

مسحوق الأجر كإضافة لتحسين مقاومة الخرسانة ضد درجات الحرارة العالية

الصادق اعبيد عبدالله¹، علي محمد منصور²، سالم بن صالح³، سالم محمد عمار⁴

^{1,2,3,4} قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة طرابلس، ليبيا

Abaid2@yahoo.com

الملخص

تهدف هذه الدراسة الى امكانية الإستفادة من الخواص البوزلوانية للطين المحروق من بقايا طوب الأجر Burnt Clay لغرض استخدامها في تصنيع الخرسانة، والتي سوف يتم اضافتها إلى الخلطات الخرسانية لتحسين الخصائص الحرارية لتجنب التغيرات التي تحدث للخرسانة في درجات الحرارة المرتفعة والوصول إلى أعلى مقاومة ضغط بأقل تأثير منخفض لدرجات الحرارة العالية .

واستندت منهجية هذه الدراسة على أسلوب علمي اعتمد على التجارب المعملية، وخاصة اختبار مقاومة الضغط قبل وبعد التسخين لدرجات الحرارة 300،500،800 لعدد (180مكعب70مم) عينة، واستخدام مواد خام محلية و توظيف نتائج هذه الدراسة في تطوير وتحسين صناعة الخرسانة.

وتشير نتائج الدراسة أن إضافة مسحوق الطين له تأثير فعال ضد الحرائق خصوصاً في حالة تبريد الخرسانة بالماء بعد تعرضها للتسخين وأنه كلما زادت درجة حرارة التسخين كانت فاعلية هذه الاضافات أفضل وخصوصاً عند اضافة نسب 20% و 30% .

الكلمات الدالة: المواد البوزلوانية، خلطة خرسانية، مقاومة الضغط

1. المقدمة

أظهرت الأبحاث أن التغير في قوة الخرسانة في وجود درجات الحرارة كدالة مرتبطة بتكوين الخرسانة و نوع الركام المستخدم، و نسبة الماء إلى الاسمنت، والتي من بينها دراسة لتقييم بقايا طوب آجر السواني و دراسة خواصها البوزلوانية و الإستفادة منها في تصنيع الإسمنت المخلوط "الإسمنت البوزلواني" مع معرفة الإنعكاسات التي تترتب على الخواص الفيزيائية للمونة الإسمنتية المكونة منها pdj تم الإستعانة ببيود الأشعة السينية (XRD) والتحليل الحراري التفاضلي (DTA) لمعرفة نوعية المعدن الطيني المكون للمواد الخام ومن ثم تجهيز و معالجة هذه المواد بدرجات حرارة مختلفة بنسبة 1:3 من الإسمنت والركام الناعم وإحلال المادة البوزلوانية من نسبة الإسمنت بنسب مختلفة تراوحت ما بين 5% إلى 30% وفي جميع الأحوال تمّ دراسة الخواص الفيزيائية لعينات المونة حيث تبين أن قوة التحمل قد تأثرت إيجابياً و ارتفعت إلى أعلى قيمة لها حتى نسبة إحلال 30% من الإسمنت المستعمل بالنسبة للبوزلوانا (1100 درجة مئوية) وبقايا آجر السواني في حين أن هذه الزيادة لم تتجاوز نسبة الإحلال 10% - 15% في حالة البوزلوانا 900 درجة مئوية و إلى 10% في حالة البوزلوانا 700 درجة مئوية [5]، وكذلك دراسة آثار ارتفاع درجات الحرارة على الخواص الفيزيائية و الميكانيكية لمختلف مخاليط الخرسانة التي تم إعدادها من الأسمنت البورتلاندي العادي و الحجر الجيري المسحوق والحصى النهري حيث عينات الإختبار تعرضت لدرجات حرارة مرتفعة تتراوح بين 200

إلى 1200 درجة مئوية بعد التعرض تم تحديد فاقد الوزن و إجراء اختبار قوة الإنضغاط، وبينت نتائج الإختبار أن وزن العينة انخفض بشكل ملحوظ مع زيادة في درجة الحرارة وكان هذا الإنخفاض حاد جداً بعد 800 درجة مئوية وتأثيرات نسبة الماء إلى الإسمنت (w /c) و نوع الركام على الفاقد في الوزن لم تكن كبيرة، والقوة النسبية للخرسانة انخفضت مع زيادة التعرض لدرجة الحرارة، كما تم الجمع بين نتائج الإختبارات الفيزيائية و الميكانيكية مع تلك التي تم الحصول عليها من التحليل التفاضلي الحراري و تحليل الصورة الملونة [1].

