

تأثير درجات الحرارة العالية في مقاومة الربط للخرسانة المسلحة مقصودة الهواء

يمان حذيفة شاكر احمد

مهندس

جامعة الموصل / كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية

الخلاصة

اشتمل البحث على دراسة تأثير درجات الحرارة العالية في مقاومة الربط للخرسانة المسلحة ومعرفة تأثير إضافة الهواء المقصود إلى الخرسانة ودراسة خواصها في الحالة الطرية والتمتصية ولمستويات حرارية مختلفة (20, 200, 400, 600 °C) ومقارنة هذه الخواص مع الخرسانة الاعتيادية التي لا تحتوي على أية مضافات، ومن أجل تقييم أداء هذه الخرسانة ولتحديد صلاحيتها للاستخدام أو هدمها يجب معرفة تأثير الحرارة العالية والتغيرات التي تحدث فيها عند تعرضها للحريق. شمل البحث دراسة عملية لبعض الخصائص الميكانيكية التي تضمنت مقاومة الانضغاط، والشد الانشطاري، ومعامل المرونة، وعلاقة (الإجهاد - الانفعال) ومقاومة الربط بين التسليح والخرسانة مقصودة الهواء، ومدى تأثير الحرارة العالية فيها، ومقارنة النتائج مع الخرسانة الاعتيادية تحت تأثير درجات الحرارة المختلفة، تضمن البحث إضافة مضاف الهواء المقصود (Sika_Aer) إلى الخرسانة الاعتيادية بنسب (0.5, 1.0, 1.5 %) من وزن السمنت ودراسة تأثير ذلك في إجهاد الربط بين الخرسانة وحديد التسليح بتأثير قوى الشد لحين الفشل. أظهرت نتائج فحص مقاومة الربط بين حديد التسليح والخرسانة أن الفشل في النموذج الخرساني يعتمد على قطر القضيب المستخدم (10, 12, 16mm) وعلى درجة الحرارة التي تعرض إليها النموذج بعد (28) يوم من المعالجة بالماء، كما يعتمد على نسبة المادة المضافة (Sika_Aer) للمزجة الخرسانية.

Effect of high temperature on Bond Strength in entrained air Reinforced Concrete

Dr. Abdul Hakeem Hamed Ahmed

Professor

Civil Engrg. Dept. / Mosul Univ.

Yaman Huthaifa Shaker

Engineer

Abstract

This research aims to study the effect of temperature on bond strength in air entrained concrete and to find the effect of adding entrained air on the properties of the fresh and hardened Concrete under the influence of high temperatures of different levels (20, 200, 400, 600 °C). These properties are compared with those for normal concrete . In case of concrete structures exposed to an unexpected fire, changes are found in the properties of the concrete constituents, These changes are evaluated to assess the performance of these concrete structures and determine whether structures are safe or not .The research work includes an experimental study of the mechanical properties of the hardened concrete , and the effect of high temperature and entrained air admixture on concrete behavior including, compressive strength, splitting tensile strength, stress – strain relationship (modulus of elasticity) and bond strength between reinforcement and concrete. The work includes four different percentage of air entrained admixture (Sika_Aer) (0, 0.5, 1.0, 1.5 %) by weight of cement. The effect of these variables on the bond stress between concrete and reinforcement as a result of tensile forces using pullout test are investigated. The Results show that the failure for reinforced concrete bond strength depends on diameter of the steel bar used (Ø10 , Ø 12 and Ø 16 mm) , heating temperature for specimens after (28) days of water curing and also depends on the amount of admixture in concrete (Sika-Aer).

Keyword: Concrete, Bond Strength, Entrained air, High temperature

قبل: 29-1-2012

أستلم: 21-11-2011

1. المقدمة

استخدمت الخرسانة كعازل جيد نسبياً لانتقال الحرارة لهذا يكون لها دور رئيسي في حماية حديد التسليح والمحافظة على متانة الأبنية الخرسانية المسلحة لفترة كافية في حال نشوب حريق ، قد توسعت متطلبات التصميم الإنشائي للأمان ضد الحريق من خلال الفحوصات وتهيئة النماذج الرياضية للخرسانة عند تعرضها للاحتراق ، إذ أجريت دراسات وبحوث عديدة على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة عند تعرضها للحرارة العالية ، كما شهدت المنشآت الخرسانية تقدماً ملحوظاً باستخدام مضافات خاصة تضاف في أثناء مزج الخرسانة كالخرسانة مقصودة الهواء، إذ أن لها خاصية الحصول على قابلية تشغيل عالية، لهذا شاع استخدامها في المباني ذات الارتفاع العالي والفضاءات الواسعة خفيفة الوزن، إلا أن هذه المنشآت قد تتعرض للحريق مسبباً لها أحياناً الدمار أو الإقصاء عن الخدمة لأن الحرارة لها التأثير الكبير في تقليل ديمومة المنشآت ومقاومتها [1]، لهذا فإن عامل الأمان والخدمة للمنشآت الخرسانية لا يتحقق إلا بالمعرفة الشاملة للخصائص الأساسية للخرسانة المكونة لها تحت تأثير مختلف الظروف، وأقساها هو التعرض للحرارة العالية والتي تقود إلى الحريق – أحياناً - .

كانت مقاومة أعضاء المنشأ للحريق تحدد فقط بالفحص العملي أما في السنوات الأخيرة فقد تم استخدام طرائق عددية (Numerical Methods) لتصميم مقاومة الحريق وحسابه لمختلف أنواع المنشآت إذ نالت هذه الطرائق الاستحسان الكبير لكونها أقل كلفة ووقت، ومن أجل استخدام هذه البرامج يجب تحديد خصائص المواد الإنشائية تحت تأثير الحرارة العالية، ومن هذه الخصائص مقاومة الانضغاط، والشد، ومقاومة الربط بين الخرسانة وحديد التسليح في الخرسانة المسلحة [2].

