تأثير استخدام خبث الأفران الحرارية العالية على مقاومة الخرسانة في الأجواء الحارة

احمد جميل إبراهيم[1]

DOI: https://doi.org/10.54172/mjsc.v25i1.778

الملخـــــص

يتضمن البحث دراسة تأثير الأجواء الحارة على مقاومة الانضغاط والانثناء للخرسانة الحاويـــة على نسب مئوية مختلفة من خبث الأفران الحرارية العالية والتي تم استبدالها جزئيـــا مـــن وزن الاسمنـــت المستعمل في الخلطات الخرسانية. بينت النتائج بان استخدام خبث الأفران الحرارية العالية بحدود 40% من وزن الاسمنت في الخرسانة المصبوبة والمعالجة في الأجواء الحارة يعطي مقاومة انضغاط وانثناء بعمر 90 يوم مساوية للخرسانة التي تحتوي على سمنت بورتلاندي عادي فقط مصبوبة ومعالجة بنفس الظروف.

[1] قسم الهندسة المدنية – كلية الهندسة – جامعة عمر المختار ، البيضاء – ليبيا .

©. المؤلف (المؤلفون) هذا المقال المجاني يتم الوصول إليه من خلال رخصة المشاع الإبداعي (CC BY-NC 4.0)

المقدمـــــة

الأجـــواء الحـــارة في دول الصـــحراء الأفريقية والخليج العـــربي واكثـــر دول الشـــرق الأوسط تكـــون لأغلـــب أيـــام اشـــهر الســـنة (CIRIA,2002) (Fookes, et al,1987) (General Statistical Organization,1981).

خلط ونقل وصب ومعالجة الخرسانة في الأجـــواء الحارة لها تأثيرات سلبية على خـــواص الخرســـانة الطرية يمكن إيجازها فيما يلي كما بينتها العديد من البحـــوث (ACI Committee 305R,1999) (Shalon,1978) (Venuat,1974) (Ish-Ravina,1975) (Shalom,and Bentur,1971) (Rixom,and Mailvaganam,1999) (Neville,1995)

- زيادة كمية ماء الخلط للحصول علـــى القوام المطلوب.
- زيادة سرعة فقدان الهطول.
- زيادة الانكماش اللدن.
- زيادة سرعة الشك والتصلب.
- احتمالية تكون المفاصل الباردة.

وهذا بدوره يؤدي إلى تقليل ديمومة ومقاومة الخرسانة وزيادة التشققات والشـــروخ والزحـــف ومسامية الخرسانة كما أكدته الكثير من البحوث (1951) (Shalon,1980) (CIRIA,2002 Shalon, 1971) (Krieger1958)(Price, . (Neville,1995) (Ravina, and

استعمال المخلفات الصناعية كخبـــث الأفران الحرارية العالية والذي يضـــاف كـــإحلال جزئي من وزن الإسمنت المستخدم يقلل من الكلفة بالاضافة إلى فوائده التقنية الأخرى مثـــل تقليـــل حـــرارة التميؤ(الاماهـــة) (Bamforth,1980) (Popovics,1979) وزيـــادة زمـــن الشـــك (Hongan, and Mesuel,1980) (Popovics,1979) ، زيادة قوام الخرســـانة أو بتعبيرأخر زيادة قابلية التشغيل للخلطة الخرســـانية (Malhotra,1980) (Mehta,1984)، زيـــادة مقاومة الخرسانة للأملاح الكبريتية والكلوريديـــة وتقليل التمدد

الناتج من التفاعل القلوي لبعض أنواع الركـــام المســـتخدم في الخلطـــات الخرســـانية (Neville ,1995) (Popovics,1979) (Malhotra,1980) (Mehta,1984) . وهذا بدوره يقلل التأثير السلبي للأجواء الحارة على قسم من خواص الخرسانة.

