دراسة معملية لتقييم الخواص الميكانيكية للخلطات الخرسانية تحت تأثير المناخ الحار (الصحراوي)

محمد عاشور عيواز[1]، أمجد محارب عبد الله[2]
الأكاديمية الليبية للدراسات العليا، جنزور، ليبيا
Email: mewaze559@gmail.com

الملخص: تعتبر الخرسانة المادة الرئيسية لتنفيذ أعمال المباني الخرسانية ومشروعات البنية التحتية في معظم المناطق من العالم، وخلال السنوات الماضية شهدت تطور كبير ساهم في إنشاء المنشئات الخرسانية بأنواعها المختلفة، وعلى الرغم من التطور الذي شهدته مراحل صناعة الخرسانة إلا أنه لاتزال هناك بعض المشاكل التي تواجه مراحل تنفيذها.

يستعرض هذا البحث دراسة تأثير المناخ الحار (الصحراوي) على الخواص الميكانيكية لخلطات خرسانية قياسية ومُحسّنة والتي تضمنت مقاومة الضغط ومقاومة الشد غير المباشر ومقاومة الإنحناء من خلال إجراء الإختبارات المعملية على العينات الخرسانية ومقارنة نتائج عينات الخرسانة العادية بنتائج إختبارات الخرسانة المحسنة المضاف إليها غبار السيليكا والملدنات الفائقة خلال (0 ، 45 ، 90) دورة حرارية يومية. اعتمدت عملية خلط المواد الأساسية للخرسانة القياسية علي (الأسمنت، الركام ، الرمل، الماء) بالنسبة (1 : 2.5 : 2 : 0.55) من وزن الأسمنت ونسبة المواد في الخرسانة المحسنة (الأسمنت، الركام، الرمل، الماء، سيليكا فيوم، الملدنات الفائقة) كانت (1: 2.2 : 1.3: 0.22 : 0.1 : 0.18) من وزن الأسمنت، وقد تلت عملية الخلط غمر العينات في الماء لمدة 28 يوم ثم وضع العدد المستهدف بالدورات الحرارية في أفران كهربائية لمدة (45 ، 90) دورة حرارية. بعد ذلك تم أجراء إختبار مقاومة الضغط وإختبار مقاومة الشد غير المباشر وإختبار مقاومة الإنحناء لعينات الخلطة العادية والخلطة المحسنة. سجلت مقاومة الضغط للخرسانة المحسنة قيم أفضل بكثير من قيم مقاومة الضغط للخرسانة العادية خلال جميع مراحل الدورات الحرارية، كما عكست نتائج مقاومة الشد غير المباشر أفضلية كبيرة للخرسانة المحسنة عن الخرسانة العادية في كل مراحل الدورات الحرارية اليومية. أظهرت نتائج الإختبارات قدرة الخرسانة المحسنة على مقاومة الإنحناء خلال الظروف الحرارية اليومية مقارنة بمقاومة الإنحناء للخرسانة العادية خلال الدورات الحرارية اليومية. نرجح كل ما تحقق من خصائص مذهلة الي عملية إضافة المواد المحسنة للخلطة الخرسانية، وذلك من خلال تطوير سلوك مادة الخرسانة في مقاومة الأحمال والظروف المناخية الحارة المختلفة.

الكلمات المفتاحية: الخلطات الخرسانية، المناخ الحار، الخواص الميكانيكية

Laboratory study to evaluate the mechanical properties of concrete mixtures under the influence of hot climate (Desert)

Mohamed Ashour Ewaze [1], Amjad Mohareb Abdullah [2]
Civil and Architectural Engineering Department
Libyan Academy for Postgradutes Studies, Janzur, Libya
Email: mewaze559@gmail.com

Abstract Concrete is the main material for implementing concrete buildings and infrastructure projects in most regions of the world. During the past years, it has witnessed a great development that contributed to the construction of concrete buildings of various types [1] .Despite the development witnessed by the stages of concrete manufacturing, there are still some problems facing the stages of its implementation. This research reviews the study of the effect of hot climate (desert) on the mechanical properties of concrete mixtures, which included of compressive strength, indirect tensile strength and bending strength by doing laboratory tests were conducted on ordinary concrete with comparison with the test results of improved concrete added to silica fume and superplasticizers during (0, 45, 90) daily thermal cycles.

The study used ratio of additives in the normal mix (cement: aggregate: sand: water) is (1: 2.5: 2: 0.55) % of the cement weight and the ratio of additives in the improved mix (cement: aggregate: sand: water: Sika Fume: superplasticizers) is (1: 2.2: 1.3: 0.22: 0.1: 0.18) % of the cement weight. After the mixing process, the samples were immersed in water for 28 days and then placed in electric ovens for (45, 90) thermal cycles. Then, the compressive strength test, indirect tensile strength test and flexural strength test were conducted for the normal mix and improved mix samples.The compressive strength of the improved concrete recorded much better values than the compressive strength values of the normal concrete during all stages of the thermal cycles. Also the results of indirect tensile strength reflected a significant advantage for the improved concrete over the normal concrete during all stages of the daily thermal cycles. More over the test results rapture stress showed that the improved concrete has better resistance to bending comparing with the bending resistance of normal concrete during the daily thermal cycles. The process of adding improved materials to the concrete mix reflected achieving amazing properties by developing the concrete's behavior in resisting loads and hot climatic conditions.