مما تقدم في أعلاه تم اقتراح هذا البحث لدراسة تأثير درجات الحرارة العالية في مقاومة الربط بين حديد التسليح والخرسانة مقصودة الهواء ومعرفة نوع الفشل تحت إجهادات الربط.

2. البرنامج العملي

1-2: المواد المستخدمة

تم استخدام المواد المتوفرة محلياً لإنتاج المزجة الخرسانية من السمنت ، الماء، الركام الناعم ، والركام الخشن، مضافات الهواء المقصود وحديد التسليح، وذلك بعد مقارنتها مع المواصفات وبالشكل الآتي :

1-1-2: السمنت المستخدم سمنت عراقي محلي الصنع مطابق للمواصفات العراقية (IQS, No.5, 1984) [3] والمواصفات الأمريكية (ASTM C150-97) [4]، منتج في معمل سمنت بادوش.

2-1-2: الماء المستخدم ماء الشرب الاعتيادي

3-1-2: الرمل المستخدم هو رمل نهري (River Sand) من منطقة كنهش مطابق للمواصفة البريطانية (B.S 882:1992) [5]، نوعه أقرب إلى الخشن مطابق إلى (Zone 2) في المواصفات العراقية (جدول رقم 4) [3,5,6] وبمعامل نعومة (3.06).

4-1-2: الحصى المستخدم هو حصى نهري ذو نهايات مدورة مطابق للمواصفة البريطانية (BS 882:1992) [5] يسمى محلياً بالبحص، المقاس الأقصى للركام (M.A.S) (10 mm).

5-1-2: حديد التسليح المستخدم تركي المنشأ بأقطار مختلفة (Ø10, Ø12, Ø16 mm)، محلزن (deformed bar)، مطابق للمواصفة (ASTM A615-05a) [7]، والجدول (1) يوضح نتائج فحص قضبان التسليح.

الجدول (1): نتائج فحص قضبان حديد التسليح

diameter	Yield		Ultimate	
	Load (kN)	Stress (MPa)	Load (kN)	Strength (MPa)
Ø16 mm	97.19	483.38	128.77	640.45
Ø12 mm	65.41	578.35	78.08	690.38
Ø10 mm	44.45	565.955	53.41	680.03



الشكل (1): الجهاز المستخدم في التجربة لحساب المحتوى الهوائي للخرسانة الطرية

6-1-2: استخدمت المادة المضافة سيكا (Sika-Aer) التي تؤدي إلى إضافة الهواء المقصود للخرسانة، إذ أنها تعمل على تحسين قابلية التشغيل للمزيج وهذا يؤدي إلى زيادة سيولة وهطول وقيمة المحتوى الهوائي للخرسانة [8] ، وتم قياس محتوى الهواء بموجب المواصفات الأمريكية (ASTM C231-97 , C260-00 , C233-00) [9,10,11] ، والشكل (1) يوضح الجهاز المستخدم في التجربة .

2-2: الخرسانة الطرية

1-2-2: الخلطة الخرسانية (نسب المزج):

تم اختيار نسب المواد في المزجة الخرسانية لمقاومة انضغاط بحدود (35 MPa) وهطول قليل بحدود (30-60 mm) ومقاس أقصى للركام (10 mm)، وتم تصميم المزجة حسب الطريقة البريطانية (D.O.E)[12]، وكانت النسب الوزنية للمزجة الخرسانية (0.4 / 2.0 / 1.65 : 1)، وكانت كمية السمنت المستخدمة (465 kg/m^3)، وتم صب المزجة في قوالب اسطوانية بأبعاد (150 x 300 mm) لنماذج فحوصات مقاومة الانضغاط ومعامل المرونة ومقاومة الربط للتسليح مع الخرسانة [13,15,16,17]، كما استخدمت قوالب اسطوانية بأبعاد (100 x 200 mm) لفحوصات مقاومة الشد الانشطاري للخرسانة [14]. وتمت إضافة مضاف الهواء المقصود إلى هذه المزجة بنسب عدة (0.5, 1.0, 1.5 %) من وزن السمنت، أعطت هذه النسب من المضاف نقصاً مقبولاً في مقاومة الانضغاط وقابلية تشغيل عالية جداً، ويوضح الجدول (2) نسب المادة المضافة للمزجة الخرسانية.

الجدول (2) : نسب المزجات الخرسانية

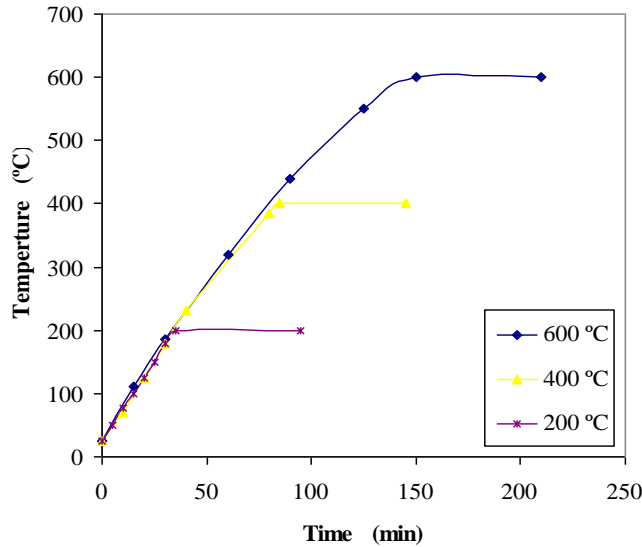
رقم المزجة	المزجات الخرسانية	النسب الوزنية للمزج ماء/ حصى: رمل: سمنت	نسبة مضاف الهواء % من وزن الإسمنت
M1	مزجة اعتيادية	1 : 1.65 : 2.0 / 0.4	0
M2	مقصودة الهواء 0.5 % سيكا	1 : 1.65 : 2.0 / 0.4	0.5
M3	مقصودة الهواء 1.0 % سيكا	1 : 1.65 : 2.0 / 0.4	1.0
M4	مقصودة الهواء 1.5 % سيكا	1 : 1.65 : 2.0 / 0.4	1.5

