تصميم الخلطة الخرسانية بطريقة الرسم

أ.د. خالد عبد العزيز زكريا محمد حاتم محمد
أستاذ مدرس مساعد
قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة / جامعة الموصل

الخلاصة

يتضمن البحث الحالي إمكانية الوصول إلى طريقة لتصميم الخلطات الخرسانية باستعمال مواد محلية عن طريق تحديد ثلاث خواص موصوفة مسبقاً للخلطة الخرسانية (Pre-requisite) وهي المحتوى المائي نسبة الماء إلى السمنت ونسبة الركام إلى السمنت وبمديات واسعة لتغطي أنواعاً عملية وعديدة من الخلطات.تم تمثيل هذه الخواص الثلاثة عن طريق الرسم (Graphical Method) بشكل ثلاثي الأضلاع يعتمد على مبدأ الحجم المطلق للخليط الخرساني، ويمثل مجموع الحجوم المطلقة لكل من الماء والسمنت والركام أي المكونات الرئيسة الثلاثة للخلطة. وكنتيجة لذلك سوف تحدد مساحة معينة (رباعية الشكل) ضمن الشكل الثلاثي الأضلاع والتي سوف تضم أو تحوي عدداً هائلاً من الخلطات لها الخواص الثلاثة الموصوفة مسبقاً،من بين العوامل الرئيسة المؤثرة على نسب الخلط تم اعتماد الآتي في البحث الحالي وكما يلي:

1.نسبة الماء إلى السمنت تراوحت بين (0.35-0.84).
2.المقاس الأقصى للركام الخشن (20.0 و 12.7 ملم).
3.تدرج الركام الناعم (خشن،متوسط وناعم).
4.نسبة الركام الكلي إلى السمنت تتراوح بين (3.8-7.6).

الكلمات الدالة: تصميم الخلطات الخرسانية، مقاومة الانضغاط،W/C،A/C، المحتوى المائي

Graphical Method of Concrete Mix Design

Dr. Khalid A. Zakaria **Mohammad Hatem Mohammad**
Professor **Assint lecturer**

Civil Eng. Dept. College of Engineering, University of mosul

Abstract

The current research work caters for the possibility of arriving at a method for designing concrete mixes (job mix) using locally available materials by means of three prescribed properties of the mix as design pre-requisites, that is water content, water : cement ratio and aggregate : cement ratio of wide ranges to cover a good variety of practical mixes. The above mentioned three prescribed properties can be represented in a graphical solution manner using a trilinear diagram depending on the fact that the absolute volume of the concrete mixture consisting of three materials, cement, water and aggregate is the sum of absolute volumes of the three materials. As a result and from this representation a quadrilateral area can be formed which should include a wide range of mixes having all the prescribed properties mentioned above. The current work will consider the following main influencing parameters on the job mix:

1. **Water : cement ratios between 0.35-0.84.**
2. **Maximum aggregate sizes of 20 and 12.7 mm.**
3. **Fine aggregate ranges of fine, medium and coarse (B.S 882-1992 [11])**
4. **Aggregate : cement ratios between 3.8-7.6.**

Key words: Concrete mix design, Compressive strength, W/C, A/C, Water demand

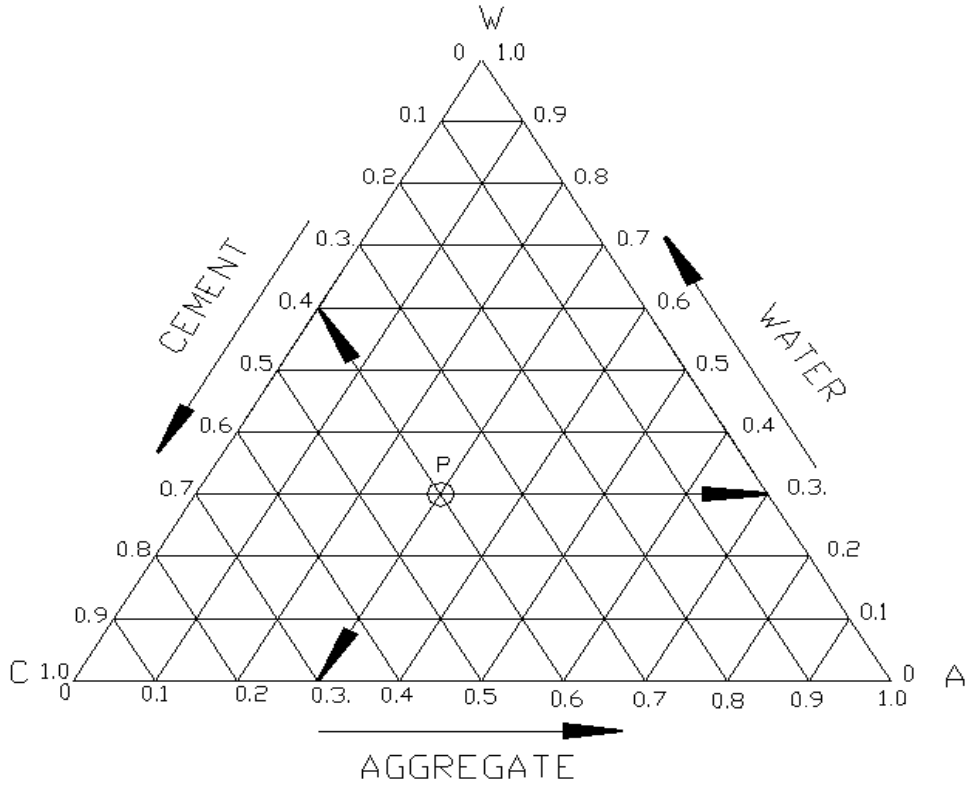
أستلم: **2009 - 2 - 13** **قبل:** 2010 - 6 - 21

1- المقدمة

يطلق على عملية التحديد الأمثل لنسب مكونات الخرسانة والذي يتطلب فهماً جيداً للمفاهيم النظرية والعملية ودراسة خواص المواد المحلية والتطبيقات المطلوبة منها (بتصميم الخليط الخرساني) فالخواص المطلوبة والمحددة للخليط الخرساني تتضمن مايلي:

- خواص الخرسانة الطرية.
- الخواص الميكانيكية المطلوبة للخرسانةِ المتُصَلّبةِ مثل متطلباتِ الديمومة والمقاومة.
- توفر المواد الأولية الداخلة في عملية التصميم وما يؤثر عليها[1].

