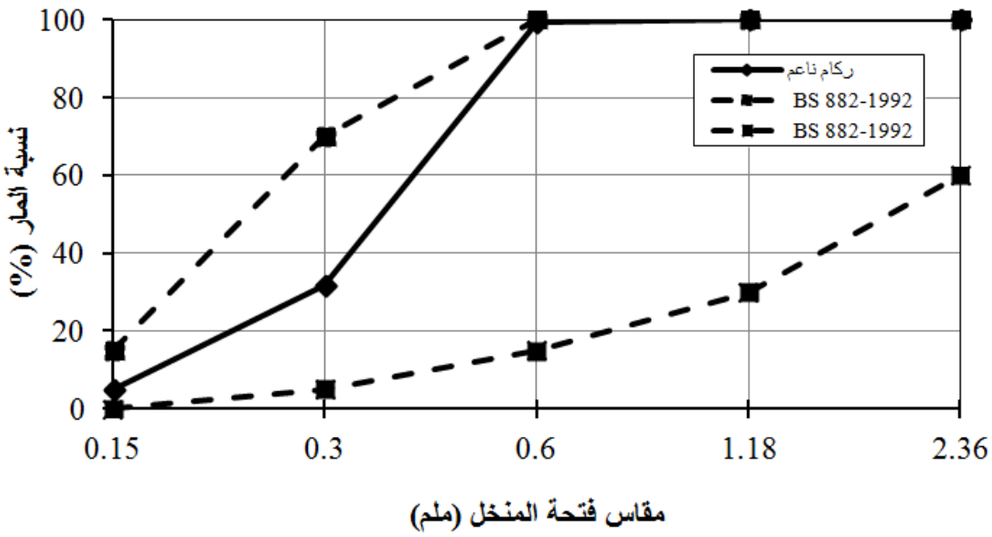
الشكل (3) يوضح منحنى التدرج الحبيبي لهذا الركام و كذلك حدودٍ المواصفات القياسية البريطانية .الركام الناعم المستخدم عبارة عن رمل طبيعي جاف وناعم جدا وخال من الشوائب وحجم حبيباته لا تتعدى 2 ملم ومورد من منطقة زليتن ويبلغ وزنه النوعي 2.68 ووزن وحدة الحجوم له 1412.9 كجم/م^3. الشكل (4) يوضح منحنى التدرج الحبيبي وحدود المواصفات القياسية البريطانية BS 812-1992. الماء المستخدم في الخلط صالح للشرب وخاليٍ من المواد العضوية والشوائب ولا تزيد نسبة الأملاح الذائبة فيه على 2000 جزء في المليون وفقا لحدود المواصفات القياسية الليبية [8].

جدول 6: الخواص الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن

اسم الاختبار	النتيجة	حدود المواصفات القياسية البريطانية (BS 12- 1992)
الوزن النوعي	2.64	2.8-2.4
نسبة الامتصاص	%1.21	% 3
وزن وحدة الحجوم	1559	1800-1400 كجم/ م^3
معامل الصدم	% 17.21	لا يزيد على 45%
معامل التهشيم	% 4.82	لا يزيد على 45%



شكل 3: التدرج الحبيبي للركام الخشن وحدود المواصفات القياسية



شكل 4: التدرج الحبيبي للركام الناعم وحدود المواصفات القياسية

العينات المستخدمة

تم استخدام مكعبات قياسية بأبعاد (150 ملم x 150 ملم x 150 ملم) لقياس مقاومة الضغط للخرسانة، وتم صب 72 عينة بمعدل 3 عينات لكل خلطة و بإجمالي 24 عينة لكل درجة من درجات التشغيل (متوسطة و عالية و العالية جدا).