2-2-2: صب النماذج الخرسانية وطريقة المعالجة:

تم صب ورس النماذج الخرسانية الاسطوانية بأبعاد (150 * 300mm) بالطريقة اليدوية على ثلاث طبقات كل طبقة 25 ضربة بقضيب قطر (16 mm)، كما تم رس النماذج الأسطوانية بأبعاد (100*200mm) باستخدام المنضدة الهزاة التي تبلغ قوتها (3000) هزة في الدقيقة [18]، وبعد مضي (24) ساعة من صب النماذج الخرسانية فتحت القوالب وتمت المعالجة في أحواض الماء بصورة مستمرة لمدة (27) يوم ليتم تركها في جو المختبر قبل تسخينها بعمر (28) يوم من تاريخ الصب وبدرجة حرارة ($20 \pm 2^\circ \text{C}$)، استخدم (3) نماذج لكل فحص وبمستويات حرارة (20, 200, 400, 600 $^\circ \text{C}$)، لهذا كان عدد النماذج الخرسانية الكلي المطلوبة لإجراء دراسة المقارنة (288 نموذجاً).

3-2: تسخين النماذج الخرسانية إلى درجات الحرارة العالية وتبريدها

استعمل فرن كهربائي ذو حجرة واسعة مهواة تصل درجة حرارته إلى (600°C)، تم إدخال النماذج المراد تسخينها قبل تشغيل الفرن ولحين الحصول على درجة الحرارة المطلوبة يستمر عندها التسخين لمدة ساعة، وتم وزن النماذج قبل وبعد التسخين، بعدها تتم فحوصات الخرسانة المتصلبة والتي تتم بعد (29) يوم من عمر النموذج، والشكل (2) يوضح آلية التسخين المعتمدة في البحث عملياً.



الشكل (2): آلية التسخين المعتمدة في البحث

3. مناقشة النتائج وتحليلها

1-3: فحوصات الخرسانة الطرية:

1-1-3: قابلية التشغيل: تمت دراسة هذه الخاصية عن طريق فحص الهطول وقياس المحتوى الهوائي للمزجات الخرسانية، ويوضح الجدول (3) هطول ونسبة الهواء للمزجات الخرسانية.

الجدول (3): مقدار الهطول للمزجات الخرسانية ونسب الهواء داخلها .

نسبة المزيج الخرساني		1 : 1.65 : 2.0 / 0.4	
المزجات الخرسانية	مقدار الهطول (mm)	نسبة الهواء داخل المزجة الخرسانية (%)	
المزجة الاعتيادية	5 ± 65	2.0	
المزجة مقصودة الهواء بنسبة % 0.5 سيكا	5 ± 115	4.25	
المزجة مقصودة الهواء بنسبة % 1.0 سيكا	5 ± 140	5.5	
المزجة مقصودة الهواء بنسبة % 1.5 سيكا	5 ± 180	6.5	

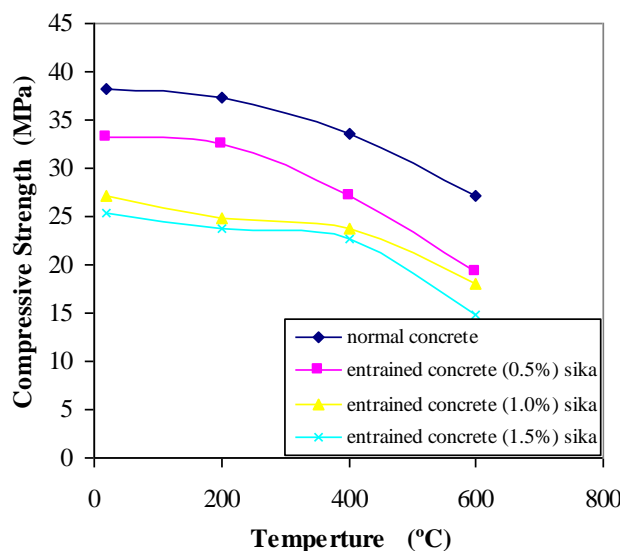
2-1-3: وقت التماسك الابتدائي : تم قياس وقت التماسك الابتدائي لعجينة السمنت وذلك باستعمال جهاز فايكت [19] ، وقد تم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (4) وبالشكل الآتي :
إن إجراء فحوصات وقت التماسك النهائي يحتاج الى ساعات طويلة تعبر الوقت المحدد للعمل داخل المختبر ، لذلك تم احتساب وقت التماسك النهائي للسمنت الاعتيادي وحسب والذي يبلغ (300 دقيقة) ، إذ تتصلب العجينة السمنتية ويُمنع اختراق الإبرة خلالها .

الجدول (4): وقت التماسك الابتدائي للعجينة الإسمنتية بمختلف أنواعها

وقت التماسك الابتدائي للعجينة الإسمنتية بمختلف أنواعها	
عجينة الاسمنت	وقت التماسك الابتدائي (min)
المزجة الاعتيادية	90
المزجة مقصودة الهواء بنسبة % 0.5 سيكا	85
المزجة مقصودة الهواء بنسبة % 1.0 سيكا	90
المزجة مقصودة الهواء بنسبة % 1.5 سيكا	120

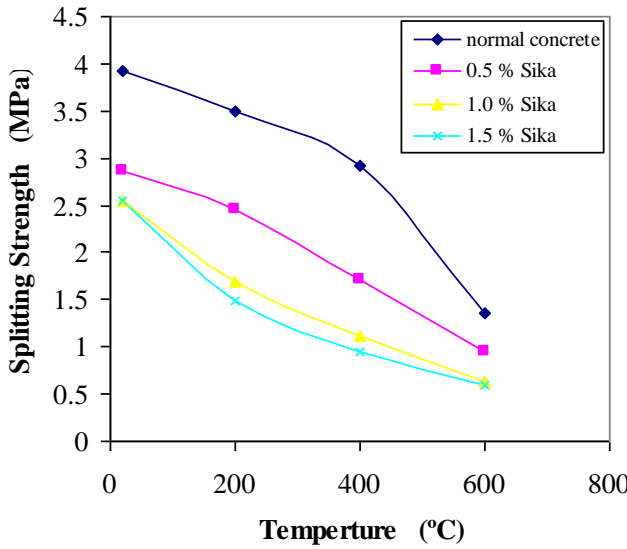
2-3: فحوصات الخرسانة المتصلبة :

1-2-3: مقاومة الانضغاط: نتائج فحص مقاومة الانضغاط عند درجة الحرارة المختلفة للمزجات الخرسانية جميعاً موضحة في الشكل (3).