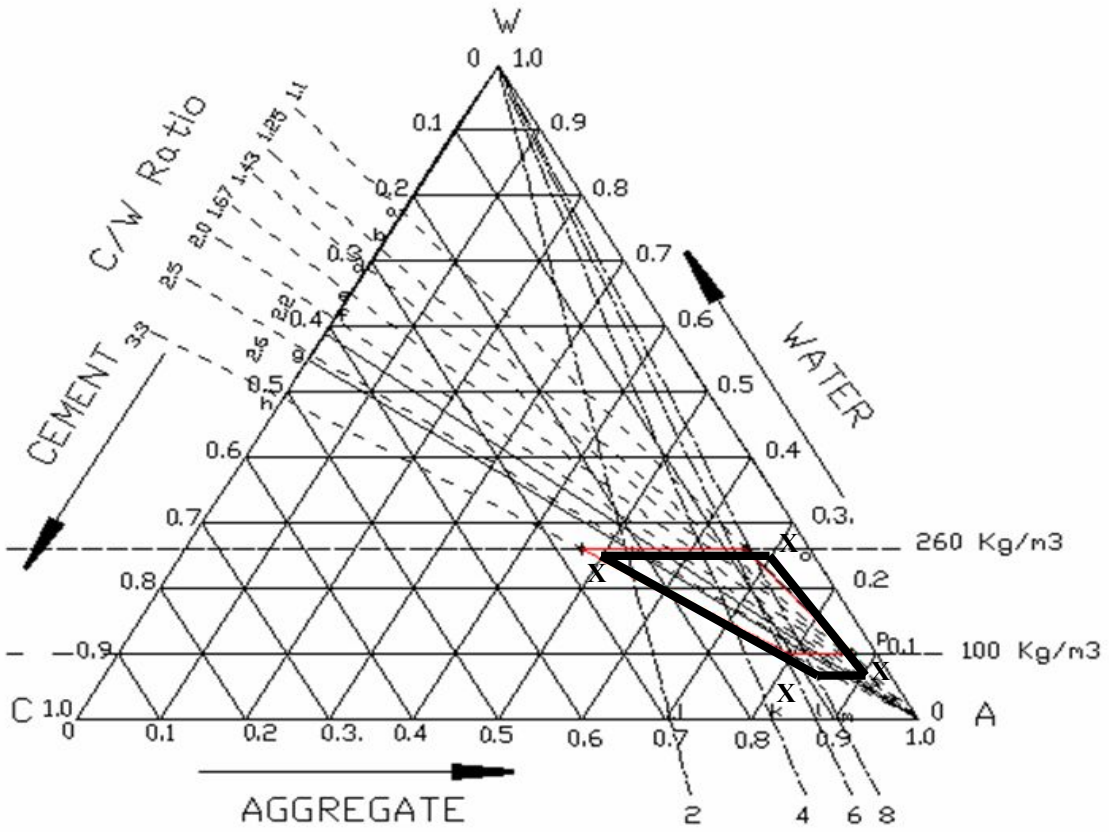
إن تصميم الخلطة الخرسانية يستند على تقدير جيد لأفضل نسب للمواد الأولية وعلى أسس العلاقات التي تربط بينها، لذا أصبح تصميم الخلطة الخرسانية يتم عن طريق دراسة عملية لاختيار مواد الخلط المناسبة وتقدير كمياتها النسبية بهدف إنتاج خرسانة بأقل كلفة وحاصلة على الحد الأدنى من خواص معينة وبصورة خاصة القوام والمقاومة والديمومة والعوامل المؤثرة لهذه الخواص. ولأنّ الحجم المطلق لأي مادة مركبة يساوي مجموع الحجوم المطلقة لمكونات تلك المادة، وبما أنّ الخرسانة هي خليط من ثلاثة مركبات رئيسية هي السمنت والركام (الناعم والخشن) والماء، فأنّه يمكن تمثيل الخرسانة بشكل ثلاثي الأضلاع والذي يمثل $1m^3$ من الخليط الخرسانيا المتكتل (المرصوص) وكما في الشكل (1)[2] .



الشكل(1): حجم 1م^3 من خليط يتكون من (السمنت ،الماء والركام)[2].

يمثل المثلث (WCA) متر مكعب واحد من خليط متكتل من الماء والسمنت والركام (ناعم+خشن)، ففي النقطة (C) الخليط يتكون من متر مكعب واحد من السمنت ولكن بدون ماء أو ركام، بطريقة مماثلة (W) تمثل خليط يتكون من ماء فقط، ونقطة (A) تمثل خليط يتكون من ركام فقط. وفي ضمن حدود هذا المثلث سوف تمثل كل التراكيب أو المجاميع المكونة من المواد الثلاثة التي تعطي متر مكعب واحد من هذا الخليط وعلى سبيل المثال النقطة (P) في الشكل (1) تمثل خليط يتكون من($0.4m^3$) من السمنت و($0.3m^3$) من الماء بالإضافة إلى ($0.3m^3$) من الركام(الخشن والناعم) بالحجوم المطلقة على أية حال فمن الواضح بأن ليس كل الاحتمالات من تراكيب أو مكونات المواد الثلاثة هي ملائمة أو تصلح للاستعمال في الخرسانة الإنشائية[2]،بغية تثبيت الخواص الموصوفة مسبقاً مدار البحث الحالي أي المحتوى المائي ونسب(W/C) وكذلك(A/C) وذلك للحصول على الاحتمالات من تراكيب ملائمة للخرسانة الإنشائية(ضمن المساحة رباعية الشكل) فقد تم اعتماد مجموعة خطوط مستقيمة شكل (2) تشع أو تنطلق من نقطة (A) تمثل حدوداً لنسب السمنت إلى الماء وتتراوح بين (3.3-1.1). بطريقة مماثلة مجموعة خطوط

مستقيمة تشع أو تنطلق من نقطة (W) تمثل حدوداً من نسب الركام الكلي إلى السمنت بين (1:2) و (1:8) وزناً، وأخيراً ترسم أو تثبت خطوط متوازية تمثل المحتوى المائي بين ($100\ Kg/m^3$) و ($260\ Kg/m^3$)، والتي تمثل الحدود المعتمدة عملياً والتي أخذت بعين الاعتبار في الطريقة المقترحة[4,3].