هناك قليل جدا من البحوث التي تتطرق إلى استخدام خبث الأفران الحرارية العالية المطحون والذي ينتج كمخلفات من معامل تصنيع الحديـــد كمادة مضافة للخلطات الخرســـانية في الأجـــواء الحارة لذلك قمنا بإجراء هذا البحث لدراسة تأثير استخدام خبث الأفران بإحلاله بنسب مئوية مختلفة من وزن الاسمنت المستخدم في الخلطات الخرسانية في الأجواء الحارة وبيان تأثيره على مقاومة انضغاط وانشاء الخرسانة.

المواد وطرق البحث

المواد المستعملة:

الركام:

استعمل ركام ذو مقاس أقصى 16 مم وتدرجه الذي تم اختباره بموجب مواصفات الهيئة الدولية للتوحيد القياسي (ISO 6274 -1982) موضح في الجدول (1) .

الجدول(1): تدرج الركام المستعمل في الخلطات الخرسانية.

مقاس الغربال (مم)	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	0.063
النسب التراكمية العابرة(%)	100	96	78.6	55.7	40.5	27.6	22.4	10	1.2	0.3

الأسمنت :

استعمل الأسمنت البورتلاندي الاعتيادي . فحصت الخواص الفيزيائية والكيميائية للاسمنت بموجب المواصفة البريطانية (BS 4450)، والنتائج موضحة في الجداول (2) و (3) و (4) حيث يتضح مطابقة هذا الاسمنت للمواصفة البريطانية (BS 12-1996) والمواصفة الليبية (LQS-340-1997).

الجدول (2): الخواص الفيزيائية للاسمنت البورتلاندي.

الخاصية	النتيجة	المواصفة البريطانية (BS 12-1996)	المواصفة الليبية (LQS/340/1997)
الكثافة النسبية	3.10		
النعومة (المساحة السطحية النوعية) بطريقة Blaine(سم^2/جم)	3486	2250 <	2500 <
زمن التجمد بطريقة Vicat(دقيقة)			
التجمد الابتدائي	160	45 <	45 <
التجمد النهائي	240	600 >	600 >
مقاومة الانضغاط (نيوتن /مم^2)			
عمر 1 يوم	9.4		
عمر3 يوم	28	23 <	21 <
عمر 7 يوم	45.5		
عمر 28 يوم	57.1	41 <	39 <

الجدول(3): التحليل الكيميائي للاسمنت البورتلاندي.

الاوكسيد	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	L.O.I.	I.R.
الكمية %	63.99	20.66	6.53	3.15	1.54	1.47	0.76	0.25	0.27	0.93	0.12
المواصفة BS12-1996					**3.0 >**	**5.0 >**				**3.0 >**	**1.5 >**
المواصفة LQS/340/1997					**3.0 >**	**5.0 >**				**3.0 >**	**1.5 >**

حيث L.O.I. = الفقدان بالحرق ، I.R. = المخلفات غير الذائبة

الجدول (4): المركبات الرئيسة للاسمنت البورتلاندي.

المركبات الرئيسية	سيليكات ثلاثي الكالسيوم (C_3S)	سيليكات ثنائي الكالسيوم (C_2S)	الومينات ثلاثي الكالسيوم (C_3A)	الومينات حديد رباعي الكالسيوم (C_4AF)
الكمية (%)	44.6	26.97	12.69	17.56

1-3- خبث الأفران الحرارية العالية :

استعمل خبث الأفران الحرارية العالية بعد طحنه كمادة مضافة بإحلاله بنسب وزنية (10%،20 % و40%) من وزن الأسمنت البورتلاندي . علما إن الكثافة النسبية لخبث الأفران الحرارية 2.90 والنعومة (المساحة السطحية النوعية) بطريقة (Blaine) كانت 3494 سم^2/جم، ونتائج التحليل الكيميائي الذي تم بموجب المواصفة البريطانية (BS 4450) موضح في الجدول (5).

الجدول (5): التحليل الكيميائي لخبث الأفران الحرارية العالية.