حساب مكونات الخلطة

حساب مكونات الخلطات الخرسانية تم وفقاً للخطوات التي تم شرحها في مقدمة هذه الورقة. الجدول (7 و 8) توضح النتائج العددية لتطبيق طريقة التغليف المزدوج لتصميم خلطة خرسانية بالفرضيات التالية:

جدول 7: حسابات كل من M_f و W_f الخاصة بالركام الناعم

مقاس فتحة المنخل (mm)	نسبة المار %	نسبة المتبقي %	مؤشر كمية الماء (L/kg)	كمية الماء L	الإنتفاخ	
					المؤشر (L/kg)	الكمية L
2.36	100	0				
1.18	100	0.64	0.043	0.02752	1.06	0.6784
0.6	99.36	67.56	0.058	3.91848	1.12	75.6672
0.3	31.8	26.76	0.084	2.24784	1.26	33.7176
0.15	5.04	5.04	0.122	0.61488	1.56	7.8624
		100		6.80872		117.9256
			W_f=	0.0680872	M_f=	1.179256

درجة التشغيلية: متوسطة، القطر بين حبيبات الرمل (R_f) = 30 ميكروميتر، القطر بين حبيبات الركام الخشن (R_g) = 0.5 ملم، الكثافة النوعية للركام الناعم والخشن = 2.68 و 2.64 على التوالي، وزن وحدة الحجوم للركام الناعم والخشن = 1560 كجم/م^3 و 1410 كجم/م^3 على التوالي. الجدول (9) يوضح أوزان مكونات الخلطات المستهدفة في هذا البحث.

جدول 8: حسابات كل من Mg و Wg الخاصة بالركام الخشن

مقاس فتحة المنخل (mm)	نسبة المار %	نسبة المتبقي %	مؤشر كمية الماء (L/kg)	كمية الماء L	الانتفاخ	
					المؤشر (L/kg)	الكمية L
37.5	100	0				
19	100	47.86	0.016	0.76576	1.06	50.7316
14	52.14	47.24	0.02	0.9448	1.13	53.3812
10	4.9	4.9	0.026	0.1274	1.27	6.223
						0
		100		1.83796		110.3358
			Wg=	0.0183796	Mg=	1.103358

إعداد الخلطات والصب

توزن المواد اللازمة لإعداد الخلطة في المعمل بواسطة موازين بدقة تصل إلى 0.5 جرام ويراعى أن يكون الركام الخشن مشبعاً جاف السطح (Saturated Surface Dry). تخلط مكونات الخلطات على الجاف ثم يتم إضافة الماء المحدد للخلطة تدريجياً حتى تتجانس الخلطة ويستغرق زمن الخلط مدة ثلاثة دقائق. تنقل الخرسانة إلى القوالب ويتم صبها على ثلاث طبقات وتدمك كل طبقة بواسطة منضدة كهربائية مهتزة ويتم بعد ذلك تسوية سطحها بواسطة ملعقة خاصة وتستغرق هذه العملية حوالي دقيقتين لكل عينة.

جدول 9: مكونات الخلطات الخرسانية

مكونات الخلطة (كجم / م^3)				درجة التشغيلية	نسبة الماء إلى الإسمنت W/C	R_f ميكروميتر	R_g ملم	المقاومة التصميمية $f_c`(lab)$ (نيوتن/ملم^2)	المقاومة المطلوبة $f_c`(req)$ (نيوتن/ملم^2)
إسمنت C	ماء W	ركام خشن G	ركام ناعم F						
335	158	1462	482	متوسطة	0.47	30	0.5	37	28
371	170	1362	523		0.46		1	39	30
401	179	1275	558		0.45		1.5	40	31
483	206	1041	654		0.43		3	42	32
394	167	1462	408		0.42	50	0.5	43	33
433	179	1362	443		0.41		1	44	34
468	190	1275	473		0.40		1.5	45	35
560	218	1041	555		0.39		3	47	36
310	166	1462	482	عالية	0.54	30	0.5	31	24
344	178	1362	523		0.52		1	33	25
373	188	1275	558		0.50		1.5	34	26
451	216	1041	654		0.48		3	36	28
368	175	1462	408		0.48	50	0.5	37	28
406	188	1362	443		0.46		1	38	29
440	199	1275	473		0.45		1.5	39	30
528	229	1041	555		0.43		3	41	32
278	176	1462	482	عالية جداً	0.63	30	0.5	25	19
311	189	1362	523		0.61		1	26	20
339	200	1275	558		0.59		1.5	27	21
413	229	1041	654		0.56		3	29	23
336	185	1462	408		0.55	50	0.5	30	23
373	199	1362	443		0.53		1	32	24
405	210	1275	473		0.52		1.5	33	25
490	241	1041	555		0.49		3	35	27