**الشكل (3): مقاومة انضغاط المزجات الخرسانية تحت تأثير درجات الحرارة العالية**

يبين الشكل (3) أن مقاومة انضغاط الخرسانة الاعتيادية (38.29 MPa) انخفضت بنسبة (13.4, 29.3, 33.6 %) بعد إضافة مضاف الهواء المقصود بنسب (0.5, 1.0, 1.5%) على التوالي من وزن السمنت، لتصبح (33.2, 27.1, 25.4 MPa) على التوالي، وهذا الانخفاض ينسب إلى زيادة المحتوى الهوائي داخل المزيج الخرساني، وقد أثر الهواء المقصود بشكل سلبي في المقاومة، علماً انه لم يكن هناك أي تغيير لنسب مكونات مزيج الخرسانة الاعتيادية كنسب الركام والسمنت أو الماء بعد إضافة المضاف. فعند التسخين إلى درجة حرارة (200 °C) لوحظ أن المقاومة المتبقية للمزجات الخرسانية كانت متقاربة وأن الفرق طفيف عند المقارنة مع المقاومة الأولية عند درجة حرارة (20 °C)، وبعد تسخين النماذج بدرجة حرارة (400 °C) و(600 °C) ازداد النقصان في المقاومة بصورة كبيرة نسبياً وكانت نسبة احتفاظ الخرسانة الاعتيادية للمقاومة أكبر من المزجات

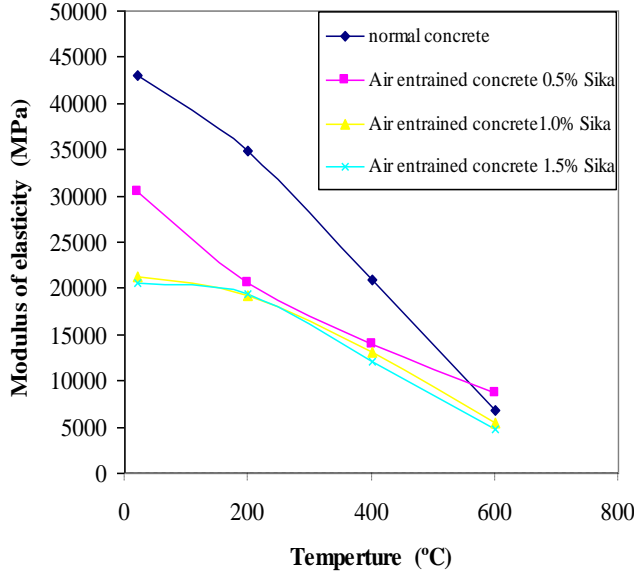
أحمد: تأثير درجات الحرارة العالية في مقاومة الربط للخرسانة المسلحة مقصودة الهواء



الشكل (4): مقاومة الشد الانشطاري للمزجات الخرسانية تحت تأثير درجات الحرارة العالية

يبين الشكل (4) أن مقاومة الشد الانشطاري للخرسانة الاعتيادية (3.924MPa) تناقصت عن قيمتها الأصلية بنسبة (27, 35, 35.3%) بعد إضافة مضاف الهواء المقصود لتصبح (2.864, 2.55, 2.54 MPa) على التوالي للنسب (0.5, 1.0, 1.5%) على التوالي، إن هذا النقصان الحاصل يعود للأسباب نفسها التي أدت إلى نقصان مقاومة الانضغاط والتي تم ذكرها في فقرة سابقة، كما أن جميع المزجات تسلك السلوك نفسه بارتفاع درجات الحرارة إذ تتناقص المقاومة بارتفاع درجات الحرارة.

3-2-3: معامل المرونة: يعتمد على مقاومة الخرسانة ويتأثر بنسب الركام وصلابته، وعمر الخرسانة، وظروف الفحص، ونسب المزج ونوع السمنت [12,22]، عند تعرض الخرسانة إلى مستويات عالية من درجات الحرارة ينخفض معامل المرونة، وكما مبينة في الشكل (5).



الشكل (5): معامل المرونة للمزجات الخرسانية تحت تأثير درجات الحرارة العالية

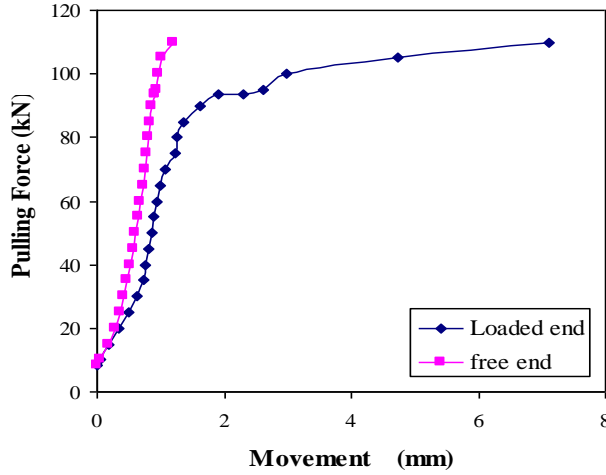
يبين الشكل (5) أن قيمة معامل المرونة للخرسانة الاعتيادية (42987MPa) تناقصت بنسبة (52.09, 50.35, 29.25%) بعد إضافة مضاف الهواء المقصود بنسب (0.5, 1.0, 1.5%) على التوالي من وزن السمنت عند درجة الحرارة (20 °C)، لتصبح على التوالي (30412, 21341, 20596 MPa) وهذا الانخفاض ينسب إلى زيادة المحتوى الهوائي داخل المزيج الخرساني الذي أثر بشكل سلبي في معامل المرونة، وأن تأثير نسبة المضاف في معامل المرونة يظهر أن نسبة الانخفاض أقل عند نسب الإضافة (1.0, 1.5%).