الاوكسيد	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	Mn_2O_3	FeO
الكمية%	41.08	38.32	7.35	0.23	1.14	9.02	0.54	0.61	0.28	0.67	1.08

1-4- الماء:

استعمل الماء الصالح للشرب الاعتيادي مع كافة الخلطات الخرسانية.

2- أعمال الخرسانة :

2-1- الخلطات المستخدمة :

استعملت أربعة خلطات خرسانية مكوناتها موضحة بالجدول (6) حيث الخلطة B هي الخلطة المرجعية والمصنعة من سمنت بورتلاندي وخالية من الخبث المضاف إما الخلطات (S3, 1 S2, S) تكون حاوية على خبث الأفران

الحرارية العالي بإحلالـــه بنســـبة 10%، 20% و40% من وزن الاسمنت على التوالي. صـــممت مكونات الخلطات الأربعة المســـتخدمة في هـــذا البحث بموجب طريقة Ujhelyi بحيث يكـــون حجم عجينة الاسمنت في الخلطات اكثرمن حـــد التشبع ($V_p - V_{po}$) بحـــدود 50-65 لتـــر /م^3 (Ujhelyi,1985) .

حيث $\mathbf{V_p}$ = حجم عجينة الاسمنـــت في الخلطـــة الخرسانية (لتر/ م^3)،($V_p = V_c + V_w$)

$\mathbf{V_c}$ ، $\mathbf{V_w}$ = حجم الاسمنت والماء على التوالي(لتر/ م^3) .

$\mathbf{V_{po}}$ = حجم عجينة الاسمنت الكافي للحصـــول على خرسانة مشبعة(لتر /م^3) (حجم عجينـــة الاسمنت الكافي لملء الفجوات البينية بين حبيبـــات الركام وتغليف سطوح حبيبات الركام المرصوص لقوام محدد للخرسانة).

في الخلطة المرجعية B محتوى الاسمنت 350 كجم/م^3 و محتوى الماء 186 كجم/م^3 لم يتم تغيره لكي يكون كافي للحصول على خرسانة ذات قوام لـــدن (Ujhelyi,1988&1989) (معامل الرص تقريبا 0.86-0.95) أي يكـــون الهطول للخرسانة بحدود(7- 10) سم. كـــذلك نسبة الماء/ المادة الرابطة كانت ثابتة وهي 0.531 لكافة الخلطات ويقصد بالمادة الرابطة هو مجمـــوع كميتي الاسمنت و خبث الأفران الحرارية العـــالي، لكن نسبة الماء / الاسمنت فقط قد عدلت وكمـــا موضح في الجدول (6).

جدول(6) : الخلطات الخرسانية المستعملة في البحث

نوع الخلطة	مكونات الخلطة (كجم /م^3)				نسبة الركام / المادة الرابطة	نسبة الماء /الاسمنت	محتوى عجينة الاسمنت (لتر /م^3)
	الاسمنت	الخبث	الركام	الماء			
B	350	0	1851	186	5.29	0.531	299
S1	315	35	1848	186	5.28	0.590	300
S2	280	70	1848	186	5.27	0.664	300
S3	210	140	1843	186	5.27	0.886	302

تم عمل مجموعتين لكل من هذه الخلطات المجموعة الأولى (S3-20, S2-20, S1-20, B-20) تم تخزين المـــواد وخلطهـــا وصـــب الخرســـانة ومعالجتها في الأجواء الاعتيادية للمختـــبر درجـــة الحرارة (20±3) م°، الرطوبة النســـبية حـــوالي (20- 35)% ، إما المجموعة الثانية فهي (S3-42 ,S2-42, S1-42 , B-42) حيث تم تخزين المواد وخلطها وصـــب الخرســـانة ومعالجتها لمدة سبعة أيام في غرفة خاصة صـــممت بحيث تكون درجة الحرارة داخلها ثابتة(42 ±1) م° والرطوبة النسبية 20%.

2-2- عملية الخلط :

تم تخزين مواد كل خلطة قبل عملية الخلط بما لا يقل عن 24 ساعة من اجل اكتساب مواد الخلط درجة الحرارة المحددة للخلطة سواء في الأجواء الاعتيادية (20 م°) أو داخل الغرفة الخاصة بالنسبة لنماذج الأجواء الحارة (42 م°)، ثم تخلط المواد بواسطة خلاطة قلابة متنقلة سعة 70 لتر وتتم عملية الخلط بوضع نصف كمية الركام أولا ثم يضاف الاسمنت وبعدها يضاف النصف الثاني من كمية الركام بعدها يتم الخلط للمواد وهي جافة لمدة نصف دقيقة ثم يضاف الماء ويستمر الخلط لمدة دقيقتين بعد ذلك ينقل الخليط ليتم صبه في قوالب بأبعاد (7*7*25) سم خلال فترة زمنية لا تتعدى 30 دقيقة.

2-3- صب ومعالجة النماذج :

تم صب النماذج ودمكها باستخدام منضدة هزازة ، بعد ذلك تم تسوية السطح الخارجي للقوالب الخرسانية ومن ثم تغطيتها بقطعة من النايلون لمنع تبخر الماء وتركها لمدة 24 ساعة، بعدها تم فتح القوالب وغمرت النماذج الخرسانية داخل أحواض معدنية مملوءة بالماء لمدة ستة أيام في الأجواء الاعتيادية (20 م°) بالنسبة للمجموعة الأولى أو داخل الغرفة الخاصة التي درجة حرارتها 42 م° بالنسبة لنماذج الأجواء الحارة أي المجموعة الثانية. بعد ذلك تنقل النماذج كافة بعد إخراجها من الماء لخزنها في غرفة المعالجة الاعتيادية (درجة الحرارة 20±2 م° والرطوبة النسبية بحدود 65%).

2- 4- فحص النماذج الخرسانية :

تم إجراء فحص مقاومة الانضغاط والانثناء للمواشير الخرسانية بعمر 7، 28 و 90 يوم . بعد إجراء فحص مقاومة الانثناء يتم فحص نصفي الموشور لتعين مقاومة الانضغاط باستعمال قطعتين من الحديد قياس 7*7سم توضع بين صفحتي التحميل لماكنة فحص الانضغاط وسطح النموذج العلوي والسفلي . لكل خلطة تم عمل 9 مواشير حيث تم فحص 3 مواشير لكل عمر .

النتائج والمناقشة

نتائج البحث موضحة في الجدول(7) . كل نتيجة لمقاومة الانثناء بالأعمار المختلفة هي المعدل الحسابي لنتائج ثلاث فحوصات كما وان كل نتيجة لمقاومة الانضغاط مدرجة في الجدول نفسه هي المعدل الحسابي لنتائج ستة فحوصات.

الجدول (7) : نتائج الفحوصات

نوع الخلطة	مقاومة الانضغاط (نيوتن/مم^2)			مقاومة الانثناء (نيوتن/مم^2)		
	7 يوم	28 يوم	90 يوم	7 يوم	28 يوم	90 يوم
B-20	30	46.8	42.8	6.1	6.2	7.3
B-42	36.1	40.4	36.7	4.0	5.0	6.0
S1-20	23.6	39.8	36.1	4.4	6.0	6.8
S1-42	28.8	41.0	36.9	4.3	5.4	6.3
S2-20	23.5	39.4	36.8	4.3	5.5	6.2
S2-42	27.9	37.4	37.0	4.2	4.5	6.3
S3-20	14.1	26.8	27.4	2.9	4.7	5.9
S3-42	27.0	35.9	37.9	4.1	3.7	6.0

تطور مقاومة الانضغاط والانثناء مع العمر للخلطة المرجعية B والخلطات الأخرى المخلوطة والمصبوبة والمعالجة بالأجواء الحارة (42 م°) مقارنة بالخلطات المخلوطة والمصبوبة والمعالجة بالأجواء الاعتيادية (20 م°) موضحة في الأشكال (1) و(2) ومن هذه الإشكال والجدول رقم 7 نلاحظ ما يلي :

1- إن الأجواء الحارة (42 م°) تزيد من مقاومة الانضغاط والانثناء المبكرة بعمر 7 أيام لجميع الخلطات مقارنة بالأجواء الاعتيادية (20 م°) وهذا بسبب تسريع التفاعلات الكيميائية لعملية التميؤ بإرتفاع درجة الحرارة.

2- إن الأجواء الحارة تقلل من مقاومة الانضغاط والانثناء بعمر 28 و90 يوم للخلطة المرجعية B مقارنة بالأجواء الاعتيادية ويعود تفسير ذلك (Neville ,1995) إلى إن التميؤ الابتدائي السريع يؤدي إلى تكوين نواتج ذات بنية فيزيائية ضعيفة ، ومن المحتمل إن تكون أكثر مسامية ، ولهذا فان نسبة كبيرة من المسامات ستبقى دائما غير مملوءة بنواتج التميؤ مما يقلل من نسبة الجل / الفراغ وبالتالي يؤدي إلى تقليل المقاومة. وهناك تفسير أخر لذلك يشير إلى إن الزيادة في معدل سرعة التميؤ الابتدائي في درجات الحرارة العالي يؤدي إلى إبطاء التميؤ اللاحق وبالتالي سيكون توزيع نواتج التميؤ غير منتظم ضمن عجينة الاسمنت ويؤثر بصورة عكسية على المقاومة بسبب كون نسبة الجل / الفراغ في الفراغات البينية اقل مما لوكان التميؤ مستمرا بمعدل طبيعي ولهذا ستتكون مناطق ضعف محلية داخل عجينة الاسمنت والتي سوف تؤدي إلى انخفاض المقاومة الكلية.

3- مقاومة الانضغاط في الأعمار المتأخرة بعمر 90 يوم للخرسانة الحاوية لحد 40 % خبث الأفران الحرارية العالية من وزن الاسمنت فيها والمصبوبة والمعالجة في الأجواء الحارة تكون تقريبا مساوية لمقاومة الانضغاط للخرسانة المصنعة من سمنت بورتلاندي غير حاوي على أي مضافات ومصبوبة ومعالجة بنفس الطريقة بينما مقاومة الانضغاط في الاعمار المبكرة بعمر 7 ايام تكون اقل.

4- مقاومة الأنثناء بعمر 7 و90 يوم للخرسانة الحاوية لحد 40% خبث الأفران الحرارية العالية والمصبوبة والمعالجة في الأجواء الحارة تكون مساوية أو أكثر قليلا من مقاومة الانثناء للخرسانة غير الحاوية على أي مضاف والمصبوبة والمعالجة بنفس الطريقة.

5- مقاومة الانثناء بعمر 28 يوم للخرسانة الحاوية على 20%، 40% خبث الأفران الحرارية العالية على التوالي من وزن الاسمنت فيها والمصبوبة والمعالجة في الأجواء الحارة تكون اقل من مقاومة الانثناء للخرسانة غير الحاوية على أي مضاف والمصبوبة والمعالجة بنفس الطريقة.

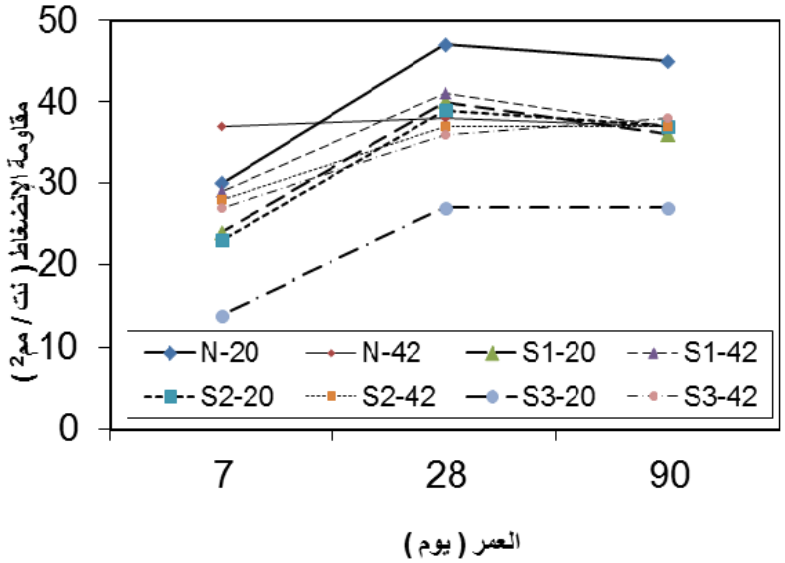
من الأشكال (3) و(4) والتي تبين العلاقة بين مقاومة الانضغاط والانثناء بعمر 7 ،28 و90 يوم من جهة والنسبة المئوية لخبث الأفران الحرارية العالي الذي تم استبداله من وزن الاسمنت البورتلاندي للخرسانة المخلوطة والمصبوبة والمعالجة في الأجواء الحارة مقارنة بالأجواء الاعتيادية يمكن أن نلاحظ انه من المفيد استخدام خبث الأفران الحرارية العالي ولحد نسبة 40% من وزن الاسمنت لأنه يقلل من تأثير الأجواء الحارة على مقاومة الانضغاط والانثناء للخرسانة ويمكن أن نحصل على مقاومة انضغاط وانثناء مساوية للخرسانة غير الحاوية على أي مادة مضاف ومخلوطة ومصبوبة ومعالجة بنفس الظروف بالأعمار المتأخرة أي بعمر 90 يوم اخذين بنظر الاعتبار الفوائد التقنية الأخرى لاستعمال خبث الأفران في الخرسانة المصنعة في الأجواء الأجواء الحارة كزيادة زمن الشك والتصلب وتقليل حرارة التميؤ وزيادة متانة ومقاومة الخرسانة لهجوم الأملاح الكبريتية والكلوريدية وتقليل عملية الكربنة والتزهر للخرسانة بالإضافة إلى تقليل الكلفة.

وبناءا على ماسبق نستنتج مايلي:

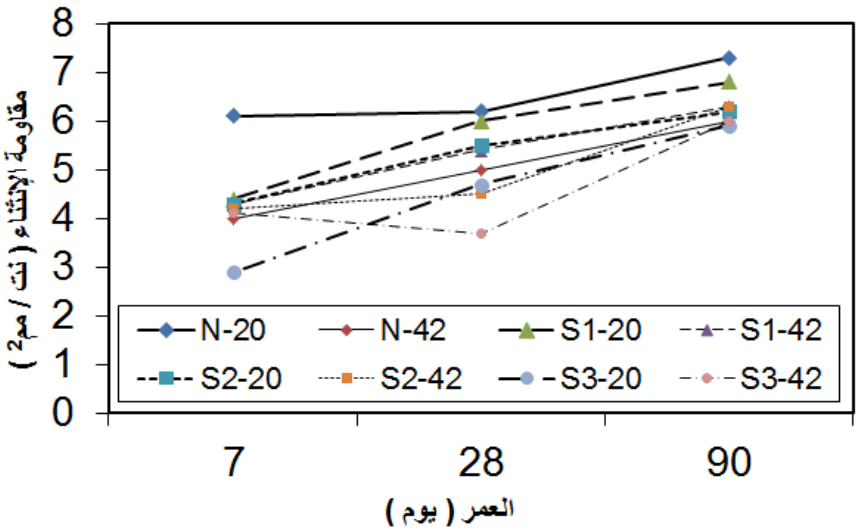
1- مقاومة الانضغاط والانثناء للخرسانة الحاوية على خبث الأفران الحرارية العالية بعمر 90 يوم تكون مساوية أو أكثر قليلا من مقاومة الانضغاط والانثناء للخرسانة غير الحاوية على أي مضافات.

مقاومة الانضغاط بعمر 7 أيام للخرسانة الحاوية على خبث الأفران الحرارية العالية يكون اقل من مقاومة الانضغاط للخرسانة غير الحاوية على أي

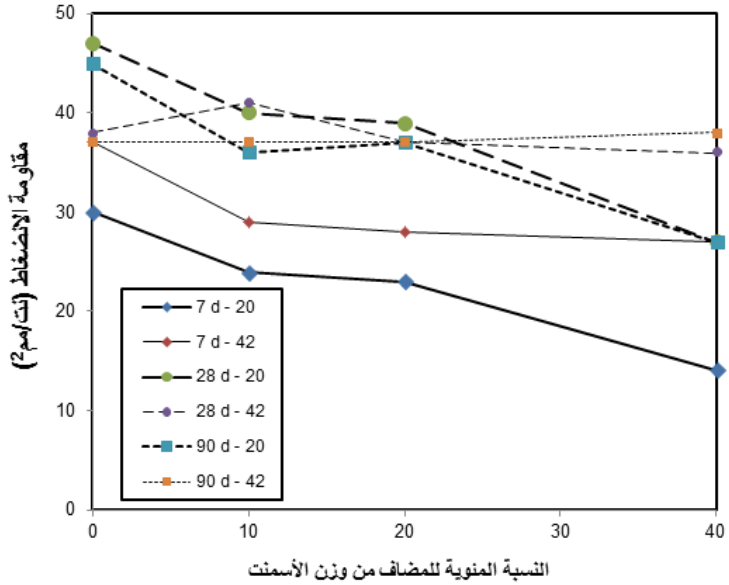
مضاف لكن مقاومة الانثناء بنفس العمر تكـــون مساوية أو أكثر قليلا.



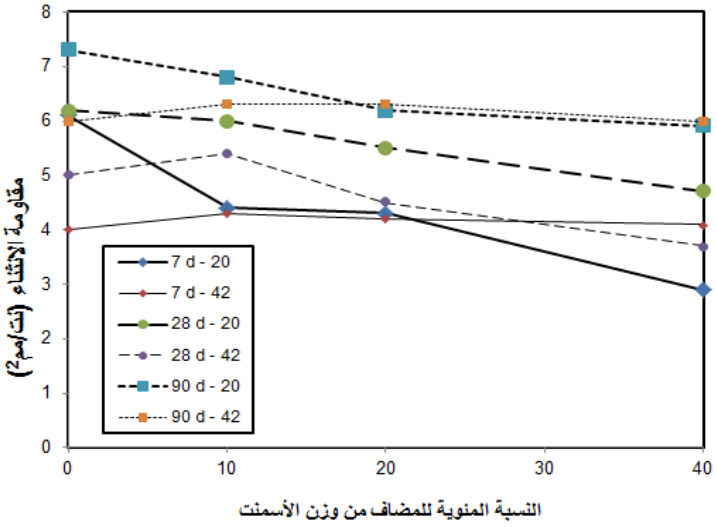
الشكل (1):- العلاقة بين مقاومة الانضغاط والعمر



الشكل (2):- العلاقة بين مقاومة الانثناء والعمر



الشكل (3):- تأثير النسبة المئوية لخبث الأفران على مقاومة الانضغاط



الشكل (4):- تأثير النسبة المئوية لخبث الأفران على مقاومة الانثناء

The effect of using blast furnace slag on strength of concrete in hot weather

Ahmad J. Ibrahim *

Abstract

The paper investigates the effect of hot weather condition on the flexural and compressive strength of concrete, containing different percentages of blast furnace slag as partial replacement of cement used in concrete mixes. The results indicate that concrete containing blast furnace slag as a partial replacement of cement (up to 40%) cast and curded in hot weather have about the same compressive and flexural strength at 90 days, as those made with ordinary Portland cement alone cast and curded in the same condition.

* Civil Engineering Department, College of Engineering, Omar AL- Mukhtar University, El-Beida-Libya.

المراجـــــع

ACI Committee 305R, 1999: Hot weather concreting, 20 pp.

Bamforth, P.B., 1980 : In-situ measurement of the effect of partial cement replacement using fly or granulated blast furnace slag on performance of concrete , Proceeding, Institute of civil engineering, Vol. 96, No. 2, pp. 777-800.

British standards institution, 1978: (BS4450-1978), Methods of testing cement, London.

British standards institution, 1996: (BS12-1996), Specification for Portland cement, London.

Central Statistical Organization, 1981: Republic of Iraq, Ministry of Planning,
mean monthly temperature and relative humidity.

CIRIA, 2002: Guide to the construction of reinforced concrete in the Arabian Peninsula, CIRIA Report C557, Construction Industry Research and Information Association, London, 214 pp.

Fookes, P.G., Barr J.M. and Simm, J.D., 1987: Concrete and characteristics of
Component material in different climate environments, proceeding of
Conference on improving concrete in Marine Environments, Institute
for international Research, Hong Kong,pp.7.1-7.38.

Hongan, F.J. and Mesuel, J.W., 1980 : Evaluation for durability and strength of a ground granulated blast furnace slag, Cement and Aggregate, Vol.3, No.1, pp.40-52.

International standards organization, 1982 :(ISO 6274-1982), Standard method for sieve analysis of aggregates.

Ish- Shalom, M. and Bentur, A., 1971 : Some observation on the effect of initial temperature on hydration and strength of Portland cements, Proc. International RILEM Symposium on Concrete and Reinforced concrete in Hot countries. Haifa. pp. 259-273.

Klieger, P., 1958: Effect of mixing and curing on concrete strength. ACI Journal Vol. 54, No.12, June, pp. 1063-1081.

Libyan quality standards, 1997: (LQS/557/1997), Specification for Portland cement.

Malhotra, V.M., 1980: Progress in Concrete Technology. Mines and Resources. Canada, Otta-

wa.

Mehta, P.K., 1984: Concrete Admixtures Hand Book. Noyes Pub. . New Jersey, pp. 303-336. (Ed. by Ramachandran).

Neville, A.M., 1995: Properties of concrete, Longman, Essex.

Popovics, S. 1979: Concrete making materials; McGraw-Hill, New York.

Price, W. H., 1951: Factor influencing concrete strength, ACI Journal Proc. Vol. 47, No.6, Feb. pp. 417-432.

Ravina, D., and Shalom, R., 1971: The effect of elevated temperature on strength of portland cement, ACI Special Publication No. 25. pp. 275-289.

Ravina, D., 1975: Retmpering of prolonged mixed concrete with admixtures in hot weather, ACI Journal, Vol. 72, No.6, June, pp. 219-295.

Rixom, R., and Mailvaganam, N., 1999: Chemical admixture for concrete, 3rd Edition, E & FN Spon, London.

Shalon, R., 1978: Report on behaviour of concreting in hot weather countries, Part 1, Materials and structures, Vol. 11, No.62, March- April, pp. 128-131.

Shalon, R., 1980: Report on behaviour of concreting in hot weather countries, Part 2, Materials and Structures, Vol. 13, No.75, May- June, pp. 255-264.

Ujhelyi, J., 1985: Betontechnologia I, Vizepitisi segedletek (Technology of Concrete, Handbook for water engineering,. VIZDOK, Budapest).

Ujhelyi, J., 1988: Abetonstrukture optimalizalasa, I., ETI Jelentes, (Optimalization of concrete structure I, ETI Res. Rep.), Budapest.

Ujhelyi, J., 1989: A beton osszetetelenek tervezese es nyomoszilardasaganak becslese (Design of concrete mixture and estimation of its compressive Strength II) Epitoanyag, Budapest. June.

Venuat, M., 1974: Effect of elevated temperature and strength on hydration of cement, 6th International Symposium on the Chemistry of Cement, Moscow, September.