أيضا العوامل المهمة في وجود اضافات البوزلانا هي معدل التسخين وقت التعرض الملموس لدرجة الحرارة العالية. تؤدي الزيادة في درجة الحرارة إلى:

- تبخر المياه ، وجفاف C-S-H، هيدروكسيد الكالسيوم، وتحلل ألومينات الكالسيوم، إلى جانب الزيادة في درجة الحرارة. تحدث تغيرات في الركام وبسبب هذه التغيرات تنخفض قوة الخرسانة ومعامل المرونة تدريجياً.
- عندما تتجاوز درجة الحرارة 300 درجة مئوية يصبح انخفاض القوة أكثر سرعة.
- زيادة الحرارة إلى 500 درجة مئوية ، تنخفض قوة الضغط للخرسانة عادة بنسبة 50% إلى 60%، و تعتبر الخرسانة مدمرة بالكامل [2].

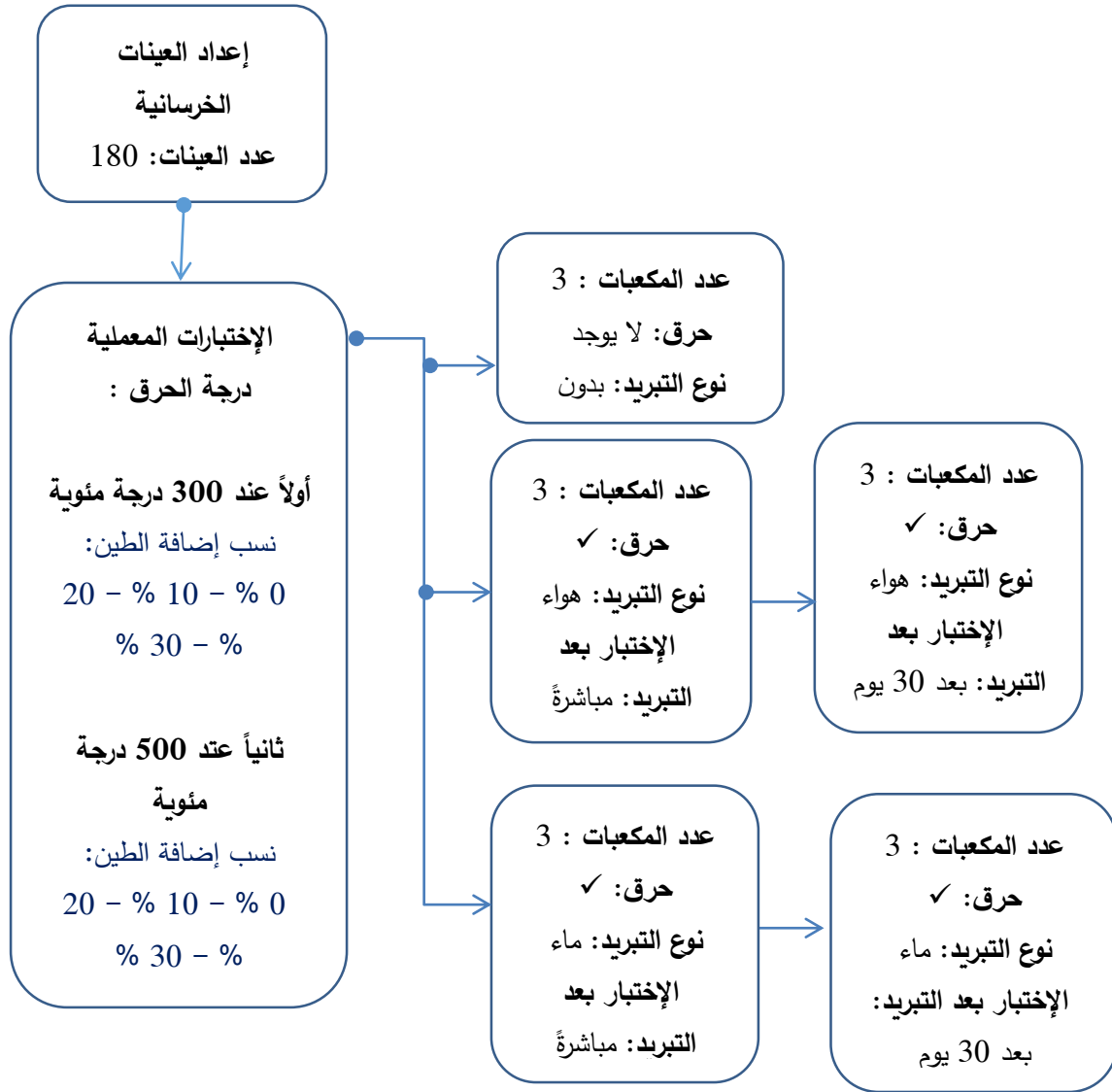
في هذه الدراسة سيتم استخدام الطين كمواد بوزولانية صناعية تضاف إلى الخلطات الخرسانية لتحسين الخواص الطبيعية والكيميائية. ويتمتع الطين بخواص المواد البوزولانية والتي لها خواص المادة الرابطة في وجود الأسمنت والماء.