4-2-3: مقاومة الربط بين حديد التسليح والخرسانة: وهي من العوامل التصميمية التي تحدد مقدار طول التداخل في حديد التسليح، وهي تعتمد على قطر

القضيب المستخدم ومقاومة الانضغاط ومقاومة الشد للخرسانة، وقد تم دراسة تأثير نسبة المادة المضافة التي تم إضافتها للخرسانة وتأثير ارتفاع درجات الحرارة التي يتعرض لها النموذج في مقاومة الربط وهناك عوامل أخرى مثل معدل تسليط حمل بطريقة السحب وحجم النموذج ونسب المزج وغيرها وقد عُدت ثابتة، وأعطت العديد من المدونات منها الأمريكية طريقة لحساب مقاومة الربط [16,17]، غير أن تعرض الخرسانة إلى مستويات عالية من درجات الحرارة يؤدي إلى انخفاض مقاومة الربط للنموذج مما يؤدي إلى فشله بسرعة.

الجدول (5) : الحمل ، الإزاحة ، الإجهاد والانفعال القصوى للمزجات الخرسانية كافة ، وللدرجات الحرارية وللأقطار المستخدمة كافة لحديد التسليح

Temperature (°C)	Diameter (mm)	Mixtures	Max. Load (kN)	Max. lower (mm)	Max. upper (mm)	subtract (mm)	Max. Strain (mm/mm)	Max. Stress (MPa)	
20 °C	Ø16 mm	Normal	110	7.1	1.2	5.9	0.0196	7.295	
		0.5% Sika	85.5	1.22	1.05	0.17	0.000566	5.67	
		1 % Sika	60.5	0.92	0.76	0.16	0.00053	4.012	
	Ø12 mm	Normal	90	2.24	0.53	1.71	0.0057	5.97	
		0.5% Sika	77.5	10.37	0.72	9.65	0.0321	6.852	
		1 % Sika	72	9.2	1.22	7.98	0.0266	6.366	
	Ø10 mm	Normal	61	2	1.6	0.4	0.00133	5.393	
		0.5% Sika	73	9	0.83	8.17	0.0272	6.454	
		1 % Sika	52	7	0.45	6.55	0.0218	5.517	
	200 °C	Ø16 mm	Normal	49.5	5.87	1.46	4.41	0.0147	5.252
			0.5% Sika	41.5	2.18	1.72	0.46	0.00153	4.403
			1 % Sika	51	6	1.4	4.6	0.0153	5.411
Ø12 mm		Normal	123	13.5	0.76	12.74	0.04246	8.156	
		0.5% Sika	57.5	1.2	0.86	0.34	0.00113	3.813	
		1 % Sika	51	0.84	0.68	0.16	0.000533	3.382	
Ø10 mm		Normal	50	1.1	0.4	0.7	0.00233	3.316	
		0.5% Sika	75	8.17	0.46	7.71	0.0257	6.631	
		1 % Sika	56	1.87	1.46	0.41	0.00136	4.951	
400 °C		Ø16 mm	Normal	51.5	1.2	0.78	0.42	0.0014	4.553
			0.5% Sika	60	1.66	0.83	0.83	0.00276	5.305
			1 % Sika	52	10.24	0.4	9.84	0.0328	5.517
	Ø12 mm	Normal	45.5	6	2.2	3.8	0.0126	4.827	
		0.5% Sika	41.5	1.38	1.14	0.24	0.0008	4.403	
		1 % Sika	47.5	2.5	1.3	1.2	0.004	5.04	
	Ø10 mm	Normal	115	11.64	0.75	10.89	0.0363	7.626	
		0.5% Sika	55	1.3	1.09	0.21	0.0007	3.647	
		1 % Sika	60	1.1	0.7	0.4	0.00133	3.98	
	600 °C	Ø16 mm	Normal	65	1.2	0.69	0.51	0.0017	4.31
			0.5% Sika	75	7.24	0.4	6.84	0.0228	6.631
			1 % Sika	65	3.98	2.03	1.95	0.0065	5.747
Ø12 mm		Normal	57	1.72	0.8	0.92	0.00306	5.04	
		0.5% Sika	67.5	4	1.7	2.3	0.00766	5.97	
		1 % Sika	52	11	0.44	10.56	0.0352	5.517	
Ø10 mm		Normal	51.5	5.6	0.9	4.7	0.01566	5.411	
		0.5% Sika	48	3	0.85	2.15	0.00716	5.093	
		1 % Sika	47.5	4	1.5	2.5	0.00833	5.04	
600 °C		Ø16 mm	Normal	90	0.83	0.7	0.13	0.000433	5.968
			0.5% Sika	40	1.6	1.16	0.44	0.00146	2.652
			1 % Sika	46	1.11	0.82	0.29	0.000966	3.05
	Ø12 mm	Normal	37.5	1.34	0.85	0.49	0.00163	2.487	
		0.5% Sika	74	3.4	0.47	2.93	0.00976	6.543	
		1 % Sika	35.5	1.33	0.95	0.38	0.00126	3.139	
	Ø10 mm	Normal	41	1.62	0.9	0.72	0.0024	3.625	
		0.5% Sika	42	1.4	0.95	0.45	0.0015	3.713	
		1 % Sika	51.5	12	0.54	11.46	0.0382	5.464	
	600 °C	Ø10 mm	Normal	25	2.38	2.1	0.28	0.000933	2.652
			0.5% Sika	29	1.25	1	0.25	0.000833	3.077
			1.5% Sika	30	1.4	1.17	0.23	0.000766	3.183



الشكل (6): علاقات (الحمل – الإزاحة) للخرسانة الاعتيادية بدرجة حرارة (20 °C)، قطر القضيب المستخدم (Ø16mm)، نوع الفشل (Yielding with Splitting failure)

