تأثير استخدام خبث أفران مجموعة جياذ الصناعية على جودة الخرسانة

علي حسين محمد علي^{1*} الطيب عبداللطيف أحمد حبيب¹

¹ قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة والعمارة، جامعة بحري، الخرطوم، السودان.

* Corresponding author: Ali Hussein (e-mail: alibass288@hotmail.com).

Article history: Received 11 March 2020, Received in revised form 4 November 2020, Accepted 11 November 2020

ABSTRACT The need to produce high performance concrete led the researchers to try to exploit the potentialities of natural or artificial materials so as to improve the properties and performance of concrete. Slag is an industrial disposal which considered as a secondary product of pig-iron, these disposal will cause a severe harm to the environment in case of not get rid of it. In this investigation iron furnace slag which is produced at Giad Group - Iron Factory has been used as an alternative of proportion on cement after being processed, since its main oxides are similar to those of cement. In the practical part of our research slag has been added to the concrete mix in two ways, first by using it to replace as cement by weight as a substitutions of cement in different percent [10, 20, 30]% without changing in water-cement ratio [W/C], second by using the slag with the same previous percentage in addition to [15, 25]% to replace cement with reducing in water-cement ratio [W/C], and in addition superplasticizer [SP 901] has been added as percent from cement used in the mixture. The effect of slag was studied on the properties of fresh and hardened concrete including slump test and compressive strength in [7, 14, 28] days were investigated. The results show improvement in all concrete specimens for the added percentage of the slag as replacement materials and the addition of superplasticizer in the production of concrete and improvement in its properties. However, there is a gradual reduction in slump measurements due to slag percent increase in case of the two methods.

مستخلص: إن الحاجة إلى إنتاج خرسانة ذات أداء متميز دفعت الباحثين إلى محاولة إستغلال مواد طبيعية او صناعية لتحسين خواص وأداء الخرسانة. والخبث من المخلفات الصناعية لعملية إنتاج الحديد والذي يتسبب وجوده في مشكلة بيئية لا يمكن التخلص منها عند عدم إستعماله. في هذا البحث تم استخدام خبث أفران صهر الحديد المنتج في مجموعة جياذ الصناعية - مصنع الحديد من أفران القوس الكهربائي بطريقة التبريد البطئ كبديل عن جزء من الأسمنت لكون أكاسيده الرئيسية مشابهة إلي أكاسيد الأسمنت، والذي يعتبر حالياً مادة فائضة وليس هناك جهود في الوقت الحاضر لإستخدامه في الصناعة. وتمت إضافة الخبث إلي الخرسانة بطريقتين؛ الأولى بإحلال الخبث بالنسب [10، 20، 30]% من وزن الأسمنت دون تغيير في نسبة الماء إلي الأسمنت [W/C]، والثانية بإضافة الخبث بنفس النسب المذكورة أعلاه بالإضافة إلي النسب [15، 25]% من وزن الأسمنت مع نقصان نسبة الماء إلي الأسمنت وإضافة الملدن المتفوق [SP 901] بنسبة من وزن الأسمنت في جميع الخلطات. تمت دراسة تأثير الخبث على خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة حيث أجريت إختبارات الهبوط ومقاومة الإنضغاط لعمر [7، 14، 28] يوم، وقد أظهرت نتائج إضافة الخبث بالطريقة الأولى، أن الخرسانة الحاوية على الخبث بنسبة (10%) تحسنت خواصها حيث زادت مقاومة إنضغاطها لعمر (28) يوم بنسبة (13%) وبعدها تبدأ مقاومة الإنضغاط بالإنخفاض بزيادة نسبة الخبث بالمقارنة مع الخلطة المرجعية. وكذلك أظهرت نتائج إضافة الخبث بالطريقة الثانية، أن الخرسانة الحاوية على الخبث بنسبة (15%) تحسنت خواصها حيث زادت مقاومة إنضغاطها لعمر (28) يوم بنسبة (22%) وبعدها تبدأ مقاومة الإنضغاط بالإنخفاض بزيادة نسبة الخبث، إلا أن مقاومة الإنضغاط لجميع خلطات هذه الطريقة بالنسب المختلفة للخبث المضاف أعلى من القيمة المتحصل عليها بواسطة الخلطة المرجعية. أما فيما يختص بإختبار الهبوط فنجد أن الهبوط يقل تدريجياً بزيادة نسبة الخبث المضاف للخلطة الخرسانية في كل من الطريقتين.