معالجة العينات

بعد إتمام عملية الصب تغطى العينات بغطاء بلاستيكي لمنع التبخر والانكماش اللدن وتترك في جو المعمل لمدة 24 ساعة وبعدها ترقم العينات الخرسانية لتميزها عن بعضها البعض ثم يتم غمرها في الماء في درجة حرارة المعمل لمدة 28 يوم ثم يجرى اختبارها للحصول على مقاومة الضغط للخرسانية.

الاختبارات المعملية

اختبار الهبوط (Slump Test)

يستخدم هذا الاختبار لقياس الدرجة التشغيلية للخرسانة ويستفاد منه في مراقبة تجانس الخرسانة والتحقق من مدى تطابق التشغيلية التصميمية مع الواقعية. وفقا لمتطلبات المواصفات

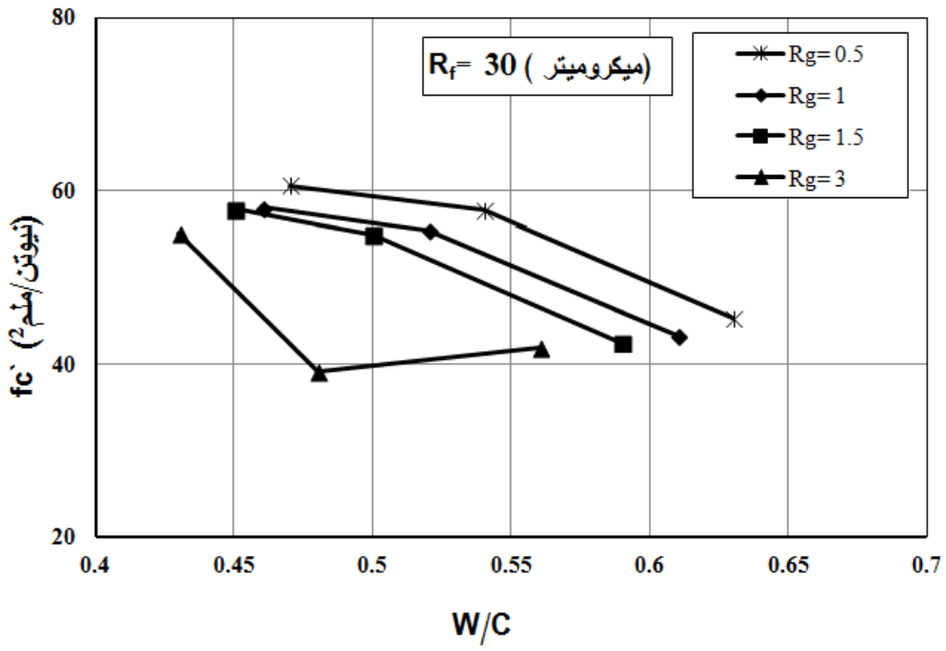
القياسية البريطانية [9] BS-1881- Part 102. الجدول 10 يبين نتائج الهبوط للخلطات المستخدمة لدرجات التشغيل المختلفة.

اختبار الكثافة ونسبة الفراغات (Density &Void Percentage Test)