الجدول (5) أن زيادة نسبة المادة المضافة سيكا (Sika_Aer) للمزجة الخرسانية تقلل مقاومة الربط نسبة الى مقاومة ربط الخرسانة الاعتيادية المساوية (7.295 MPa) مع حديد التسليح للنسب (0.5, 1.0, 1.5 %) لتكون مقاومة الربط المتبقية (55.0, 81.8 % عند درجة حرارة (20 °C) ، وتقل مقاومة الربط لحديد التسليح مع الخرسانة عن مقاومة ربط الخرسانة الاعتيادية المساوية (6.85 MPa) مع حديد التسليح عند زيادة نسبة المادة المضافة بنسب (0.5, 1.0, 1.5%) لتصبح نسب مقاومة الربط المتبقية(92.9, 78.7, 94.2%) على التوالي، كذلك عند قطر حديد التسليح (Ø 10 mm) لدرجة حرارة (20 °C) ، وتقل مقاومة الربط لحديد التسليح مع الخرسانة عند زيادة نسبة المادة المضافة عن مقاومة ربط الخرسانة الاعتيادية المساوية (5.517 MPa) للنسب (0.5, 1.0, 1.5%) لتصبح نسب مقاومة الربط المتبقية (95.2, 79.8, 98.1 %) على التوالي ، وتوضح هذه النسب أن مقاومة الربط لحديد التسليح مع الخرسانة مقصودة الهواء عند النسبة (1.5 %) تكون اكبر من مقاومة الربط لحديد التسليح مع الخرسانة مقصودة الهواء بنسب (0.5 , 1.0%).

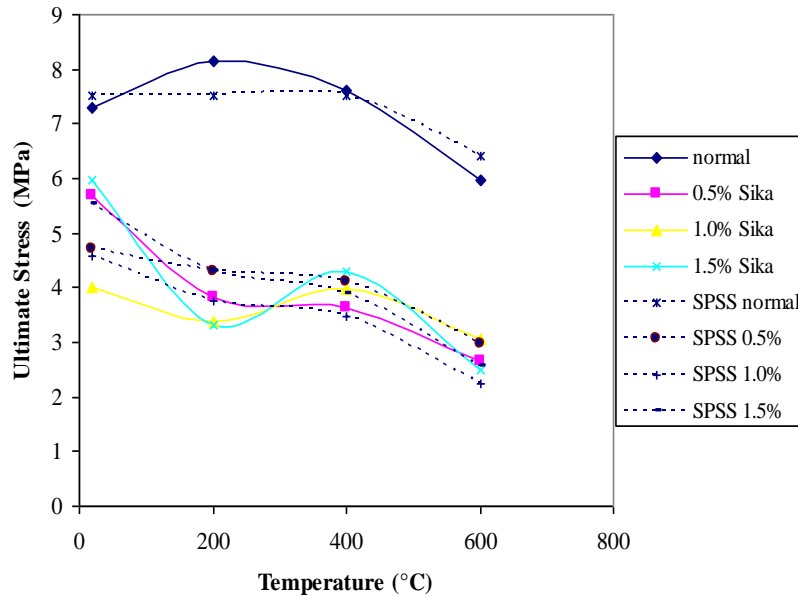
ويبين الشكل (6) مثال عن سلوك النماذج الخاصة بدراسة معامل الربط بين حديد التسليح والخرسانة من خلال العلاقة بين الأحمال المسلطة والإزاحة لحديد التسليح في نهايتي القضيب داخل الخرسانة (النهاية الحرة في أعلى النموذج ونهاية تسليط الأحمال في أسفل النموذج).

الجدول (5) والأشكال (7-9) تبين قيم الحمل ، الإزاحة، الإجهاد والانفعال القصوى لأنواع المزجات الخرسانية والدرجات الحرارية والأقطار المستخدمة لحديد التسليح.

5-2-3: تأثير نسبة المضاف في مقاومة الربط : يبين الجدول (5) أن زيادة نسبة المادة المضافة سيكا (Sika_Aer) للمزجة الخرسانية تقلل مقاومة الربط نسبة الى مقاومة ربط الخرسانة الاعتيادية المساوية (7.295 MPa) مع حديد التسليح للنسب (0.5, 1.0, 1.5 %) لتكون مقاومة الربط المتبقية (55.0, 81.8 %

5-2-3: تأثير درجات الحرارة في مقاومة الربط :

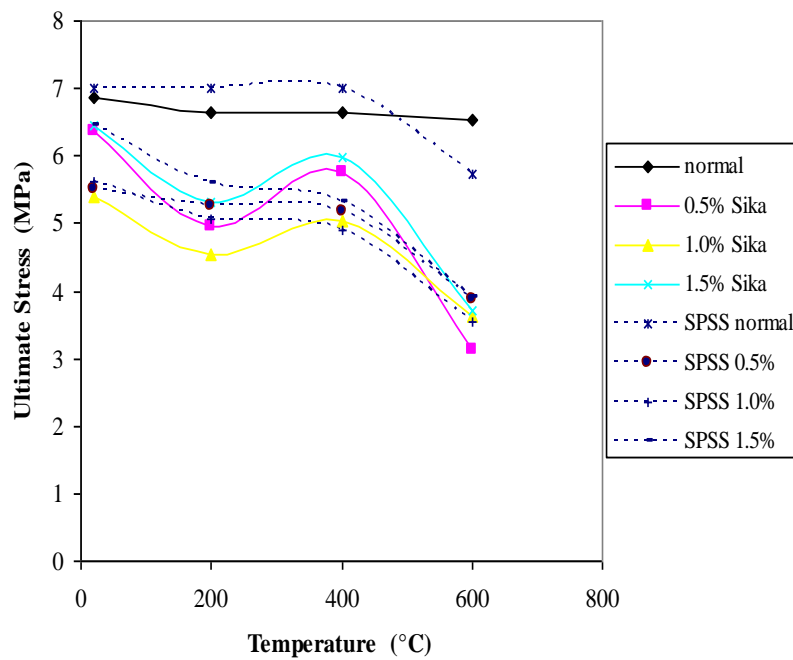
الأشكال (9 - 7) والمعادلات (1-3) تبين تغيير معامل الربط مع تغيير درجات الحرارة لمختلف الأقطار لقضبان حديد التسليح (10, 12, 16 mm) ولنسب مختلفة من المضاف (0, 0.5, 1.0, 1.5 %).