1. المقدمة

تعتبر الخرسانة المادة الرئيسية لتنفيذ أعمال المباني الخرسانية ومشروعات البنية التحتية في معظم المناطق من العالم وذلك لتوفر مكوناتها الأساسية بتكلفة أقل مقارنة بالمواد الإنشائية الأخرى، إضافة لملائمتها لمختلف الظروف المناخية، ونتيجة لازدياد الطلب على هذه المادة الانشائية في العقود الماضية فقد إهتمت الدراسات السابقة بتطوير صناعتها وإنتاج أنواع أخرى من الخرسانة تتميز بمواصفات وخواص عالية الجودة مثل الخرسانة عالية المقاومة والخرسانة عالية الأداء، حيث أصبح لها مكانة مهمة ضمن المواد الإنشائية المختلفة وتستخدم على نطاق واسع في المباني والمنشئات الخرسانية كالأبراج والكباري والمنشآت

DOI: 10.5281/zenodo.15600877

العملاقة استنادا على خاصة المقاومة والديمومة لهذه المواد والتي تعتبر مفتاح المشكلة في تقنيات الخرسانة الحديثة [1].

نظراً لوقوع مناطق كثيرة من الأرض في الإقليم الصحراوي الذي يتميز عن غيره من الأقاليم بالتغير الكبير بين ساعات النهار وساعات الليل في درجات الحرارة اليومية والذي يصل الى 50 درجة مئوية نهاراً و10 درجات مئوية أو أقل ليلاً حيث تعكس هذه الظروف المناخية تأثر المواد الانشائية بالتغير الحراري اليومي الأمر الذي فرض على الباحثين التركيز على هذا الجانب والقيام بدراسات تقيّم حالة المنشآت الخرسانية المنفذة في هذه المناطق الصحراوية، والوقوف على مدى مقاومتها لهذه التغيرات وإيجاد الحلول المناسبة في حالة تأثرها بها.

ومن خلال الدراسات التي أجراها العديد من الباحثين تبين أن التغير في درجات الحرارة اليومية يؤثر تأثيرا مباشرا على قوة وديمومة المنشآت الخرسانية المنفذة بهذه المناطق حيث أثبتت الدراسات ضعف أداء العناصر الانشائية للمباني مع تقدم الزمن مما تسبب في إتلافها وخضوعها الى عمليات إعادة التأهيل [2].

2. مشكلة الدراسة

تتلخص مشكلة الدراسة في ظهور أضرار بالمنشآت الخرسانية الموجودة بالمناطق الصحراوية نتيجة التغير اليومي الكبير في درجات الحرارة التي تتعرض لها المنشآت الخرسانية المنفذة بهذه المناطق وتأثرها بتمدد وانكماش كتلها الخرسانية مما ينعكس على الخواص الميكانيكية لمادة الخرسانة المستخدمة في عمليات تنفيذ هذه المباني.

3. أهداف وأهمية الدراسة

تُركز هذه الدراسة على تقييم تأثير إضافة المواد المحسنة لإنتاج خرسانة تقاوم تغيرات درجات الحرارة اليومية وتتوافق مع الظروف الطبيعية للمناخ الصحراوي ويمكن أن تتلخص في الأتي:

أ- تقديم مقترح لحل مشكلة تأثير المناخ الحار (الصحراوي) على الخلطات الخرسانية بإستخدام إضافات للحصول على خلطات خرسانية متطورة بإستخدام مواد محلية.

ب- توفير الوقت والتكلفة لتنفيذ المنشئات الخرسانية بالمناطق الصحراوية وذلك بتصميم خلطات خرسانية ملائمة.

ج- ديمومة المباني الخرسانية بهذه المناطق.

د- فتح آفاق جديدة لدراسات علمية وعملية في مجال تقنيات الخرسانة.

4. منهجية الدراسة:

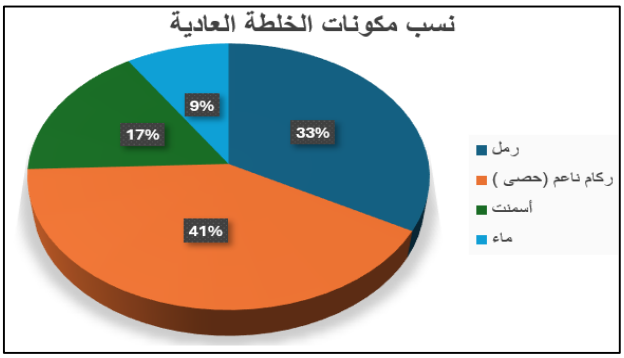
تعتمد منهجية الدراسة على إجراء مقارنة بين الخواص الميكانيكية لخلطة خرسانة عادية قياسية وخلطة خرسانية محسنة بإضافة مادتي غبار السيليكا ومحلول الملدن الفائق (السوبربلاستسيزر - تيمبو 12) بعد تعرضهما للحرارة حيث تعكس وتمثل درجات الحرارة اليومية (Daily Temperature) لمدة زمنية محددة (0 thermal cycle – 45 thermal cycle – 90 thermal cycle) وذلك للوصول إلى أفضل الخلطات الخرسانية الملائمة للأجواء الحارة من خلال إعداد عينات خرسانية لخلطات تصميمية سابقة .