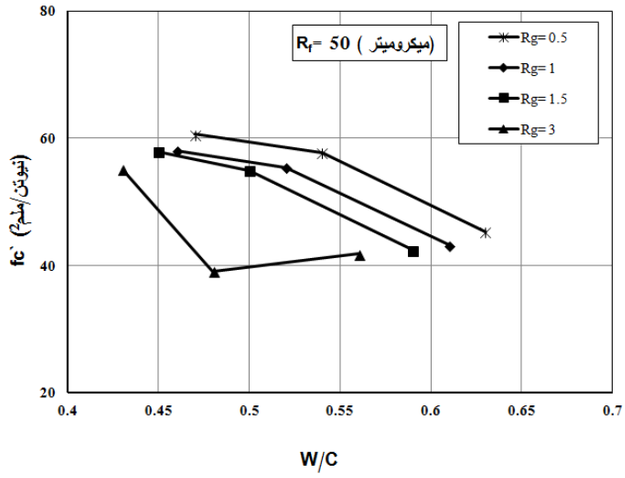
يتم حساب كثافة الخرسانة الطازجة (ρ_{Lab}) بعد الانتهاء من خلط الخرسانة و قبل صب العينات وذلك وفقاً للمواصفات القياسية البريطانية [10] BS-1881-Part 107. ونظرياً يتم حساب كثافة الخرسانة (ρ) عن طريق جمع مكونات الخلطة لكل متر مكعب وبمعرفة الكثافة يمكن حساب نسبة الفراغات (V) وفقا كما هو منصوص عليه في المواصفات المشار إليها سابقا.

اختبار مقاومة الضغط (Compressive Strength Test)

ويهدف هذا الاختبار إلى تحديد التحملية القصوى للخرسانة المتصلدة نتيجة تعرضها لإجهادات الضغط، وهذا يتم بتعريض العينات لأحمال ضغط توازي محور العينات الأسطوانية المستخدمة. الحمل يسلط بصورة تدريجية حتى يحدث الانهيار. تحسب مقاومة الضغط من متوسط النتائج المتحصل عليها من ثلاثة عينات لكل خلطة كما هو موضح في الجدول (10). ويوضح الشكل (5) و(6) عرض بياني للنتائج المعملية المتحصل عليها لمقاومة الضغط للخلطات الخرسانية المصممة بهذه الطريقة بعد 28 يوم من المعالجة.



شكل 5: نتائج المعملية لمقاومة الضغط للخلطات الخرسانية عند قيم ميكروميتر R_f=30



شكل 6: نتائج المعملية لمقاومة الضغط للخلطات الخرسانية عند قيم ميكروميتر R_f= 50

جدول 10: نتائج اختبار الخلطات الخرسانية المعملية

النتائج المعملية					درجة التشغيلية	نسبة الماء إلى الإسمنت W/C	R_f م.م.	R_c ملم	المقاومة التصميمية fc` (lab) (نيوتن/ملم²)	المقاومة المطلوبة fc` (req) (نيوتن/ملم²)
الهبوط Slump (ملم)	نسبة الفرغات Voids %	مقاومة الضغط بعد 28 يوم f_c` (نيوتن/ملم²)	الكثافة الجافة ρ. (كجم/م³)	الكثافة الطازجة ρ(lab) (كجم/م³)						
0	0.09	60.61	2434.1	2434.8	متوسطة	0.47	30	0.5	37	28
10	0.22	58.07	2418.1	2420.6		0.46		1	39	30
15	0.18	57.92	2414.9	2417.4		0.45		1.5	40	31
40	1.29	55.13	2412.3	2414.8		0.43		3	42	32
0	0.53	64.29	2411.5	2444		0.42	50	0.5	43	33
10	0.7	63.1	2430.4	2434.5		0.41		1	44	34
15	1	61.56	2426.2	2430.1		0.40		1.5	45	35
50	0.15	57.77	2349.6	2370.4		0.39		3	47	36
0	1.37	57.77	2449.4	2453.3	عالية	0.54	30	0.5	31	24
15	1.22	55.4	2433.5	2436.5		0.52		1	33	25
30	0.85	54.96	2413.3	2414.3		0.50		1.5	34	26
140	0.52	39.09	2366.4	2374.3		0.48		3	36	28
0	2.14	60.37	2460.2	2464.7		0.48	50	0.5	37	28
15	0.89	59.66	2417.2	2420.3		0.46		1	38	29
40	0.69	55.24	2405.0	2410.4		0.45		1.5	39	30
140	0.81	48.14	2371.4	2372.3		0.43		3	41	32
0	1.36	45.3	2428.1	2430.6	عالية جداً	0.63	30	0.5	25	19
20	1.14	43.2	2406.4	2412.3		0.61		1	26	20
60	1.43	42.4	2404.4	2405.9		0.59		1.5	27	21
230	0.5	41.8	2396.6	2350.1		0.56		3	29	23
0	1.78	49.9	2429.6	2433.6		0.55	50	0.5	30	23
20	1.39	48.4	2408.4	2410		**0.53**		1	32	24
65	1.69	44	2400.0	2403.5		0.52		1.5	33	25
210	1.54	43.7	2356.0	2363		0.49		3	35	27