الشكل (7): علاقات (الإجهاد الأقصى – درجة حرارة) للمزجات الخرسانية وللمستويات الحرارية كافة، عندما يكون قطر القضيب المستخدم (Ø16 mm)

$$\sigma = (-19.9 \times T^{-0.017}) \times (M) - (2.74 \times T^{8.86}) + (586.94 \times M^{1.007}) - (568.95 \times M) + 7.533 \quad .. (1)$$

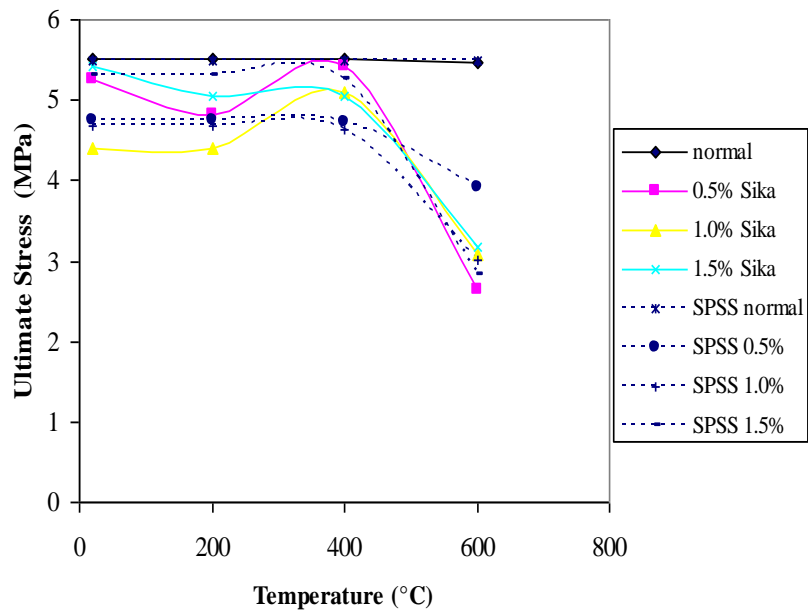
$(R^2 = 0.902)$



الشكل (8): علاقات (الإجهاد الأقصى - درجة حرارة) للمزجات الخرسانية وللمستويات الحرارية كافة عندما يكون قطر القضيب المستخدم (Ø12 mm)

$$\sigma = (16.323) \times (T^{-0.015}) \times (M^{1.157}) - (6.45 \times T^{10.54}) - (17 \times M) + 7.012 \quad \dots\dots(2)$$

$$(R^2 = 0.832)$$



الشكل (9): علاقات (الإجهاد الأقصى - درجة حرارة) للمزجات الخرسانية وللمستويات الحرارية كافة، عندما يكون قطر القضيب المستخدم (Ø10 mm)

$$\sigma = (-4.74) \times (T^{9.55}) \times (M) + (1.29 \times M^{2.07}) - (2.13 \times M) + 5.504 \quad \dots\dots(3)$$

$$(R^2 = 0.783)$$

علماء ان :

T : درجة حرارة التسخين (20 , 200 , 400 , 600 °C) .

M : نسبة المادة المضافة للمزجة الخرسانية التي تعوض داخل المعادلة (0 , 0.5 , 1 , 1.5) ،

إذ تعوض داخل المعادلة (M = 0) إذا كانت المزجة الخرسانية اعتيادية (Normal Concrete) .

σ : الإجهاد الناتج نتيجة تسليط حمل السحب (MPa) .

يُلاحظ من الأشكال (9 - 7) أن سلوك المزجات الخرسانية مقصودة الهواء عند أقصى مقدار للإجهاد والانفعال للنسب المضافة الثلاث (0.5, 1.0, 1.5 %) متشابهاً باختلاف الدرجات الحرارية، ويختلف نسبياً عن سلوك المزجة الاعتيادية لدرجات الحرارة نفسها، وهذا السلوك يختلف باختلاف نسبة المضاف وقطر حديد التسليح، كما توضح أن أعلى مقاومة ربط كانت بين حديد التسليح والخرسانة الاعتيادية، كما أن تأثير درجات الحرارة العالية قليل في إجهادات الربط في الخرسانة الاعتيادية عند استخدام قضبان حديد التسليح (Ø12, Ø10 mm) والسبب في ذلك حدوث الفشل في تحمل حديد التسليح الذي يسبق فشل الخرسانة، أما عند قطر حديد التسليح (Ø 16 mm) فيكون له أعلى تأثير لإجهاد الربط بين حديد التسليح والخرسانة الاعتيادية عند الدرجة الحرارية (200 °C).