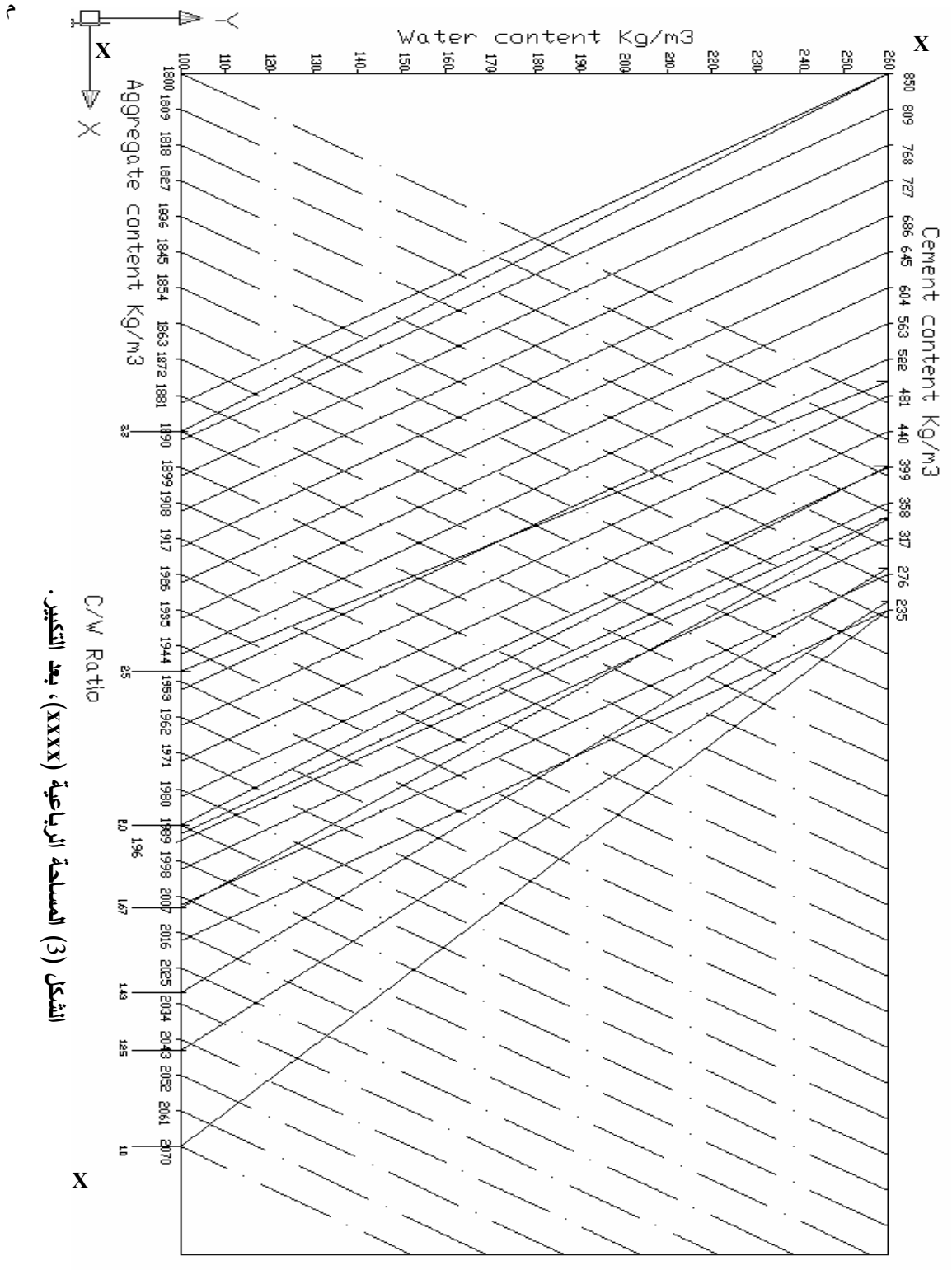
الشكل(2): مبادئ تصميم الخلطة الخرسانية[2].

بعد الحصول على المساحة الرباعية الشكل (xxxx) من تقاطعات الخطوط الشعاعية المنطلقة من النقطتين (A&W) مع الخطين المتوازيين اللذين يمثلان المحتوى المائي كما في الشكل (2) يتم رسم هذه المساحة أولاً بمقياس أكبر، وثانياً يتم تحديد معالم المساحة وتحويلها إلى أوزان (Kg/m^3) (بطريق العلاقة بين الحجم المطلق والوزن النوعي وكما اشير إلى حسابات النقطة p في ص3) من الخرسانة لكل من المحتوى المائي ومحتوى السمنت ومحتوى الركام الكلي لتشتمل على عدد كبير من الخلطات الخرسانية وكما موضح في الشكل(3).

من المساحة الرباعية (xxxx)، المبينة في الشكل (3)، تم اختيار سبع خلطات تمثل مديات عملية مختلفة من السمنت ($250\text{-}500\ Kg/m^3$) والتي أعطت محتوى مائي من ($128\text{-}210\ Kg/m^3$) وركام كلي (ناعم+خشن) ($1882\text{-}1978\ Kg/m^3$) والتي سوف يتم اعتمادها في البحث الحالي وكما موضحة في الجدول(1).

الجدول(1): الخلطات الخرسانية المعتمدة في البحث الحالي .

نسبة A/C الوزنية	نسبة W/C الوزنية	الركام الكلي (Kg/m^3)	المحتوى المائي (Kg/m^3)	محتوى السمنت (Kg/m^3)	الخلطات الخرسانية
7.6	0.84	1900	210	250	الخلطة 1
7.2	0.70	1908	186	265	الخلطة 2
6.9	0.45	1978	128	285	الخلطة 3
6.5	0.54	1939	163	300	الخلطة 4
6.2	0.60	1957	189	315	الخلطة 5
4.9	0.51	1882	198	387	الخلطة 6
3.8	0.35	1885	173	496	الخلطة 7



الشكل (3) المساحة الرباعية (XXXX)، بعد التكبير.