تهدف هذه الدراسة إلى إستخدام إضافة طبيعية طينية ناتجة من مخلفات طوب الأجر كجزء أساسي في الخلطة الخرسانية لإنتاج خرسانة متجانسة و ذلك لتحقيق الأتي:

1. السعي إلى تحسين الخصائص الحرارية لتجنب التغيرات التي تحدث للخرسانة في درجات الحرارة المرتفعة.
2. محاولة الوصول إلى أعلى مقاومة ضغط ذات تأثير منخفض بدرجات الحرارة العالية.

2. مخطط تنفيذ البرنامج العملي

المخطط يبين تنفيذ البرنامج العملي التي تم اتباعه لتنفيذ الخلطات بهدف الوصول إلى نتائج الإختبارات المقترحة. حيث يتم اختبار العينات بعد حرقها و تبريدها ثم اجراء اختبار مقاومة الضغط مباشرة و بعد مدة 30 يوماً حسب المواصفة [3].



شكل (1): مخطط تنفيذ البرنامج العملي

3. تحديد مكونات الخاطة الخرسانية

المواد المستخدمة في الخلطة الخرسانية الاسمنت البورتلاندى العادى المنتج محلياً وفق المواصفات الليبية [6] ورمل طبيعي ناعم من محاجر سيدى السائح بعد اجراء التحليل المنظى ومقارنته بالمواصفات دات العلاقة [7] واستخدام ركام ناعم (المجروش) من انتاج محاجر (راس اللفع) لتحسين تدرج الركام الناعم الطبيعي وفق المواصفات الليبية [8]

واستعمال المياه بالخلطة حسب المواصفات القياسية الليبية [9] وإضافة الملدنات (Type F) [8] وإضافة الطينة كمسحوق المعالج حرارياً بعد اجراء التحاليل الكيميائية ومطابقتها بالمواصفات [6] وإضافة الملدنات (Type F) [8]. نتائج التحاليل الكيميائية للطين المحروق (مسحوق الأجر) المعالج حرارياً بمصنع آجر السواني مع مطابقتها بحدود المواصفات [4] موضحة بالجدول (1) ونسب أوزان المكونات المستخدمة في إعداد الخلطات الخرسانية لعدد (18) مكعب 70مم) وتم تكرار الخلطات لكل درجة حرارة واجراء الإختبار عند [300، 500، 800] درجة مئوية مبينة بالجدول (2).

جدول (1): نتائج التحليل الكيميائية للطين

نتائج التحاليل الكيميائية			
حدود المواصفات IS 2386 (%)		الطين المحروق (مسحوق الأجر) (%)	
لا يزيد عن 5%	الفقد بالحرق	0.69	الفقد بالحرق
لا يقل عن 40%	السيليكا	76.9	السيليكا
لا يزيد عن 10%	أكسيد الكالسيوم	1.96	أكسيد الكالسيوم
لا يزيد عن 3%	ثالث أكسيد الكبريت	0.28	ثالث أكسيد الكبريت
لا يقل عن 70%	السيليكا + أكسيد الألمونيوم + أكسيد الحديد	76.9	السيليكا
		5.6	أكسيد الحديد
		10	أكسيد الألمونيوم
-	-	0.32	أكسيد الصوديوم
-	-	2.94	أكسيد البوتاسيوم
-	-	0.28	أكسيد المغنيسيوم

