



جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التكنولوجية
قسم هندسة البناء والانشاءات
فرع هندسة البناء وإدارة المشاريع الانشائية

تطوير مقاومة الخرسانة للحرائق باستخدام البوليمرات

مشروع سنوي مقدم الى
الجامعة التكنولوجية قسم هندسة البناء والانشاءات فرع هندسة البناء وإدارة
المشاريع الانشائية
وهو جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في
علوم هندسة البناء والانشاءات

من قبل

احمد حسين عبد

بإشراف
د. زينب عامر شمس الدين

81432

2011

البناء

٢٠١١

بسم الله الرحمن الرحيم

((ولما بلغ أشده عاتينه حكما وعلما وكذلك نجزي المحسنين))

صدق الله العلي العظيم

سورة يوسف الآية (22)

روي عن الإمام الصادق عليه السلام

((من علم خيرا فله مثل أجر من عمل به

قلت فان علمه غيره يجري ذلك له ؟

قال ان علمه الناس كلهم جرى له

قلت فان مات ؟

قال وان مات))

الإهداء

بدانا بأكثر من يد وقاسينا أكثر من هم وعانينا الكثير من الصعوبات
وهانحن اليوم والحمد لله نطوي سمر الليالي وتعب الأيام وخلاصة مشوارنا بين
دفتي هذا العمل المتواضع.

إلى من لا يطيب الليل إلا بشكره.. ولا يطيب النهار إلا بطاعته ولا تطيب
اللحظات إلا بذكره.. ولا تطيب الآخرة إلا بعفوه.. "الله جل جلاله"
إلى منارة العلم والامام المصطفى إلى الأمي الذي علم المتعلمين إلى سيد
الخلق إلى رسولنا الكريم سيدنا محمد صلى الله عليه وآله وسلم.
إلى من كانت مودتهم أجر الرسالة... أئمة المدي (عليهم السلام)
إلى ملائكي في الحياة.. إلى معنى الحب ومعنى العنان والتفاني.. إلى من
كان دنانها سر نجاحي..
ودنانها بلسم جراحي.. "أمي الحبيبة"

إلى من سعى وشقى لأنعم بالراحة والهناء الذي لم يبخل بشئ من أجل
دفعي في طريق النجاح الذي علمني أن أرتقي سلم الحياة بحكمة وصبر
إلى الذي أحمل اسمه بكل شرف واعتزاز.. والذي العزيز.

إلى من حبهم يجري في عروقي ويلهم بذكرهم فؤادي إلى أخواتي
وأخواني

إلى من سرنا سوياً ونحن نشق الطريق معاً نحو النجاح والإبداع إلى من
تكأ تقنا بدأ بيد ونحن نقطع زهرة وتعلمنا إلى زملائي.

إلى من علمونا حروفاً من ذهب وكلمات من درر وعبارات من أسرار
وأجلى عبارات في العلم إلى من صاغوا لنا علمهم حروفاً ومن فكرهم
منارة تنير لنا سيرة العلم والنجاح إلى أساتذتنا الكرام.

شكر وتقدير

في مثل هذه اللحظات يتوقفه اليراع ليفكر قبل أن يخط الحروفه
ليجمعها في كلمات ... تتبعثر الأحرفه.. وحبثاً أن يحاول تجميعها في
سطور..

سطوراً كثيرة تمر في الخيال ولا يبقى لنا في نهاية المطاف إلا أن
نتقدم بجزيل الشكر والعرفان إلى كل من أشعل شمعة في دروب
عملنا، إلى من وقف على المنابر وأعطى من حصيلة فكرة لينير
دربنا...

إلى الأساتذة الكرام...

ونتوجه بالشكر الجزيل إلى من تفضل بالإشراف على هذا البحث
فجزاه الله عنا كل خير فله منا كل التقدير والاحترام..