الكلمات المفتاحية: الحديد، المخلفات الصناعية، الأسمنت، إحلال الخبث، الخرسانة، الخرسانة المتصلدة، قابلية التشغيل، مقاومة الإنضغاط، والخلطة المرجعية.

يوجد نوعان من المواد الأولية هما:

(1) أكاسيد الحديد المسماة بتراب الحديد والتي هي الهيماتايت (Fe_2O_3) والمغناتايت (Fe_3O_4) والبرايت (FeS_2) وغيرها، حيث يتم إستخلاص الحديد من هذه الأكاسيد بواسطة الفرن النفخ (Blast Furnace) حيث تصل درجة الحرارة (1300-1600) م° [2]، حيث يستخدم فحم الكوك المحتوي على كربون نسبته (85-90)% لغرض توليد الطاقة الحرارية اللازمة للصهر بالإضافة لتكوين أكسيد الكربون (CO) ليقوم بإختزال أكاسيد الحديد والممثلة وفقاً للمعادلات الكيميائية الآتية:

ولخفض درجة حرارة الإنصهار تستخدم كربونات الكالسيوم والمغنسيوم كمادة مصهرة (Flux Stone) والتي تتفكك حرارياً بدرجة حرارة (900-1000) م° مكونة أكسيد الكالسيوم (Lime) والذي يتحد مع الشوائب الأخرى (Al_2O_3 , S, SiO_2) الموجودة في تراب الحديد بدرجة حرارة أعلى من (1300) م° مكوناً ما يعرف بخبث أفران الصهر العالية (Blast Furnace Slag) وهي تكون طبيعية منصهرة فوق منصهر الحديد بسبب كثافتها القليلة بالمقارنة بكثافة الحديد وتتشكل طبقة واقية من الأكسدة والمعادلات الكيميائية أدناه تمثل هذه التفاعلات [5].

خبث أفران الصهر (Blast Furnace Slag)

(2) إستخدام الحديد الخردة (Scrap) كمادة أولية لإستخلاص الحديد والذي يستخلص بطرق عديدة منها:

- الموقد المفتوح (Open Hearth).
- فرن القوس الكهربائي (Electric Arc Furnace).
- قاعدة الأوكسجين (Oxygen Base).
- طريقة دوبلكس (Duplex Method).

1. تمهيد

تعتبر الخرسانة من أكثر المواد الإنشائية التي شملتها البحوث بالإهتمام ولغرض الحصول على خرسانة ذات خواص تتناسب مع متطلبات المنشأ أو الظروف الجوية لابد من إستخدام المضافات. وفي منتصف القرن العشرين بدأ البحث والإهتمام ينصب على ترشيد إستهلاك الطاقة وإستخدام المواد غير المكلفة إقتصادياً في مراحل الإنتاج، وصناعة الخرسانة إحدى هذه الصناعات التي شملها هذا الإهتمام لكون الأسمنت هو المادة الرئيسية فيها. أغلب الدراسات شملت إمكانية تقليل كلفة المواد الأسمنتية بإستعمال مواد قليلة التكلفة ولها خواص أسمنتية، ونتيجة لذلك فقد تم إستعمال رقائق السليكا (Silica Fume) والمواد البوزولانية (Pozzolana) والخبث (Slag)، وقد أدى هذا إلى تقليل كلفة إنتاج الخرسانة وخاصة أن أغلب هذه المواد الجديدة هي نواتج عرضية في الصناعة وتسبب تلوث للبيئة وأعاقة عملية الإنتاج في حالة عدم إستعمالها. وعلى الرغم من أن أول أنواع [أسمنت - خبث] أنتج عام 1862م فإن إستعمال الخبث كمادة أسمنتية تضاف إلى الخرسانة بشكل منفصل قد أعتد في منتصف القرن الماضي وهو الشائع عالمياً وينتج من أفران الصهر العالية [1]، [2].

تقدر كمية الخبث المستخدم مع الأسمنت بحوالي (20 %) من كمية الأسمنت المنتجة في أوروبا [3]. وتختلف طرق إنتاجه ومعالجته حسب المواد الأولية حيث ينتج بواسطة أفران الصهر العالية في كل من كندا وأستراليا ويسمى خبث أفران الصهر العالية (B.F.S)، أو ينتج الخبث بواسطة الأفران القوسية الكهربائية (Furnace Electrical arc) ويسمى خبث الصلب (Steel Slag) [2]. ويعتبر لوريوت (Loriot) عام 1974م [4] أول من إستخدم الخبث مع الأسمنت في إنتاج مونه منه، وقد أخذت الدول المتقدمة المنتجة للخبث على محمل الجد بحث ودراسة وتطوير طرق معالجته حيث تم الإستفادة منه والحصول على خرسانة ذات كلفة إقتصادية مناسبة بالإضافة إلى خواص هندسية جيّدة في مقاومتها للأملاح الكبريتية والكلوريدات. أما محلياً فإن البحوث حول الخبث أخذت طريقها من أجل تغطية كافة خواص الخبث المحلي وتحديد مدى الإستفادة منه.

• هدف الدراسة

كيفية إمكانية الإستفادة من خبث الأفران المحلي كمضاف إلى الخرسانة كبديل عن جزء من الأسمنت في تحسين بعض خواص الخرسانة المتعلقة بمقاومة الإنضغاط وخفض النفاذية مما يحسن الخواص الأخرى لها.

2. أنواع الخبث وطرق إنتاجه

تختلف طرق إنتاج الخبث تبعاً إلى طرق إستخلاص الحديد والتي هي بدورها مختلفه حسب طبيعة المواد الأولية لإستخلاص الحديد حيث

3. الدراسة المختبرية

• المواد الأولية المستخدمة

تم استخدام الأسمنت البورتلاندي الإعتيادي (O.P.C) السوداني المنشأ وقد أجريت الفحوص الكيميائية والفيزيائية وكانت نتائج الفحص مطابقة للمواصفة القياسية السودانية (2011:170) [6]، وكما مبين بالجدولين (III) و (IV).

وكما تم استخدام الركام الناعم [الرمل] وتم فحصه ويوضح الجدول (V) الفحوص الكيميائية والفيزيائية. وكذلك تم استخدام الركام الخشن [الحصى] ذو مقياس أقصى قدره (20) مم وتم فحص الخواص الكيميائية والفيزيائية والجدول (VI) يوضح تلك الفحوص. ولخلط المكونات السابقة الذكر تم استخدام الماء الصالح للشرب لجميع الخلطات الخرسانية.

وأيضاً تم استخدام الخبث المحلي السوداني كناتج عرضي من أفران صهر المعادن الفولاذية من مجموعة جياذ الصناعية - مصنع الحديد، حيث تم جلبه على شكل كتل بأحجام كبيرة ومن ثم تكسيرها إلى أحجام أصغر وطحنها باستخدام طاحونة ذات كرات فولاذية لغرض الحصول على تدرج مشابه إلى حد كبير لتدرج الأسمنت وبدلاً عنه في الخلطات الخرسانية. وتم تحليل الخبث لمعرفة تركيبه الكيميائي بمعهد البحوث والإستشارات الصناعية [أنظر الجدول (I)].

وبالإضافة إلى ذلك تم استخدام الملدن المتفوق (SP 901) سيرا بلاست لتقليل نسبة الماء في الخلطة الخرسانية والذي يقلل من فقدان الحاصل في قابلية التشغيل عند إضافة الخبث.

الجدول (III): الخواص الكيميائية للأسمنت.