جدول (2): نسب مكونات الخلطة الخرسانية (لعدد 18 مكعب)

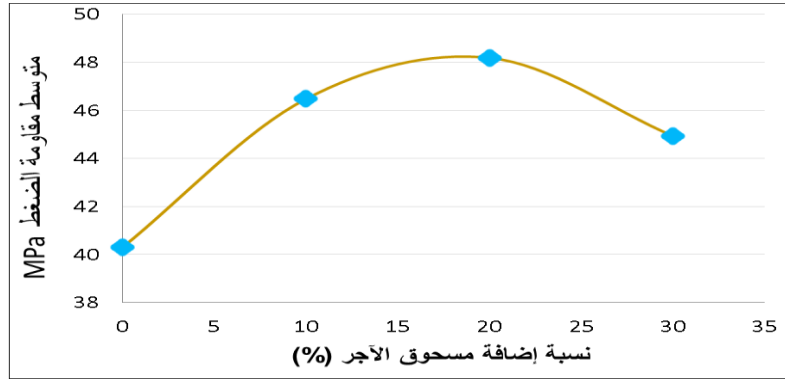
نسب و اوزان مكونات الخلطات				الوحدة	المواد
الخلطة 4	الخلطة 3	الخلطة 2	الخلطة 1		
2.74	2.74	2.74	2.74	كجم	اسمنت
6.17	6.17	6.17	6.17	كجم	رمل طبيعي
7.54	7.54	7.54	7.54	كجم	ركام مجروش (مقاس اعتياري اكبر 5 مم)
1.8	1.75	1.7	1.65	لتر	ماء
%1.82	%1.82	%1.82	%1.82	%	نسبة إضافة لبيومنت - أف أف
%30	%20	%10	%0	%	نسبة مسحوق الأجر (من وزن الإسمنت)
822.3	548.2	274.1	0	جرام	مسحوق الأجر

4. تسخين العينات

تهدف عملية تسخين العينات الخرسانية إلى محاولة محاكاة ظروف تعرض الخرسانة إلى درجات حرارة عالية حيث تم استخدام فرن حراري لتسخين العينات لمدة 60 دقيقة عند درجات الحرارة (300،500،800) درجة مئوية.

5. تبريد العينات

1. التبريد بالماء بغمر العينات في الماء بعد إخراجها مباشرةً من الفرن لمدة تتراوح من ساعتين إلى 3 ساعات.
 2. التبريد بالهواء بوضع العينات في مكان جيد التهوية وتركها لتبرد لمدة تتراوح من ساعتين إلى 3 ساعات ومن ثم يتم إجراء اختبار مقاومة الضغط على العينات كما وضح بالمخطط السابق.
- نتائج متوسط مقاومة الضغط لكل نسبة اضافة بدون تسخين موضحة بالشكل (2) و نتائج نسبة فاقد مقاومة الضغط في حالة التسخين عند 800،500،300 درجة مئوية على التوالي بعد الحرق والتبريد مباشرة و بعد التبريد بمدة 30 يوم موضحة بالجدول (3)، (4)، (5).



شكل (2): نسب مسحوق الأجر بدون تسخين

جدول (3): نسبة فاقد مقاومة الضغط في حالة التسخين عند 300 درجة مئوية بعد الحرق والتبريد مباشرة و بعد التبريد بمدة 30 يوم

الفاقد في مقاومة الضغط %				درجة الحرارة (300)	
بعد التبريد بمدة 30 يوم		بعد التسخين والتبريد مباشرة		وقت التكسير بالنسبة للتسخين	
ماء	هواء	ماء	هواء	نوع التبريد	
0.154	3.38	3.56	5.228	% 0	
0.655	0.948	4.04	3.32	% 10	
9.43	14.24	9.34	8.155	% 20	
1.12	0.914	1.81	1.745	% 30	

جدول (4): نسبة فاقد مقاومة الضغط في حالة التسخين عند 500 درجة مئوية بعد الحرق والتبريد مباشرة و بعد التبريد بمدة 30 يوم

الفاقد في مقاومة الضغط %				درجة الحرارة (500)	
بعد التبريد بمدة 30 يوم		بعد التسخين والتبريد مباشرة		وقت التكسير بالنسبة للتسخين	
نوع التبريد		نوع التبريد		نسبة الأجر %	
ماء	هواء	ماء	هواء	0 %	
12.6	16.44	25.5	23.73	10 %	
28.48	28.03	42.54	18.98	20 %	
16.77	23.88	37.14	16.49	30 %	

جدول (5): نسبة فاقد مقاومة الضغط في حالة التسخين عند 800 درجة مئوية بعد الحرق والتبريد مباشرة وبعد التبريد بمدة 30 يوم

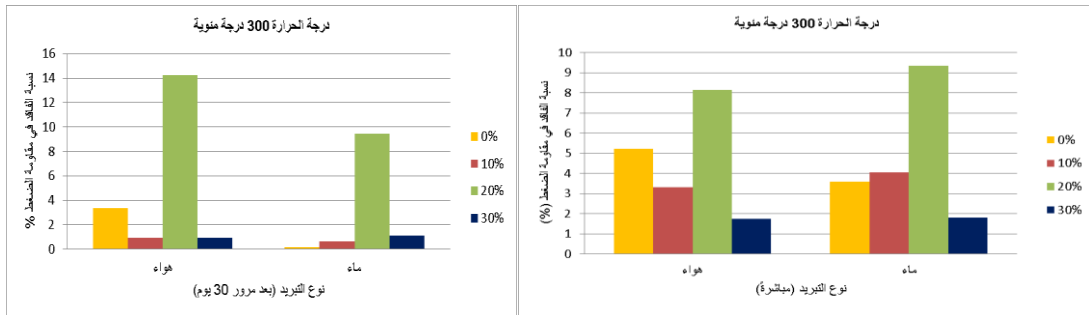
الفاقد في مقاومة الضغط %				درجة الحرارة (800)	
بعد التبريد بمدة 30 يوم		بعد التسخين والتبريد مباشرة		وقت التكسير بالنسبة للتسخين	
نوع التبريد		نوع التبريد		نسبة الأجر %	
ماء	هواء	ماء	هواء	0 %	
43.3	38.64	61.36	59.55	10 %	
35.7	61.65	71.3	65.34	20 %	
34.55	58.77	69.01	59.53	30 %	

6. المناقشة

من خلال النتائج المتحصل عليه عند درجة حرارة 300 أن الفاقد في مقاومة الضغط يصل إلى 9.5% عند التبريد بالماء و إلى حوالي 8% عند التبريد بالهواء كلاهما عند نسبة 20% وتصل نسبة الفاقد في المقاومة إلى الحد الأدنى عند 30% أقل من الفاقد في العينة المرجعية، والفاقد يقل في حالة التبريد بالهواء والماء بعد مرور فترة زمنية (30 يوماً) مع نسبة إسترجاع المقاومة أكبر ما يمكن عند التبريد بالماء منه عند التبريد بالهواء وذلك لإمتصاص الخرسانة للماء المفقود بعد الحرق في حالة التبريد بالماء مما أثر إيجاباً على مقاومة الضغط للخرسانة حيث الإسترجاع للمقاومة

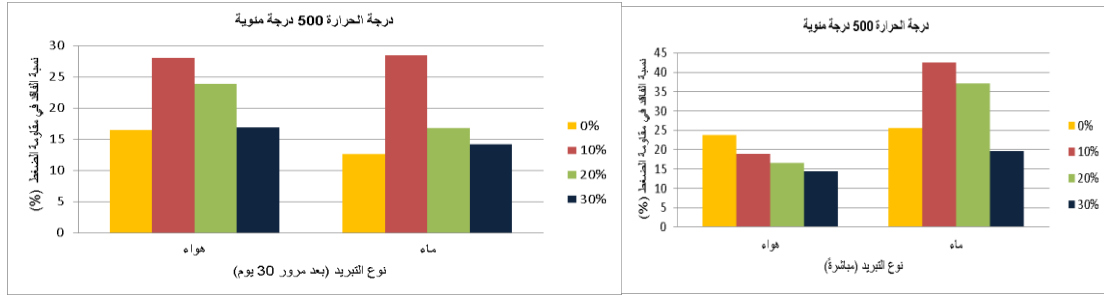
شبه كامل في حالتي نسب الاضافة 0% و 10%. كما انه عند درجة حرارة 500 الفاقد في المقاومة في حالة التبريد بالهواء أقل من حالة التبريد بالماء حيث أن الفاقد كان أكبر عند زيادة درجة التسخين مع وجود انتظام في حالة التبريد بالهواء لجميع نسب الاضافة و كانت أقل نسب في فاقد المقاومة عند أعلى نسبة من إضافة 30%، وأكبر نسبة استرجاع في حالة التبريد عند النسب 20%، 30% أي كلما زادت نسبة الاضافة كان التبريد بالماء هو الأكثر فاعلية لإسترجاع المقاومة. وفي درجة حرارة 800 يكون الفاقد متقارب جداً في حالتي التبريد و لكن لا يزال التبريد بالهواء يعطي نتائج أفضل عند اختبار العينة بعد التبريد مباشرة، ونسبة استرجاع المقاومة المفقودة تتجاوز 20% في حالة التبريد بالماء عند جميع نسب الاضافة مقارنة بالعينة المرجعية مما يثبت أن الخرسانة في حالة إضافة الطين المحروق تمتص المياه بدرجة أكبر مما يؤثر إيجاباً على استرجاع الخرسانة لمقاومتها وكانت أفضل نسبة لإسترجاع للمقاومة تتراوح بين 10%، 20%.

العلاقة بين نسبة الفاقد في مقاومة الضغط ونوع التبريد مباشرة وبعد 30 يوم لكل نسبة إضافة لدرجات الحرارة 500،300،800 درجة مئوية. والمبينة بالاشكال 3،4،5 على التوالي . حيث يلاحظ في الشكل (3) عند درجة 300 أن الفاقد في المقاومة أكبر في حالة التبريد بالماء، أما في حالة عدم إضافة الأجر يكون التبريد بالهواء أفضل في حالة الإختبار مباشرة، إلا أنه في حالة الاختبار بعد 30 يوماً يكون التحسن كبير من ناحية استرجاع المقاومة للعينات التي تم تبريدها بالماء بمرور الزمن. والشكل (4) عند درجة 500 فقد كبير في المقاومة بعد التسخين والتبريد مباشرة في حالة التبريد الماء أكبر منه في حالة التبريد بالهواء، من ثم استرجاع أكبر للمقاومة في حالة العينات المبردة بالماء بعد 30 يوماً. والشكل (5) عند درجة 800 يكون الفقد كبير في المقاومة يكاد يكون نفسه في حالتي التبريد بالهواء والماء، أما بعد 30 يوماً يكون الإسترجاع للمقاومة في أفضل حالاته عند التبريد بالماء بإضافة الأجر و خصوصاً عند نسبة 20%، وكذلك تبين من خلال النتائج المتحصل عليها من الدراسة انخفاض أقل في الوزن في حالة التبريد بالماء أي أنه كلما زادت نسبة إضافة الأجر قلت نسبة الفاقد في الوزن مما يعني ان اضافة مسحوق الطين تساعد الخرسانة على إمتصاص المياه في حالة معاجتها بعد التسخين.

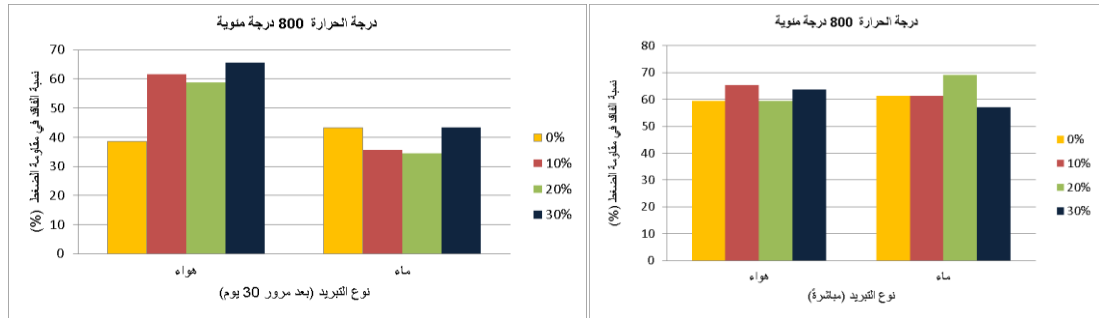


الشكل (3): العلاقة بين نسبة الفاقد في مقاومة الضغط ونوع التبريد مباشرة وبعد 30 يوم لكل

نسبة إضافة لدرجات الحرارة 300 مئوية



الشكل (4): العلاقة بين نسبة الفاقد في مقاومة الضغط ونوع التبريد مباشرةً وبعد 30 يوم لكل نسبة إضافة آجر لدرجات الحرارة 500 مئوية



الشكل (5): العلاقة بين نسبة الفاقد في مقاومة الضغط ونوع التبريد مباشرةً وبعد 30 يوم لكل نسبة إضافة آجر لدرجات الحرارة 800 مئوية

6. الإستنتاجات

- 1- في الحالة التقليدية (بدون تسخين) يكون لإضافة المواد البوزلانية تأثير إيجابي على مقاومة الضغط للخرسانة و ذلك بنسب إضافة تتراوح من 15% إلى 20%.
- 2- المواد البوزلانية (مسحوق الطين المحروق) ذو تأثير فعال ضد درجات الحرارة المرتفعة خصوصاً في حالة معالجة الخرسانة بعد تعرضها للتسخين حسب هذه الدراسة بين 300-800 درجة مئوية.
- 3- نسبة فقد المقاومة عند إضافة نسب 20%، 30% أنتجت نسبة أقل في فقد المقاومة و نسبة أعلى في الإسترجاع عند تعرض الخرسانة لدرجات الحرارة المختلفة.
- 4- التبريد بالماء يكون له تأثير سلبي على الخرسانة الساخنة عند تبريدها مباشرةً بعكس الهواء ، إلا أنه على المدى البعيد كان تأثير التبريد بالماء أفضل في نسبة الإسترجاع وذلك خلال مدة الدراسة.
- 5- إضافة المواد البوزلانية (مسحوق الطين المحروق) تساعد الخرسانة على إمتصاص المياه في حالة فقدها عند التسخين مما يكون له تأثير جيد على الخرسانة في حالتها المقاومة و استرجاع الوزن المفقود.

7. التوصيات:

1. استمرار البحث بإستخدام أنواع اخرى من الطين.
2. إجراء اختبار مقاومة الضغط على للعينات التي تعرضت لدرجات حرارة مختلفة على فترات زمنية أطول.
3. استخدام البوزلانا الناتجة من الطين المحروق ومحاولة تصنيع أنواع جيدة محلياً لتحسين خواص الخرسانة الطازجة والمتصلدة وزيادة مقاومتها لتأثيرات الظروف المحيطة المختلفة.

المراجع

- [1] Omer Ariozm, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, "Effects of elevated temperatures on properties of concrete, "Anadolu University, Iki Eylul Campus, 26555 Eskisehir Turkey
- [2] HAGER Institute of Building Materials and Structures, "Behavior of cement concrete at high temperature". Cracow University of Technology, 24Warszawska St., 31-155 Krakow, Poland.
- [3] Testing concrete, Method of compressive strength of concrete cubes, "B1881: part 116".
- [4] ASTM-C618 (Classification and Properties of fly-Ash and Row or Calcined Natural Pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete.
- [5] الصديق محمد الزنداح شعبة الخزف والزجاج كلية الفنون جامعة طرابلس ليبيا، م. عبداللطيف ماشينة و م. جميلية أبوظهير مركز بحوث الصناعية تاجوراء ليبيا "الإستفادة من الخواص البوزولانية لبقايا طوب آجر السواني في صناعة الإسمنت المخلوط (الإسمنت البوزولاني)" طرابلس ليبيا
- [6] المواصفة القياسية الليبية رقم 340 " الاسمنت البورتلاندى العادى " (2009).
- [7] المواصفة القياسية الليبية رقم 49 " ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية " (2002).
- [8] المواصفة القياسية الليبية رقم 249 " ركام الخرسانة من المصادر الطبيعية " (2013).
- [9] المواصفة القياسية الليبية رقم 294 " المياه المستعملة فى الخرسانة " (1988) .
- [10] النشرة الفنية لمادة سیکا فيسكوكريت تيمو 12 (طريقة الاستخدام) الاصدار رقم 1 لسنة 2003.