و يلاحظ من الجدول أعلاه بأن مديات المحتوى المائي (Kg/m^3 210-128) هي ضمن المحتوى المائي الموصوف مسبقًا(Kg/m^3 260-100) وكذلك نسب (W/C) و (A/C).

2- طرائق العمل

2-1: نموذج الفحص:

بعد تحضير كل خلطة خرسانية وفق النسب المحددة لها، يتم صبها في قوالب حديدية مكعبة بأبعاد mm (100×100×100) وبموجب المواصفة البريطانية(B.S 1881:1983) [5] والجدول (2) يبين عدد النماذج الخرسانية التي أعدت لغرض دراسة الخصائص الأساسية المشار إليها.

الجدول(2): عدد النماذج الخرسانية المطلوبة لكل خلطة .

الخلطة الخرسانية	نوع الركام الناعم	المقاس الأقصى للركام الخشن(mm)	عمر الفحص (يوم)	عدد النماذج
M1	رمل خشن	20	28	3
	رمل متوسط	20	28	3
	رمل ناعم	20	28	3
	رمل خشن	12.7	28	3
	رمل متوسط	12.7	28	3
	رمل ناعم	12.7	28	3

مجموع النماذج لكل خلطة خرسانية هو (18) نموذج، أي للخلطات الخرسانية السبعة المشار إليها سابقاً هو (126) نموذجًا، حيث تم رص النماذج الخرسانية باستخدام قضيب الرص ذي المقطع المربع (19x19mm) وحسب المواصفة البريطانية(B.S 1881:1983) [5] ثم غمرت النماذج في الماء بعد (24) ساعة من صبها وحتى يوم الفحص.

2-2: خواص المواد المستخدمة في الدراسة العملية:

2-2-1: الخلطة الخرسانية: تم إعداد سبعة خلطات تجريبية بنسب مواد مختلفة،(سمنت 250-496 كغم/م^3) و(محتوى مائي 128-210 كغم/م^3) و(ركام كلي 1882-1978 كغم/م^3)، اختيرت من المساحة الرباعية، شكل (3)، لكي تمثل خلطات متنوعة ذات قوام متغير لاحظ جدول رقم (7) ولها نسبة ماء إلى اسمنت تتراوح بين (0.35-0.84) وتم الأخذ بنظر الاعتبار تغير أصناف الرمل(ناعم،متوسط وخشن) وكذلك المقاس الأقصى للحصى، فهو بمقاس أقصى (20 و 12.7ملم) وخواص كل من الركام الناعم والركام الخشن مبينة في الجدولين (3و4)، أما السمنت المستخدم فهو من النوع البورتلاندي الاعتيادي (O.P.C).

الجدول(3): خواص الركام الناعم .

نوع الركام الناعم	الوزن النوعي		الامتصاص %	% نسبة المواد الناعمة الضارة (مار من منخل 200#)
	S.S.D	Oven dry		
الرمل الخشن	2.63	2.56	2.47	1.9 لا يزيد عن 5%
الرمل المتوسط	2.61	2.54	2.50	1.9 لا يزيد عن 5%
الرمل الناعم	2.6	2.52	2.54	1.9 لا يزيد عن 5%

الجدول(4): بعض خواص الركام الخشن ذات الصلة .

نوع الركام الخشن	الوزن النوعي		الامتصاص %
	S.S.D	Oven dry	
حصى بمقاس أقصى (12.7 mm)	2.66	2.62	1.000
حصى بمقاس أقصى (14 mm)	2.66	2.62	0.930
حصى بمقاس أقصى (20 mm)	2.66	2.62	0.807
حصى بمقاس أقصى (40 mm)	2.66	2.62	0.807

2-2-2: فحص النماذج

أجري فحص مقاومة الانضغاط للنماذج المكعبة الشكل وحسب متطلبات المواصفة البريطانية (B.S 1881:1983) [6]، حيث تم الفحص باستخدام جهاز فحص ضغط نوع (ELE) سعة (2000 kn) وبمعدل سرعة تسليط للحمل (3kn/s).

3- النتائج والمناقشة

3-1: مقدمة:

أشار العالم (Abram Duff)[7] إلى العوامل المؤثرة على مقاومة انضغاط الخرسانة الخرسانة وكما يلي (لنفس المواد وظروف الفحص فإن مقاومة انضغاط الخرسانة المتكتلة ولعمر معين تعتمد فقط على نسبة الماء/السمنت المستعملة في الخليط الخرساني) وعليه فيما يلي:

3-2: تأثير نسبة الماء إلى السمنت (W/C ratio) على مقاومة الانضغاط:

الجدولين (5و6) وكذلك الشكلين (4و5) توضح النتائج التي تم الحصول عليها لمقاومة الانضغاط مع نسبة الماء إلى السمنت بعمر (28 يوم) لحصى بمقاس أقصى (12.7و20 ملم) مع رمل متدرج، إذ تشير هذه النتائج أنه عندما تكون الفراغات في الخرسانة أقل ما يمكن نتيجة لاستعمال الرمل الخشن نظراً لزيادة وحدة الوزن أي الكثافة للركام الخشن فتقل الفراغات مقارنة مع الرمل الناعم والمتوسط فإنّ مقاومتها تتناسب عكسياً مع نسبة الماء إلى السمنت كما يشير إلى ذلك (Abrams)[7]، كذلك تشير النتائج إلى المقاومة العالية لنسب ماء/اسمنت (0.35) أي القريبة من القيمة النظرية (0.38) لتميؤ السمنت كاملاً، أي عدم وجود ماء زائد (ماء النزف) الذي بدوره يؤثر على المقاومة والعكس صحيح عند نسبة ماء/اسمنت (0.84).

الجدول(5): مقاومة الانضغاط للنماذج الخرسانية بعمر(28) يوم لحصى بمقاس أقصى (20 ملم) ورمل متدرج.*

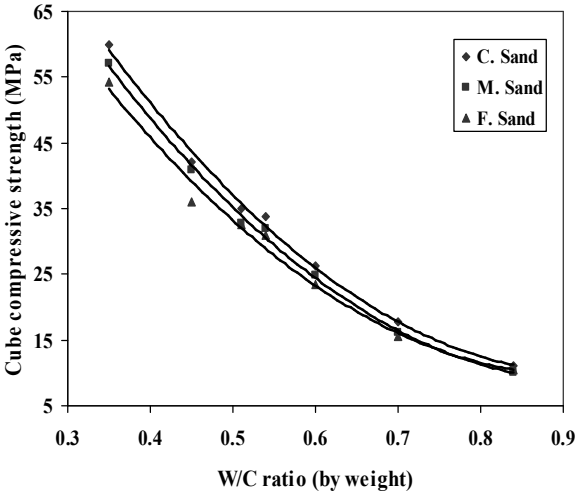
W/C ratio	مقاومة الانضغاط (نت/ملم^2)- مقاس أقصى 20 mm للركام الخشن		
	رمل خشن	رمل متوسط	رمل ناعم
0.35	60.0	57	54.2
0.45	42.0	40.9	36.0
0.51	35.0	32.8	32.5
0.54	33.8	31.9	31.0
0.60	26.3	24.8	23.4
0.70	17.8	16.2	15.5
0.84	11.0	10	10.5

*توضيح للشكل رقم (4)

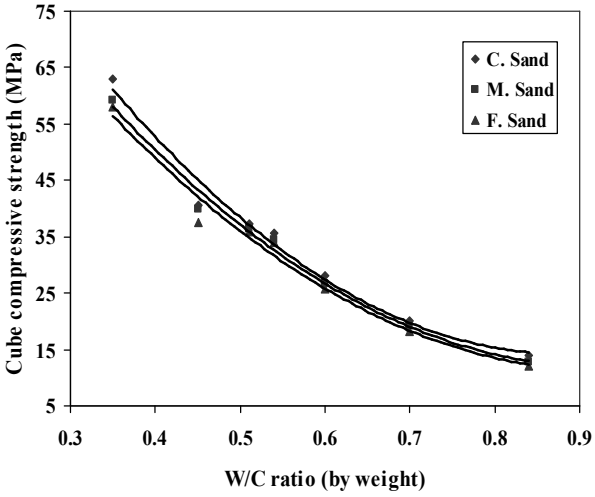
الجدول(6): مقاومة الانضغاط للنماذج الخرسانية بعمر(28) يوم لحصى بمقاس أقصى (12.7 ملم) ورمل متدرج.*

W/C ratio	مقاومة الانضغاط (نت/ملم^2)- مقاس أقصى 12.7 mm للركام الخشن		
	رمل خشن	رمل متوسط	رمل ناعم
0.35	63.0	59.3	58.0
0.45	40.6	40.0	37.6
0.51	37.3	36.3	35.8
0.54	35.6	34.6	33.9
0.60	28.0	26.6	25.8
0.70	20.1	19.2	18.3
0.84	14	12.7	12.1

*توضيح للشكل رقم (5)



الشكل(4): نسبة الماء إلى السمنت مع مقاومة الانضغاط لمكعبات بأبعاد (100 mm) وبعمر (28) يوم لحصى بمقاس أقصى(20 mm) ورمل متدرج.



الشكل(5): نسبة الماء إلى السمنت مع مقاومة الانضغاط لمكعبات بأبعاد (100 mm) وبعمر (28) يوم لحصى بمقاس أقصى(12.7 mm) ورمل متدرج.

الجدول(7): تغاير الهطول مع نسب الماء إلى الاسمنت لحصى بمقاس أقصى (20 mm).

W/C ratio	الهطول (mm)- المقاس الأقصى 20 mm للركام الخشن		
	الرمل الخشن	الرمل المتوسط	الرمل الناعم
0.35	19	10	9
0.45	40	25	20
0.51	52	37	32
0.54	63	46	35
0.60	72	53	44
0.70	93	69	58
0.84	130	100	80

3-3: تأثير المقاس الأقصى للركام على مقاومة الانضغاط:

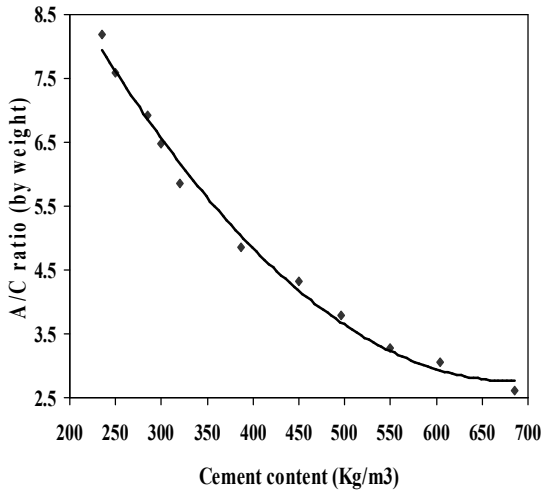
من الجدولين (5)،(6) ومن الشكلين(4،5) يتضح أنّ زيادة المقاس الأقصى للركام يؤدي إلى نقصان في مقاومة الانضغاط للخرسانة وهذا يحصل عند ثبات نسبة الماء إلى السمنت وهذا يرجع إلى أن المقاسات الكبيرة للركام تعطي مساحة سطحية أقل للربط مما يؤدي إلى ضعف الترابط بين عجينة السمنت والركام وبالتالي تقل مقاومة الانضغاط للخرسانة [10,9,8].

3-4: تأثير تدرج الركام الناعم على مقاومة الانضغاط:

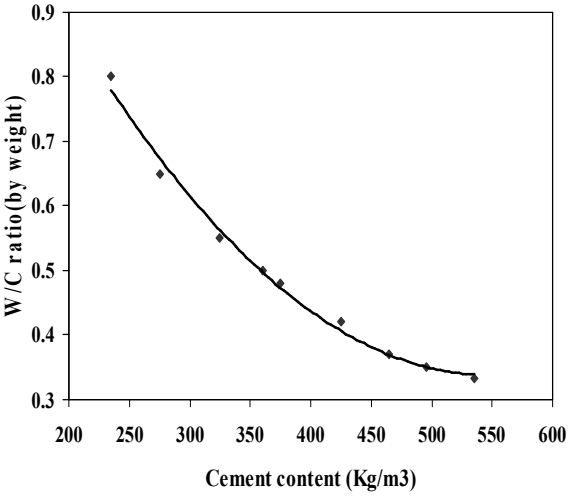
لنفس المقاس الأقصى للركام يكون تأثير تدرج الركام الناعم كما مبين في الشكل (4)، فعند ثبوت نسبة الماء إلى السمنت، الرمل الخشن يعطي مقاومة انضغاط أعلى وكذلك نسبة أعلى من الركام الناعم إلى مجموع الركام (FA/TA) وذلك بسبب المساحة السطحية للركام المستخدم ومتطلبات الماء للخلطة التي تزداد مع نعومة الرمل المستخدم (أي تكون أقل ما يمكن للرمل الخشن) وذلك لنفس مقاومة الانضغاط [10].