1.4 تصميم الخلطة الخرسانة العادية القياسية

يُقصد بالخرسانة العادية القياسية تلك التي تستخدم بدون وضع إضافات أثناء عملية الخلط والتي اشتملت علي (الأسمنت، الرمل، الركام الخشن، الماء) كما هو موضح بالشكل (1) حيث تم وزن هذه المكونات وفق النسب المشار اليها في الجدول (1) وقد استخدمت المجموعة الأولى من العينات لتحديد الخواص الميكانيكية للخرسانة المتصلدة وهي مقاومة الانضغاط والشد والانحناء عند 0 دورة حرارية وتتألف من ثلاثة مكعبات قياسية بحجم 150 × 150 × 150 مم، و ثلاثة كمرات بحجم 100 × 100 × 500 مم وثلاثة أسطوانات 150 × 300 مم أما المجموعة الثانية والثالثة من العينات فقد تم اختبار ثلاثة كل منها عند 45 و90 يوم دورة حرارية علي التوالي).

الجدول (1) نسب الخلطة الخرسانية القياسية

المكونات	الأسمنت	الركام	الرمل	الماء
النسب %	1	2.5	2	0.55



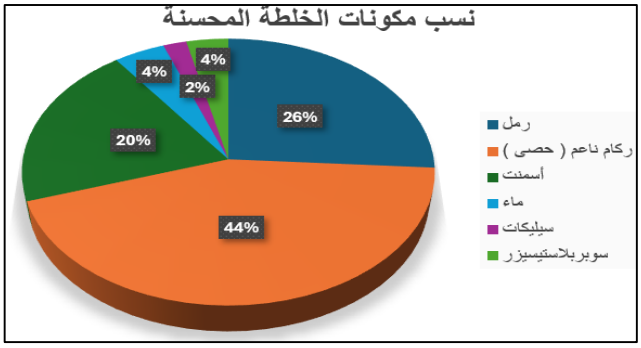
الشكل (1) المواد المستخدمة في الخلطات الخرسانية العادية

2.4 تصميم الخلطة الخرسانة المحسنة

وهي الخرسانة التي تستخدم فيها الإضافات (غبار السيليكا وسوبربلاستيسيزر) وقد استخدمت نسب المواد المكونة لها وهي (الأسمنت ، الرمل، الركام الخشن، الماء، الإضافات) كما هو مبين بالشكل (2) حيث تم وزن هذه المكونات وخلطها للحصول علي قوالب عينات الاختبار الموضحة بالجدول (2).

الجدول (2) نسب الخلطة الخرسانية المحسنة

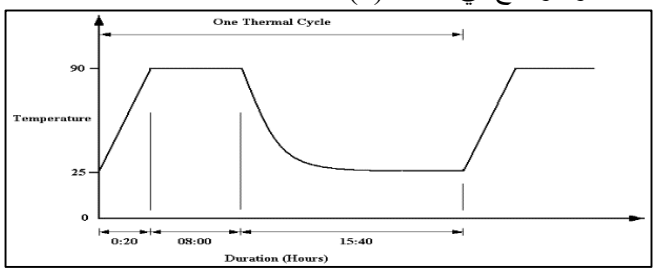
المكونات	الأسمنت	الركام	الرمل	الماء	سيلكا فيوم	سوبربلاستيسيزر
النسب %	1	2.2	1.3	0.22	0.1	0.18



الشكل (2) المواد المستخدمة في الخلطات الخرسانية المحسنة

3.4 الدورة الحرارية

تم وضع العينات في الفرن الكهربائي وتسخينها تدريجيا إلى درجة حرارة بلغت 90 درجة مئوية في الغرفة، حيث يهدف إلى تجنب أي خطر بتعرض العينات لصدمة حرارية أثناء التسخين، وقد تم الحفاظ على درجة الحرارة القصوى لمدة ثماني ساعات قبل أن يتم تبريد العينات إلى درجة حرارة الغرفة دون 15 درجة مئوية مدة 16 ساعة لتشكل مدة التسخين والاحتفاظ والتبريد 24 ساعة وهي دورة حرارية وبعد ذلك يتم اختبار العينات في درجة حرارة الغرفة كما هو موضح في الشكل (3).



الشكل (3) التمثيل التخطيطي للدورة الحرارية

4.4إختبار مقاومة الضغط

إن مقاومة الضغط هي أهم خواص الخرسانة على الإطلاق وهي تعبر عن قوة ومقاومة الخرسانة للضغط حيث أن معظم الخواص والمقاومات الأخرى مثل الشد والإنحناء تتحسن وتزيد بزيادة مقاومة الضغط [3].

وقد تم إجراء اختبار الضغط في آلة اختبار الضغط وفق المواصفات البريطانية (BS 1881-116 1983) حيث تم اختبار ثلاثة مكعبات من الخلطة الخرسانية العادية بحجم 150 × 150 × 150 مم وثلاثة مكعبات من الخلطة الخرسانية المحسنة بحجم 150 × 150 × 150 مم (عند 0 و 45 و 90 يوم دورة حرارية) وتم تحديد مقاومة الضغط والتي من الممكن حسابها من المعادلة الآتية

$$f_c = \frac{P}{A}$$

حيث أن :-

f_c = مقاومة الضغط

P = القوة المؤثرة

A = مساحة المقطع

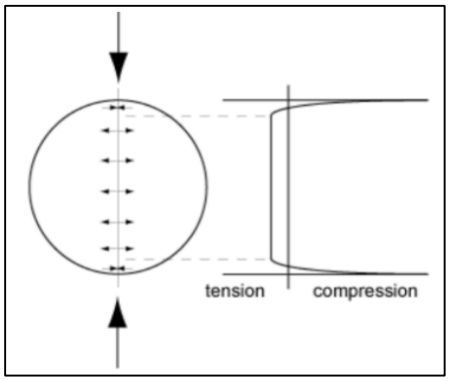
5.4 إختبار مقاومة الشد غير المباشر

تعتبر مقاومة الخرسانة للشد ضعيفة إذا ما قورنت بمقاومتها للضغط ويرجع هذا لكونها مادة قصفة ومع ذلك اهتم الباحثون بمقاومة الشد في الخرسانة لأن حدوث معظم التشققات والشروخ فيها ناتج عن صغر مقاومتها للشد، ومقاومة الشد للخرسانة تتراوح ما بين 7 – 11 % من مقاومتها للضغط [4].

