

تأثير درجات الحرارة العالية في الخصائص الميكانيكية للخرسانة ذات مقاومات

مختلفة باختلاف نسب مزجاتها ومكوناتها

عبدالحكيم حامد أحمد¹ ، درون عبدالقادر معروف²

^{1,2} جامعة الموصل / كلية الهندسة / قسم الهندسة المدنية

ahmad.1943@yahoo.com¹ , daroonqadir@yahoo.com²

تاريخ قبول البحث : 2015 / 3 / 8

تاريخ استلام البحث : 2014 / 12 / 16

المخلص

يتضمن البحث دراسة عملية لبعض الخصائص الميكانيكية مثل مقاومة الإنضغاط ، مقاومة الشد الإنشطاري ، معامل المرونة ، علاقة (الإجهاد – الإنفعال) لخرسانة إعتيادية ذات مقاومات مختلفة باختلاف نسب مكوناتها الرئيسية من محتوى الإسمنت ونسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) ومدى تأثير درجات الحرارة العالية فيها ومقارنة النتائج للمزجات الخرسانية مع بعضها البعض ، حيث تم استخدام تسع مزجات خرسانية مختلفة باختلاف كل من محتوى الإسمنت ونسبة الماء إلى الإسمنت (W/C) . استخدمت أربعة مستويات من درجات الحرارة لتسخين النماذج الخرسانية هي: (20 ، 200 ، 400 ، 600)°م ولمدة ساعة واحدة ، بينت النتائج التأثير السلبي للحرارة العالية على الخصائص الميكانيكية للخرسانة وينسب مختلفة للمزجات الخرسانية جميعاً ، وكان تأثير درجات الحرارة العالية على معامل المرونة ومقاومة الشد الإنشطاري ومقاومة الإنضغاط للخرسانة متباينة ومتفاوتة ومتسلسلة من حيث التأثير ، وعند مقارنة المزجات الخرسانية مع بعضها البعض لوحظ أن المزجات الخرسانية ذات المقاومات المنخفضة (قليلة الإسمنت وذات نسبة W/C عالية) تحتفظ بمقاومتها للإنضغاط أكثر من المزجات الخرسانية عالية المقاومة (الغنية بالإسمنت وذات نسبة W/C منخفضة) عند التعرض للدرجات الحرارة العالية . هذه التأثيرات بشكل عام تختلف من مزجة خرسانية إلى أخرى في بعض الخواص أو حتى في جميعها من ناحية الزيادة أو الإنخفاض وينسب متفاوتة ، كما أن هذه التغييرات عموماً تتباين من درجة حرارية إلى أخرى ، لكنها على الرغم من ذلك كانت محدودة عند درجة حرارة (200°م) وسرعان ما أصبحت ملحوظة عند درجتي حرارة (400 ، 600)°م .

الكلمات الدالة: خرسانة، درجات حرارة عالية، الخصائص الميكانيكية، محتوى الاسمنت، نسبة الماء الى الاسمنت (W/C).



The Effect of High Temperatures on the Mechanical Properties of Concrete with Different Strengths at Different Mixing Ratio

Abdul Hakim H. Ahmad¹ , Daroon A. Maeroof²

^{1,2}Civil Engineering Dept. / College of Engineering / University of Mosul

ahmad.1943@yahoo.com¹ , daroonqadir@yahoo.com²

Received date : 16 / 12 / 2014

Accepted date : 8 / 3 / 2015

ABSTRACT

This research work includes an experimental study of the mechanical properties , as compressive strength, tensile strength, modulus of elasticity, and stress – strain relation for ordinary concrete. Different mixes of different cement content and W/C ratio considered at different high temperature. Nine different concrete mixes for different cement content and W/C ratio are exposed to four steps of high temperature (20, 200, 400, 600)°C for a duration of one hour. The results show that heating the concrete samples reduces the mechanical properties of the samples in a different percent for different mixes. The affect of high temperatures to modulus of elasticity , splitting tensile strength and compressive strength for concrete are different and various. It has been found that the concrete mixes of low strengths (a few cement and high W/C ratio) maintains compressive strength more than concrete mixes which have high strength (rich cement and low W/C ratio) when exposed to high temperatures. This effects generally vary from mix to another in some or all properties. In general there are less effect at (200°C) degree, then the changes become more sensitive at higher temperature (400, 600)°C.

Keywords: Concrete, High Temperature, Mechanical Properties, Cement content, W/C ratio.

1. المقدمة (Introduction)

تتعرض العديد من المنشآت الخرسانية إلى الحرارة العالية كالأفران الحرارية وأنفاق الحرائق والحاويات الخرسانية للمفاعلات النووية وغيرها ، حيث أن سلوك الخرسانة في هذه المنشآت يتميز بالحساسية نحو هذه الظاهرة. فمهما تنوع أشكال التعرض للحرارة العالية بالنسبة للخرسانة ، فإن ذلك يبقى مشكلة أساسية في تحليل المنشآت وتصميمها نتيجة للتأثير السلبي الذي تخلفه هذه الظاهرة. ويعتبر الحريق من أهم الأسباب التي تعمل على تدهور المباني الخرسانية حيث يعمل على تشقق المادة الرابطة وهي عجينة الإسمنت وتحولها إلى مكونات ضعيفة تسبب التدهور نتيجة لفقدان الماء من عجينة الإسمنت بتأثير زيادة درجة الحرارة التي تعمل على زيادة المسامية ونقص قوى التحمل للخرسانة نتيجة تشقق سيليكات الكالسيوم الهيدراتية وهي المادة الرابطة من الإسمنت وكذلك هيدروكسيد الكالسيوم ، حيث إن هيدروكسيد الكالسيوم يتحول بعد الحريق إلى أوكسيد الكالسيوم الذي يمتص الرطوبة ويعمل على تدهور الخرسانة [1، 2، 3].

يعتبر التعرض إلى الدرجات الحرارة العالية نتيجة لإشتعال الحرائق أو التسخين واحداً من أهم المخاطر التي تتعرض لها المباني والهياكل الخرسانية المشيدة ، لذا فبالإضافة إلى تصميم الأبنية لتحمل الأوزان الطبيعية والقوى الجانبية الناتجة من تأثير الرياح والزلازل الأرضية يتوجب أن يراعى في التصميم إعطاء مقاومة إضافية للهياكل للصمود بوجه الحرائق وبشكل يسمح لشاغلها بالخروج قبل حدوث إنهيار كلي أو جزئي فيها [4]. إن الخرسانة المعرضة لدرجات حرارة عالية (High Temperature) في مثل هذه الظروف يمكن تعريفها بالخرسانة التي تتعرض إلى درجات حرارة ما بين (100 – 1000)°م درجة مئوية .

وتتأثر مختلف أنواع الأبنية من جراء نشوب الحرائق فيها مسبباً لها أحيانا الدمار أو الإقصاء عن الخدمة ، لأن الحرارة لها التأثير الكبير في تقليل ديمومة المنشآت ومقاومتها ، حيث يكون الضرر كبيراً أو جزئياً للمبنى وفي كثيراً من الأحيان قد يكون من الضروري هدم المبنى جزئياً أو كلياً . وفي مطلق الأحوال فإن مقدار الضرر الناجم عن أي حريق يعتمد إلى حد كبير على درجة الحرارة التي وصل إليها الحريق ومدة التعرض للحريق وبالتالي درجة تسخين المنشأ ككل أو بعض عناصره الإنشائية [5].

بعد الحريق أحد أبرز أشكال التعرض لدرجات الحرارة العالية، فقد يتسبب من الحوادث، مصادر الطاقة، كوارث الطبيعة وما إلى ذلك. فعندما ينشب حريق في مبنى معين، فإن لهيب الحريق سوف يمتد ويتسع ليخلف الهدم والدمار، لكن

حجم هذا الدمار من الممكن أن يعتمد على عدد من العوامل كتصميم المبنى، استخدام المبنى، وسائل الإطفاء، أساليب الإخلاء والأداء الإنشائي للخرسانة، فمن الممكن أن يكون هذا الأداء ناجحاً أثناء الحريق وذلك بالإعتماد على عاملين أساسيين هما الخواص الأساسية لمواد البناء ووظيفتها في المنشأ [6] .

هناك مشكلتان رئيسيتان عند تعرض الخرسانة للحريق [7] ، الأولى هو التردّي الحاصل في الخصائص الميكانيكية للخرسانة نتيجة التغير في الصفات الكيمياءفيزيائية (Physico-Chemical) والذي يؤدي بدوره إلى تغير خواص الإسمنت والركام وعدم التوافق الحراري (Thermal incompatibility) بين الركام والإسمنت ، والمشكلة الثانية هو حدوث ظاهرة التشظّي للخرسانة (Concrete spalling) والذي يسبب نقصان ربما يكون كبير في المقطع الخرساني الحامل للأثقال ، كما يسبب أيضاً إزالة الغطاء الخرساني لحديد التسليح معرضاً القضبان إلى تأثير الحرارة المباشر .

إن تردّي قوة الخرسانة بفعل الحرارة العالية قد يكون ناجماً عن واحد أو أكثر من الأسباب التالية [7]:

- 1- التغيرات المجهرية في التركيب البلوري للإسمنت.
- 2- التشققات في حبيبات الركام الخشن (الحصى).
- 3- التفاوت في مقادير التغيرات الحجمية بين الركام وعجينة الإسمنت ، والذي يؤدي إلى حدوث تشققات في عجينة الإسمنت أو إلى انفصالها عن الحصى.