الدكتورة الفاضلة

زينب عامر

الخلاصة :

ان الهدف الاساس من البحث هو زيادة مقاومة الخرسانة للحرائق المستخدمة في المنشآت الخرسانية والارضيات والانتهاءات الخارجية والداخلية للسقوف والجدران للابنية المختلفة . استخدمت نماذج الخرسانة المسلحة باللياف الكربون بنسب تراوحت (1-2)% حجما اجري فحص مقاومة الانضغاط وفحص سرعة الموجات فوق الصوتية للنماذج المعرضة لدرجات حرارة (25,250,500,750) درجة مئوية اظهرت النتائج تحسنا ملحوظا في خواص النماذج المعرضة لدرجات الحرارة العالية وبنسب متباينة عند استخدام اليااف الكربون .

ازداد التحسن عند زيادة نسب الاضافة وضمن الحدود المسموح بها و التي لاتسبب ظاهرة التكور (Balling) وسبب الزيادة هو لاكتساب الخرسانة مواصفات جديدة وجيدة من اليااف الكربون ويعود ذلك الى تداخل اليااف الكربون مع هيكل الخرسانة وجعله اكثر تماسكا. بينت النتائج بان مقاومة انضغاط كافة النماذج ازدادت بنسبة لا تكاد ان تذكر عند تعريضها لدرجة حرارة 250 درجة مئوية بسبب زيادة نسبة سليكات الكالسيوم المائية في الخلطة عند هذه الدرجة . عند زيادة درجة حرارة التعرض الى 500 درجة مئوية لوحظ من خلال النماذج بان مقاومة الانضغاط لكافة الخلطات قد انخفضت فعلى سبيل المثال ان مقاومة الانضغاط للخلطة المرجعية انخفضت الى (8) نيوتن / ملم² في حين انه للنماذج الخرسانية الحاويه على اليااف الكربون بنسبة حجمية مقدارها 1% انخفضت الى (10) نيوتن / ملم² في حين انه للنماذج الخرسانية الحاويه على اليااف الكربون بنسبة حجمية مقدارها 2% انخفضت الى (12) نيوتن / ملم². عند زيادة درجة حرارة التعرض الى 750 درجة مئوية لوحظ من

خلال النماذج بان مقاومة الانضغاط لكافة الخلطات قد انخفضت فعلى سبيل المثال ان مقاومة الانضغاط للخلطة المرجعية الى (2.5) نيوتن / ملم² في حين انه للنماذج الخرسانية الحاوية على الياف الكربون بنسبة حجمية مقدارها 1% انخفضت الى (6) نيوتن / ملم² في حين انه للنماذج الخرسانية الحاوية على الياف الكربون بنسبة حجمية مقدارها 2% انخفضت الى (7) نيوتن / ملم² وسبب ذلك هو تحلل سليكات الكالسيوم المائية وكذلك حدوث تحلل كلي في الركام الذي يعتبر الهيكل الرئيسي في الخرسانة ، بينما نلاحظ الانخفاض بالمقاومة يكون قليل في الخلطات الحاوية على 1% الياف كربون ويكون اقل منه في الخلطات الحاوية على 2% الياف كربون .

فهرس المحتويات

رقم الصفحة	العنوان
1	الفصل الاول - المقدمة
2	1-1 تمهيد
2	2-1 مقدمة عامة
5	3-1 الغرض من البحث
5	4-1 ستراتيجية البحث
6	الفصل الثاني - البحوث السابقة
7	1-2 تمهيد
7	2-2 البحوث السابقة
13	الفصل الثالث - الخرسانة المعززة بالالياف
14	1-3 تمهيد
14	2-3 الهدف من استخدام الالياف في الخرسانة
15	3-3 الخرسانة الليفية واستخداماتها
15	4-3 انواع الالياف البوليمرية وخواصها
15	1-4-3 الياف الكربون
17	2-4-3 الياف البولي بروبيلين
18	5-3 اهم تطبيقات الياف الكربون في الهندسة المدنية
21	الفصل الرابع - الجانب العملي
22	1-4 تمهيد
22	2-4 المواد الاولية
22	1-2-4 السمنت