ويجري إختبار الشد غير المباشر وفق المواصفات البريطانية (BS 1881-117 1983) ويعرف بإختبار الشد الانشطاري حيث يكون كسر العينة ناتج من تأثير الشد الجانبي المصاحب لحمل الضغط المؤثر من ماكينة الاختبار على العينة والذي يكون بزيادة نسبية تقدر (0.04 – 0.06) MPa بالثانية. وتكون عينة الاختبار أسطوانية بقطر 150 مم وطول 300مم وتوضع بين رأسي ماكنة الإختبار في وضع أفقي وعلى جانبيها بين شريحتين من الخشب أو المطاط بعرض 2سم كما موضح في الشكل (4) حيث تقوم هذه الشرائح بتوزيع قوة الإنظغاط على عرض قليل والذي يكفي لتجنب أي تركيز غير مقبول للإجهاد ويعوض عن أي عدم إنتظام للسطح، حيث يتم اختبار ثلاثة أسطوانات بحجم 150 × 300 مم من الخلطة الخرسانية العادية وثلاثة أسطوانات بحجم 150 × 300 مم من الخلطة الخرسانية المحسنة (عند 0 و 45 و 90 يوم دورة حرارية). ينتج عن قوة الإنضغاط هذه إجهاد عرضي والذي يكون ثابت على طول القطر العمودي فيكون الفشل في الشد على طول القطر العمودي للمقطع العرضي وعند إنهيار العينة يسجل الحمل الأقصى المسبب لكسر العينة كما موضح بالشكل (5) [4].

تقدر قيمة مقاومة الشد المحسوبة بهذه الطريقة بحوالي 15% أكثر من القيمة المقدرة بطريقة الفحص المباشر والتي يمكن حسابها من المعادلة الآتية :

$$\sigma = \frac{2P}{\pi DL}$$

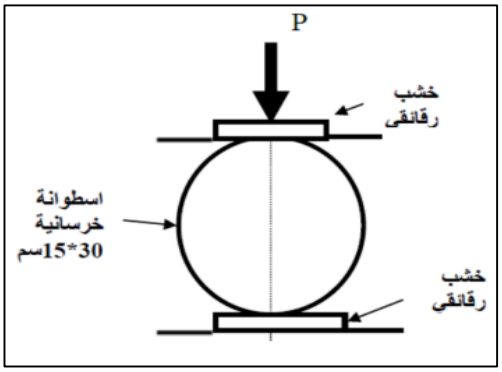


σ = إجهاد الشد غير مباشر (نيوتن / ملم^2)

P = الحمل الأقصى المسلط على الإسطوانة (نيوتن)

D1 = قطر الإسطوانة (ملم)

L = طول الإسطوانة (ملم)



الشكل (4 أ، ب) آلية الشد غير مباشر[4]

6.4 إختبار مقاومة الإنحناء

يختص هذا الإختبار بتقدير مقاومة الخرسانة للإنحناء ودراسة سلوك الكمرات الخرسانية (Concrete Beams) عند تعرضها إلى أحمال إنحناء ويعبر عن مقاومة الإنحناء بمعامل الكسر Modulus of Rapture كما موضح بالشكل (5) والذي يحسب من المعادلة الموضحة ويجري هذا الاختبار وفق المواصفات البريطانية (BS 1881-117 1983).

$$f_b = \frac{M_{max}.Y}{I} = \frac{P_{max}.L}{bh^2}$$

حيث أن :-

fb = مقاومة الانحناء

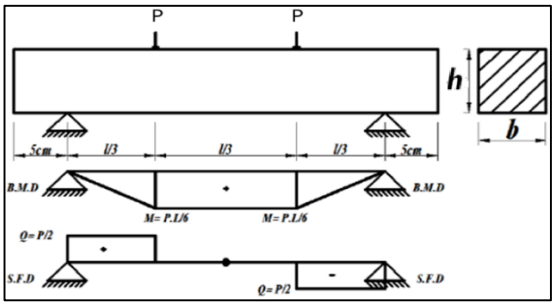
M_{max} = أقصى عزم تتعرض له العينة (PL/6)

Y = بعد النقطة الطرفية للمقطع المستعرض (h/2)

I = عزم القصور الذاتي للمقطع المستعرض ($bh^3/12$)

P_{max} = الحد الأقصى للحمل الكلي المسلط على الكمرة

L = بحر الكمرة b = عرض الكمرة h = عمق الكمرة



الشكل (5) عزم القصور الذاتي وقوى القص[4]

5 عرض وتحليل نتائج الاختبارات المعملية

أجريت الاختبارات المعملية للعينات الخرسانية المختلفة بعد تعرضها لدرجة حرارة تحاكي درجة حرارة المناخ الصحراوي وفقًا للمعايير البريطانية ذات الصلة ولمدة 0 و 45 و 90 يوم حيث يمثل اليوم دورة حرارية واحدة وقد سجلت كل البيانات الخاصة بكل عينة واختبار وفق ما هو معتمد.