بشكل عام، هذا التردّي في الخصائص الميكانيكية يعود إلى سلسلة من التحولات الفيزيائية والكيميائية داخل الخرسانة متمثلة بتميؤ الإسمنت وتصلب العجينة الرابطة للإسمنت في الخرسانة أثر تعرضها للحرارة العالية [5] ، يضاف إلى ذلك تحلل هيدروكسيد الكالسيوم في الكلس وهدم البنية التكوينية للمادة الهلامية (Gel) [8] ، إلى جانب ذلك فقدان الرطوبة الحرة ، الماء المتحد والماء الملتصق سطحياً (Absorbed water) مصاحباً لذلك ظهور التشققات الشعرية الدقيقة في الخرسانة الناتجة من عدم التوافق الحراري بين الإسمنت والركام وإختلاف قيم معامل التمدد الحراري بين عجينة الإسمنت المتمياً والركام مما يؤدي بدوره إلى حدوث إجهادات على السطح البيني بينهما وزيادة التشوهات المرنة والزحف فيها ومن ثم يؤدي إلى تمزق قوى الربط وإضعاف مقاومة الخرسانة [5]، [8]، [9]، [10] .

بدأت البحوث حول الخرسانة المعرضة لدرجات الحرارة العالية منذ عام (1922م) ، بعض هذه البحوث اختبرت تأثير ارتفاع درجات الحرارة نتيجة الحرائق على سلوك الأعضاء الخرسانية كالعقبات والسقوف والأعمدة ، والبعض الآخر اختبرت

تأثيرها على الخواص الميكانيكية للخرسانة من خلال إجراء فحوصات على نماذج خرسانية معدة. أظهرت تلك الدراسات ان درجات الحرارة العالية تؤدي إلى تغيرات حجمية تنتج بدورها إجهادات تؤدي إلى حدوث تشققات شعيرية (Micro-cracking) وشروخ كبيرة (Large fracture) مما قد يسبب إنهيار البناء المعرض للحريق [11] .
وتوصل آخرون إلى أن الماء الحر (Free water) الموجود في الخرسانة المعرضة لدرجات حرارة عالية تتبخر مولدة قوة ضغط داخلية ينتج عنها تشققات شعيرية . وأن الخرسانة التي يدخل في إنتاجها إسمنت ذو نسبة هيدروكسيد الكالسيوم أقل تكون أكثر أنواع الخرسانة صموداً بوجه الحريق . كما أن رش الخرسانة بعد الحريق بكميات كبيرة من الماء لغرض تبريدها يسبب زيادة مقدار الإنخفاض الحاصل في مقاومة الإنضغاط للخرسانة مقارنة بالخرسانة التي تبرد بشكل طبيعي [8].

وفي دراسة أخرى تبين أن الإنخفاض الحاصل في قوة الخرسانة يتأثر بتأثر كبير بدرجة الحرارة القصوى و تأثر أقل بمقدار فترة التعرض للحرارة [12] . كما أظهرت بحوث أخرى أن الخرسانة الإعتيادية (متوسطة المقاومة) تكون مقاومتها لدرجات الحرارة العالية نتيجة الحرائق أكبر من الخرسانة عالية الأداء (High Performance Concrete) [13] .
وأجرى الباحث (Husem) [5] عام (2006م) دراسة مقارنة لمقاومة الإنضغاط والإنتشاء بين نوعين من الخرسانة احدهما إعتيادية بمعدل مقاومة (34 MPa) وأخرى عالية الأداء ذات معدل مقاومة (71MPa) وتضمنت الدراسة كذلك المونة المكونة لكل من المزيجين تحت تأثير مستويات مختلفة من درجات الحرارة تراوحت بين (20 – 1000)°م مع إختلاف طرق التبريد الذي تضمنت التبريد بالماء والهواء. أظهرت النتائج أن مقاومة الخرسانة تقل بارتفاع الحرارة وأن نسبة الإنخفاض في مقاومة الخرسانة عالية الأداء هو أكبر من الإنخفاض في المقاومة للخرسانة الإعتيادية، كما أن التشطي المتفجر (Explosive spalling) لم يحدث في الخرسانة الإعتيادية بينما حدث لبعض النماذج للخرسانة عالية الأداء عند درجات الحرارة المتراوحة بين (400 – 500)°م كذلك ظهر تأثير إختلاف اسلوب التبريد على المقاومة المتبقية إذ إن التبريد بالماء يسبب انخفاضاً أكبر خاصة مع إرتفاع الحرارة المؤثرة.

وأجرى الباحثان (Phan) و (Carino) [14] عام (2000م) دراسة مُقارنة بين مزجة خرسانية إعتيادية المقاومة ومزجة خرسانية عالية المقاومة تحت تأثير مستويات مختلفة من درجات الحرارة. وجدا بأن الفرق الواضح في سلوك المزجتين يظهر ضمن المدى (20 – 400)°م. فالخرسانة عالية المقاومة تفقد من مقاومتها ضمن هذا المدى أكثر مما هو

عليه في الخرسانة إعتيادية المقاومة ، كما وجد الباحثان أن الخرسانة عالية المقاومة معرضة للتشطي المتفجر (Explosive spalling) عند تجاوز درجة الحرارة (300°C) ، وأن معامل المرونة يسلك سلوكاً مشابهاً لمقاومة الإنضغاط عند ارتفاع درجة الحرارة، لكن الخرسانة عالية المقاومة ذات الركام خفيف الوزن تحتفظ بنسبة أعلى من معامل مرونتها أكثر مما هو عليه في الخرسانة عالية المقاومة ذات الركام الإعتيادي.

وفي عام (2002م) ، قام الباحثان (Janotka) و (Bagel) [15] بدراسة حول التركيب المسامي (Pore structure) ، النفاذية ومقاومة الإنضغاط لخرسانة معرضة للتسخين إلى درجة حرارة (800°C) ، إذ أنه لم تلاحظ أي تغيرات في الخواص المذكورة عند التسخين إلى درجة حرارة (400°C) وعندما تكون درجة حرارة التسخين ضمن المدى ($400 - 800^{\circ}\text{C}$) ، فإن التركيب المسامي يتأثر بوضوح ، مما يؤدي إلى تناقص المقاومة . أما معامل النفاذية فإن قيمته عند الخرسانة المعرضة إلى درجة حرارة (400°C) أعلى مما هي عليه عند الخرسانة المعرضة لدرجة حرارة المختبر . إن التغير الحاصل في خواص الخرسانة نتيجة للتعرض لدرجات الحرارة العالية يمكن التحكم فيه بوسائل عدة، كالتحكم في بنية الخرسانة (نسب المزج ، نسبة الماء إلى الإسمنت ، نسبة الرطوبة). ومن هذا المنطلق ، تم في هذا البحث التعامل مع الخرسانة ذات خلطات مختلفة باختلاف كميات ونسب المواد الداخلة في تكوينها ، وعلى ضوء ذلك سيتم تتبع حالتها بعد تعرضها لدرجات الحرارة العالية.

2. البرنامج العملي (Practical program)

1- المواد المستخدمة: تم استخدام المواد المتوفرة محلياً لإنتاج المزجات الخرسانية والمتمثلة بالإسمنت ، الماء ، الركام الناعم ، الركام الخشن ، وذلك بعد إجراء الفحوصات اللازمة عليها (تم إجراء الفحوصات في مختبر فحص المواد في جامعة الموصل) ومقارنتها مع المواصفات القياسية وبالشكل الآتي :

أ- الإسمنت: تم استخدام الإسمنت البورتلاندي الإعتيادي المنتج في معمل إسمنت بادوش وفق المواصفة القياسية العراقية المرقمة (IQS, No.5, 1984) [16] في جميع المزجات الخرسانية على مدار البحث. حيث يبين الجدول (1) الخصائص الفيزيائية للإسمنت المستخدم ومقارنتها مع حدود المواصفة القياسية العراقية أعلاه.

جدول (1): الخصائص الفيزيائية للإسمنت المستخدم

حدود المواصفة العراقية (IQS:No.5/1984)	النتائج	الخصائص
لا تزيد عن 10%	5%	النعومة (نسبة المتبقي على منخل رقم (170))
وقت التماسك		
لا يقل عن 45 دقيقة	85	الابتدائي (دقيقة)
لا يزيد عن 600 دقيقة	320	النهائي (دقيقة)
مقاومة الإنضغاط (MPa)		
لا تقل عن (16 MPa)	18.76	3 أيام
لا تقل عن (24 MPa)	25.53	7 أيام
مقاومة الشد (MPa)		
لا تقل عن (1.6 MPa)	1.73	3 أيام
لا تقل عن (2.4 MPa)	2.91	7 أيام

ب- الماء: أستخدم ماء الشرب الإعتيادي (Tap water) في جميع المزجات الخرسانية وفي معالجة النماذج الخرسانية أيضاً ، حيث إن المواصفات جميعاً تشير إلى أن ماء المزج يجب أن يكون صالحاً للشرب وخالياً من الشوائب.