23	4-2-2 الركام الناعم
24	4-2-3 الركام الخشن
25	4-2-4 الالياف
25	4-2-5 الماء
25	4-3 الخلطات المستخدمة
26	4-4 تهيئة النماذج وضروف التعرض
27	4-5 الفحوصات المختبرية
27	4-5-1 فحص مقاومة الانضغاط
27	4-5-2 فحص الهطول
28	4-5-3 فحص الموجات فوق الصوتية
29	4-6 طريقة حساب الاوزان لالاف الكربون
32	الفصل الخامس - النتائج ومناقشتها
33	5-1 تمهيد
33	5-2 النتائج
34	5-3 مناقشة النتائج
40	الفصل السادس - الاستنتاجات والتوصيات
41	6-1 تمهيد
41	6-2 الاستنتاجات
42	6-3 التوصيات المستقبلية
43	المصادر

الفصل الاول

المقدمة

1-1 تمهيد :

يتضمن هذا الفصل مقدمة عامة عن البحث بالإضافة الى الغرض منه وسترراتيجية البحث اي هيكلية البحث و الفصول المكونة له .

2-1 مقدمة عامة :

توصف الخرسانة على انها المكون الرئيسي والاساسي لكل بناء او منشأ وذلك لعدة اسباب اهمها رخص ثمن المواد السمنتية التي تكون مونة اي بدون حديد تسليح او خرسانة لذلك تستعمل كمواد انشائية وكذلك قابلية الخرسانة على التأقلم في جميع الظروف وكونها سهلة التشكيل اذ يمكن وضعها في قوالب حديدية او خشبية وتأخذ شكل القالب الذي توضع فيه وتكون ذات مقاومة انضغاط مناسبة وديمومة عالية ، بصورة عامة تتكون الخرسانة من سمنت وركام ولكن هناك عيوب في الخرسانة اذ تكون ضعيفة لمقاومة الشد والصدمات ونائرها بالرطوبة والمياه الجوفية [1] وكذلك الحريق الذي يترك اثر واضح على المباني مثل حدوث انهيار كلي او جزئي في المبنى الخرساني [2] .

أن درجات الحرارة العالية تؤثر على الخرسانة و حديد التسليح ولكن بشكل متفاوت حيث ان الخرسانة تبدأ بفقدان جزء ملموس من مقاومتها عندما تصل درجة الحرارة الى (300) درجة مئوية فاكثُر حيث يحدث تشطي وتساقط الغطاء الخرساني بسبب الحركة التفاضلية بين الخرسانة وحديد التسليح الناتجة عن اختلاف معاملات التمدد الحراري للمادتين وكذلك اذا كانت الحرارة من جهة واحدة فقد تحدث حركة تفاضلية ضمن نفس سمك الجزء الخرساني [3] .

عند ارتفاع درجة الحرارة الى اكثر من (500) درجة مئوية تبدأ الخرسانة بالتفتت وفقدان نسبة كبيرة من المقاومة وعند بلوغ (800) درجة مئوية تبدأ الخرسانة بالتحلل والرجوع

الى مكوناتها الاساسية (dehydration) اي ان نواتج الاماهة تتحلل وترجع الى السمنت والركام وهذا خطر جدا كون الخرسانة فقدت معظم مقاومتها وعند بلوغ الحرارة (550) درجة مئوية فاكثرت يبدأ حديد التسليح في التأثر وابداء نوع من الليونة وفقدان من الخواص ايضا [3]

عندما تتعرض الخرسانة الى درجات حرارة عالية لا يحدث لها اي حالة تمدد ولكن يكون التأثير فيها اذا كانت غير معرضة لاحمال ضغط وتكون حرة الحركة ولكن اذا اصبحت حرارة الخرسانة مرتفعة وتكون معرضة لاحمال ضغط فان حالة الانكماش تظهر واضحة في الخرسانة مع انعدام ظهور حالة التمدد في الخرسانة وبعد عملية التبريد اي اخمد الحريق ستظهر شقوق وتصدع بالخرسانة وهذا بسبب اثر الحريق عليها [2] .