نوع الأوكسيد	المحتوى (%)	حدود المواصفة القياسية السودانية
CaO	61.94	-
SiO ₂	18.08	-
Al ₂ O ₃	5.58	-
Fe ₂ O ₃	2.43	-
MgO	2.43	الحد الأعلى (6%)
SO ₃	2.93	الحد الأعلى (3.5%)
K ₂ O	0.99	-
Na ₂ O	0.18	-
L.O.I	4.4	الحد الأعلى (3%)

الجدول (IV): الخواص الفيزيائية للأسمنت.

نوع الفحص	النتائج	حدود المواصفة القياسية السودانية
فيكات - زمن الشك الابتدائي (دقيقة)	133 دقيقة	الحد الأدنى
فيكات - زمن الشك النهائي (دقيقة)	205 دقيقة	الحد الأعلى
مقاومة الإنضغاط (نيوتن/مم ²)	18.7	الحد الأدنى (10)
بعمر [2 يوم]	32	الحد الأدنى (22)
بعمر [28 يوم]	0.35	الحد الأعلى (0.8 %)
الثبات		

إن الأسس الكيميائية لجميع الطرق أعلاه هي واحده وتتمثل في أكسدة الشوائب الموجودة بالحديد الخردة [القديم] ويستخدم أكسيد الكالسيوم (Quick Lime) كمادة مصهرة (Flux Stone) والتي هي بدورها تتحد مع الشوائب مكونة ما يعرف بخبث الصلب (Steel Slag) والذي يكون منصهر فوق منصهر الحديد [2]، والمعادلات الكيميائية الآتية تمثل هذه التفاعلات.

• التركيب الكيميائي للخبث:

إن التركيب الكيميائي للخبث متغير بمدى كبير اعتماداً على طبيعته المواد الأولية مثل تراب الحديد والفحم، وعلى طريقة تصنيع الحديد حيث أن الأكاسيد الرئيسة المكونة للخبث هي (السيليكا، الألومينا، المغنيسيا) والتي تأتي من خامات الحديد أما أكسيد الكالسيوم والمغنسيوم فمصدرها كربونات الكالسيوم والمغنسيوم التي تضاف كمادة مساعدة مصهرة. أما الأكاسيد الثانوية فهي أكسيد الحديد والكبريت معبر عنه (SO₃)، والجدول (I) يبين التركيب الكيميائي لخبث أفران الصهر في بعض الدول ويلاحظ أن مجموع أكاسيد (السيليكا، الألومينا، الجير) تكون ما مجموعه نسبة (80%) من المحتوى الكلي للأكاسيد في الخبث [1].

الجدول (I): التركيب الكيميائي لخبث أفران الصهر في بعض الدول.

المصدر	CaO %	SiO %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	Fe ₂ O ₃ %
بريطانيا	36 - 43	28 - 36	12 - 22	4 - 11	0.3 - 0.7
روسيا	29 - 48	34 - 35	5 - 23	0 - 18	0.3 - 2.4
فرنسا	40 - 48	29 - 36	13 - 19	2 - 8	0.5 - 3.8
ألمانيا	38 - 46	29 - 35	10 - 16	4 - 12	0.2 - 1.0
جنوب أفريقيا	28 - 39	28 - 38	10 - 22	7 - 21	0.4 - 3.0
السودان (جياذ)	23.06	32.51	18.82	1.71	22.31

أما الجدول (II) فإنه يبين التركيب الكيميائي لخبث الصلب (Steel Slag) ويلاحظ فيه بأن نسبة أكسيد الحديد بين (12 - 20)% بسبب مصدر المواد الأولية وهي مخلفات الحديد الخردة (Scrap). الجدول (II): التركيب الكيميائي لخبث الصلب.

CaO %	SiO %	Al ₂ O ₃ %	MgO %	Fe ₂ O ₃ %	SO ₃ %
40 - 50	10 - 20	3 - 4	2 - 9	12 - 20	0.2 - 0.9

ولعمر (7، 14، 28) يوم، مع أخذ المتوسط الحسابي لثلاثة نماذج لكل خلطة وكانت النتائج كما مبيّن بالجدولين (IX) و (X).

4. نتائج الدراسة والتحليل

الجدول (IX) والشكلان (1) و (2) توضح نتائج فحصي الهبوط ومقاومة الإنضغاط للخرسانة المرجعية والخرسانة الحاوية على الخبث بالطريقة الأولى. وأيضاً الجدول (X) والشكلان (3) و (4) توضح نتائج فحصي الهبوط ومقاومة الإنضغاط للخرسانة المرجعية والخرسانة الحاوية على الخبث بالطريقة الثانية.

أظهرت نتائج إضافة الخبث بالطريقة الأولى، أن الخرسانة الحاوية على الخبث بنسبة (10%) أدت إلى تحسين خواص الخرسانة حيث زادت مقاومة إنضغاطها لعمر (28) يوم بنسبة (13%) وبعدها تبدأ مقاومة الإنضغاط بالإنخفاض بزيادة نسبة الخبث بالمقارنة مع الخلطة المرجعية [Mix0] وذلك لأن الخبث المستخدم ذو نعومة عالية ويعمل عند إضافته إلى الخرسانة كمادة بوزولانية ذات خواص أسمنتية. أما فيما يختص بفحص الهبوط فنجد أن الهبوط يقل تدريجياً بزيادة نسبة الخبث المضاف للخلطة الخرسانية [أنظر الشكل (2)].

الجدول (IX): نتائج إحلال الخبث بالطريقة الأولى.

Mix No.	Age (Days)	(W/C) %	Slag %	Slump (mm)	Mean f_{cu} (MPa)
Mix0	7	0.50	-	100	25.6
Mix1			10	80	29.25
Mix2			20	65	23.7
Mix3			30	53	15.8
Mix0	14	0.50	-	100	30.25
Mix1			10	80	31.8
Mix2			20	65	28.9
Mix3			30	53	17.8
Mix0	28	0.50	-	100	32
Mix1			10	80	36.4
Mix2			20	65	31.17
Mix3			30	53	22.5

الجدول (X): نتائج إحلال الخبث بالطريقة الثانية.

Mix No.	Age (Days)	(W/C) %	Slag %	SP %	Slump (mm)	Mean f_{cu} (MPa)
Mix0	7	0.50	-	-	100	25.6
Mix1*		0.45	10	1	85	33.5
Mix2*		0.40	15	1.2	73	33.6
Mix3*		0.40	20	1.2	68	33.1
Mix4*		0.38	25	1.5	60	32.7
Mix5*		0.38	30	1.5	45	31.8

الجدول (V): خواص الرمل.

الخاصية	النتائج
الوزن النوعي	2.65
الإمتصاص	0.6 %
الكثافة الكتلية	1,692 (كجم/م ³)
SO ₃	0.28 %

الجدول (VI): خواص الحصى.

الخاصية	النتائج
الوزن النوعي	2.90
الإمتصاص	0.8 %
الكثافة الكتلية	1,610 (كجم/م ³)
SO ₃	0.04 %

• الخلطات الخرسانية

الجدول (VII) يمثل الطريقة الأولى لإضافة الخبث بنسب مختلفة من وزن الأسمنت وبديلاً عنه ونسبة ماء إلى الأسمنت (0.50)، وكذلك المكونات الأساسية للخلطة المرجعية.

الجدول (VII): المكونات الأساسية لخلطات الطريقة الأولى.

Mix No.	Cement Kg/m ³	Gravel Kg/m ³	Sand Kg/m ³	Water Kg/m ³	Slag %
Mix0#	380	980	820	190	-
Mix1	342	980	820	190	10
Mix2	304	980	820	190	20
Mix3	266	980	820	190	30

ملحوظة: # تمثل الخلطة المرجعية دون إحلال الخبث للأسمنت.

والجدول (VIII) يمثل الطريقة الثانية لإضافة الخبث بنسب مختلفة من وزن الأسمنت وبديلاً عنه ونسبة ماء إلى الأسمنت متغيرة وإضافة الملدن المتفوق (SP 901)، وكذلك المكونات الأساسية للخلطة المرجعية.

الجدول (VIII): المكونات الأساسية لخلطات الطريقة الثانية.

Mix No.	Cement Kg/m ³	Gravel Kg/m ³	Sand Kg/m ³	(W/C) %	Water Kg/m ³	Slag %	SP %
Mix0	380	980	820	0.50	190	-	-
Mix1*	342	980	820	0.45	171	10	1
Mix2*	323	980	820	0.40	152	15	1.2
Mix3*	304	980	820	0.40	152	20	1.2
Mix4*	285	980	820	0.38	145	25	1.5
Mix5*	266	980	820	0.38	145	30	1.5

• الفحوص المختبرية

(1) فحص الهبوط

تم إجراء فحص الهبوط للخرسانة الطرية لجميع الخلطات الخرسانية التي تم إنتاجها في الدراسة.

(2) فحص مقاومة الإنضغاط

تم إجراء فحص مقاومة الإنضغاط بموجب المواصفة البريطانية (B.S 1881 - Part 4) باستخدام مكعبات (15×15×15) سم

الشكل 3: نتائج فحص مقاومة الإنضغاط لخلطات الطريقة الثانية.

الشكل 4: نتائج فحص الهبوط لخلطات الطريقة الثانية.

5. الخلاصة

من خلال نتائج الفحوصات التي تم الحصول عليها ولجميع الخلطات الخرسانية المنتجة بالطريقتين يمكن إستخلاص الآتي:

1- إن إضافة الخبث بنسب مختلفة بالطريقة الأولى تعمل على زيادة مقاومة الإنضغاط حتى نسبة (10%) من وزن الأسمنت [أنظر الشكل (5)].

2- إن إضافة الخبث بنسب مختلفة بالطريقة الثانية تعمل على زيادة مقاومة الإنضغاط حتى نسبة (15%) من وزن الأسمنت [أنظر الشكل (6)]. مع وضع في الإعتبار بأن مقاومة الإنضغاط لجميع الخلطات الخرسانية المنتجة بهذه الطريقة أعلى من الخلطة المرجعية.

الشكل 5: نسبة إحلال الخبث المثلى (10%) لخلطات الطريقة الأولى.

Mix0	14	0.50	-	-	100	29
Mix1*		0.45	10	1	85	35.4
Mix2*		0.40	15	1.2	73	36.8
Mix3*		0.40	20	1.2	68	35.1
Mix4*		0.38	25	1.5	60	33.9
Mix5*		0.38	30	1.5	45	32.8
Mix0	28	0.50	-	-	100	32
Mix1*		0.45	10	1	85	38.2
Mix2*		0.40	15	1.2	73	39.1
Mix3*		0.40	20	1.2	68	37.2
Mix4*		0.38	25	1.5	60	35.6
Mix5*		0.38	30	1.5	45	33.7

وكذلك أظهرت نتائج إضافة الخبث بالطريقة الثانية، أن الخرسانة الحاوية على الخبث بنسبة (15%) أدت إلى تحسين خواص الخرسانة حيث زادت مقاومة إنضغاطها لعمر (28) يوم بنسبة (22%) وبعدها تبدأ مقاومة الإنضغاط بالإنخفاض بزيادة نسبة الخبث، إلا أن مقاومة الإنضغاط لجميع خلطات هذه الطريقة بالنسب المختلفة للخبث المضاف أعلى من القيمة المتحصل عليها بواسطة الخلطة المرجعية. وذلك بسبب ملء الفراغات بطريقة فيزيائية مما يؤدي إلى زيادة كثافة المنطقة البينية (Transition zone) وهذه الطريقة تعمل على غلق الفجوات الكبيرة التي كانت تشغلها جزيئات هيدروكسيد الكالسيوم $[Ca(OH)_2]$ داخل عجينة الأسمنت [7]. أما فيما يختص بفحص الهبوط فنجد أن الهبوط يقل تدريجياً بزيادة نسبة الخبث المضاف للخلطة الخرسانية [أنظر الشكل (4)].