ج- الركام الناعم(الرمل): الرمل المستخدم هو رمل نهري (River sand) المتوافر في منطقة كنهش القريبة من مدينة الموصل ، وبعد إجراء التحليل المنخلي له وجد أنه ضمن تدرج مطابق للمواصفة القياسية البريطانية (B.S 882:1992) [17] والمواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C33-01) [18] ، ونوعه هو رمل متوسط النعومة مطابق إلى منطقة التدرج (M) وبمعامل نعومة (2.84) ، ونتائج التحليل المنخلي مبينة في الجدول (2).

جدول (2): تدرج الركام الناعم (الرمل)

النسبة المئوية المارة (%)			مقاس المنخل (ملم)
حدود المواصفة (ASTM C33-01)	حدود المواصفة (B.S 882:1992)	الأنموذج	
100	100	100	10
100 – 95	100 – 89	100	5
100 – 80	100 – 65	83	2.36
85 – 50	100 – 45	64	1.18
60 – 25	80 – 25	42	0.6
30 – 5	48 – 5	20	0.3
10 – 0	15 – 0	7	0.15

د- الركام الخشن (الحصى): الحصى المستخدم هو حصى نهري (River gravel) محلي ذو حبيبات مدورة (Rounded aggregate) ، المقاس الأقصى له (M.A.S=20mm) ، وأجري له التحليل المنخلي ووجد أنه مطابق للمواصفة القياسية البريطانية (B.S 882:1992) [17] والمواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C33-01) [18] ، ونتائج التحليل المنخلي مبين في الجدول (3).

جدول (3): تدرج الركام الخشن (الحصى)

النسبة المئوية المارة (%)			مقاس المنخل (ملم)
حدود المواصفة (ASTM C33-01)	حدود المواصفة (B.S 882:1992)	الأنموذج	
100	100	100	37.5
100 – 90	100 – 85	95	20
55 – 20	70 – 0	38	14
15 – 0	25 – 0	8	10
0 5 –	5 – 0	0	5

2- الخرسانة الطرية:

أ- الخلطة الخرسانية (نسب المزج): تم اختيار نسب المواد في المزجة الخرسانية لقيم مقاومة إنضغاط مختلفة تتراوح بين (15 – 45) MPa وذلك بسبب اختلاف كل من محتوى الإسمنت ونسبة (W/C) في المزجات الخرسانية ، وإن المقاس الأقصى للركام (M.A.S=20mm) لكافة المزجات الخرسانية ، وتم تصميم المزجات الخرسانية جميعها حسب الطريقة البريطانية (D.O.E) [19، 20]. إن المزجات الخرسانية المعتمدة في هذا البحث تمثلت بتسع مزجات خرسانية ، حيث تم إعداد كل مزجة خرسانية وتهيئة المواد الأولية المكونة لها ، بعد حساب كمية المواد الداخلة في المزجة التي تشمل الركام الخشن والركام الناعم والإسمنت والماء ، ويكون الركام مغسولاً ومدرجاً وبحالة (S.S.D) مشبع من الداخل جاف السطح ، وتمت عملية المزج بإضافة الرمل والحصى أولاً ثم الإسمنت بعدها ثم خلط المواد وهي جافة ويضاف الماء تدريجياً وبعد المزج يتم التأكد من مقدار الهطول لكل مزجة بإستعمال مخروط الهطول ، وقد تم إعداد المزجات الخرسانية على وجبات بما يتلائم مع خطة العمل والوقت وتوفير القوالب الأسطوانية المطلوبة ووفق النسب المذكورة للمزج الخرساني. الجدول (4) يوضح النسب الوزنية للمزجات الخرسانية كافة وكذلك مقدار الهطول لجميع المزجات الخرسانية والتي تم قياسها إعتقاداً على المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM C 143/C 143M-12) [21].

جدول (4): نسب المزجات الخرسانية ومقدار الهطول للمزجات الخرسانية كافة

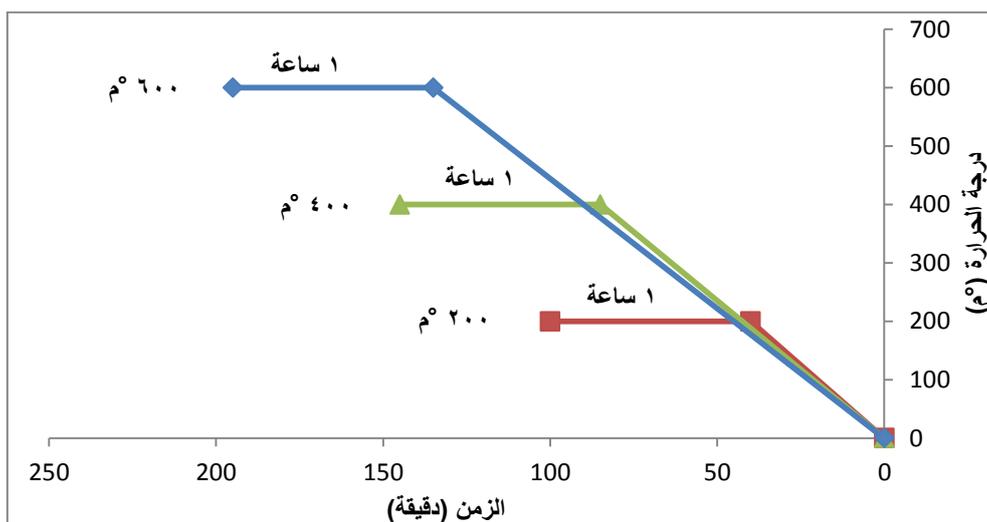
مقاومة الإنضغاط التصميمي (MPa)	مقدار الهطول (ملم)	نسبة(الماء/الإسمنت) (W/C)	كمية الإسمنت (كغم/م ³)	النسب الوزنية للمزيج إسمنت: رمل: حصى	المزجات الخرسانية
15	87	0.70	250	4.60:3.20:1	المزجة 1
20	54	0.62	250	5.14:2.88:1	المزجة 2
25	31	0.52	250	5.60:2.64:1	المزجة 3
25	68	0.52	350	3.32:1.96:1	المزجة 4
30	37	0.46	350	3.67:1.73:1	المزجة 5
35	24	0.40	350	3.87:1.66:1	المزجة 6
35	54	0.40	450	2.56:1.32:1	المزجة 7
40	27	0.36	450	2.78:1.20:1	المزجة 8
45	18	0.31	450	2.93:1.15:1	المزجة 9

ب- صب النماذج الخرسانية وطريقة المعالجة: بعد تحضير كل مزجة خرسانية وفق النسب المحددة لها تم صبها في قوالب اسطوانية بأبعاد (300×150) ملم لفحص مقاومة الإنضغاط ومعامل المرونة للخرسانة وقوالب اسطوانية بأبعاد (200×100) ملم لفحص مقاومة الشد الإنشطار للخرسانة ، وتم رص النماذج الخرسانية الأسطوانية بأبعاد (300×150) ملم بالطريقة اليدوية على ثلاث طبقات كل طبقة (25 ضربة) بقضيب حديدي ذو قطر (0.75 انج) ، أما بالنسبة للنماذج الخرسانية الأسطوانية بأبعاد (200×100) ملم فقد تم رصها بإستخدام المنضدة الهزازة التي تبلغ قوتها(3000) هزة في الدقيقة [22] ، وبعد مضي (24 ساعة) من صب النماذج الخرسانية فتحت القوالب ، وتمت المعالجة في أحواض الماء بصورة مستمرة لمدة (28 يوم) ، بعد ذلك يتم تركها في جو المختبر قبل تسخينها بعمر (29

يوم) من تأريخ الصب وبدرجة حرارة (20±2)°م ، وإن عدد النماذج الخرسانية التي أعدت لغرض دراسة الخصائص المشار إليها في هذه الدراسة واللازمة لإجراء المقارنة كانت (216 نموذجاً) .

3- تسخين النماذج الخرسانية إلى درجات الحرارة العالية وتبريدها:

لتسخين النماذج الخرسانية إلى مستويات عالية من درجات الحرارة يستعمل فرن كهربائي ذو حجرة واسعة متهواة تصل درجة حرارته إلى (800°م) . إن الآلية المعتمدة للتسخين في هذا البحث ، هي عند وصول عمر النماذج الخرسانية للعمر المحدد يتم وزنها ووضعها في الفرن وتزداد درجة الحرارة لحين الوصول إلى المستوى الحراري المطلوب عند ذلك يتم تسخين النماذج الخرسانية لمدة ساعة واحدة لدرجة الحرارة المطلوبة ودون تسليط أي حمل عند التسخين ، بعد انتهاء هذه المدة يتم إطفاء الفرن وفتح باب الفرن لتبرد النماذج إلى درجة حرارة المختبر لمدة (24 ساعة) ، حيث يكون التبريد بالهواء للنماذج الخرسانية ، لأن التبريد بالماء يؤثر سلباً في النماذج الخرسانية [23، 24] ، إذ تترك النماذج الخرسانية داخل الفرن لتجنب حدوث تشظٍ متفجر نتيجة لتغير درجة حرارة المحيط الفجائي ولاسيما في درجات الحرارة (400، 600)°م . يعاد وزن النماذج الخرسانية لتحديد الفقدان الحاصل نتيجة التسخين ، بعد ذلك يتم إجراء الفحوصات المطلوبة على النماذج الخرسانية من مقاومة الإنضغاط ومقاومة الشد الإنشطاري ومعامل المرونة . يوضح الشكل (1) آلية التسخين المعتمدة في البحث ومعدل الزيادة في درجات الحرارة عند التسخين مع الوقت.



شكل (1): آلية التسخين المعتمدة في البحث

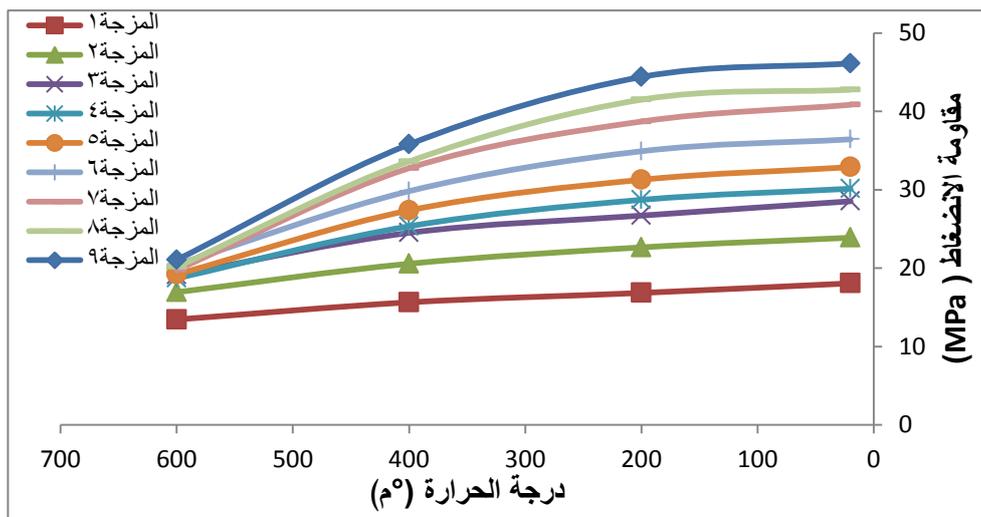
3. النتائج والمناقشة (Results and Discussion)

سيتم عرض النتائج التي تم الحصول عليها بالنسبة للخرسانة المتصلبة بعد اجراء الفحوصات المقررة إضافة إلى مناقشة النتائج وتحليلها.

1- مقاومة الإنضغاط: عندما تتعرض الخرسانة إلى مستويات عالية من درجات الحرارة ، فإن ذلك يؤثر سلباً على خواص الخرسانة بشكل عام ، ومن أبرز هذه الخواص مقاومة الإنضغاط التي تبدي انخفاضاً واضحاً في قيمتها نتيجة الحرارة العالية. إذ تم إجراء فحص مقاومة الإنضغاط للخرسانة على النماذج الأسطوانية بأبعاد (300×150) ملم بموجب المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C39-04) [25] ، إذ تتأثر مقاومة الإنضغاط بالعديد من العوامل منها : نسبة (الماء/الإسمنت) ، ونسبة (الركام/الإسمنت) ، ونوع الإسمنت ، ونوع الركام المستخدم ، والمقاس الأقصى للركام، وحجم النموذج الخرساني وشكله ، وظروف المعالجة ، وعمر الخرسانة عند الفحص لكل درجة حرارة والتي تم تثبيتها في الدراسة الحالية [26] ، ولضمان الحصول على سطح مستوٍ للتحميل بشكل جيد أثناء فحص النماذج ، تم طلاء السطح العلوي للأسطوانة الخرسانية (سطح الإنهاء) بمادة البورك وفقاً للمواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C617-03) [27] ، وذلك لضمان تسليط الحمل بشكل منتظم على سطح الأتمودج أثناء التحميل. فيما يلي الجدول (5) والشكل (2) الذي يبين نتائج فحص مقاومة الإنضغاط للنماذج الخرسانية الأسطوانية عند درجة حرارة (20°م) وبعد تسخينها للمستويات الحرارية العالية (200 ، 400 ، 600) م° وللمزجات الخرسانية كافة.

جدول (5): مقاومة الإنضغاط للمزجات الخرسانية كافة تحت تأثير درجات الحرارة العالية

القيمة النسبية لمقاومة الإنضغاط المتبقية (%)				مقاومة الإنضغاط (MPa)				المزجات الخرسانية
600°م	400°م	200°م	20°م	600°م	400°م	200°م	20°م	
74.47	86.60	93.30	100	13.45	15.64	16.84	18.06	1
70.90	86.10	94.85	100	16.93	20.56	22.65	23.88	2
67.00	85.86	93.60	100	19.12	24.5	26.7	28.53	3
62.10	84.10	95.30	100	18.71	25.34	28.71	30.13	4
58.42	83.20	95.10	100	19.21	27.36	31.27	32.88	5
56.16	81.86	95.83	100	20.46	29.82	34.91	36.43	6
48.44	80.21	94.80	100	19.78	32.75	38.7	40.83	7
47.10	78.58	97.03	100	20.14	33.6	41.49	42.76	8
45.65	77.60	96.20	100	21.05	35.78	44.38	46.11	9



شكل (2): مقاومة الإنضغاط للمزجات الخرسانية كافة تحت تأثير درجات الحرارة العالية

يبين الشكل (2) أن المزجة الخرسانة الثامنة (محتوى الإسمنت=450كغم/م³ ، نسبة الماء/الإسمنت=0.36) احتفظت بنسبة أعلى من مقاومة الإنضغاط بعد تعرضها للتسخين عند الدرجة الحرارية (200م°) حيث بلغت هذه النسبة (97.03%) وهي أعلى من نسب الاحتفاظ للمزجات الخرسانية الأخرى فعند التسخين إلى هذه الدرجة لوحظ أن المقاومة المتبقية للمزجات الخرسانية كانت متقاربة والفرق طفيف عند المقارنة مع المقاومة الأولية عند درجة حرارة المختبر ، وبعد تسخين النماذج الخرسانية بدرجة حرارة (400م°) انخفضت المقاومة بشكل أكبر عن المقاومة الأولية وأن نسبة الاحتفاظ بالمقاومة كانت أقل بالمقارنة مع درجة التسخين السابقة ، وهذا متوقع لأن مقاومة الخرسانة تقل بازدياد درجة الحرارة [5، 19] ، كما أن فقدان محتوى الرطوبة أدى إلى تصلب عجينة الإسمنت أو قد يعود ذلك إلى تميؤ بعض عجينة الإسمنت عند هذه الحرارة والذي لم يحدث عند درجة الحرارة الأقل [28] . على ضوء القيم التي تم الحصول عليها يمكن اعتبار درجة الحرارة (400م°) هي درجة حرارة حرجة يزداد بعدها النقصان في المقاومة بصورة كبيرة نسبياً وهذا ما تبينه النتائج عند التسخين بدرجة الحرارة (600م°) ، حيث إنه عند تعرض النماذج الخرسانية للدرجات الحرارة (400م°) و(600م°) يلاحظ بأن المزجات الخرسانية ذات المقاموات القليلة تحتفظ بالمقاومة أكثر من المزجات الخرسانية ذات المقاموات العالية ، وهذا متوقع لأن المزجات الخرسانية القليلة الإسمنت تعاني من الخسارة في المقاومة أقل من ما تعانيه المزجات الخرسانية الغنية بالإسمنت عند التعرض للدرجات الحرارة العالية [19]. بصورة عامة فإن التقديرات تشير إلى أن الخرسانة تفقد مقاومتها بعد وصول درجة الحرارة إلى (300م°) ، وعند وصول درجة الحرارة إلى (400م°) يفقد هيدروكسيد الكالسيوم الماء فيصبح أكسيد الكالسيوم ، ومن ثم وعند تعرضه للرطوبة فإنه يتحول إلى هيدروكسيد الكالسيوم من جديد مع زيادة في الحجم (ينتفخ) مما يؤدي إلى تمزق وتحطم الخرسانة[19].

2- مقاومة الشد الإنشطاري: إن مقاومة الشد بشكل عام تعد من الخواص المهمة في الخرسانة لمقاومة التشققات الناتجة من الإنكماش وتغيرات درجات الحرارة ، وتعتبر مؤشر مهم في تحديد نوعية الخرسانة. إذ تم إجراء فحص مقاومة الشد الإنشطاري على النماذج الأسطوانية بأبعاد (100×200) ملم بموجب المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C496-04) [29] ، وذلك بتسليط حمل خطي باتجاه قطر الأسطوانة ، ثم تحسب مقاومة الشد الإنشطاري من المعادلة الآتية:

$$f_t = \frac{2P}{\pi DL} \quad \text{إذ إن: } f_t: \text{مقاومة الشد الإنشطاري ، } P: \text{أقصى حمل عند فشل الأنموذج ،}$$

D: قطر الأسطوانة ، L: طول الأسطوانة.

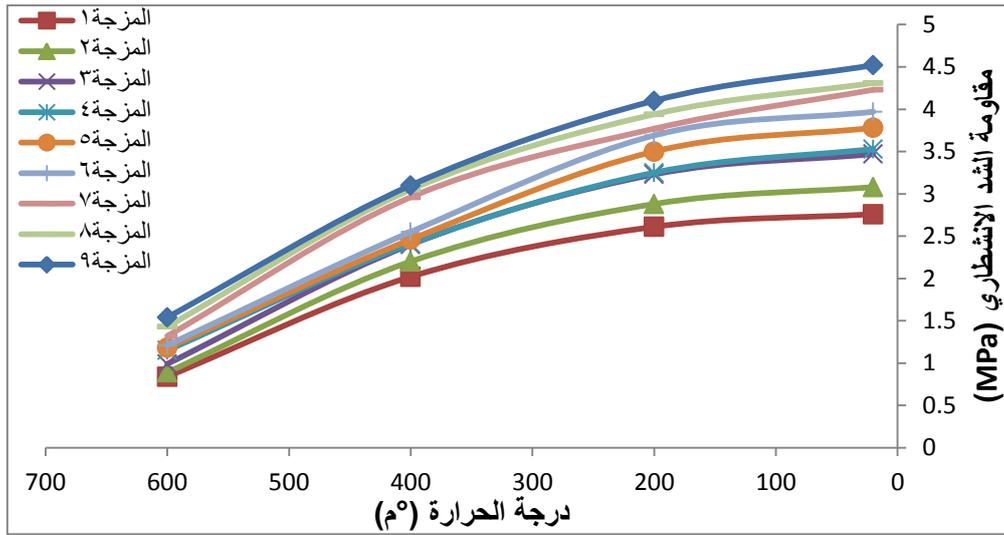
وبين الجدول (6) والشكل (3) نتائج فحص مقاومة الشد الإنشطارى للنماذج الخرسانية الأسطوانية عند درجة حرارة

(20)°م وبعد تسخينها للمستويات الحرارية العالية (200، 400، 600)°م لجميع المزجات الخرسانية.

جدول (6): مقاومة الشد الإنشطارى للمزجات الخرسانية كافة تحت تأثير درجات الحرارة العالية

القيمة النسبية لمقاومة الشد الإنشطارى المتبقى (%)				مقاومة الشد الإنشطارى (MPa)				المزجات الخرسانية
600°م	400°م	200°م	20°م	600°م	400°م	200°م	20°م	
30.43	73.20	94.57	100	0.84	2.02	2.61	2.76	1
28.90	71.43	93.51	100	0.89	2.20	2.88	3.08	2
28.53	69.16	93.10	100	0.99	2.40	3.23	3.47	3
32.58	68.27	92.08	100	1.15	2.41	3.25	3.53	4
31.22	65.08	92.60	100	1.18	2.46	3.50	3.78	5
30.48	64.23	92.95	100	1.21	2.55	3.69	3.97	6
31.20	69.98	89.12	100	1.32	2.96	3.77	4.23	7
33.18	70.77	91.41	100	1.43	3.05	3.94	4.31	8
34.07	68.58	90.71	100	1.54	3.10	4.10	4.52	9

من خلال ملاحظة النتائج بشكل عام ، عند تعرض الخرسانة لدرجات الحرارة (200، 400)°م فإن المزجة ذات المحتوى الإسمنتي الأقل تحتفظ أكثر بمقاومة الشد الإنشطارى ، وكذلك يتبين أن الحرارة العالية تكون أشد قسوة على مقاومة الشد الإنشطارى مقارنة مع مقاومة الإنضغاط وذلك لأن الحرارة العالية تزيد من كمية الشقوق وأحجامها والتي يكون لها التأثير المباشر على مقاومة الشد للخرسانة .



شكل (3): مقاومة الشد الانشطاري للمزجات الخرسانية كافة تحت تأثير درجات الحرارة العالية

إن فقدان الحاصل في مقاومة الشد الإنشطاري من الممكن أن يعزى إلى الأسباب نفسها التي أدت إلى فقدان مقاومة الإنضغاط عند التعرض لدرجات الحرارة العالية والتي تم ذكرها في فقرة سابقة. إضافة إلى ذلك ، فإن النماذج الأسطوانية الخرسانية بشكل عام بعد أن تم فحصها وإنشطارها ، وجد أن أغلب الفشل الحاصل في هذه النماذج على اختلاف مزجاتها هو في ترابط مونة الإسمنت مع الركام (Bond failure) أكثر من الفشل في مونة الإسمنت نفسها أو حتى في الركام نفسه ، ويعزى ذلك إلى مدى تأثير الخواص الحرارية للخرسانة والتي تعتمد بشكل رئيس على نوع الركام ومكونات المزيج الخرساني [30] .

3- معامل المرونة: هي مؤشر مهم في تحديد نوعية الخرسانة ، حيث يعبر عن الإجهاد المسلط والإنفعال الناتج ويعتبر كمقياس للصلابة (stiffness) أو مقاومة المادة للتشوه. يمكن اعتبار معامل المرونة من الخصائص المهمة في تصميم الأعضاء الخرسانية لمقاومة التشوهات ، حيث يتراوح بين (7000 – 50000) MPa اعتماداً على مقاومة الخرسانة وكثافتها. ويتأثر بنسب الركام وصلابته، وعمر الخرسانة، وظروف الفحص، ونسب المزج ، نسبة (الماء/الإسمنت)(W/C) ، ونوع الإسمنت، خواص الركام والإسمنت ، سرعة التحميل ، نوع وحجم الأنموذج الخرساني المستعمل [19 ، 31]. تم إجراء فحص معامل المرونة على النماذج الأسطوانية بأبعاد (300×150) ملم في حالة الإنضغاط بموجب المواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C469-02) [32] ، وتم تعديل السطح العلوي للنماذج الخرسانية عن طريق تغطيتها (Capping) بمادة البورك للتأكد من إستوائية السطح وضمان توزيع الحمل على السطح بصورة متساوية في أثناء التحميل،

وتم تنفيذ هذه الخطوة وفقاً للمواصفة القياسية الأمريكية (ASTM C617-03) [27] ، إذ تم تثبيت جهاز (Compress meter) في وسط النموذج الخرساني ووضعه في جهاز فحص الإنضغاط ، ويتم تسليط الحمل وقراءة التشوه الحاصل ضمن مسافة تثبيت الجهاز والتي تمثل المسافة بين مستوي التثبيت الواقعة في الحلقتين المتقابلتين وطول هذه المسافة (150ملم) ، علماً إن دقة قراءة جهاز التشوه (Dial Gauge) المثبتة في هذا الجهاز هي (0.002 ملم) ، ومن معرفة التشوه الحاصل المقابل للحمل المسلط المسبب لهذا التشوه ولحين الوصول إلى فشل النموذج الخرساني ، يتم رسم علاقة (الإجهاد – الإنفعال) ، كما يتم احتساب معامل المرونة للخرسانة الذي يمثل النسبة بين الإجهاد والإنفعال ضمن حدود إجهاد التشغيل (Working Stress) (حدود إجهاد التشغيل تتراوح بين (0 – 40)% من المقاومة القصوى للإنضغاط) [67]. ويحسب معامل المرونة من خلال المعادلة الآتية:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.00005}$$

إذ إن:

E: معامل المرونة ، S₂: الإجهاد المقابل لـ (40%) من الحمل الأقصى ،

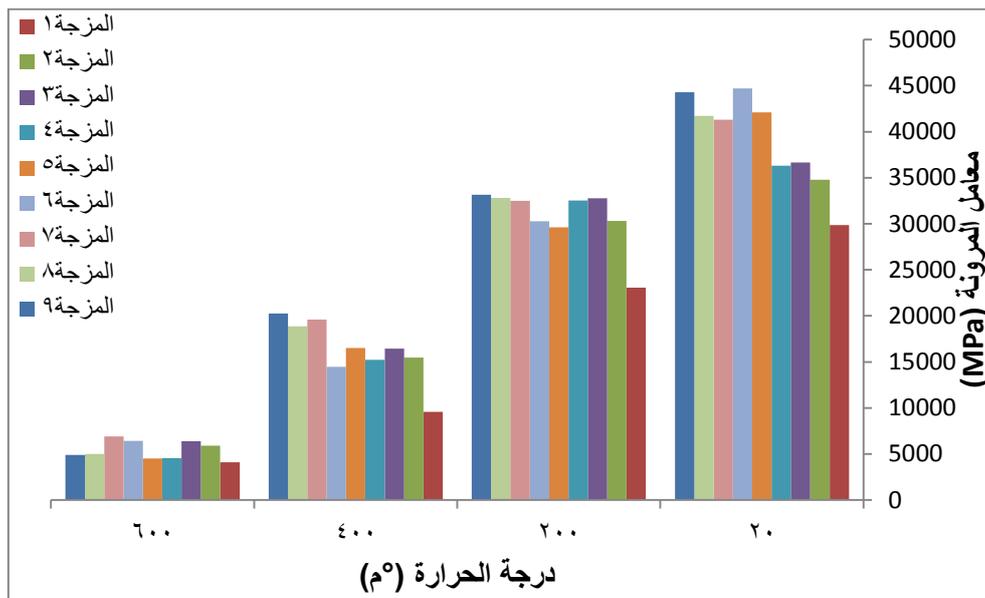
S₁: الإجهاد المقابل للإنفعال الطولي (0.00005) ، ε₂: الإنفعال الناتج من (S₂) .

وفيما يلي الجدول (7) الذي يبين نتائج فحص معامل المرونة للنماذج الخرسانية الأسطوانية عند درجة حرارة

(20)°م وبعد تسخينها للمستويات الحرارية العالية (200 ، 400 ، 600)°م وللمزجات الخرسانية كافة.

جدول (7): معامل المرونة للمزجات الخرسانية كافة تحت تأثير درجات الحرارة العالية

القيمة النسبية لمعامل المرونة المتبقي (%)				معامل المرونة (MPa)				المزجات الخرسانية
°600م	°400م	°200م	°20م	°600م	°400م	°200م	°20م	
13.75	32.14	77.27	100	4104	9593	23067	29851	1
16.97	44.48	87.14	100	5902	15467	30301	34772	2
17.44	44.83	89.46	100	6390	16429	32786	36648	3
12.54	41.92	89.60	100	4553	15219	32529	36304	4
10.70	39.26	70.40	100	4508	16523	29626	42083	5
14.40	32.35	67.70	100	6439	14466	30271	44711	6
16.76	47.48	78.74	100	6920	19603	32512	41290	7
12.00	45.25	78.65	100	5004	18882	32817	41726	8
11.05	45.72	74.90	100	4893	20242	33167	44278	9

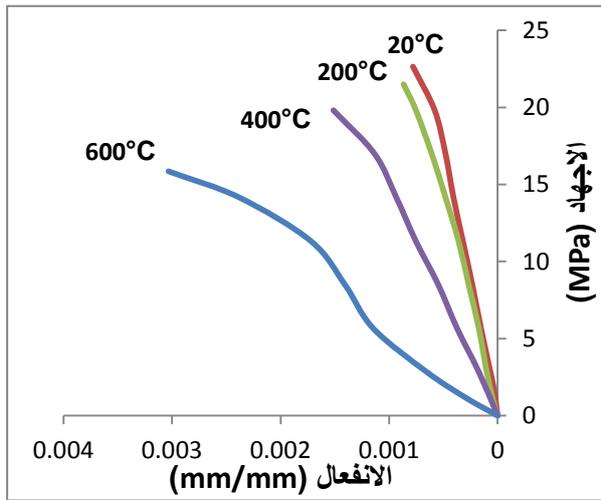


شكل (4): معامل المرونة للمزجات الخرسانية كافة تحت تأثير درجات الحرارة العالية

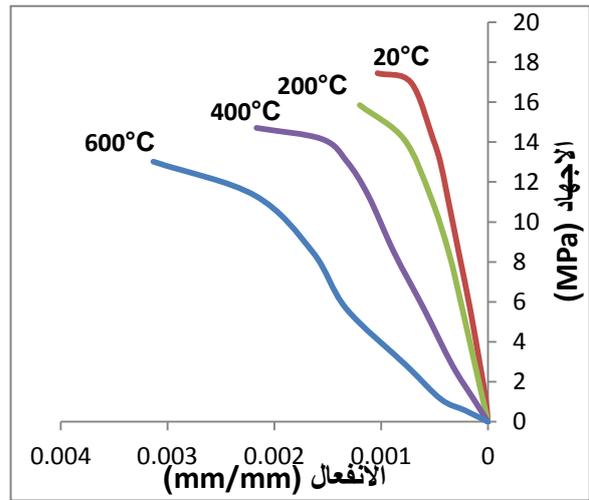
تبيّن النتائج أن المتبقي من معامل المرونة للمزجات الخرسانية جميعها ينخفض بشكل تدريجي مع ارتفاع درجة الحرارة ، وأن القيمة النسبية المتبقية من معامل المرونة للمزجة الخرسانة الثالثة والرابعة بنسبة ماء إلى إسمنت ($W/C=0.52$) كانت (89.46، 89.60)% على التوالي وهي الأعلى مقارنة بالمزجات الخرسانية الأخرى عن التعرض لدرجة حرارة ($200^{\circ}م$) ، ومن خلال ملاحظة النتائج بصورة عامة فإن تعرض الخرسانة للدرجات الحرارة العالية عند محتوى الإسمنت (250كغم/م³) فإن نسبة (W/C) الأقل تحتفظ بنسبة أكبر من معامل المرونة المتبقي ، وعلى عكس ذلك فعند محتوى الإسمنت (350,450كغم/م³) فإن نسبة (W/C) الأكثر تحتفظ بنسبة أكبر من معامل المرونة المتبقي .

من الممكن القول أن سلوك معامل المرونة عند درجات الحرارة العالية مشابه لسلوك مقاومة الإنضغاط لكن بتأثير أكبر، إذ يتميز معامل المرونة بحساسية عالية نحو درجات الحرارة العالية، وذلك لأنه عند ارتفاع درجات الحرارة ، فإن الإنفعال يزداد عند أعلى إجهاد يصل إليه الأتمودج الخرساني إزدياداً طردياً مع ارتفاع درجات الحرارة مقارنة بنماذج خرسانية أخرى معرضة لدرجات حرارة واطئة. إن نقصان معامل المرونة يعود إلى الإنهيار التدريجي للمنظومة الرابطة ومدى حساسيته نحو صلابة الركام أكثر من صلابة عجينة الإسمنت بارتفاع الحرارة حيث تتغير خواص العجينة الرابطة [8] ، لكن على العموم هناك عدد من العوامل التي تؤثر على معامل المرونة للخرسانة عند تعرضها لدرجات الحرارة العالية وتشمل المقاومة الأصلية للخرسانة ، نوع الركام ، نسبة (الماء/الإسمنت) ، نوع الإسمنت ، الإجهادات طويلة الأمد [33].

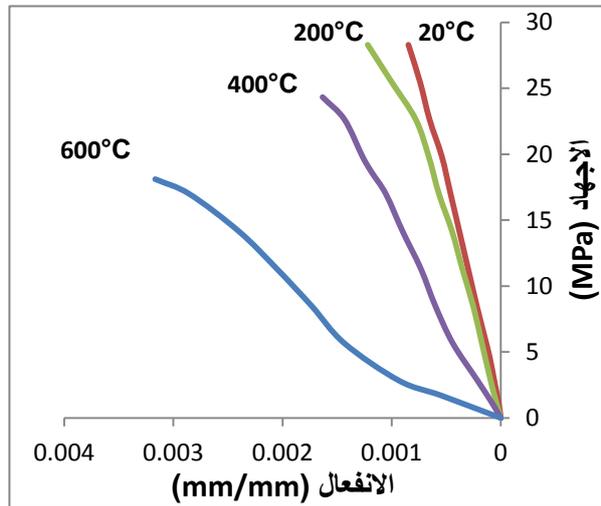
4- منحنى الإجهاد الإنفعال: لغرض التعرف على سلوك الخصائص الميكانيكية الأساسية للخرسانة تحت تأثير ظروف الحرائق ، تم رسم منحنى (الإجهاد – الإنفعال) للمزجات الخرسانية جميعاً وللمستويات الحرارية كافة.



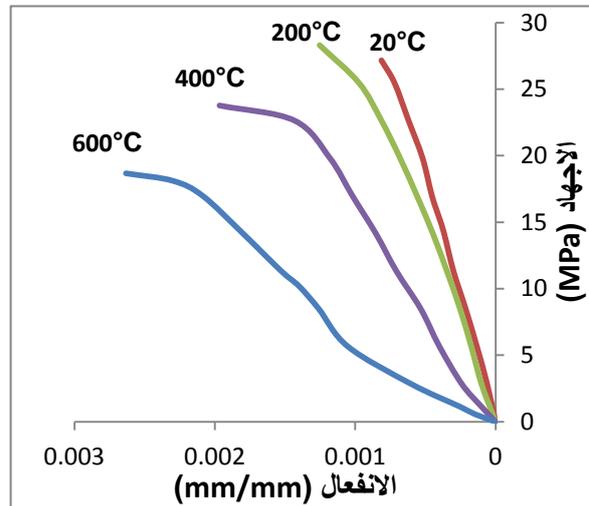
المزجة (2)



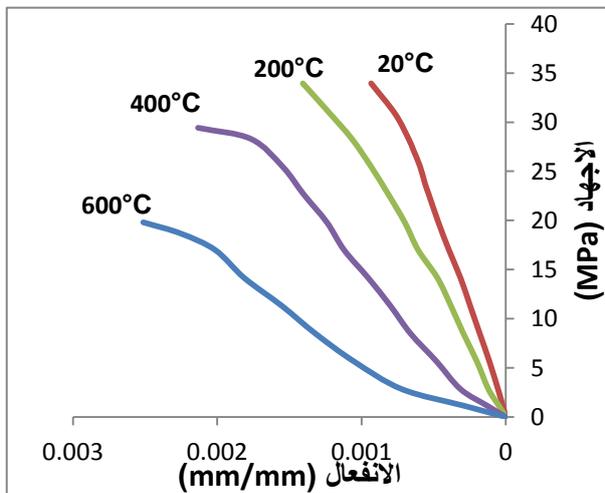
المزجة (1)



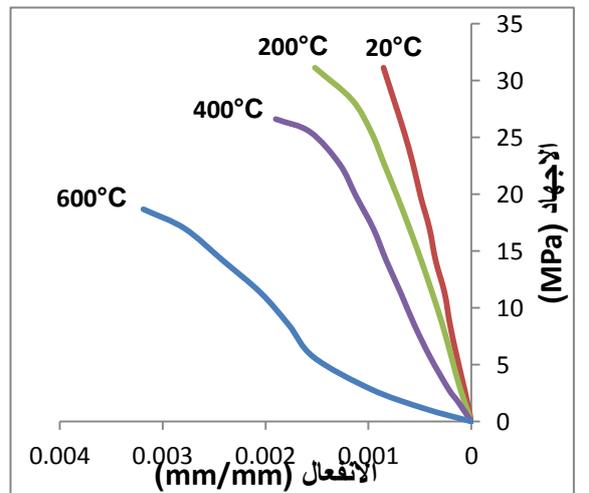
المزجة (4)



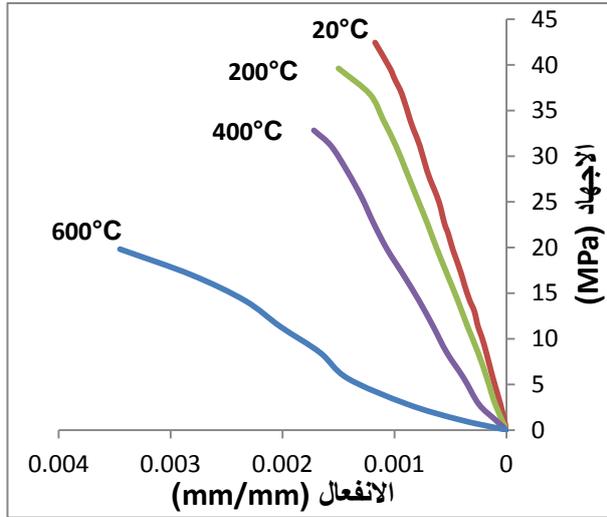
المزجة (3)



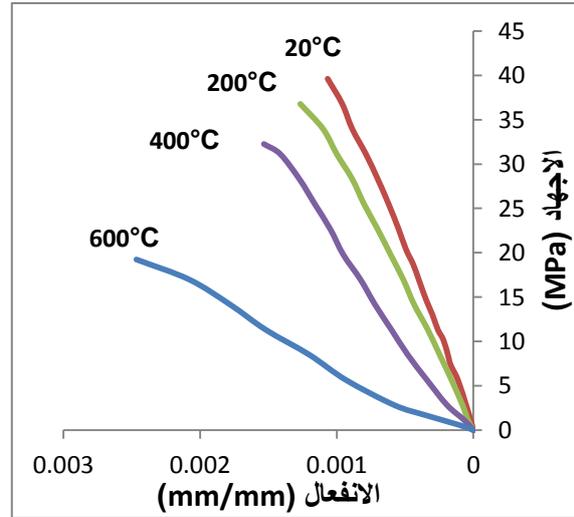
المزجة (6)



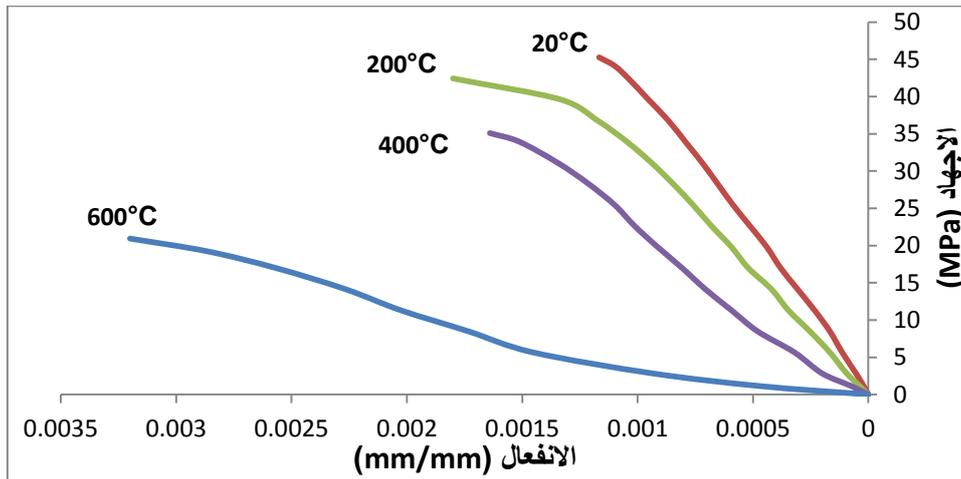
المزجة (5)



المزجة (8)



المزجة (7)



المزجة (9)

شكل (5): علاقات (الإجهاد - الانفعال) لجميع المزجات الخرسانية عند المستويات الحرارية كافة

يلاحظ من الأشكال السابقة لعلاقة (الإجهاد - الإنفعال) أن المزجات الخرسانية جميعاً يقل تحملها بارتفاع درجات الحرارة لما تسببه الحرارة من تكوين الشقوق التي تسهم بشكل مباشر في زيادة الإنفعال الذي يتناسب طردياً مع ارتفاع درجات الحرارة ، ووجد أنه عند زيادة مقاومة إنضغاط الخرسانة فإن الجزء المرن من منحنى (الإجهاد - الإنفعال) يصبح أكبر، إضافة إلى أن الفشل يكون قسيفاً (Brittle) أكثر، كما يتميز إنفعال الفشل (الإنفعال الأقصى) بأنه يعتمد على نوع الخرسانة ومقاومتها. كما لوحظ أيضاً في هذه العلاقات المنحنية زيادة الإنفعال (Strain) بإزدياد درجة الحرارة خاصة عند

درجة حرارة (600°م) ولكافة المزجات الخرسانية ، وهذه خاصية إيجابية في مدى إيداء الخرسانة قدرتها على المطاوعة وتغيير شكلها قبل الفشل . توجد مركبتان أساسيتان للخرسانة هما (عجينة الإسمنت والركام) ، إذ أنه عندما يتم فحص الأنموذج الخرساني تحت الإنضغاط ، فإن الجزء الخطي لعلاقة (الإجهاد - الإنفعال) يظهر لأن الركام يملك مقاومة أعلى مما هي عليه في عجينة الإسمنت. أما الجزء غير الخطي فإنه يعبر عن تطور التشققات الشعرية الدقيقة في السطح البينية ما بين الركام وعجينة الإسمنت [34] .

4. الاستنتاجات (Conclusions)

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها من الفحوصات المختبرية التي أجريت خلال هذه الدراسة العملية ، يمكن الوصول إلى الاستنتاجات الآتية :

1- تتأثر خصائص الخرسانة بصورة سلبية عند تعرضها لدرجات الحرارة العالية ويزداد تأثيرها مع ارتفاع درجات الحرارة، هذه التأثيرات بشكل عام تختلف من مزجة خرسانية إلى أخرى ، فعلى سبيل المثال لوحظ أن بعض المزجات الخرسانية أدت إلى زيادة نسب الإنخفاض سواءً في بعض الخواص أو حتى في جميعها (المزجات الخرسانية ذات المحتوى الإسمنتي العالي ونسبة الماء/الإسمنت القليل) ، وهناك مزجات خرسانية أبدت سلوكاً مقارباً في نسب الانخفاض في بعض الخواص ، فيما وجد أن مزجات خرسانية أخرى كانت نسب الانخفاض أقل سواءً في خاصية معينة أو أكثر من خاصية (المزجات الخرسانية ذات محتوى الإسمنت القليل ونسبة الماء/الإسمنت العالي). وأن تأثير درجات الحرارة العالية على معامل المرونة أكثر مما هي عليه على مقاومة الشد الإنشطاري ومقاومة الإنضغاط للخرسانة ، وكذلك تأثيرها على مقاومة الشد الإنشطاري أكثر مما هي عليه على مقاومة الإنضغاط للخرسانة. كما أن هذه التغييرات عموماً تتباين من درجة حرارية إلى أخرى ، لكنها على الرغم من ذلك كانت محدودة عند درجة حرارة (200°م) وسرعان ما أصبحت ملحوظة عند درجتي حرارة (400 ، 600)°م ، على اعتبار أن التغيير الحاصل في خواص الخرسانة يبدأ بشكل ملموس عند درجة حرارة (300°م) ويزداد التأثير بارتفاع هذه الدرجة.

2- انخفضت مقاومة إنضغاط المزجات الخرسانية بشكل عام وينسب مختلفة بعد التعرض لدرجات الحرارة العالية ، إذ إن النماذج الخرسانية ولمختلف مزجاتها الخرسانية بعد تعرضها للتسخين عند درجة الحرارة (200°م) لوحظ أن المقاومة المتبقية كانت متقاربة وأن الفرق طفيف عند المقارنة مع المقاومة الأولية عند درجة حرارة المختبر، وأن المزجة الخرسانية

الثامنة والتاسعة ذات المحتوى الإسمنتي (450كغم/م³) ونسبة الماء إلى الإسمنت (0.31،0.36) على التوالي احتفظتا بنسبة أعلى من مقاومة الإنضغاط بعد تعرضها للتسخين عند الدرجة الحرارية (200م°) وبلغت هذه النسبة (97.03) ، (96.2%) على التوالي . وبعد تسخين النماذج الخرسانية بدرجة حرارة (400م°) انخفضت المقاومة بشكل أكبر عن المقاومة الأولية ، وازداد بعدها النقصان في المقاومة بصورة كبيرة نسبياً وهذا ما تبينه النتائج عند التسخين بدرجة الحرارة (600م°). ولوحظ أن المزجات الخرسانية ذات المقاومات المنخفضة (قليلة الإسمنت وذات نسبة W/C عالي) تحتفظ بمقاومتها للإنضغاط أكثر من المزجات الخرسانية عالية المقاومة (الغنية بالإسمنت وذات نسبة W/C منخفض) عند التعرض للدرجات الحرارية العالية (400 ، 600)م° وكانت نسبة احتفاظ المزجة الخرسانة الأولى ذات (محتوى إسمنت=250كغم/م³ ونسبة ماء/إسمنت=0.70) للمقاومة تمثل (86.6 ، 74.47)% على التوالي عند تعرضها للدرجات الحرارية (400 ، 600)م° وهي أكبر من المزجات الخرسانية الأخرى.

3- انخفضت مقاومة الشد الإنشطاري للمزجات الخرسانية بشكل عام وينسب مختلفة بعد التعرض لدرجات الحرارة العالية، وقد وجد أن المزجة الخرسانة الأولى ذات المحتوى الإسمنتي (250كغم/م³) احتفظت بنسبة أعلى من المقاومة بعد تعرضها للتسخين عند الدرجة الحرارية (200 ، 400)م° إذ بلغت هذه النسبة (94.57 ، 73.2)% على التوالي. أما عند درجة حرارة (600م°) لوحظ بأن المزجة الخرسانية التاسعة ذات المحتوى الإسمنتي (450كغم/م³) احتفظت بنسبة أعلى من المقاومة مقارنة مع المزجات الخرسانية الأخرى إذ وصلت إلى (34.07)% ، حيث إن الحرارة العالية تزيد من كمية الشقوق وحجمها ويكون لها التأثير المباشر في مقاومة الشد الإنشطاري.

4- انخفضت قيم معامل المرونة للمزجات الخرسانية كافة وينسب مختلفة بعد التعرض لدرجات الحرارة العالية ، وتبين النتائج أن تأثير تعرض النماذج الخرسانية من المزجات الخرسانية كافة للحرارة العالية على معامل المرونة للخرسانة يكون أكبر مما هي عليه من تأثيرها على مقاومة الإنضغاط ومقاومة الشد الإنشطاري . لقد وجد أن القيمة النسبية المتبقية من معامل المرونة للمزجة الخرسانية الثالثة والرابعة ذات نسبة (W/C=0.52) ومحتوى الإسمنتي (250 ، 350)كغم/م³ على التوالي احتفظتا بنسبة أعلى من معامل المرونة مقارنة مع المزجات الخرسانية الأخرى حيث كانت (89.46 ، 89.60)% على التوالي عند تعرضها لدرجة حرارة (200م°) ، في حين كانت المزجة الخرسانية السابعة ذات المحتوى الإسمنتي (450كغم/م³) قد احتفظت بنسبة أعلى من معامل المرونة بمقدار (47.48)% عند تعرضها لدرجة حرارة (400م°) ، أما

عند درجة حرارة (600م°) لوحظ بأن المزجة الخرسانية الثالثة ذات المحتوى الإسمنتي (250كغم/م³) قد احتفظت بنسبة أعلى من معامل المرونة من بقية المزجات الخرسانية ووصلت إلى (17.44%).

المصادر (References)

- [1] J. Kropp , J.Seeberger and H.K.Hilsdorf , "**Chemical and physical properties of cement paste and concrete containing fly ash after hydrothermal exposure**", ACI SP vol. 91,(1986), pp. 201–218.
- [2] F. S. Rostasy , R. Weiss and G. Wiedemann, "**Change of pore structural of cement mortars due to temperature**"Cement and Concrete Research, 10,(1980), pp.157–164.
- [3] C. Galle and J. Sercombe ,"**Permeability and pore structure evolution of silicocalcareous and hematite high strength concrete submitted to high temperature**" Materials structural, 33,(2001) pp. 619–628.
- [4] kadhum , Mohammed Mansour "**Behaviour of fire Exposed Reinforced concrete columns**", PhD. Thesis Civil Engineering Department , University of Baghdad , Iraq, 2010, pp.10–12
- [5] M. Husem , " **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 .
- [6] The Concrete Center, "**Concrete and Fire**", Report No.(TCC/05/01) , First Published 2004, pp. 1 – 13.
- [7] Zween , Ali Talib Jasim "**Performance of light weight aggregate concrete incorporating fiber exposed to elevated temperature** " Ph.D. thesis , University of Technology , Iraq, 2008 , pp.6–12 .
- [8] R. Sri Ravindrarajah, R. Lopez and H. Reslan, "**Effect of Elevated Temperature on the Properties of High Strength Concrete Containing Cement Supplementary Materials**", Center of Built Infrastructure Research, University of Technology, Sydney, Australia, March, 2002, pp. 1 – 9.

- [9] R. Felicetti and P. G. Gambarova, "**Effects of High Temperature on the Residual Compressive Strength of High – Strength Siliceous Concrete**", ACI Materials Journal, Vol. 95, No. 4, July – August, 1998, pp. 395 – 406.
- [10] G. T. G. Mohamedbhai, "**Effect of Exposure Time and Rates of Heating and Cooling on Residual Strength of Heated Concrete**", Magazine of Concrete Research, Vol. 38, No. 136, September, 1986, pp. 151 – 158.
- [11] G. A. Khoury , " **Effect of fire on concrete and concrete structures** " , prog. Struct. Eng. Materials , parts , 2000 , pp. 429 – 447 .
- [12] A. F. Bingol and R. Gul , " **Compressive strength of lightweight Aggregate concrete Exposed to High Temperature** " , Indian Journal of Engineering and Materials Sciences , vol. 11 , February , 2004 , pp. 68 – 72 .
- [13] P. D. Bentz , " **Fiber , Percolation , and spalling of High – Performance Concrete** " ACI Materials Journal , vol. 97 , No. 3 , 2000 , pp. 351 – 359 .
- [14] L. T. Phan and N. J. Carino, "**Fire Performance of High Strength Concrete: Research Needs**", Reprinted from the Advanced Technology in Structural Engineering, ASCE/SEI Structural Congress 2000, Proceedings, May, 2000, PP.1 – 8.
- [15] I. Janotka and L. Bágel, "**Pore Structures, Permeabilities, and Compressive Strengths of Concrete at Temperatures up to 800°C**", ACI Materials Journal, Vol. 99, No. 2, March – April, 2002, pp. 196 – 200.
- [16] المواصفة القياسية العراقية (رقم 5) ، (1984) ، " **خصائص السمنت البورتلندي الاعتيادي** " ، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية ، 1984 .
- [17] BS 882 – 1992 , " **Aggregate from Natural Source for Concrete** " , British Standard Institution , 1992 .
- [18] ASTM C33–01 , " **Standard Specification for Concrete Aggregates** " , American Society for Testing and Materials , 2001 .
- [19] Neville, A. M. , Properties of Concrete , 3rd Edition , Pitman Publishing Ltd , London , (2002) .
- [20] D.C. Teychenne , R E Franklin , H C Erntroy , " **Design of normal concrete mixes** " , Second edition , Building Research Establishment Ltd , 1988 .

- [21] ASTM C 143/C 143M—12 , " **Standard Test Method for Slump of Hydraulic – Cement Concrete** " , 2012 .
- [22] ASTM C192-02 , " **Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory** " , American Society for Testing and Materials , 2002.
- [23] K. Saker and E. El-Hakim , " **Effect of High Temperature or Fire on Heavy Weight Concrete Properties** " , Cement and Concrete Research , Vol. 35 , 2005 , pp.590 – 596
- [24] N. Yuzer , F. Akoz and L. Ozturk , " **Compressive Strength – Color Change Relation in Mortars at High Temperature** " , Cement and Concrete Research , January , 2004 , pp.1– 5
- [25] ASTM C39-04 , " **Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens** " , American Society for Testing and Materials , 2004 .
- [26] Troxell G. E. , Davis H. E. and Killy J. W. , " **Composition and Properties of Concrete** " , 2nd Edition , 1965 .
- [27] ASTM C617-03 , " **Capping Cylindrical Concrete Specimens** " , American Society for Testing and Materials , 2003 .
- [28] F. M. Khalaf , A. S. DeVenny , " **Performance of Brick Aggregate Concrete at High Temperatures** " , Journal of Materials in Civil Engineering , Vol. 16 , No.6 , December , 2004 , pp.556–565 .
- [29] ASTM C496-04 , " **Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens** " , American Society for Testing and Materials , 2004 .
- [30] V. K. R. Kodur and M. A. Sultan , " **Effect of Temperature on Thermal Properties of High – Strength Concrete** " , Journal of Materials in Civil Engineering , ASCE , Vol. 15 , No. 2 , April , 2003 , pp. 101 – 106.
- [31] الخلف و يوسف، أم.د. مؤيد نوري الخلف ، م.م. هناء عبد يوسف ، " **تكنولوجيا الخرسانة** " ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي ، الجامعة التكنولوجية ، 1984 ، 558ص.
- [32] ASTM C469-02 , " **Elastic Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression** " , American Society for Testing and Materials , 2002 .

[33] U. Schneider , “ *Concrete at High Temperature*” , Fire Safety Journal , Vol. 13 , 1988 , pp. 55 – 56.

[34] S. Somayaji, “ *Civil Engineering Materials*” , Englewood Cliffs , New Jersey , 1995 , 351 pp.

المؤلف

عبد الحكيم حامد أحمد: بكالوريوس هندسة مدنية ، دكتوراه هندسة إنشاءات، أستاذ في جامعة الموصل /كلية الهندسة /قسم هندسة المدنية، براءة اختراع رقم (GO IC 9/00) مقياس الميل الدقيق، العمل كاستشاري في العديد من المؤسسات الهندسية ، استشاري لدى شركة دجلة للدراسات والتصاميم الهيدروليكية للفترة من 1987 – 2002 .