1.5 نتائج مقاومة الضغط

أظهرت نتائج اختبارات تكسير المكعبات للخلطة العادية زيادة مقاومة الانضغاط من 26.27 نيوتن/ مم^2 إلى 37.82 نيوتن/ مم^2 بعد (45 دورة حرارية) أي بزيادة تصل الي 40 % ثم انخفضت إلى 34.40 نيوتن/ مم^2 بعد(90 دورة حرارية) لنحصل على زيادة إجمالية لمقاومة الضغط تقدر بنسبة 30 % بعد الدورات الحرارية النهائية مقارنة بقيمة درجة حرارة الغرفة وهذا يؤول الي استمرار عملية الهدرجة داخل نسيج الخرسانة بعد 45 دورة حرارية [5]، ثم تناقصت قيمة مقاومة الضغط بعد 90 دورة حرارية متأثرة بالحرارة الناتجة من الدورات الحرارية. وفي المقابل أظهرت نتائج اختبارات تكسير المكعبات للخلطة المحسنة زيادة مقاومة الانضغاط من 51.55 نيوتن/ مم^2 إلى 54.00 نيوتن/ مم^2 بعد 45 دورة حرارية بزيادة تصل الي 5 % حيث يرجح قرب نهاية عملية الهدرجة داخل نسيج الخرسانة ويؤكد هذا الزيادة البسيطة في مقاومة الضغط لتصل الي 54.80 نيوتن/ مم^2 بعد مرور 90 دورة حرارية كما هو موضح في الجدول (5 أ) (5ب) .

الجدول (5 أ) مقاومة الضغط للعينات الخرسانية بعد الدورات الحرارية المختلفة

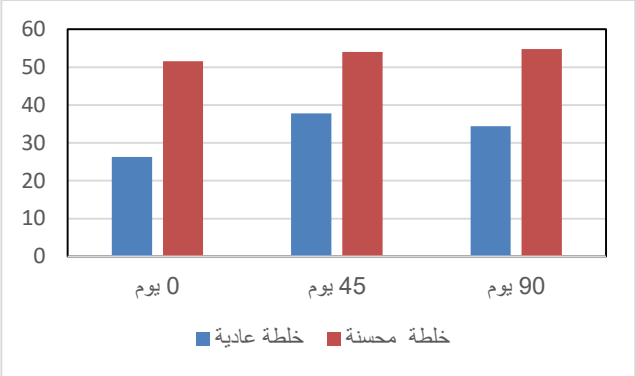
نوع العينة	الدورة الحرارية	العينات	نتائج اختبار الضغط	المتوسط نيوتن/ مم^2
الخلطة العادية	0 يوم	1	29.7	26.27
		2	23.11	
		3	26.00	
	45 يوم	1	41.20	37.82
		2	36.46	
		3	35.80	
	90 يوم	1	39.80	34.40
		2	33.10	
		3	30.30	

الجدول (5 ب) مقاومة الضغط للعينات الخرسانية بعد الدورات الحرارية المختلفة

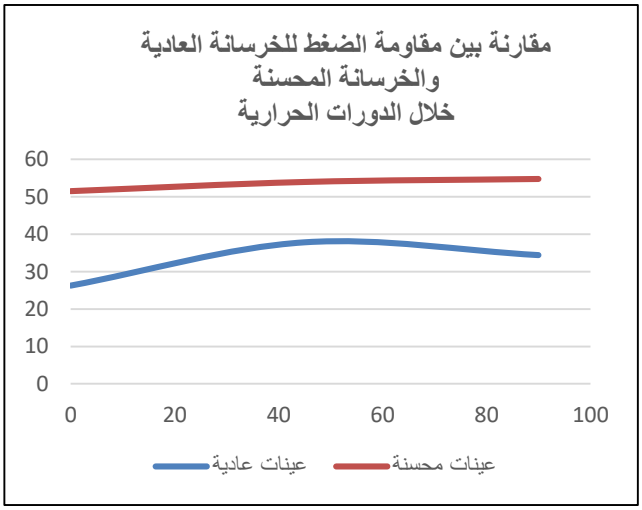
نوع العينة	الدورة الحرارية	العينات	نتائج اختبار الضغط	المتوسط نيوتن/ مم^2
الخلطة المحسنة	0 يوم	1	48.88	51.55
		2	53.33	
		3	52.44	
	45 يوم	1	52.90	54.00
		2	53.60	
		3	55.50	
	90 يوم	1	53.00	54.80
		2	54.60	
		3	56.80	

DOI: 10.5281/zenodo.15600877

يظهر الشكل (6) بوضوح الفرق بين مقاومة الضغط للخرسانة العادية والمحسنة كذلك يبين الشكل (7) وبوضوح عدم التأثر الكبير للخرسانة المحسنة بالحرارة الدورية مقارنة بالخرسانة العادية وتعكس قيم النتائج الزيادة الإجمالية للخرسانة المحسنة في مقاومة الضغط تصل الي 6 % بعد الدورات الحرارية النهائية.



الشكل (6) مقارنة بين مقاومة الضغط للخرسانة العادية والخرسانة المحسنة خلال الدورة الحرارية



الشكل (7) التغير الطفيف لمقاومة الضغط للخرسانة المحسنة مقارنة بالخرسانة العادية خلال الدورة الحرارية

2.5 نتائج مقاومة الشد غير مباشر

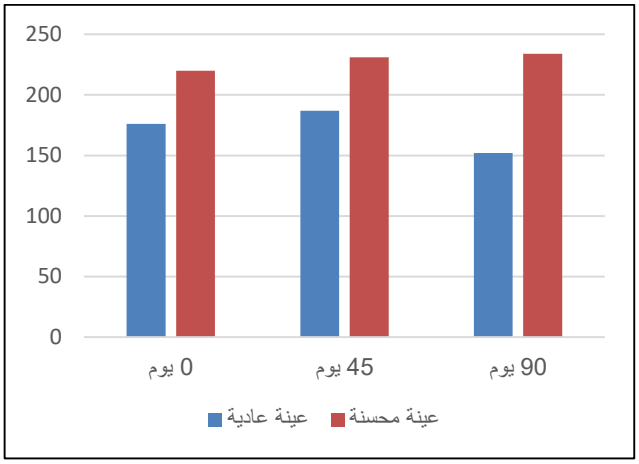
سجلت النتائج مقاومة شد غير مباشر لعينات الخرسانة العادية قيمة 176 نيوتن/ مم^2 عند 0 دورة حرارية لترتفع وتصل إلى (18 نيوتن/ مم^2 عند 45 دورة حرارية أي بنسبة زيادة تقدر 6 % وهذا يرجع لإستكمال التفاعلات الكيميائية بالعينات الخرسانية [5]. بعد ذلك تتراجع مقاومة الشد لتصل إلى (15 نيوتن/ مم^2 عند 90 دورة حرارية أي بنسبة انخفاض تقدر 19 % ويعود هذا الإنخفاض إلى تأثر الخرسانة بالدورات الحرارية التي لها تأثير على تماسك مادة الخرسانة والذي يعكس إنخفاض إجمالي في قيمة مقاومة الشد بنسبة 13.63 % كما هو موضح بالجدول (6 أ) (6 ب) . وفي المقابل أوضحت نتائج مقاومة الشد لعينات الخرسانة المحسنة تزايد نسبي حيث كانت قيمة مقاومة الشد 220 نيوتن/ مم^2 عند 0 دورة حرارية لصلت إلى 231 نيوتن/ مم^2 عند 45 دورة حرارية أي بنسبة 5.00 % لتتزايد بعد ذلك مقاومة الشد لتصل إلى 234 نيوتن/ مم^2 عند 90 دورة حرارية أي بنسبة 1.30% حيث لوحظ بأن الزيادة في مقاومة الشد زيادة طفيفة والتي تعود إلى عدم تأثر الخرسانة المحسنة بالتغير الحراري اليومي.

الجدول(6 أ) مقاومة الشد غير مباشر للعينات الخرسانية بعد الدورات الحرارية المختلفة

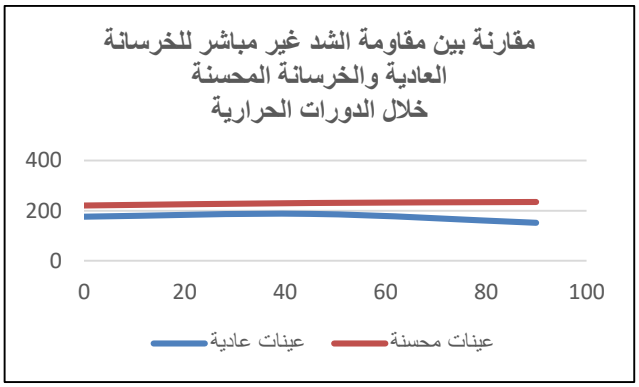
نوع العينة	الدورة الحرارية	العينات	نتائج الاختبار	المتوسط نيوتن/ مم^2
الخلطة المحسنة	0 يوم	1	206	220
		2	224	
		3	230	
	45 يوم	1	222	231
		2	226	
		3	245	
	90 يوم	1	224	234
		2	227	
		3	251	

الجدول (6 ب) مقاومة الشد غير مباشر للعينات الخرسانية بعد الدورات الحرارية المختلفة

نوع العينة	الدورة الحرارية	العينات	نتائج الاختبار	المتوسط نيوتن/ مم^2
الخلطة العادية	0 يوم	1	190	176
		2	160	
		3	178	
	45 يوم	1	200	187
		2	176	
		3	185	
	90 يوم	1	150	152
		2	163	
		3	143	



الشكل (8) مقارنة بين مقاومة الشد للخرسانة العادية والخرسانة المحسنة خلال الدورات الحرارية



الشكل (9) التغير الطفيف لمقاومة الشد للخرسانة المحسنة مقارنة بالخرسانة العادية خلال الدورة الحرارية

3.5 نتائج مقاومة الإنحناء

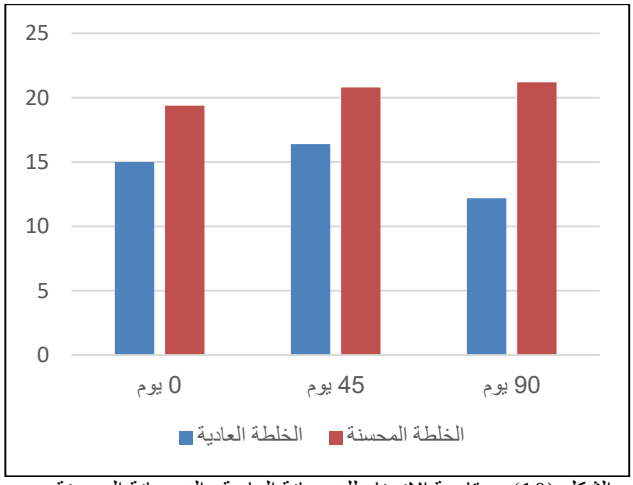
حققت نتائج مقاومة الإنحناء لعينات كمرات الخرسانة العادية زيادة بنسبة تصل الي 10 % بعد 45 دورة حرارية تلى ذلك تناقص في مقاومة الانحناء يقترب من 20 % وهذا يعكس تأثر كتلة الخرسانة بالدورات الحرارية، بينما نجد أن عينات الخرسانة المحسنة عكست قدرتها علي مقاومة هذا التغير الحراري اليومي من خلال ما سجلته قيم مقاومة الانحناء خلال الدورات الحرارية الثلاث والتي كانت بقيمة 19.40 نيوتن/ مم^2 عند 0 دورة حرارية و 20.80 نيوتن/ مم^2 بعد 45 دورة حرارية وصولا الي 21.20 نيوتن/ مم^2 عند 90 دورة حرارية أي بزيادة اجمالية وصلت الي 10 % تقريبا كما هو موضح في الجدول (7 أ) و(7 ب). ومن خلال ما سجلته قيم مقاومة الانحناء للعينات الخرسانية نلاحظ أن الشكل (10) والشكل (11) يظهر تفوق الخرسانة المحسنة وقدرتها علي مقاومة التغيرات الحرارية اليومية خلال مختلف الدورات الحرارية.

الجدول (7 أ) مقاومة الإنحناء للعينات الخرسانية بعد الدورات الحرارية المختلفة

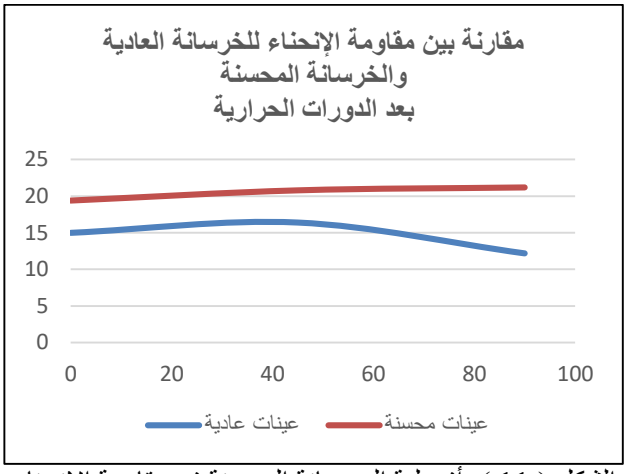
نوع العينة	الدورة الحرارية	العينات	نتائج الاختبار	المتوسط نيوتن/ مم^2
الخلطة العادية	0 يوم	1	14.00	15.00
		2	17.00	
		3	15.00	
	45 يوم	1	15.00	16.40
		2	17.40	
		3	16.80	
	90 يوم	1	11.20	12.20
		2	12.00	
		3	13.40	

الجدول (7 ب) مقاومة الإنحناء للعينات الخرسانية بعد الدورات الحرارية المختلفة

نوع العينة	الدورة الحرارية	العينات	نتائج الاختبار	المتوسط نيوتن/ مم^2
الخلطة المحسنة	0 يوم	1	17.20	19.40
		2	21.00	
		3	20.00	
	45 يوم	1	20.30	20.80
		2	20.70	
		3	21.40	
	90 يوم	1	19.40	21.20
		2	22.20	
		3	22.00	



الشكل (10) مقاومة الانحناء للخرسانة العادية والخرسانة المحسنة بعد الدورات الحرارية



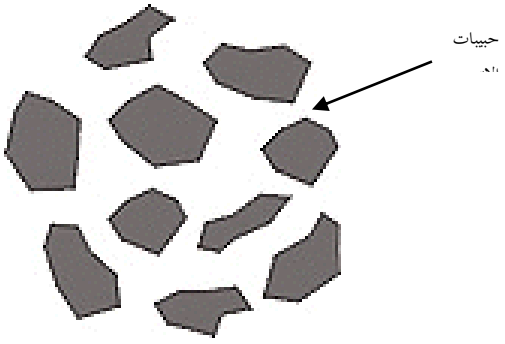
الشكل (11) أفضلية الخرسانة المحسنة في مقاومة الانحناء مقارنة بالخرسانة العادية خلال الدورة الحرارية

ومن خلال سلوك عينات الخرسانة المحسنة يتضح جليا أن السيليكا فيوم لديها نشاط سطحي عالي مع جسيمات ثاني أكسيد السيليكا أثناء عملية الهدرجة التي تصل حجم جسيمات 1 % من حجم جسيمات الأسمنت حيث تعمل هذه الجسيمات علي ملأ الفجوات بين جزيئات الأسمنت وخلق هلام عندما يتفاعل مع مركب الهيدرات [6] كما موضح بالشكل (12) ويعمل غبار السيليكا للخرسانة على تحسين أداء الخرسانة وإكسابها العديد من الخصائص في تحمل الأحمال بالمناطق الحارة والتي تعاني من التغير الحراري اليومي حيث أن إضافة هذه المواد للخلطة الخرسانية وتفاعلها مع الأسمنت والماء يمكن أن يعمل على زيادة قوة ومتانة الخرسانة ويوفر توزيعاً أكثر انتظاماً داخل نسيج الخرسانة[7]، كذلك يعطي مجموعة من الخصائص للخرسانة والتي من بينها تحسين مقاومة الضغط ومقاومة الشد ومقاومة الإنحناء [8]. أما مخفضات الماء التي تم اضافتها للخلطة الخرسانية المحسنة فإنها تسهم في تصنيع الخرسانة بقابلية تشغيل متجانسة في ظل استهلاك كمية أقل من الماء نسبة إلى الإسمنت تصل الي نسبة 40 % ، حيث تساعد الملدنات على إنتاج الخلطة الخرسانة بثبات عال وبكميات مياه منخفضة الذي ينعكس علي سلوك الخرسانة في حالتها الطرية والمتصلبة كما أنها تخفض الهواء داخل عجينة الإسمنت مما يجعلها أكثر قوة ومتانة [6]. وقد تبين أيضاً أن الخلطة الخرسانة المحسنة والتي تحتوي على الملدن الفائق قد حققت أفضل النتائج في كل من إختبارات تقييم الخواص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة المحسنة.

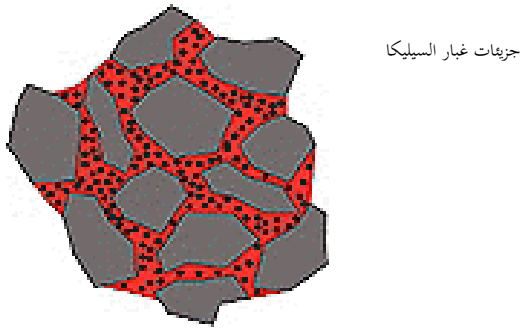
3 - أثبتت نتائج مقاومة الشد غير المباشر تحسن كبير في الخرسانة المحسنة بالنظر الي الخرسانة العادية بكل مراحل الدورات الحرارية.

4 - سجلت النتائج قدرة الخرسانة المحسنة على مقاومة الإنحناء أثناء التغيرات الحرارية اليومية مقارنة بمقاومة الإنحناء للخرسانة العادية.

5 - حققت عملية إضافة المواد المحسنة (سيليكا فيوم و السوبربلستسايزر) للخلطة الخرسانية خصائص مذهلة من خلال تطوير سلوك الخرسانة في مقاومة الأحمال والظروف المناخية.



الشكل (12أ) قدرة جسيمات غبار السيليكا علي ملأ الفجوات بين جزيئات الأسمنت



الشكل (12 ب) قدرة جسيمات غبار السيليكا علي ملأ الفجوات بين جزيئات الأسمنت

6. الخلاصة

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها نستنتج النقاط المهمة التالية والتي تعتبر خلاصة هذه الدراسة:

1 - سجلت مقاومة الضغط للخرسانة المحسنة قيم أفضل بكثير من قيم مقاومة الضغط للخرسانة العادية خلال جميع مراحل الدورات الحرارية.

2 - عدم تأثر مقاومة الضغط للخرسانة المحسنة للتغير الحراري خلال الدورات الحرارية وذلك عكس أفضليتها مقارنة بالخرسانة العادية التي إنخفضت بعد 45 دورة حرارية.

7. التوصيات

1. توصي الدراسة بدراسة تأثير المناخ الحار (الصحراوي) على الخواص الميكانيكية للخلطات الخرسانية أطول من المدة الزمنية التي تم إعتمادها في هذه الدراسة.
2. كذلك دراسة تأثير المناخ الحار (الصحراوي) على الخواص الميكانيكية للخلطات الخرسانية بإستخدام إضافات أخرى.

DOI: 10.5281/zenodo.15600877

8. المراجع

1. ACI:305R-20. ACI 305R-20, Guide to Hot Weather Concreting. in American Concrete Institute. 2020
2. Ishee, C. and S. Surana, 6 - Hot weather concreting, in Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete , S. Mindess, Editor. 2019, (Second Edition) .Woodhead Publishing. p. 131-150
3. Nasir, M., et al., Effect of casting temperature on strength and density of plain and blended cement concretes prepared and cured under hot weather conditions. Construction and Building Materials, 2016. 112: p. 529-537.
4. Testing Of Concrete In Structures Third Edition Ebrahim Elsheikh 2013.
5. Zhang, Z., Bicanic, N., Pearce, C. and Philipot, D. (2002). Relationship between brittleness and moisture loss of concrete exposed to high temperature, Cement and Concrete Research, 32, pp. 363-371.
6. Neville, A. M. (1995). Properties of Concrete 4th Edn., Longman Group, UK and New York: John Wiley & Sons.
7. Mazloom, M., Ramezanianpour, A. A. and Brooks, J.J. (2004). Effect of silica fume on mechanical properties of high-strength, Concrete Cement & Concrete Composites, V 26 pp. 347–357.
8. Almusallam, A. A., Beshr, H. B., Maslehuddin, M. and Al-Amoudi O S., (2004). Effect of silica fume on the mechanical properties of low quality coarse aggregate, ***concrete Cement & Concrete Composite***s, V 26, pp. 891–900