الشكل 1: نتائج فحص مقاومة الإنضغاط لخلطات الطريقة الأولى.

الشكل 2: نتائج فحص الهبوط لخلطات الطريقة الأولى.

[6] الهيئة السودانية للمواصفات والمقاييس، لجنة مواد البناء والتشييد، م ق س د (2011:170)، "طرق الفحص والاختبار للأسمنت - الجزء الأول، الجزء الثاني والجزء الثالث"، السودان، الخرطوم - 2011م.

[7] ACI Committee Report 226. IR - 87, "Ground Granulated - Blast Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete", ACI Materials Journal, July - August 1987.

Dr. Ali Hussein Mohamed Ali

University of Bahri, College of Engineering & Architecture.
Department of Civil Engineering.
Date of birth: 1971 - Elobeid (N. K. state)
Ph.D in Structural Engineering - Karary University [2011].
M.Sc in Structural Engineering - SUST [2001].
B.Sc in Structural Engineering - SUST [1996].
Major field of study: Civil Engineering [Structures].

الشكل 6: نسبة إحلال الخبث المثلى (15%) لخلطات الطريقة الثانية.

- 3- انخفاض قابلية التشغيل لجميع الخلطات الخرسانية مع إحلال الخبث كجزء من الأسمنت، حيث أظهرت نتائج فحص الهبوط أن إحلال الخبث يعطي قابلية تشغيل أقل من الخلطة المرجعية.
- 4- إستبدال جزء من الأسمنت بالخبث وذلك من أجل تقليل التكلفة وتقليل معدل إنبعاث الحرارة وخاصة في الخلطات ذات المحتوى العالي من الأسمنت.
- 5- ملائمة استخدام الخبث كمكون في إنتاج الخرسانة مع إضافة الملدنات المتفوقة وهذا يتفق مع ما توصلت إليه الدراسة.

6. التوصيات

- من خلال نتائج الدراسة والإطلاع على الدراسات والبحوث القليلة عن الخبث المحلي نستخلص التوصيات الآتية:
- 1- دراسة في تطوير طريقة المعالجة للخبث كناتج عرضي في الصناعات الحديدية وإمكانية الإستفادة منه في صناعة الأسمنت المقاوم وخاصة إنه يحتوي على نسبة عالية من أكاسيد الحديد.
 - 2- دراسة تأثير استخدام الخبث المحلي كركام على الإمتصاص ومسامية الخرسانة عالية الأداء.
 - 3- مواصلة البحث عن الخبث كبديل للأسمنت في الخلطات الخرسانية مع الأخذ في الإعتبار دراسة نماذج أكثر لكي تكون الدراسة ذات أساس علمي واضح.
 - 4- على الباحثين الجدد دراسة خواص وصفات الخرسانة الأخرى التي أوصت المواصفات السودانية بإتباعها ومطابقتها لكي نخرج بإستنتاجات موثوقة.

المراجع والمصادر

- [1] ACI Committee Report 226. IR - 87, "Ground Granulated Blast - Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete", ACI Materials Journal, July - August, PP 327- 342 , (1987).
- [2] فيصل كاظم عبدالحسين، إنتصار قبوري جمعة، طاهر جاسم، "تأثير إستخدام الخبث المحلي على الإمتصاص ومسامية الخرسانة عالية الأداء"، ورقة علمية، بغداد، تاريخ النشر 2009/04/20م.
- [3] Lea, F.M., "The Chemistry of Cement And Concrete", Third edition Edward Arnold, London ,PP ,454 - 590, 557 - 587, (1970).
- [4] Mather B., "Laboratory test of Portland Blast Furnace Slag Cement", ACI Journal, Proc.V.45 . No. 3 Sept. PP. 05 - 232, (1957).
- [5] Lee. A. R.. "Blast Furnace and Steel Slag, Production, Properties And Uses", Edward Arnold Publish Ltd., London, (1974).