4. الاستنتاجات

- من خلال نتائج الفحوصات المخبرية للدراسة العملية يمكن الوصول إلى الاستنتاجات الآتية :
1. نسبة الزيادة في قابلية التشغيل جيدة عند إضافة المادة المضافة (Sika-Aer) بنسب مختلفة (0.5, 1.0, 1.5 %) من وزن السمنت ، أعطت مقدار للهطول (115, 140, 180 mm) على التوالي، ونسبة هواء داخل الخرسانة الطرية (4.25, 5.5, 6.5 %) على التوالي، للمزجة الاعتيادية (هطول 65 mm) و(نسبة هواء 2.0 %)، وهذه الزيادة في مقدار الهطول ونسبة الهواء المضاف جعلت المزجة الخرسانية المقصودة سهلة المزج والنقل والسكب والرص ، وهذه تتحسن مع زيادة نسبة المادة المضافة.
 2. بالرغم من زيادة قابلية التشغيل، فقد أثرت إضافة مضاف الهواء المقصود على مزيج الخرسانة الاعتيادية تأثيراً سلبياً، وانخفضت مقاومة الانضغاط بنسبة (13.4, 29.3, 33.6%) وذلك بعد إضافة مضاف الهواء المقصود (سيكا) بنسب (0.5, 1.0, 1.5 %) على التوالي من وزن السمنت عن مقاومة الانضغاط الأصلية قبل الإضافة ، وهذا التأثير السلبى ناتج من زيادة نسبة الفراغات في المزجة الخرسانية.
 3. تتأثر خصائص الخرسانة بصورة سلبية عند تعرضها لدرجات الحرارة العالية، إذ :
 - انخفضت مقاومة انضغاط المزجات الخرسانية بعد التعرض لدرجات الحرارة العالية، إذ إن الخرسانة الاعتيادية احتفظت بنسبة أعلى من مقاومة الانضغاط بعد تعرضها للتسخين عند الدرجة الحرارية (200°C) إذ بلغت هذه النسبة (97.53 %).
 - انخفضت مقاومة الشد الانشطاري للمزجات الخرسانية بعد التعرض للحرارة العالية، وقد احتفظت الخرسانة الاعتيادية بنسبة أعلى من المقاومة بعد تعرضها لدرجة حرارة (200 °C) إذ بلغت هذه النسبة (89.23 %)، كما أن مقاومة الشد الانشطاري للخرسانة الاعتيادية عند درجة حرارة (20 °C) كانت (3.924 MPa) وهي تشكل ما يقرب من (10.25 %) من قيمة مقاومة الانضغاط عند الظروف نفسها.
 - معامل المرونة للمزجات الخرسانية ينخفض بشكل تدريجي مع ارتفاع درجة الحرارة .
 - انخفضت قيم مقاومة الربط لحديد التسليح مع الخرسانة وبنسب مختلفة مع ارتفاع درجات الحرارة، إذ إن سلوك المزجات الخرسانية مقصودة الهواء بالنسب الثلاث (0.5, 1.0, 1.5 %) يكون متشابه باختلاف الدرجات الحرارية وأن سلوكها مغاير عن سلوك المزجة الخرسانية الاعتيادية باختلاف المستويات الحرارية .
 4. يعتمد ظهور الفشل في مقاومة الربط بين حديد التسليح والخرسانة على قطر حديد التسليح المستخدم (Ø10, Ø12, Ø16 mm)، وعلى درجة الحرارة التي تعرض لها النموذج بعد المعالجة بالماء بعمر (28) يوم، كما يعتمد على نسبة المادة المضافة للمزجة.

5. المصادر

- [1] Husem, M . , " The Effect of High Temperature on Compressive and Flexural Strengths of Ordinary and High performance Concrete " , Fire Safety Journal , Vol. 41 , 2006 , pp. 155-163 .
- [2] Cheng, F.P. , Kodur V.K.R. and Wang T.C. , " Stress- Strain Curves for High Strength Concrete at Elevated Temperatures" ,Journal of Materials in Civil Engineering ,Vol.16 ,No.1 , February, 2004, pp. 84-94.
- [3] المواصفة القياسية العراقية (رقم 5) ، " خصائص السمنت البورتلندي الاعتيادي " ، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية ، 1984 .
- [4] ASTM C150-97 , "Standard Specification for Portland Cement", American Society for Testing and Materials .

- [5] BS 882 – 1992 , "Aggregate from Natural Source for Concrete " , British Standard Institution , 1992 .
- [6] المواصفة القياسية العراقية (رقم 45) ، جدول رقم (4)، " ركام المصادر الطبيعية المستعمل في الخرسانة والبناء " ، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية ، 1980 .
- [7] ASTM A615/615M-05a , " Standard Specification for Deformed and Plain Billet-Steel Bars for Concrete Reinforcement " , American Society for Testing and Materials .
- [8] Hamad, B.S. , Rteil, A.A. , EL- Fadel ,M. , " Effect of Used Engine Oil on Properties of Fresh and Hardened Concrete " , Construction and Building Materials (Elsevier), Vol. 17 , Issue 5 , July , 2003 , pp.311-318 .
- [9] ASTM C231-99 , " Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method " , American Society for Testing and Materials .
- [10] ASTM C233-01 , "Standard Test Method for Air-Entraining Admixture for Concrete " , American Society for Testing and Materials .
- [11] ASTM C260-01 , "Standard Specification for Air-Entraining Admixture for Concrete " , American Society for Testing and Materials .
- [12] Neville , A. M. (2002), Properties of Concrete , 3rd Edition , Pitman Publishing Ltd , London .
- [13] ASTM C39-04 , "Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens " , American Society for Testing and Materials .
- [14] ASTM C496-04 , " Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens" , American Society for Testing and Materials.
- [15] ASTM C469-02 , " Elastic Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression" , American Society for Testing and Materials
- [16] ASTM C234-69 , " Standard Test Method for Comparing Concretes on the Basis of the Bond Developed with Reinforcing Steel " , American Society for Testing and Materials .
- [17] ASTM A944-99 , "Standard Test Method for Comparing Bond Strength of Steel Reinforcing Bars to Concrete Using Beam-End Specimens " , American Society for Testing and Materials .
- [18] ASTM C192-02 , "Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory" , American Society for Testing and Materials .
- [19] ASTM C191-99 , "Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle" , American Society for Testing and Materials .
- [20] Skokie, IL. , " Procedures for Evaluating Air Entraining Admixtures for Highway Concrete " , Construction Technology Laboratories, Inc. , National Cooperative Highway Research Program , January , 2006 .
- [21] ACI Committee 318-05 , " Building Code Requirements for Structural Concrete ACI" , American Concrete Institute , Farmington Hills , Michigan , 2005 .
- [22] Troxell ,G.E. , Davis ,H.E. and Killy , J.W. , "Composition and Properties of Concrete " , 2nd Edition , 1965 .

تم اجراء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل