African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences (AJAPAS)
Online ISSN: 2957-644X
Volume 4, Issue 1, January - March 2025
Page No: 319-336
Website: https://aaasjournals.com/index.php/ajapas/index
ISI 2024: 0.877 SJIFactor 2024: 6.752 معامل التأثير العربي: 1.62

دراسة تأثير خبث الأفران كبديل جزئي للرمل على الخواص الهندسية للخرسانة ذاتية الدمك

سعاد أبوالقاسم سالم تليش [1*]، الطاهر لطفي الطاهر [2]
[1،2] قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة رقدالين، جامعة صبراتة، ليبيا

Study of the effect of blast furnace slag as a partial substitute for sand on the engineering properties of self-compacting concrete

Suad Abulgsem Tleish [1 *], Altaher Lotfi Altaher [2]
Civil Engineering Department, Faculty of Engineering Ragdalin, Sabratha University, Libya

[*]Corresponding author: suad.tleish@sabu.edu.ly

تاريخ الاستلام: 2024-12-15	تاريخ القبول: 2025-02-19	تاريخ النشر: 2025-02-25

الملخص

الخبث من المخلفات الصناعية لعملية انتاج الحديد والذي يتسبب وجوده في مشكلة بيئية لا يمكن التخلص منها عند عدم استعماله لذلك تم استخدام الخبث الليبي المنتج من افران القوس الكهربائي بطريقة التبريد البطيء في هذا البحث والذي يعتبر لحد الان مادة فائضة وليس هناك جهود في الوقت الحاضر لاستخدامه في الصناعة. هذه الورقة توضح نتائج دراسة اجريت حديثاً لاختبار إمكانية الاستفادة من خبث افران صهر الحديد المنتج محلياً بمصنع الحديد والصلب بمدينة مصراته- ليبيا حيث اهتمت الدراسة بتحديد أثر إحلال نسبة من مكونات الخلطة الخرسانية بالخبث ودراسة أثره على مقاومة الانضغاط والشد وقابلية التشغيل ونسبة الامتصاص. صممت خلطة خرسانية مرجعية ثم تم إضافة الخبث إلى الخرسانة ذاتية الدمك بإحلال الخبث بنسب (20، 30، 40، 50) % من وزن الرمل وبديلاً عنه، وتم إضافة الملدن الفائق (Viscocrete-5930) بنسبة ثابتة (0.9) % من وزن الإسمنت وكان تصميم الخلطات الخرسانية وفقاً لهذه النسب ومن ثم تم اختبار الخرسانة في الحالة اللدنة التي تشمل (قابلية الانسياب، الانتشار، المرور ومقاومة الانعزال)، وكذلك في الحالة المتصلدة (مقاومة الضغط لعمر (7-28-56) يوم، مقاومة الشد لعمر (28) يوم، نسبة الامتصاص لعمر (56) يوم). أوضحت نتائج الاختبارات أن إضافة الخبث إلى الخرسانة ذاتية الدمك كان له تأثير إيجابي في زيادة مقاومة الانضغاط ومقاومة الشد بالمقارنة مع الخلطة المرجعية، كما بينت نتائج الاختبارات الطرية للخلطات الخرسانية الحاوية على الخبث بأن إضافة الخبث يؤدي إلى زيادة في قابلية التشغيل للخرسانة ذاتية الدمك.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية الدمك، خبث الحديد، قابلية التشغيل، الخصائص الميكانيكية.

Abstract

Slag is an industrial waste of the iron production process, the presence of which causes an environmental problem that cannot be eliminated when not used. Therefore, Libyan slag produced from electric arc furnaces using a slow cooling method was used in this research, which is considered until now a surplus material, and there are no efforts at present to use it in industry. This paper explains the results of a study conducted recently to test the possibility of benefiting from locally produced iron smelting furnace slag in the iron and steel factory in the city of Misrata - Libya. The study was concerned with determining the effect of replacing a percentage of concrete mix components with slag and studying its effect on compressive and tensile strength, workability and absorption rate.

A reference concrete mixture was designed, and then slag was added to the self-compacting concrete by replacing the slag with ratios of (20, 30, 40, 50) % by weight of sand and a substitute for it. The superplasticizer (Viscocrete-5930) was added at a fixed ratio of (0.9) % by weight of cement. The

concrete mixtures were designed according to these ratios, and then the concrete was tested in the plastic state, which includes (flowability, diffusion, passage and resistance, isolation). As well as in the hardened state (compressive strength for an age of (7-28-56) days, tensile strength for an age of (28) days, absorption rate for an age of (56) days. The test results showed that adding slag to self-compacting concrete had a positive effect in increasing the compressive strength and tensile strength compared to the reference mix. The results of fresh tests for concrete mixes containing slag also showed that adding slag leads to an increase in the workability of self-compacting concrete.

Keywords: Self-compacting concrete, iron slag, workability, mechanical properties.

مقدمة

أدى الاستخدام المتزايد لمادة الحديد إلى ظهور مشكلة تراكم مخلفات عملية صهر الحديد وهي (خبث الأفران)، حيث يحتوي الخبث على الأكاسيد الرئيسية الموجودة في الإسمنت مع اختلاف التراكيز، إن التخلص من الخبث أصبح في الوقت الحاضر ضرورة ملحة وذلك لما يسببه من ثلوث خطير للبيئة وإعاقة عملية انتاج الحديد دون اهمال عامل المردود الاقتصادي له. في العصور المتقدمة و حتى أوائل القرن الماضي كان خبث الحديد(مخلفات الحديد) منتج عديم القيمة و النفع و مربكاً لسير العمليات الانتاجية إلى حد الإزعاج ويعتبر أحد النفايات التي تتوفر بكميات كبيرة وضخمة جداً، ومع التطور التكنولوجي والبحث العلمي بدأ البحث في استخدام المخلفات الصناعية مع الإسمنت و الخرسانة للاستفادة من خصائصها و حماية البيئة، إن الفكرة من الاستفادة من مخلفات صناعة الحديد (الخبث) هي أن الأكاسيد المكونة للخبث متشابهة مع الأكاسيد المكونة للإسمنت ولكن تختلف في نسبها وهي (الكالسيوم- السليكون- الألمونيوم- الحديد) وأهم ما يميز الخبث هو اشتراكه مع الإسمنت في الخاصية الهيدروليكية (مدى تصلب المادة في وجود الهواء أو الماء مع احتفاظها بصلابتها) ويعتبر الاستخدام الأفضل للخبث أمر مرغوب فيه ليس فقط من وجهة نظر الحفاظ على البيئة ولكن أيضاً للفوائد التي يقدمها للخلطات الخرسانية.

أهمية البحث: تتمثل أهمية البحث في إمكانية الاستفادة من خبث الأفران المحلي الناتج من مصنع الحديد والصلب (مصراته) كمضاف إلى الخرسانة ذاتية الدمك، والحصول على أفضل خصائص لها في الحالة الطرية و المتصلدة، وذلك بإجراء الاختبارات اللازمة لها على حسب المواصفة المتبعة وهي (المواصفة البريطانية).

اهداف البحث: يهدف البحث لمعرفة تأثير تغير نسب إضافة خبث الأفران عند إحلاله لنسب معينة من وزن الرمل على خصائص الخرسانة ذاتية الدمك الطرية (قدرتها على الملء والعبور- تجانسها العالي- مقاومتها على الانفصال الحبيبي)، والمتصلدة (مقاومة الضغط والشد- نسبة الامتصاص) والحصول على أفضل نسبة للخبث.

توضح الدراسة [1] نتائج الاختبارات التي تم الحصول عليها من اختبار إمكانية الاستفادة من خبث أفران صهر الحديد المنتج محلياً بمصنع جياد الواقع جنوب مدينة الخرطوم- السودان. حيث اهتمت الدراسة بتحديد أثر إحلال نسبة من مكونات الخلطة الخرسانية بالخبث و دراسة أثره على مقاومة الانضغاط و قابلية التشغيل، صممت خلطة خرسانية مرجعية ثم تم في المرحلة الأولى إحلال الخبث بنسب (10،15،20)% من وزن الرمل وبديلاً عنه وفي المرحلة الثانية إحلال الخبث بنسب (15،25،35)% من وزن الإسمنت صممت الخلطات الخرسانية وفقاً لهذه النسب ومن ثم تم قياس الهبوط لكل العينات وكذلك مقاومة الانضغاط في (7،14،28) يوم. عند استخدام الخبث كبديل للرمل فقد أوضحت النتائج أن مقاومة الانضغاط قد زادت مع ارتفاع نسبة الخبث المستخدم في الخلطة وكذلك قابلية التشغيل، وفي حالة إحلال الخبث بنسب متفاوتة من وزن الإسمنت أظهرت النتائج زيادة في قابلية التشغيل مع زيادة نسبة الخبث بينما تلاحظ أن مقاومة الانضغاط قلت كلما زادت نسبة الخبث، واعتبرت هذه النتائج موجبة للنسب التي استخدمت مما يعطي مؤشرات مقبولة لإمكانية الاستفادة من الخبث في الخلطات الخرسانية.

قام الباحث [2] بإضافة الخبث إلى الخرسانة بطريقتين الأولى بإحلال الخبث بالنسب (10، 20، 30، 40) % من وزن الإسمنت وبديلاً عنه والجزء الثاني بإضافة الخبث بالنسب (10، 20، 30، 40) % من وزن الإسمنت وبديلاً عن جزء من الرمل وللطريقتين تمت إضافة الملدن الفائق (**Melment L10**) بنسبة (5.5%) من وزن الإسمنت. حيث أظهرت النتائج تحسن لجميع الخلطات الخرسانية بالنسب المذكورة عند إحلال الخبث مع إضافة الملدن المتفوق في انتاج خرسانة ذات قابلية التشغيل عالية فحسنت من خواصها في الامتصاص السطحي الابتدائي، الامتصاص الكلي والمسامية بشكل واضح مقارنة بالخلطة المرجعية وعند استخدام الخبث (10، 20) % كمضاف عن جزء من الرمل تحسنت الخواص المذكورة قليلاً وعند استخدام (30، 40) % كمضاف عن جزء من الرمل أنتج خرسانة ذات قابلية تشغيل واطئة فازدادت نسبة الامتصاص السطحي الابتدائي، الامتصاص الكلي والمسامية.

توضح الدراسة [3] تأثير استعمال خبث الأفران للشركة العامة للحديد و الصلب بالبصرة على خواص الخرسانة حيث تم استعمال هذا الخبث كبديل عن جزء من الركام الناعم(الرمل) في الخرسانة دون التقليل من وزن الإسمنت و بنسب معينة و مقارنة نتائج مقاومة الضغط و الانثناء و الامتصاص السطحي مع الخلطة المرجعية، حيث تمت الاستفادة في هذه الدراسة

من مادة الخبث كبديل جزئي عن الرمل في الخرسانة وبنسب (10؛20؛30؛40)% من وزن الرمل المستخدم في الخلطة وذلك بعد إجراء التحليل الكيميائي لهذا الخبث، حيث تم تكسير الخبث يدوياً حتى يصل تدرجه إلى نفس تدرج الرمل المستخدم في الخلطة وتم خلطه مع باقي مكونات الخرسانة و التي صممت خلطتها بنسب خلط وزنية (1:7 و 1:5 و 3) وتم استبدال جزء من الرمل بالخبث كنسبة مئوية من وزن الرمل مع تثبيت نسبة الماء للإسمنت لجميع الخلطات، وعند استعراض نتائج الاختبارات لوحظ تحسن في خواص الخلطات الخرسانية مقارنة بالخلطة المرجعية من حيث زيادة في مقاومة الضغط منذ الاعمار الاولى كذلك زيادة في مقاومة الانثناء و نقص في نسبة الامتصاص السطحي للماء.

البرنامج العمـــــــــــلي

اعتمدت الدراسة المعملية في البداية على إجراء اختبارات المواد الأولية ثم إجراء خلطات تجريبية للوصول إلى خلطة ذات خواص جيدة سواء في الحالة اللدنة أو المتصلدة.

أولًا: المواد المستخدمـــــــة:

استخدمت المواد المحلية لتنفيذ الخلطات الخرسانية وفيما يلي يتم التعرف على خواص هذه المواد:

الإسمنت: استخدم الإسمنت البورتلاندي العادي المنتج محلياً (مصنع زليتن) ومعبأ بأكياس مقفلة من ورق سميك للمحافظة على خواصه وحمايته من الرطوبة يبين الجدول (1) خواص الاسمنت.

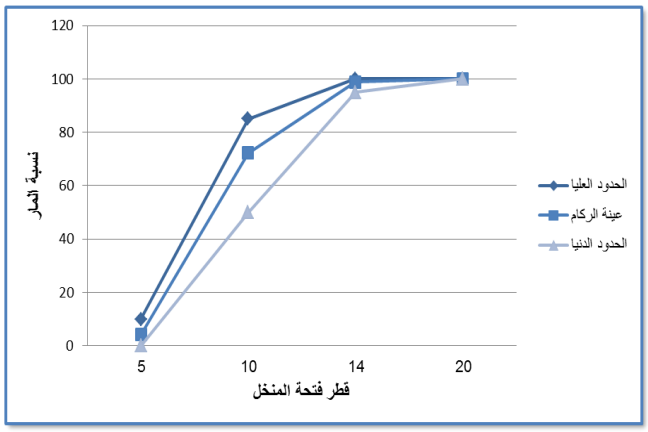
الجدول (1) الخواص الفيزيائية والميكانيكية للإسمنت.

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة	المواصفة
نسبة الماء القياسية	%29	-	[4]
زمن الشك الابتدائي	155 دقيقة	لا تقل عن 45 دقيقة	[5]
زمن الشك النهائي	290 دقيقة	لا تزيد عن 10 ساعات	
نعومة الإسمنت	%8	الحد الأقصى للمتبقي على منخل 170 (%10)	[6]
مقاومة الضغط للمونة 3 أيام	22.13MPa	لا تقل عن 21MPa	[7]
مقاومة الضغط للمونة 28 يوم	39.22MPa	لا تقل عن 39MPa	
ثبات الحجم للإسمنت	0	لا تزيد عن 10mm	[8]

الركام الخشن: استخدم للدراسة ركام خشن متدرج مقاسه الاعتباري الأكبر (14mm) تم جلبه من منطقة رأس اللفعة [9]. يوضح الجدول (2) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام المستخدم بينما يوضح الشكل (1) منحنى التدرج الحبيبي للركام الخشن وحدود المواصفة.

الجدول (2) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن.

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة	المواصفة
الوزن النوعي	2.57	2.7-2.5	[10]
نسبة الامتصاص	%2.6	لا تزيد عن 3%	
معامل الصدم	%9.759	لا يزيد عن 45%	[11]
معامل التهشيم	%20.46	لا يزيد عن 45%	[12]
نسبة الطين والطمي	%2.88	لا تزيد عن 4%	[13]
وزن وحدة الحجوم	1483.1 Kg/m^3	1400-1800 Kg/m3	[14]

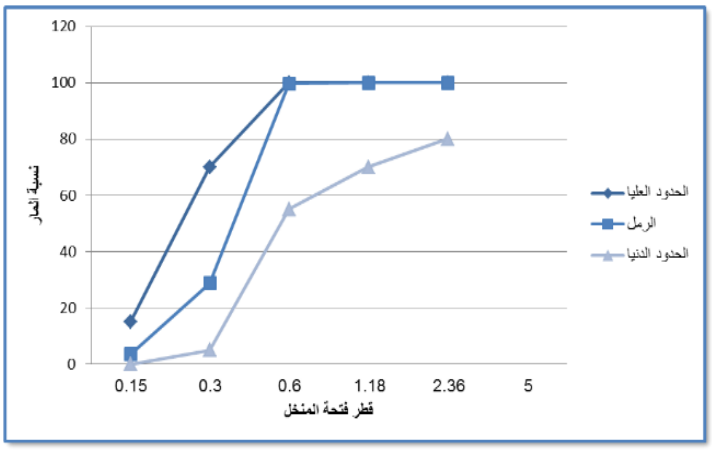


الشكل (1) منحنى التدرج للركام الخشن.

الركام الناعم: استخدم للدراسة ركام ناعم (الرمل الطبيعي) تم إحضاره من منطقة زليتن، وتم إجراء العديد من الاختبارات لهذه العينة من الرمل. يوضح الجدول (3) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام المستخدم بينما يوضح الشكل (2) منحنى التدرج الحبيبي للركام الناعم وحدود المواصفة.

الجدول (3) نتائج الاختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الناعم.

الاختبار	النتيجة	حدود المواصفة	المواصفة
الوزن النوعي	2.65	2.7-2.6	[10]
نسبة الامتصاص	%0.967	لا تزيد عن 3%	
نسبة المواد الناعمة	%2	لا تزيد عن 3%	[13]
وزن وحدة الحجوم	1746.5 كجم/م^3	1800-1400 كجم/م^3	[14]



الشكل (2) منحنى التدرج الحبيبي للركام الناعم.

ماء الخلط: استخدم لتنفيذ الخلطات الخرسانية ماء اعتيادي خالي من المواد العضوية (ماء شرب)، يوضح الجدول (4) نتائج التحليل الكيميائي للماء.

الجدول (4) نتائج التحليل الكيميائي للماء.

	النتيجة	الحد الاقصى للأملاح	المواصفة
مجموع الأملاح الذائبة T.D.S	130	2000gm/L	[15]
قيمة الأس الهيدروجيني PH	6.5	8-6	
أملاح الكلوريد Cl	12	500gm/L	
أملاح الكبريتات SO_4	10	1000gm/L	
أملاح الكربونات والبيكربونات	9	1000gm/L	

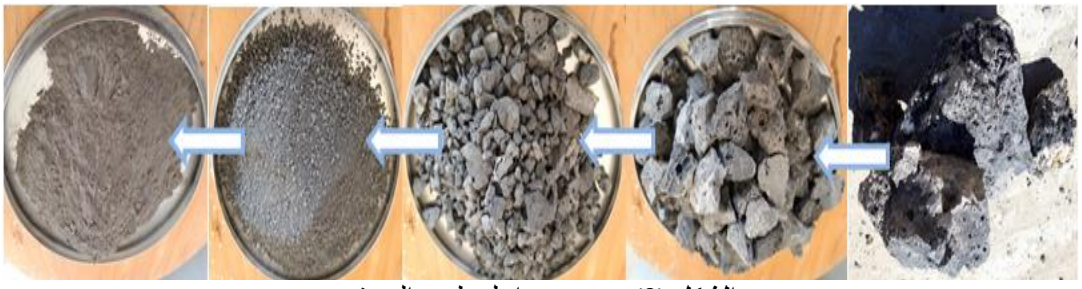
خبث الافران: تم استخدام خبث الأفران الناتج من مصنع الحديد والصلب (مصراته)، وهو ناتج من أفران القوس الكهربائي أثناء استخلاص الحديد من الخردة.

الجدول (5) نتائج التحليل الكيميائي للخبث.

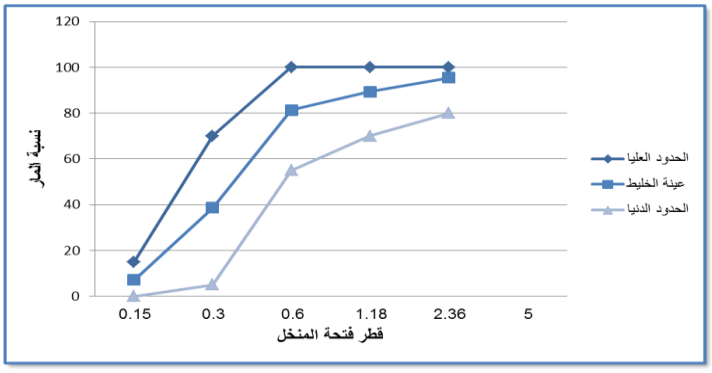
الأكاسيد	النتيجة (%)
Al_2O_3	5.270
MnO	2.003
CaO	44.246
MgO	10.263
Na_2O	0.107
K_2O	0.010
Fe_2O_3	12.182
Cr_2O_3	0.159
SiO_2	17.006
TiO_2	0.654
P_2O_5	0.581
كبريت	0.033
المتبقي	7.486

الجدول (6) التحليل الكيميائي للخبث في بعض الدول.

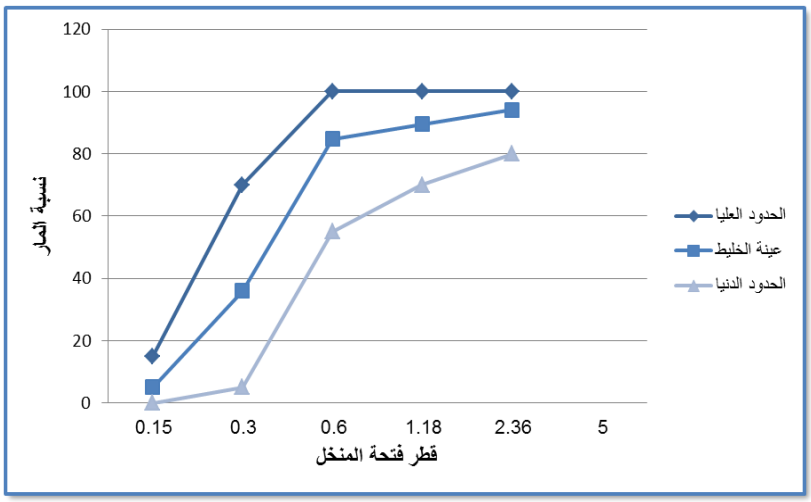
الأكسيد	العراق	السودان	الجزائر	ليبيا
CaO	26.8	3.05	43.01	44.246
SiO_2	34.4	16.15	-	17.006
Al_2O_3	7.1	5.086	5.2	5.270
MgO	12.41	1.25	6.4	10.263
SO_3	0.14	-	-	-
Fe_2O_3	17.9	10.75	3.57	12.182
Na_2O	0.2	-	-	0.107
K_2O	0.04	0.03	-	0.010



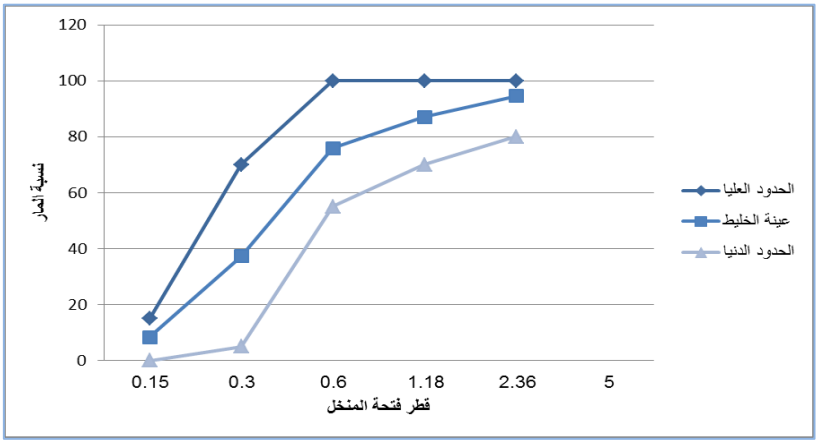
الشكل (3) يوضح مراحل طحن الخبث.



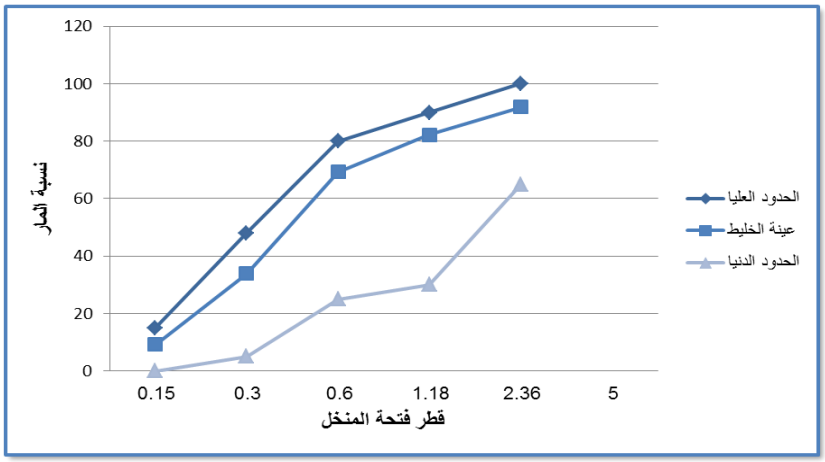
الشكل (4) يوضح منحنى التدرج الحبيبي لخليط الرمل و20% خبث.



الشكل (5) يوضح منحنى التدرج الحبيبي لخليط الرمل و30% خبث.



الشكل (6) يوضح منحنى التدرج الحبيبي لخليط الرمل و40% خبث.



الشكل (7) يوضح منحنى التدرج الحبيبي لخليط الرمل و50% خبث.

الإضافات الكيميائية: استخدم نوع واحد من الملدنات الفائقة وهي (Sika ViscoCrete-5930)، عبارة عن مادة سائلة تستخدم خصيصاً لتنفيذ الخرسانة ذاتية الدمك تعتمد في تركيبها على(Poly carboxylate) .

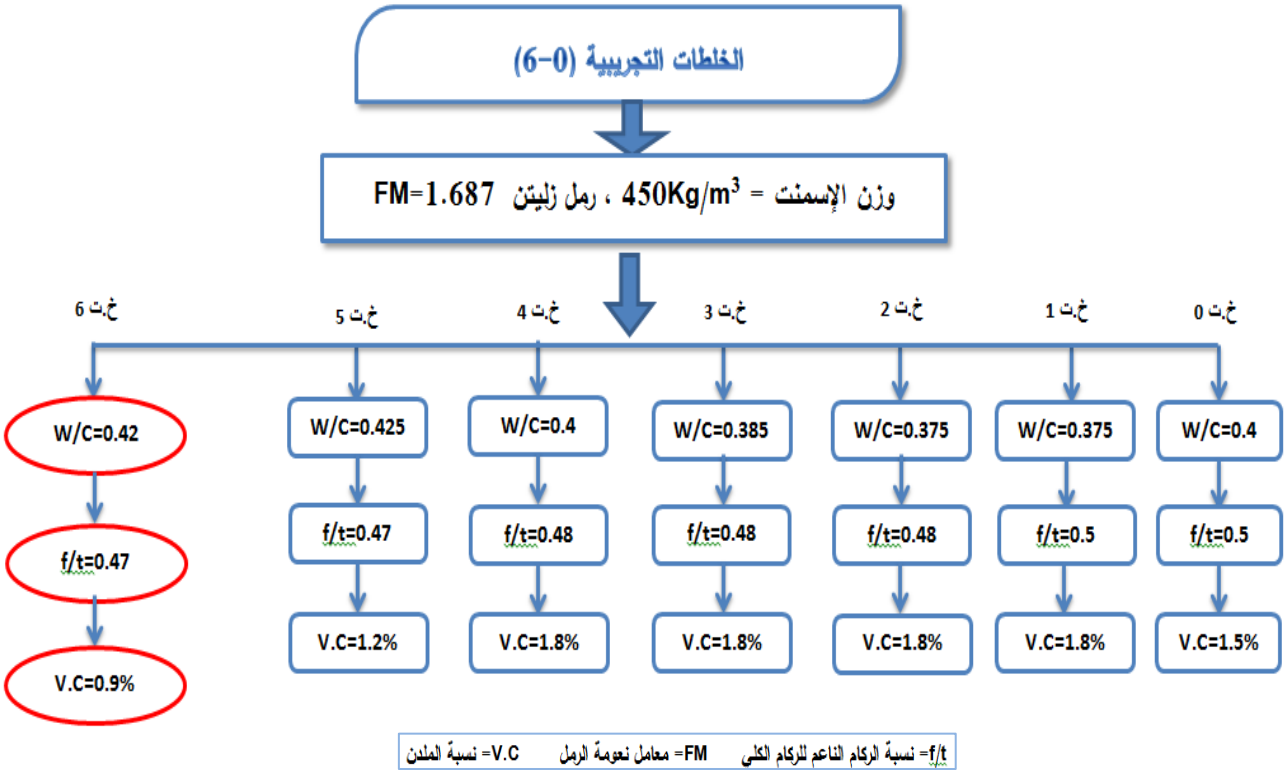
الشكل (8) يوضح الملدن المستخدم.

ثانيًا: برنامج الخلطات الخرسانية

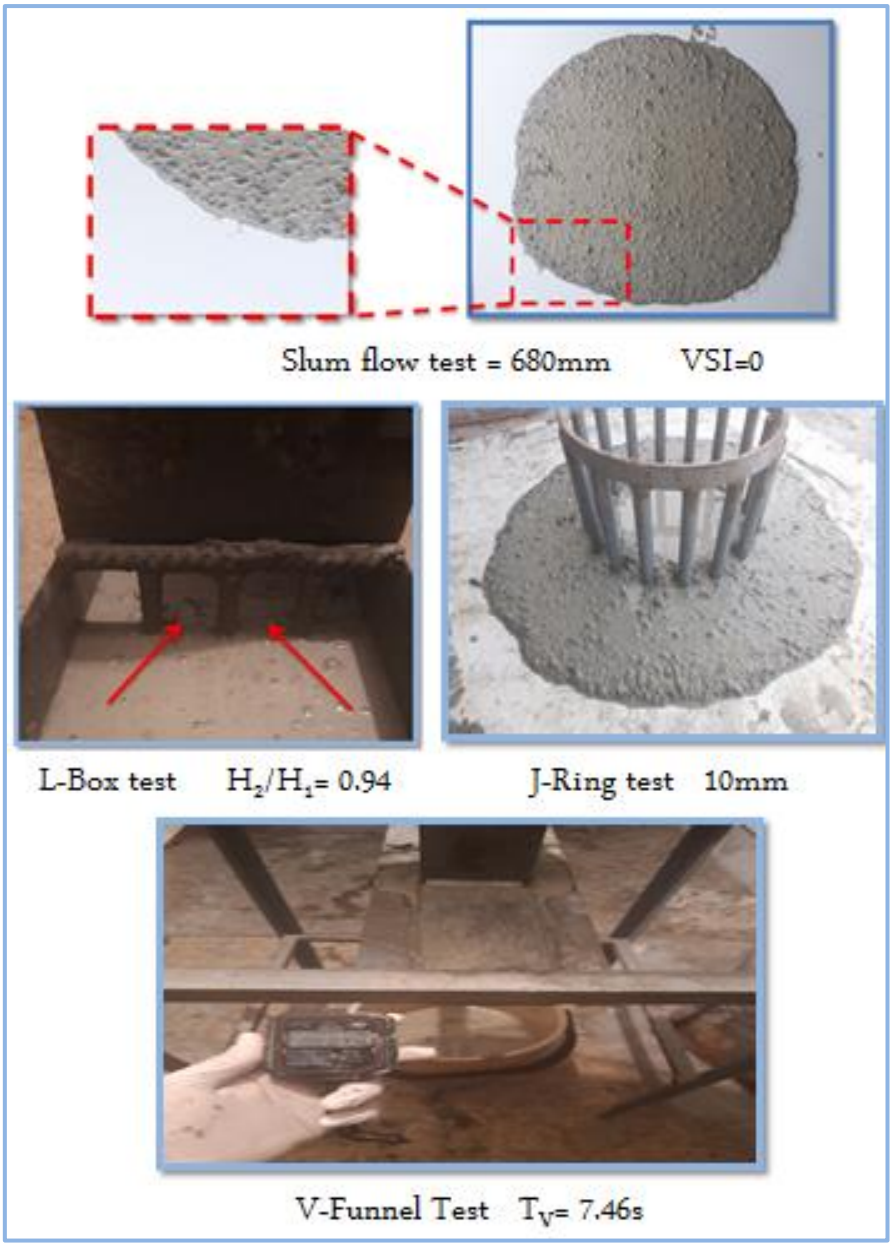
البرنامج المعتمد لهذه الدراسة أن يكون المحتوى الكلي للمواد الإسمنتية $450Kg/m^3$، والمقاس الاعتباري للركام الخشن 14mm وذلك لتفادي حدوث انفصال حبيبي، على اعتبار أنه سيتم استخدام الملدنات فقط في تنفيذ الخلطات. يتم اختيار النسبة المناسبة من الملدنات للخلطة المعتمدة في الدراسة على النتائج التي سيتم الحصول عليها من الخلطات التجريبية.

الخلطات التجريبية

نفذت هذه المرحلة للحصول على أفضل نسب خلط للمواد الأولية للحصول على خرسانة ذاتية الدمك مثالية ذات خواص جيدة، وتحقق النتائج المطلوبة لجميع الاختبارات، الشكل (9)،(10) يوضح المخطط الانسيابي للخلطات التجريبية وطريقة اجراء الاختبارات.



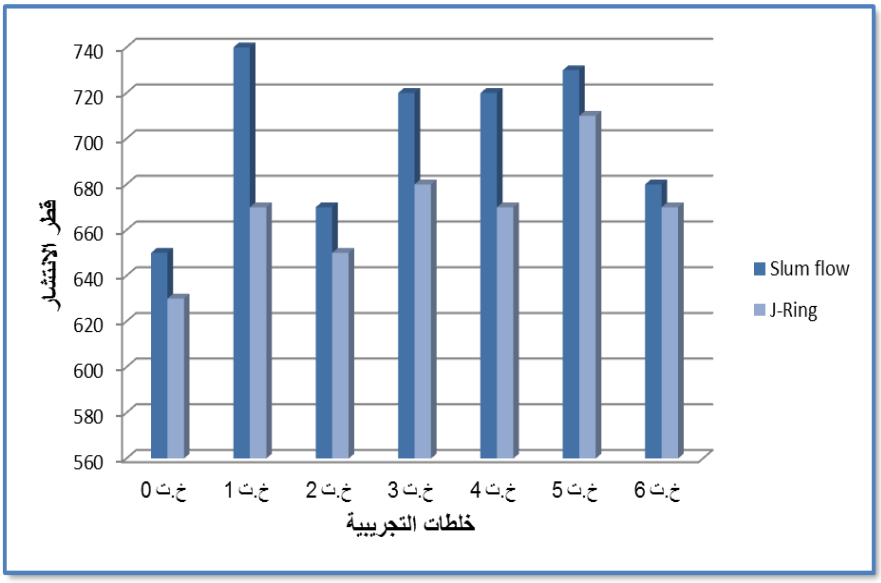
الشكل (9) المخطط الانسيابي للخلطات التجريبية.



الشكل (10) يوضح طريقة الاختبارات للخلطة المرجعية.

الجدول (7) يوضح نتائج اختبارات الخلطات التجريبية.

الاختبـــــارات					رقم الخلطة
J-Ring test		VSI	Slum flow test		
فرق القراءة mm	قطر الانتشار mm		T_{50} Sec	قطر الانتشار mm	
20	630	2	10	650	0
70	670	3	3	740	1
20	650	0	13	670	2
40	680	3	4.8	720	3
50	670	0	3	720	4
20	710	1	3	730	5
10	670	0	3.53	680	6

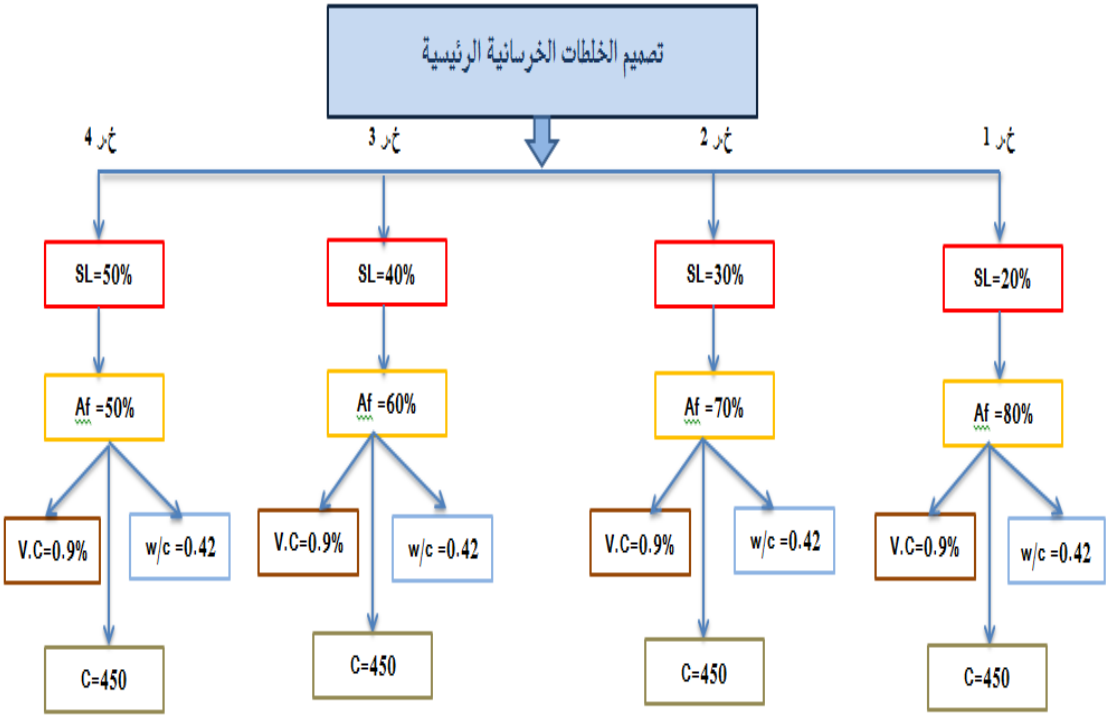


الشكل (11) مقارنة نتائج الخلطات التجريبية لاختباري
(J-Ring test)، (Slum flow test)

من النتائج المتحصل عليها في جميع الخلطات التجريبية يتضح أنه نسبة الركام الناعم للركام الكلي تؤثر على خواص الخرسانة من حيث الانسياب واللزوجة، وكلما قلت نسبة الركام الناعم في الخلطة تحصلنا على نتائج جيدة في اختبار (J-Ring)، ومن النتائج المتحصل عليها فإنه تم اعتماد الخلطة التجريبية (6) كخلطة مرجعية لهذه الدراسة، وذلك لإعطائها نتائج جيدة وداخل حدود المواصفات وتم إجراء باقي الاختبارات للخرسانة ذاتية الدمك.

الخلطات الرئيسية

هي المجموعة الأساسية في هذا البحث حيث تم تنفيذ أربع خلطات خرسانية كما موضح بالشكل (12).



SL : نسبة خبث الافران Af: نسبة الرمل

C : محتوى الإسمنت V.C: نسبة الملدن

الشكل (12) المخطط الانسيابي للخلطات الرئيسية.

تصميم الخلطات الخرسانية

استخدمت الطريقة الحجمية لتصميم جميع الخلطات الخرسانية لهذه الدراسة [16]، ويوضح الجدول (8) اوزان المواد المستخدمة لتنفيذ الخلطات.

$$\frac{C\left(\frac{W}{C}\right)}{\rho_W}+\frac{C\left(\frac{A}{C}\right)}{\rho_A}+\frac{C}{\rho_C}=1m^3 \dots\dots(1)$$

$$\frac{C\left(\frac{W}{C}\right)}{\rho_W}+\frac{A_S}{\rho_A}+\frac{A_{CA}}{\rho_{CA}}+\frac{C}{\rho_C}=1m^3 \dots\dots(2)$$

$C \Rightarrow$ Cement $W \Rightarrow$ Water $A_S \Rightarrow$ Sand

$A_{CA} \Rightarrow$ Coarse Agg. $\rho \Rightarrow$ Unit Weight

الجدول (8) أوزان المواد المستخدمة لتنفيذ الخلطات.

رقم الخلطة	w/c	الماء Kg/m^3	الإسمنت Kg/m^3	الركام Kg/m^3		نسبة الخبث %	خبث الأفران Kg/m^3	الملدن % وزن الإسمنت
				ركام خشن	**ركام ناعم**			
خ.ت 6	0.42	189	450	924.2	819.6	-	-	0.9
خ.ر 1	0.42	189	450	924.2	655.7	20	163.9	0.9
خ.ر 2	0.42	189	450	924.2	573.72	30	245.88	0.9
خ.ر 3	0.42	189	450	924.2	491.76	40	327.84	0.9
خ.ر 4	0.42	189	450	924.2	409.8	50	409.8	0.9
خ.ف 1	0.42	189	382.5	924.2	819.6	15	67.5	0.9

الخلط والصب والمعالجة للخرسانة

تعتبر عملية تجهيز المواد وخلطها أمراً مهماً جداً بالنسبة للخرسانة ذاتية الدمك، حيث ان التفاوت في أعمال الخلط والصب وغيرها من الإجراءات يترتب عنه اختلاف في الحالة اللدنة والمتصلدة للخرسانة، ولهذا تم مراعاة ان يتم تجهيز جميع العينات في ظروف مناخية ومعالجة متشابهة، حيث تم تجهيز الخلطات في فترة زمنية قصيرة وذلك لتلافي تأثير الاختلاف في درجات الحرارة.

بعد الانتهاء من خلط الخرسانة اجريت اختبارات الخرسانة في الحالة اللدنة لدراسة خواصها الانسيابية، ثم تم صبها في قوالب قياسية فولاذية مكعبة الشكل واسطوانات. ثم فكت في اليوم التالي لتعالج بغمرها في الماء الى حين موعد اختبارها، ويوضح الشكل (13) الة الخلط والعينات بعد صبها ومعالجتها.

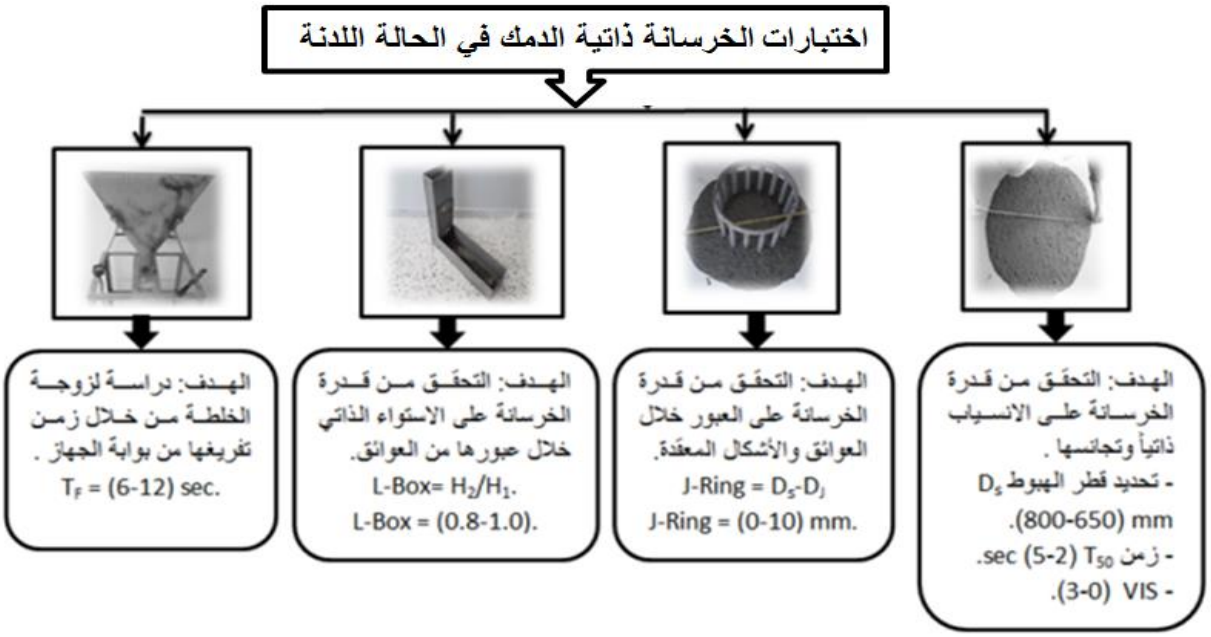
الشكل (13) يوضح العينات بعد صبها ومعالجتها.

ثالثًا: اختبارات الخرسانة ذاتية الدمك

اختبارات الحالة اللدنة

نظراً لخصوصية الخرسانة من حيث انسيابها العالي بمقارنتها بالخرسانة التقليدية فإنه يتعين تنفيذ بعض الاختبارات الخاصة بها لتعيين درجة التشغيلية وتحديد جودتها في الحالة الطازجة من حيث قابلية التشغيل والعبور ومقاومة الانفصال الحبيبي وقابلية الملء، يوضح الشكل (14) ملخص لاختبارات الخرسانة في الحالة اللدنة، والجدول (9) يبين نتائج هذه الاختبارات.

Slump Flow Test, T_{50} , VSI.	J-Ring Test
L-Box Test	V-Funnel Test



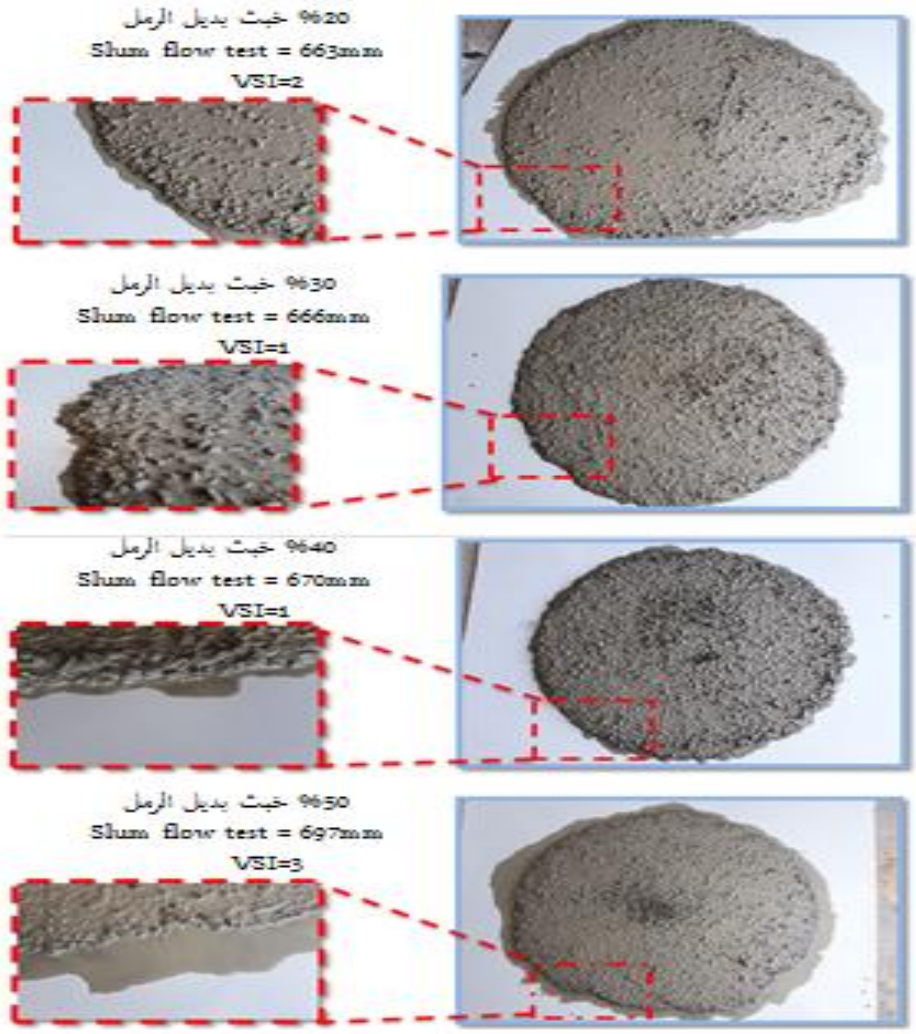
الشكل (14) ملخص لاختبارات الحالة اللدنة.

الجدول (9) نتائج خواص الحالة اللدنة للخلطات

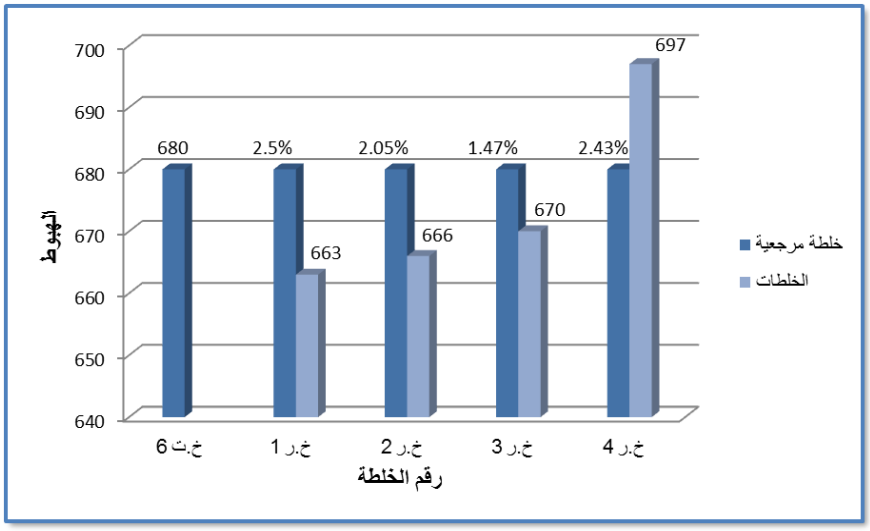
VSI	النضح	V-Funnel Test Sec	L-Box Test H_2/H_1	J-Ring Test (mm)	T_{50} Sec	Slump Flow (mm)	W/C	رقم الخلطة	
0	لا يوجد	7.46	0.94	10	3.53	680	0.42	خ.ت6	0
2	متوسط	7.42	0.88	10	3.71	663	0.42	خ.ر1	1
1	بسيط	9.60	0.52	14	5	666	0.42	خ.ر2	2
1	بسيط	12	0.535	20	5.85	670	0.42	خ.ر3	3
3	عالي	16.70	0.538	50	3.82	697	0.42	خ.ر4	4
0	لا يوجد	6.88	0.65	10	3.54	677	0.42	خ.ف1	5
-	-	6	0.8	0	2	650	أقل قيمة	التوصيات	
-	-	12	1.0	10	5	800	أعلى قيمة	EFNARC[12]	

اختبار Slump Flow:

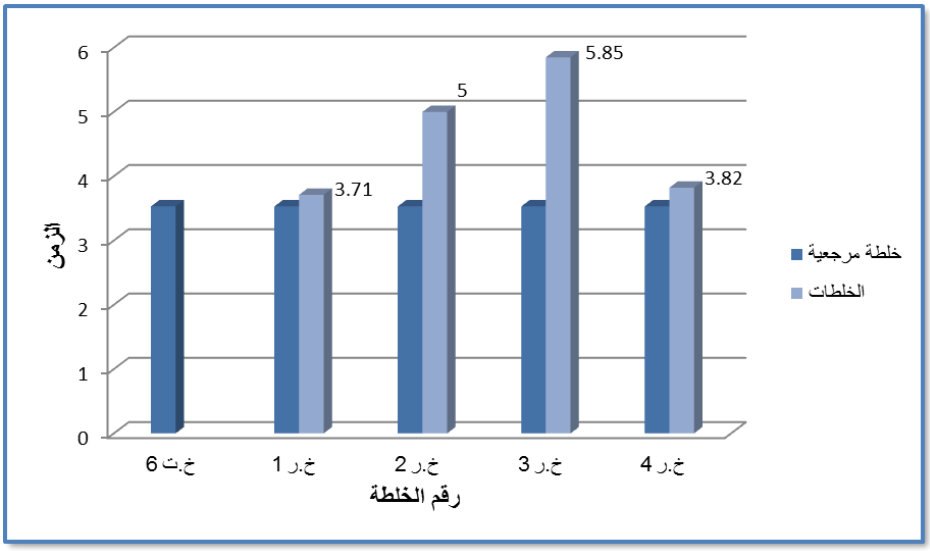
بشكل عام فإن كل الخلطات التي تم تنفيذها لها هبوط يقع ضمن الهبوط المستهدف لهذه الدراسة [9] كما موضح بالشكل (15)، حيث تم ملاحظة نقص في مقدار الهبوط عند إضافة خبث الأفران بنسبة (20%) مقارنة بالخلطة المرجعية، ولكن عند زيادة نسبة الخبث (50%) نلاحظ تحسن في مقدار الهبوط للخلطات مقارنة بالخلطة المرجعية، الشكل (16)، (17) يوضح اختبار الهبوط و(T_{50}) للخلطات بالمقارنة بالخلطة المرجعية.



الشكل (15) يوضح اختبار الهبوط للخلطات.



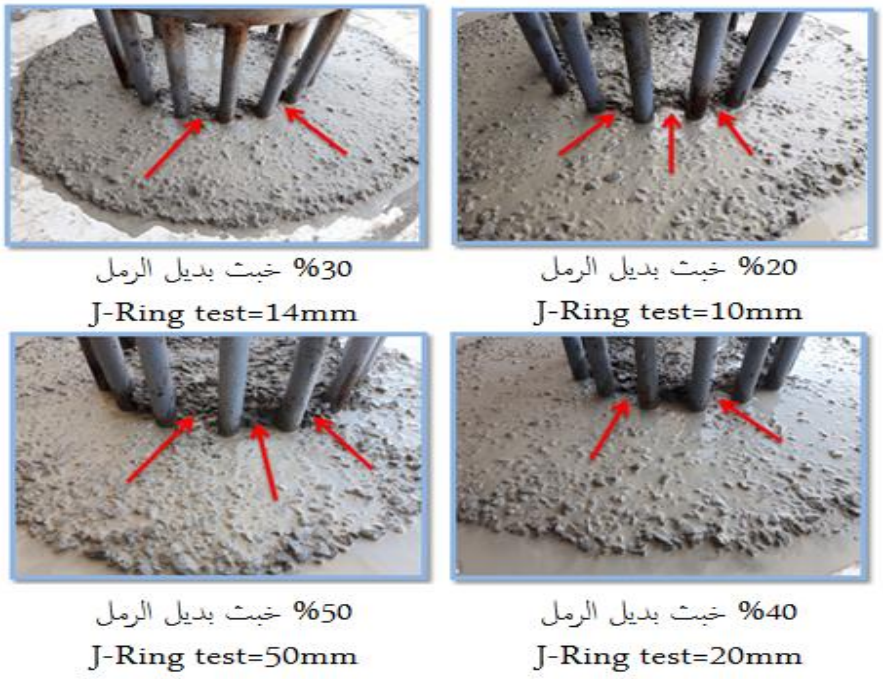
الشكل (16) يوضح نتائج الهبوط.



الشكل (17) يوضح نتائج T_{50}

اختبار J-Ring

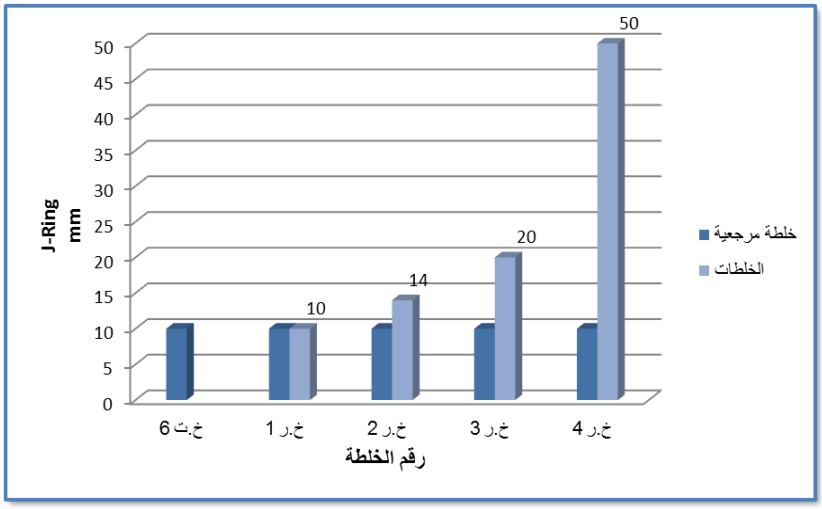
عند إضافة (20%) من الخبث إلى الخلطة لم يحدث تغير في J-Ring مقارنة بالخلطة المرجعية فإنها حققت نفس القيمة وكانت 10ملم، بينما كلما زادت نسبة الخبث عن (20%) زادت قيمة J-Ring وكانت خارج حدود المواصفة [9] المسموح بها، ويوضح الشكل (18) اختبارJ-Ring لجميع الخلطات الخرسانية بينما يبين الشكل (19) نتائج الاختبار.



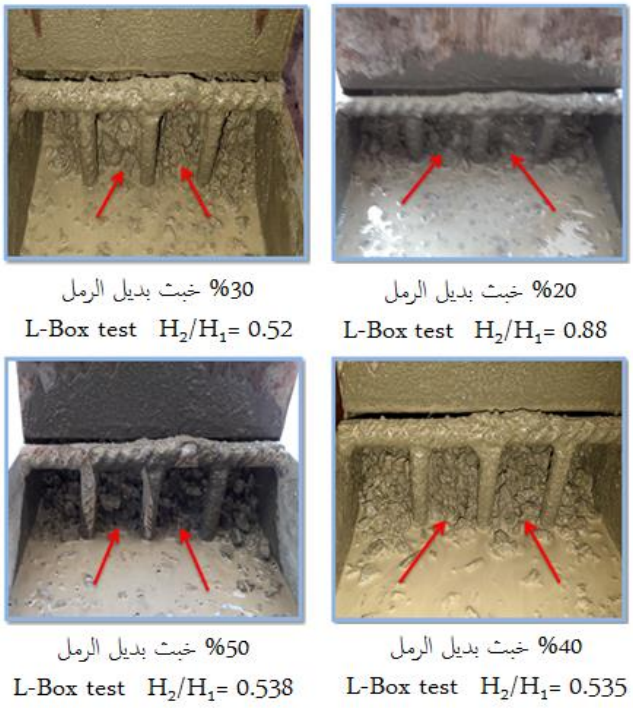
الشكل (18) يوضح اختبار J-Ring للخلطات.

اختبار L-Box

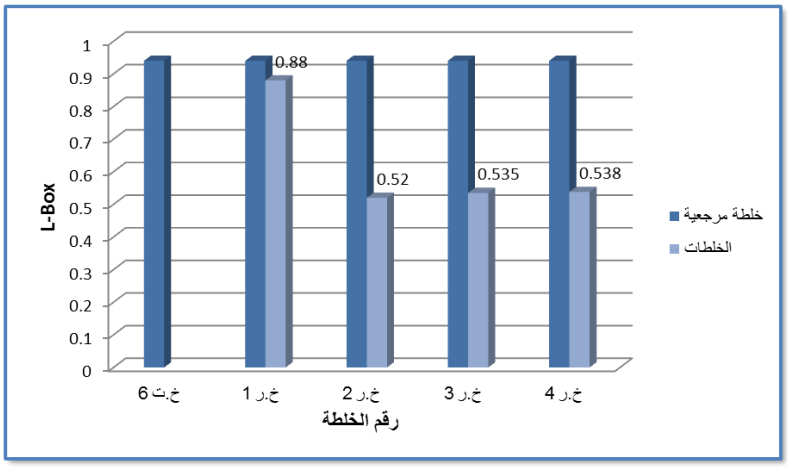
يعتبر هذا الاختبار مهماً لتقييم قدرة الخرسانة على الاستواء ذاتياً في حالة صبها في عناصر كثيفة التسليح و متغيرة الأبعاد وهذا الاختبار له علاقة مباشرة مع لزوجة الخرسانة فعند إضافة الخبث بنسبة 20% كانت النتيجة داخل حدود المواصفة المسموح بها 0.88 [9] ولكن عندما زادت نسبة الخبث في الخلطة لم تكن النتائج داخل حدود المواصفة، حيث نلاحظ أنه يوجد تقارب كبير في قيم الاختبار عند نسب (30-40-50)%، ويرجع ذلك للزوجة الخلطة الخرسانية ،ويوضح الشكل (20) اختبار L-Box test للخلطات بينما يبين الشكل (21) نتائج الاختبار.



الشكل (19) يوضح نتائج اختبارJ-Ring



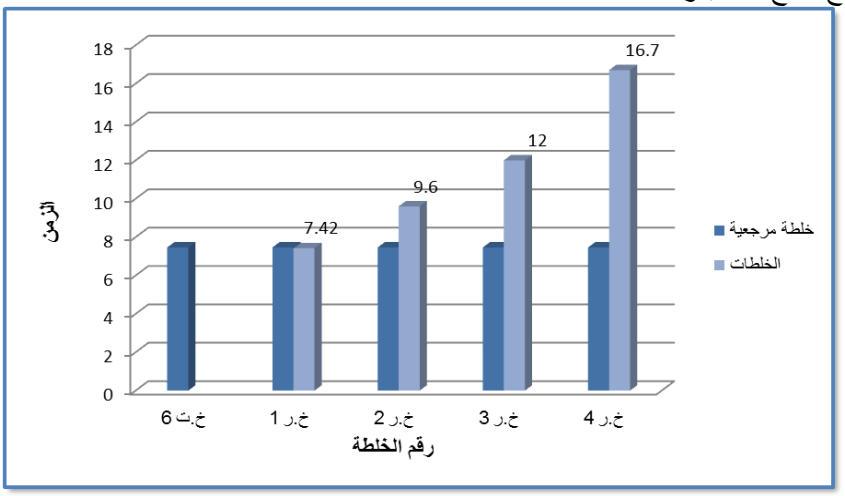
الشكل (20) يوضح اختبار L-Box test للخلطات.



الشكل (21) يوضح نتائج اختبار L-Box

اختبار V-Funnel

كانت معظم النتائج جيدة وضمن حدود المواصفة [9] حيث عند إضافة خبث الأفران زاد زمن التفريغ للخلطة من الجهاز، فعند إضافة الخبث بنسبة 20% لم يحدث تغير كبير في زمن التفريغ مقارنة بالخلطة المرجعية، وعند إضافة الخبث بنسبة(30-40)% زاد زمن التفريغ و زادت لزوجة الخلطة ، وعند 50% زادت اللزوجة أكثر في الخلطة وكان زمن التفريغ خارج الحدود الموصي بها ، وكما لوحظ أيضاً تجانس معظم الخلطات بعد سقوطها و استقرارها في الوعاء ، والشكل(22) يوضح نتائج الاختبار.

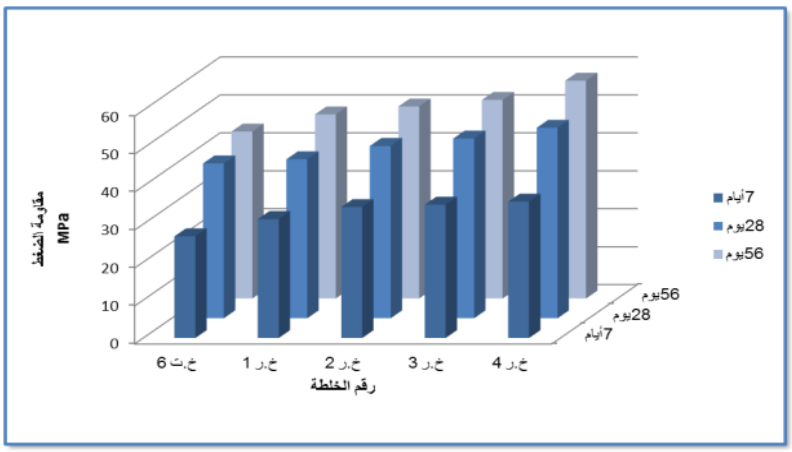


الشكل (22) يوضح نتائج اختبار V-Funnel

رابعًا: اختبارات الحالة المتصلدة

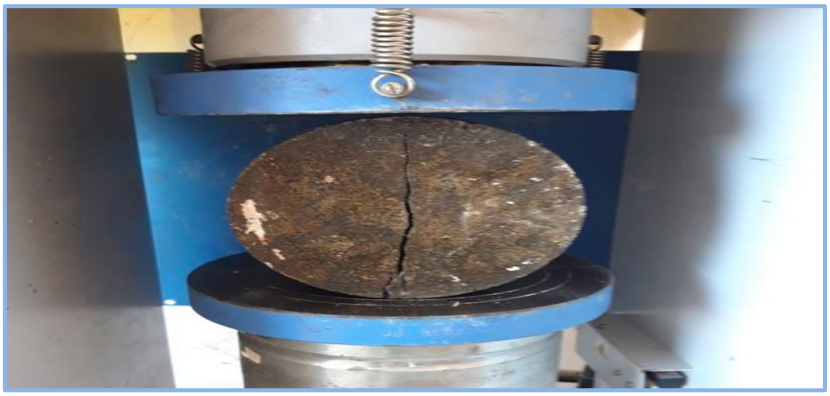
اختبار مقاومة الضغط: تعتبر مقاومة الضغط من أهم المتطلبات الأساسية للخرسانة، حيث تم إجراء الاختبار طبقاً للمواصفات البريطانية [17] على عينات ذات أبعاد (150×150×150) ملم، وتم اختبارها عند أعمار (7-28-56) يوم.

الشكل (23) يوضح ماكينة الضغط.

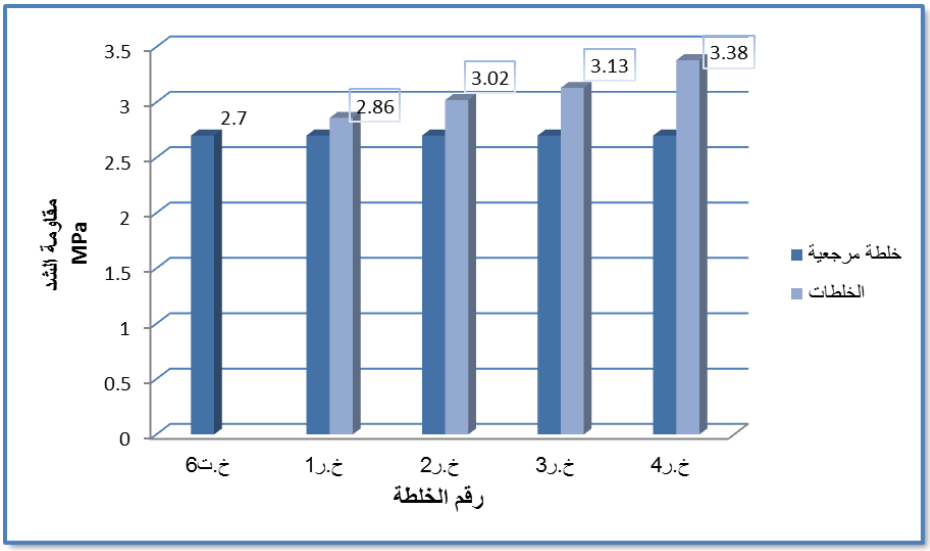


الشكل (24) يوضح نتائج مقاومة الضغط.