مناقشة النتائج

من خلال استعراض النتائج المتحصل عليها من حساب مكونات الخلطات الخرسانية و بعض اختبارات ضبط الجودة يمكن استنتاج مايلي:

- مكونات الخلطات الخرسانية المتحصل عليها بهذه الطريقة تتوافق إلى حد كبير مع تلك التي يمكن الحصول عليها باستخدام طرق التصميم الأخرى الشائعة الاستعمال المشار إليها في مقدمة البحث.
- يلاحظ أن نتائج اختبارات الهبوط (Slump) تقل نسبياً بصورة جلية عند كل درجة تشغيلية مع الحدود الشائعة لدرجات التشغيل خصوصا عندما تقل المسافة بين حبيبات الركام الخشن إلى ما دون 1.5 ملم.
- هذه الطريقة تحقق بكل كفاءة متطلبات مقاومة الضغط.

التوصيات

1- تعتبر هذه الطريقة أحد الإضافات الهامة لطرق تصميم الخلطات الخرسانية وذلك للميزات التالية:
   - إدخال تأثير المسافة بين حبيبات الركام في عمليات تصميم الخلطات الخرسانية
   - إدخال كمية الماء الضرورية بالنسبة للإسمنت وكذلك أجزاء الركام.
2- لكي تكون هذه الطريقة أكثر فاعلية يوصى بإجراء بحوث إضافية للحصول على جداول تعطي الكميات الضرورية للماء اللازمة من قبل الإسمنت والركام للخامات المحلية تناظر تلك المستخدمة في هذه الطريقة.
3- إجراء اختبارات على هذه الطريقة باستخدام الإضافات (الملدنات و المسحوقات).
4- إجراء اختبارات مقاومة الشد و الانحناء لهذه الطريقة.
5- ضرورة إجراء اختبارات أخرى لتحديد الخصائص طويلة المدى لإثبات كفاءة الخرسانة مثل الانكماش ألجفافي والزحف.

المراجع

[1] NEVILLE, A. Properties of Concrete.Third Edition, Pitman Books Limited, London, 1981, 779.

[2] NEVILLE, A. AND BROOKS, J. Concrete Technology.First Edition, Longman Scientific and Technical, London, 1987, 438.

[3] JAMROZY, A. Technologia Betonu. Krakow, 1999, 60-102 (باللغة البولوندية).

[4] ABDELGADER H. S., EL-BADEN A. S. AND SHILSTONE J. M. Bolomeya Model for Normal ConcreteMixDesign. Journal of CPI-Concrete Plant International, 2, 2012, 68-74.

[5] ALGAOUD, M. How to Design Normal Concrete Mixes by Using Double coating Method. B.Sc. Project, Civil Engineering Department , Tripoli University, Tripoli- Libya, 2012.

[6] BRITISH STANDARD INSTITUTION, BS 12. Ordinary and Rapid-Hardening Portland Cements. London, 1991, 1-12.

[7] BRITISH STANDARD INSTITUTION: BS 882. Testing Aggregates: Specification for Aggregate From Natural Sources for Concrete. *BSI*, London, 1992, 1-8.

[8] المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية المواصفات القياسية للمياه المستعملة في الخرسانة رقم 294 طرابلس– ليبيا 2007.
[9] BRITISH STANDARD INSTITUTION: BS 1881-part 102. Method of Determination of Slump, BSI, London, 1992.
[10] BRITISH STANDARD INSTITUTION: BS 1881-part 107. Method of Determination of Density of Compacted Fresh Concrete. BSI, London, 1992.