3-5: علاقة محتوى السمنت مع كل من نسبة الماء إلى السمنت (W/C ratio) ونسبة الركام الكلي إلى السمنت (A/C):

الشكل (6) يوضح العلاقة بين محتوى السمنت والمحتوى المائي ممثله بنسبة الماء إلى السمنت وزناً، حيث من الواضح بأنّه عند زيادة محتوى السمنت تقل نسبة الماء إلى السمنت بسبب ما تحتاجه الخلطة الخرسانية من محتوى مائي لإكمال عملية التميؤ عند امتلاء فراغات الجل وتوقف عملية التميؤ مما سيؤدي بالتالي إلى زيادة متوقعة في مقاومة الانضغاط، أما الشكل (7) الذي يشير إلى العلاقة بين محتوى السمنت ونسبة الركام الكلي إلى السمنت وزنًا. هذه العلاقة تؤكد على أنّ الخلطات ذات النسب الواطئة من نسب (A/C) تكون عادةً غنية بالسمنت وعلى العكس الخلطات ذات النسب العالية من نسب (A/C) تفتقر عادةً إلى السمنت. من جهةٍ أخرى يجب تحديد حد أدنى لمحتوى السمنت في الخليط بغية تغليف حبيبات الركام وملئ الفراغات بينها وربط أجزاء الخليط مع بعضها البعض لجعلها كتلة متماسكة وغير قابلة للانفصال وكتيمة بدرجة مقبولة [9,8].



الشكل(6): العلاقة بين محتوى السمنت مع نسبة الماء إلى السمنت.



الشكل(7): العلاقة بين محتوى السمنت مع نسبة الركام الكلي إلى السمنت.

3-6: خطوات تصميم الخلطات الخرسانية:

3-6-1: مثال تصميمي باستخدام العلاقات الناتجة عن المساحة الرباعية:

مثال: مطلوب تصميم خلطة خرسانية بمقاومة انضغاط (35MPa) (مع الفرض بأنّ هذه المقاومة تمثل المقاومة التصميمية (لنماذج مكعبة الشكل) وليس الصغرى) وبعمر (28) يوماً لاستخدامها في صب سقوف خرسانية مسلحة ، إنّ الحصى المستخدم هو حصى نهري له مقاس أقصى (20mm) وحسب المواصفة البريطانية (BS882:1992) أما الركام الناعم فهو من النوع الخشن حسب المواصفة البريطانية(BS882:1992)[11] .

خطوات التصميم:

1- من الشكل (4) تحسب نسبة الماء إلى السمنت عند مقاومة الانضغاط التصميمية (35 MPa) باستخدام العلاقة للرمل الخشن والتي تساوي (0.51).
2- من الشكل (6) يحسب محتوى السمنت عند نسبة الماء إلى السمنت (0.51) والذي يساوي ($350\ Kg/m^3$) .
3- من الشكل (7) تحدد نسبة الركام الكلي إلى السمنت عند محتوى السمنت ($350\ Kg/m^3$) والتي تساوي (5.5).
4- من محتوى السمنت مع نسبة الماء إلى السمنت يحسب محتوى الماء والذي يساوي ($178.5\ Kg/m^3$) أي (350 x 0.51).
5- من محتوى السمنت مع نسبة الركام الكلي إلى السمنت يحسب محتوى الركام الكلي والذي يساوي (1925 Kg/m^3) أي (350 x 5.5).
6- باستعمال المعادلة رقم (1) يتم فصل محتوى الركام الكلي إلى ركام خشن ($1176\ Kg/m^3$) وركام ناعم ($749Kg/m^3$) [2].

$$A = \frac{Z-Y}{X-Z} \quad \text{-------- 1 [2] [13]}$$

A : نسبة الركام الناعم إلى الركام الخشن
X : معامل السطح نسبةً للركام الناعم، يتم بواسطة مجموع حاصل ضرب النسب الوزنية المتبقية على كل منخل للركام
Y: معامل السطح نسبةً للركام الخشن ، الناعم والخشن X المعامل السطحي ويضاف الى المجموع النهائي الكلي ثابت مساوي إلى 330 بعد ذلك يقسم الناتج على 1000.
Z :معامل السطح نسبةً لخليط الركام معتمدةً على المقاس الأقصى للركام = (0.55،0.6،0.7) لركام ذو مقاس أقصى (40،20،10) ملم على التوالي.

أي إنّ الخلطة الخرسانية ستكون كالآتي

Cement =350 Kg/m^3
Water =178.5 Kg/m^3
Sand =749 Kg/m^3 G/S =1176/749 =1.57
Gravel =1176 Kg/m^3

أي بنسب وزنيه:

1:2.14:3.36/0.51 3.36/2.14= 1.57

3-6-2: تدقيق التصميم باستخدام المساحة الرباعية شكل (3) :

إنّ تدقيق تصميم الخلطة الخرسانية الموضحة في المثال أعلاه (3-6-1) وبمقاومة انضغاط تصميمية (35MPa) بعمر (28) يومًا كالآتي.

خطوات تدقيق التصميم:

1. من الشكل (4) تحسب نسبة الماء إلى السمنت عند مقاومة الانضغاط التصميمية (35 MPa) باستخدام العلاقة للرمل الخشن، والتي تساوي (0.51).
2. من الشكل (6) يحسب محتوى السمنت عند نسبة الماء إلى السمنت كما في الخطوة السابقة والذي يساوي (350 Kg/m^3).
3. من المساحة الرباعية ومن تقاطع نسبة السمنت إلى الماء (C/W=1.96) معكوس (0.51) ومحتوى السمنت المساوي (350 Kg/m^3) فإنّ كلاً من محتوى الماء (175 Kg/m^3) ومحتوى الركام الكلي (1917 Kg/m^3) وكما في الشكل (8).
4. باستخدام المعادلة رقم (1) يفصل الركام الكلي إلى ركام خشن (1171Kg/m^3) وركام ناعم (746Kg/m^3)، أي بنسب وزنيه 0.50/ 1:2.13:3.35.

3-6-3: التحليل الإحصائي:

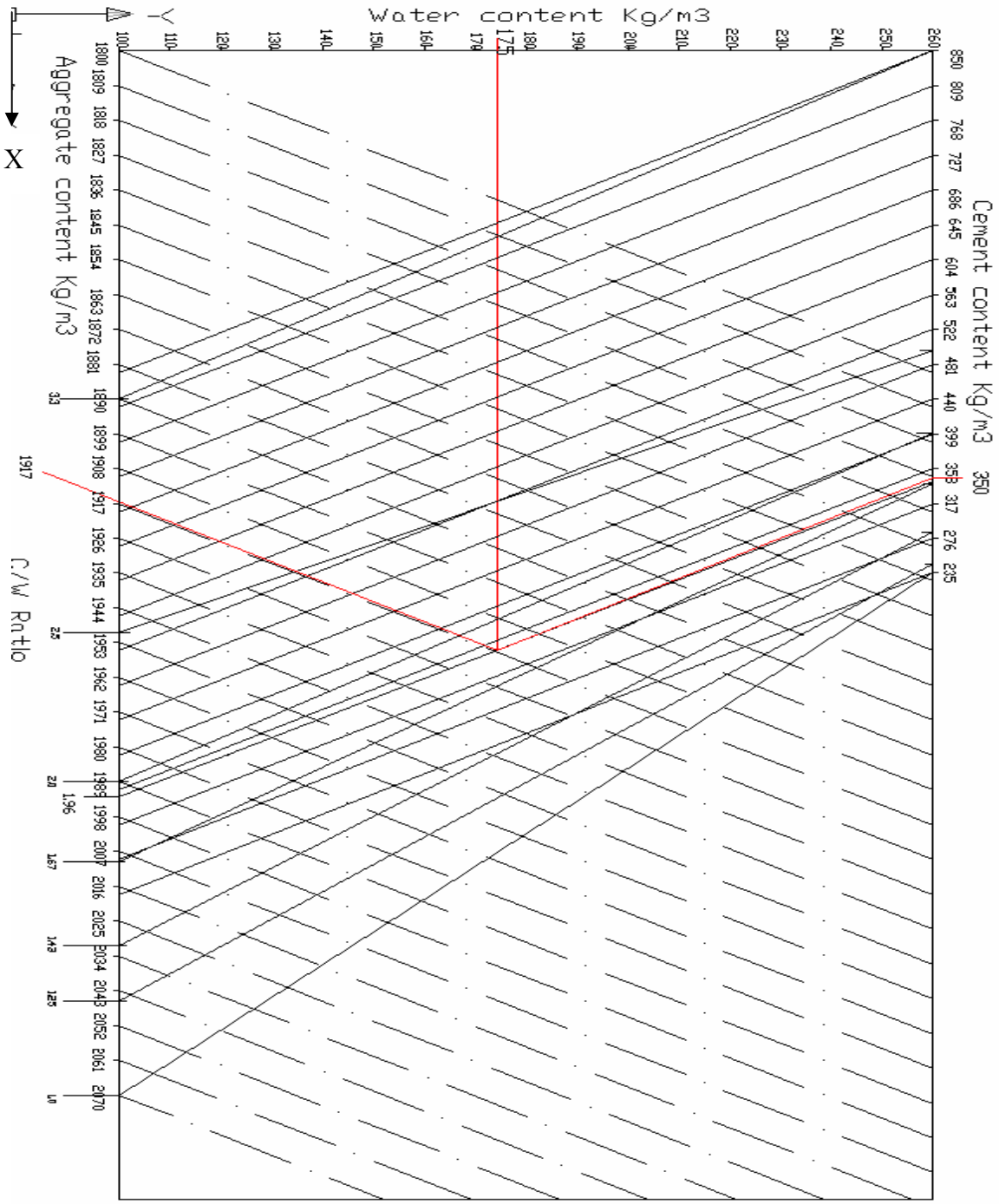
أجري التحليل الإحصائي للنتائج المستحصلة من قياس مقاومة الانضغاط للمكعبات الخرسانية للخلطات الخرسانية المصممة باستخدام الطريقة المقترحة باستخدام برنامج التحليل الإحصائي (SPSS) وباعتماد طريقة التحليل التراجعي الخطي (Multiple Linear Regression) للنتائج. إذ تعد طريقة التحليل التراجعي من الطرق الإحصائية الجيدة في تحليل النتائج المختبرية، والتحليل أجري عن طريق إدخال المتغيرات المعتمدة وهي مقاومة الانضغاط ($f$cu) للمكعبات بعمر (28) يوماً والمتغيرات غير المعتمدة والتي تتضمن الآتي:

1. محتوى السمنت (Kg/m^3).
2. نسبة الماء إلى السمنت (W/C ratio).
3. نسبة الركام الكلي إلى السمنت (A/C ratio).
4. المقاس الأقصى للركام الخشن (mm).
5. تدرج الركام الناعم (ناعم، متوسط، خشن).

نتائج التحليل الإحصائي أظهرت شكل العلاقة التي تربط المتغير المعتمد مع المتغيرات غير المعتمدة وكما مبين في المعادلة رقم (2).

$$fcu = -58.208 - 70.968 \times W/C + 0.207 \times C.C + 10.258 \times A/C - 0.197 \times MAS + 1.210 \times F \quad \text{---- (2)}$$

حيث أنّ:
($f$cu): مقاومة الانضغاط بعمر (28) يوماً (MPa).
(W/C): نسبة الماء إلى السمنت وزنًا.
(A/C): نسبة الركام الكلي إلى السمنت وزنًا.
(C.C): محتوى السمنت (Kg/m^3).
(MAS): المقاس الأقصى للركام الخشن (mm).
(F): تدرج الركام الناعم ويعوض برقم 1 عن الرمل الناعم، رقم 2 عن الرمل المتوسط ورقم 3 عن الرمل الخشن



الشكل (8) مثال يوضح عملية التصميم.

4-5-3: دراسة مقارنة:

للتحقق من دقة المعادلة (2) في إيجاد مقاومة الانضغاط ، تم إجراء دراسة مقارنة لنتائج المعادلة (2) مع خلطات خرسانية مصممة بالطريقة البريطانية الحديثة ومعروفة مسبقًا[10] وكما مبين في الجدول (8). إذ من الواضح صلاحية المعادلة (2) المنوه عنها أعلاه وبالإمكان استعمالها عملياً للتنبؤ عن مقاومة الانضغاط النظرية للخلطات الخرسانية وعند توفر المتغيرات في تلك المعادلة فضلاً عن هذا وذلك لغرض المقارنة مع قيم ناتجة عن الفحوصات العملية أيضًا.

الجدول(8): مقارنة النتائج الفعلية لمقاومة الانضغاط مع النتائج النظرية المحسوبة من معادلة (2).

مقاومة الانضغاط الفعلية (MPa)	مقاومة الانضغاط النظرية(باستعمال معادلة 2) (MPa)	الركام الناعم	المقاس الأقصى للركام الخشن (mm)	محتوى السمنت (Kg/m3)	A/C ratio	W/C ratio
36.50[10]	35.70	خشن	20	375	4.80	0.460
46.10[10]	44.50	ناعم	20	425	4.15	0.390

4- الاستنتاجات

1. إن طريقة تصميم الخلطات الخرسانية بطريقة الرسم كما يقترح البحث الحالي يجب أن تحدد بمجال ثلاثة متطلبات أساسية ما قبل التصميم (Pre-requisites) وهي نسب عملية من الماء (Kg/m^3)، نسب السمنت إلى الماء (C/W ratio)، ونسب الركام الكلي إلى السمنت (A/C ratio) وذلك للحصول على المساحة رباعية الشكل والتي تضم أو تحوي عدداً هائلاً من الخلطات الخرسانية ومن المفترض لهذه الخلطات أن تفي أو تتطابق مع متطلبات ما قبل التصميم.
2. لكون هذه الطريقة تعطي الركام المطلوب للخلطة الخرسانية على هيئة ركام كلي فإنّ هذا يعطي مرونة كبيرة لهذه الطريقة باستعمال مقاسات قصوى مختلفة، وتدرج مختلف للركام الناعم للخلطة الواحدة ، أي فحص عدد كبير من الخلطات من اختيار خلطة واحدة من المساحة رباعية الشكل.
3. من مقارنة نتائج الطريقة المقترحة مع نتائج الطرق القياسية المعروفة نستنتج أن الطريقة المقترحة لتصميم الخلطات الخرسانية أعطت نتائج مقبولة ، إذ أعطت مؤشراً عملياً لطريقة بسيطة وسهلة التطبيق باستخدام مواد محلية وبإعطاء نتائج جيدة بالنسبة لمقاومة الانضغاط.
4.

5- التوصيات

1. إجراء دراسة مشابهة ولكن بتقليل نسب الماء إلى السمنت فضلاً عن استعمال متطلبات تصميم متغيرة عن البحث الحالي تحديداً نسبة الركام الكلي إلى السمنت وكذلك استعمال النسب القليلة من السمنت إلى الماء(w/c ratio) بغية إنتاج خرسانة عالية المقاومة.
2. إجراء دراسة مشابهة ولكن باستخدام أنواع أخرى من السمنت والركام الخشن.
3. إجراء دراسة مشابهة ولكن باستخدام أنواع أخرى من الركام وهنا تجدر الإشارة إلى استعمال ركام خفيف الوزن لإنتاج خرسانة خفيفة الوزن لأغراض استعمالات العزل الحراري والصوتي.
4.

المصادر

[1] Steven, H. Kosmatka, Beatrix, Kerkhoof, and William, C. Panarese, "Design and Control of Concrete Mixtures", Fourteenth Edition, Portland Cement Association, 2003,pp.149-177.

[2] Zakaria, Khalid A., and Waleed, A. Thanoun, "The Simplified Theory of Mix Design", 5th Sci. Conf./SRC-Iraq, Baghdad, Vol.4, Part 1, 7-11 October, 1989.

[3] M. Simon, K. Snyder, and G. Frohusdorff, "Advances in Concrete Mixture Optimization", National Institute of Standards and Technology, London, September, 1999, pp. 21-32.

[4] Marcia, J. Simon, Eric, S. Lagergren, and Kenneth, A. Snyder, "Concrete Mixture Optimization Using Statistical Mixture Design Methods",

International Symposium on High Performance Concrete, New Orleans, Louisiana, October, 1997, pp. 20-22.

[5] BS 1881: Part108: 1983 "Method For Making Test Cubes From Fresh Concrete", British Standard Institution, 1983.

[6] BS 1881: Part116: 1983 "Method For Determining of Compressive Strength of Concrete Cubes", British Standard Institution, 1983.

[7] Duff, M. Abrams, "Design of Concrete Mixtures", Structural Materials Research Laboratory, Bulletin, No. 1, May, 1919, pp. 1-20.

[8] الخلف، مؤيد نوري و يوسف، هناء عبد، "تكنلوجيا الخرسانة"، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، الجامعة التكنولوجية، 1984

[9] Neville, A. M., "Properties of Concrete", 4th Edition, British Library, England, 2000.

[10] العلو، غانم حسين قوجة، "الحد الأمثل للمحتويات الناعمة في الخرسانة وتأثيره على المقاومة والكلفة"، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل، العراق، 1989.

[11] BS 882-1992 "Aggregates From Natural Source For Concrete", British Standard Institution, 1992.

[12] الجادر، محمد حاتم محمد، "تصميم الخلطة الخرسانية بطريقة الرسم"، رسالة ماجستير، كلية الهندسة، جامعة الموصل، العراق، 2007.

[13] Raju, N. Krishna, "Design of Concrete Mixes" College Booke store, 1701, Nai sarak , Delhi, India 1974.

تم اجراء البحث في كلية ألهندسة = جامعة ألموصل