اختبار الشد الغير مباشر (الطريقة البرازيلية): تم إجراء الاختبار على عينات إسطوانية الشكل ذات أبعاد (150×300) ملم وتم اختبارها بعمر 28 يوم [17] الشكل (25)، (26) يوضح طريقة اختبار مقاومة الشد ونتائجه.



الشكل (25) يوضح طريقة اختبار مقاومة الشد.

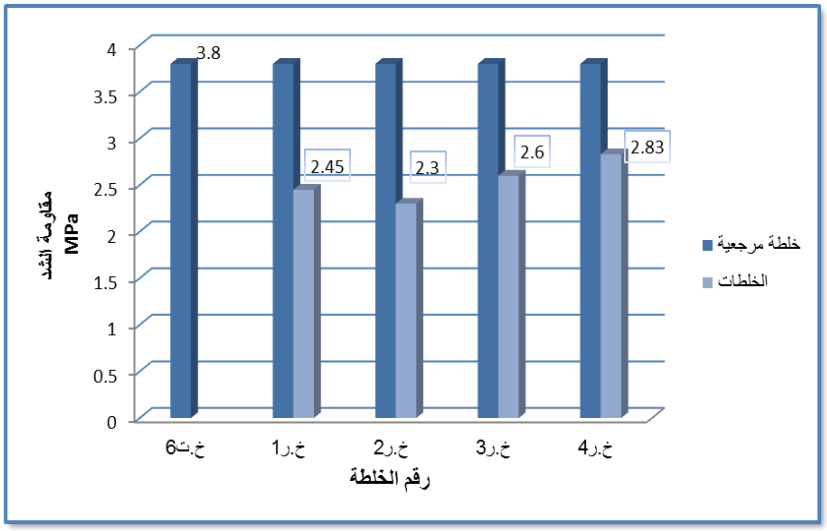


الشكل (26) يوضح نتائج مقاومة الشد.

نسبة الامتصاص: تعتمد نسبة الامتصاص للخرسانة المتصلدة بشكل كبير على نسبة الماء للإسمنت، كما أنه تعتمد أيضاً على محتوى المواد الإسمنتية الرابطة ونوعها. حيث إن نسبة الامتصاص الموصي بها لتنفيذ خرسانة عالية الأداء عند تنفيذ الاختبار طبقاً للمواصفة الأمريكية ASTM C642:2006 [18] تتراوح بين (2-5) % [19] كما مبين بالجدول(10) والشكل(27).

الجدول (10) يوضح نتائج نسبة الامتصاص.

رقم الخلطة	W/C	نسبة الخبث %	نسبة الامتصاص %
خ.ت6	0.42	-	3.80
خ.ر1	0.42	20	2.45
خ.ر2	0.42	30	2.3
خ.ر3	0.42	40	2.60
خ.ر4	0.42	50	2.83



الشكل (27) يوضح نسبة الامتصاص بالمقارنة بالخلطة المرجعية.

الاستنتاجات

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها في هذه الدراسة نستنتج الاتي:

1. للحصول على خرسانة ذاتية الدمك يجب استخدام الملدنات الفائقة (Superplasticizers) حيث استخدم المضاف الكيميائي من شركة سيكا (SIKA) المعروف باسم (ViscoCrete-5930) بنسبة ثابتة 0.9% من وزن الإسمنت، وتم الحصول على خرسانة ذاتية الدمك ذات الخواص المطلوبة من ناحية التجانس والانسيابية وذات مقاومة عالية نتيجة تقليل نسبة الماء.
2. يجب مراعاة استخدام ركام خشن مقاسه الاعتباري الأكبر لا يزيد عن (14 mm) لتفادي حدوث الانفصال الحبيبي التعشيش عند تنفيذ اختبار (J-Ring & L-Box)).
3. للحصول على الانسيابية الجيدة للخرسانة ذاتية الدمك وتجنب حدوث تراكم للخرسانة خلف قضبان التسليح يفضل أن تكون نسبة الركام الناعم للركام الكلي في الخلطة بين (0.45-0.50).
4. عند استخدام خبث الأفران بنسب معينة من وزن الرمل وبديلاً عنه نستنتج الأتي:

i. لوحظ تأثير على خواص الخرسانة اللدنة حيث ظهر ماء نضح في الخلطات وكانت الخلطات ذات لزوجة عالية كلما زادت نسبة الخبث.

ii. لوحظ زيادة في مقاومة الضغط بالمقارنة بالخلطة المرجعية، حيث كلما زادت نسبة الخبث في الخلطة كلما تحصلنا على مقاومة ضغط جيدة، وكذلك زادت مقاومة الشد للخرسانة.

iii. قلت نسبة الامتصاص لنسبة معينة من إضافة خبث الأفران، ولكن عندما زادت نسبة الخبث عن 30% زادت نسبة الامتصاص تدريجياً.

5. استعمال مادة خبث الأفران في الخرسانة يساعد على تحسين البيئة حيث أن انتاجها بصورة كبيرة وتخزينها خارج المنشآت وبكميات تصل إلى مئات الألاف من الأطنان سنوياً يؤدي إلى تلوث البيئة بشكل كبير.
6. استعمال الخبث كبديل جزئي للرمل المستخدم في الخرسانة يعتبر ذات مردود اقتصادي ممتاز نظراً لتوفر مادة الخبث وخلوها من الأملاح الغير مرغوب فيها.
7. إن أفضل نسبة خبث والتي أعطت خواص جيدة في الحالة اللدنة وداخل حدود المواصفة هي 20% كبديل عن الرمل بينما أعطت النسبة 50% كبديل عن الرمل أكبر مقاومة ضغط وشد.
8. بمقارنة نتائج هذه الدراسة بالدراسات السابقة فقد أثبت الخبث تحسين في الخواص المتصلدة للخرسانة من ناحية مقاومة الضغط والشد ونسبة الامتصاص.

التوصيات

من خلال الاستنتاجات التي تم الحصول عليها نوصي بالأتي:

1. تعميم نتائج هذه الدراسة على المراكز الاستشارية والتصميمية لقطاع البناء والتشييد لغرض اخذها بنظر الاعتبار واستخدامها لإنتاج خرسانة محسنة في الموقع الانشائي لما لها من تأثير إيجابي في تحسن بعض خواص الخرسانة.
2. إنشاء وحدة ريادية صغيرة في الشركة الليبية للحديد والصلب (مصراتة) واجبها تكسير وغربلة الخبث الناتج من الأفران بنفس تدرج الرمل المستعمل في الأعمال الانشائية أو حسب متطلبات كل جهة مستفيدة.
3. تشجيع الباحثين للاستمرار في دراسة خواص الخبث الكيميائية والفيزيائية لاستخدامه في مواد البناء المختلفة.
4. دراسة نسب أخرى من إضافة خبث الأفران ومعرفة تأثيرها على الخواص الهندسية للخرسانة ذاتية الدمك.
5. دراسة إضافة خبث الأفران على تأكل الخرسانة والديمومة.

المراجـــع

[1] الشيخ الطاهر أبو القاسم محمد و أخرون (دراسة أثر إضافة خبث الحديد المحلي على بعض خواص الخرسانة) - جامعة السودان للعلوم و التكنولوجيا – 2016.

[2] فيصل كاظم عبد الحسين و أخرون – (تأثير استخدام الخبث المحلي على الامتصاص و مسامية الخرسانة عالية الأداء) – معهد التكنولوجيا بغداد – 2009.

[3] (استخدام خبث أفران الحديد و الصلب كبديل عن الرمل في الخرسانة) – معهد التكنولوجيا بغداد2009.

[4] المواصفة القياسية الأوروبية BS EN 196- 3:1995 لاختبار القوام القياسي و زمن الشك الابتدائي و النهائي للعجينة الإسمنتية.

[5] المواصفة القياسية الليبية رقم 341-3 "طرق الاختبارات الفيزيائية للإسمنت – زمني الشك "، 2005.

[6] المواصفة القياسية الأوروبية BS EN 196-6:1992 لاختبار تعيين نعومة الإسمنت باستخدام منخل رقم 170.

[7] المواصفة القياسية الليبية رقم 341-6 "طرق الاختبارات الفيزيائية للإسمنت – مقاومة الضغط "، 2005.

[8] المواصفة القياسية الليبية رقم 341-4 "طرق الاختبارات الفيزيائية للإسمنت – ثبات الحجم"، 2005.

[9] EFNARC," Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete", February 2002.

[10] المواصفة القياسية الليبية رقم 256 " ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية - طريقة تعيين الوزن النوعي والامتصاص "، 2006.

[11] المواصفة القياسية الليبية رقم 255 " ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية - طريقة تعيين معامل الصدم "، 2006.

[12] المواصفة القياسية الليبية رقم 253 " ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية - طريقة تعيين معامل التهشيم "، 2006.

[13] المواصفة القياسية الأمريكية ASTM C117 – 04 لاختبار تعيين نسبة الطين و المواد الناعمة للركام.

[14] المواصفة القياسية الليبية رقم: 250/82 طريقة تعيين وزن وحدة الحجوم ،" 2006.

[15] المواصفة القياسية الليبية رقم 294، "المياه المستعملة في الخرسانة"، 1988.

[16] كتاب (تكنولوجيا الخرسانة) – للدكتور محمود إمام – 2011.

[17] British Standard Institution, "BS 1881: Testing Concrete, Part 116: Method for determination of compressive strength of concrete cubes", London, 1983.

[18] American Society for Testing and Materials, "ASTM C 642-06: Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete", 2006.

[19] Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; and Panarese, "Design andControl of Concrete Mixtures", 14th edition, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA, 2003.