في حالة التمدد الذي يحدث في الخرسانة تعتمد على نوع وكمية الرمل المستخدم في الخلطة الخرسانية وكذلك يعتمد على نوع الحصى ونسبة الماء الى السمنت في الخلطة الخرسانية ويوجد عامل اخر قد يساعد على ظهور حالة التمدد في الخرسانة معتمدة على عامل عمر الخرسانة [2]

بعد انتهاء الحرق يحدث تساقط في الخرسانة السطحية اي في نصف الساعة الاولى من الحريق تحدث انشطارات في الطبقة السطحية الرقيقة من الخرسانة خصوصا عندما تتعرض الى درجات حرارة مرتفعة فيحدث في الاسطح انشطار طبقة واحدة وراء الاخرى فيطلق على هذا النوع من التساقط للخرسانة السطحية بالتساقط الانشطاري عند احتواء الخرسانة على نسبة من الرطوبة [2] . يوجد نوع اخر من التساقط للخرسانة السطحية ويطلق عليه بالتقشير ففي هذه العملية يحدث انفصال تدريجي للطبقات السطحية خاصة في الاعمدة والجسور في هيكل المبنى والذي يحدث فيها شقوقا متوازية قد تساعد في حدوث انفصال تدريجي للطبقات السطحية

في الخرسانة وانتقال حرارة الحريق الى حديد التسليح للمبنى عندما تزداد حالة تساقط الخرسانة السطحية اثناء الحريق ، وكذلك عرف من التجارب بان التمدد لحديد التسليح المستخدم في المبنى يكون اكبر كثيرا من تمدد الخرسانة عندما ترتفع درجة حرارة الحريق فوجود غطاء خرساني متماسك مع حديد التسليح مع وجود حرارة ناتجة من الحريق تساعد على حدوث اجهادات انفصالية عالية مع ظهور شقوق حول حديد التسليح في الخرسانة ، لذلك تتبع عدة طرق لغرض تحسين اداء الخرسانة منها تسليح الخرسانة بالالياف البوليمرية و منها الياف الكربون رغم زيادة سعرها مقارنة مع بقية الانواع مستقرة في درجات الحرارة العالية ومقاومة للتآكل وكذلك مادة قوية اذ ان نسبة المقاومة الى الكثافة تكون عالية فكثافتها تتراوح بين (1.78-1.98) غم/سم³ كما ان رقائق الياف الكربون تكون ذات سمك قليل جدا وتربط الذرات فيما بينها بلورات لا ترى الا بالمجهر [1 و 2] .

أن التصميم الانشائي للمنشآت الخرسانية المسلحة يتطلب ان يفي بالعديد من الشروط التصميمية ومنها عاملي الامان safety والديمومة durability لمختلف الظروف المؤثرة على المنشأ ومنها مقاومة الحريق [1] .

أعتمدت المدونات العالمية ومنها المؤسسة الاوربية للخرسانة (ACE) طرقا لحساب مقاومة الخرسانة المسلحة للحرائق آخذين بنظر الاعتبار ما تسببه الحرائق من اضعاف لمقاومة المواد الانشائية و تقليل قابليتها التصميمية على تحمل الانتقال اي تقليل الاحمال الثابتة (dead load) وهذا يعتمد على درجة الحرارة المتوقعة للحرائق وكذلك على الفترة الزمنية للحريق ونتيجة لذلك تتناقص الاحمال المتحركة live load وتحسب الاحمال التصميمية على هذا الاساس كما يلي :

1.0 D.L + 0.9 L.L

.....

(ECI 1994)

كما يجب اخذ الاحتياطات اللازمة كزيادة الغطاء الخرساني وزيادة ابعاد المقطع الانشائي واستخدام الخرسانة المعززة بالالياف كالياف الزجاج والكربون لزيادة مقاومة المنشآت للحرائق [4] ، وعليه اعتمد في هذا البحث استخدام الياف الكربون واضافتها الى الخرسانة بنسب مختلفة (1 و 2) % من الحجم الكلي للخرسانة اثناء عملية الصب .

1-3 الغرض من البحث :

تطوير مقاومة الخرسانة للحرائق و زيادة ديمومتها باستخدام الالياف البوليمرية و بالتحديد الياف الكربون و دراسة خواصها الهندسية المختلفة .

1-4 استراتيجية البحث :

يتضمن البحث ستة فصول ويشمل الفصل الاول المقدمة العامة بالاضافة الى الغرض من البحث واستراتيجية البحث اما الفصل الثاني فيتم توضيح وادراج اهم البحوث السابقة التي لها علاقة بالموضوع والفصل الثالث خواص و تطبيقات الخرسانة المعززة بالياف البوليمرات و منها الياف الكربون و البولي بروبيلين ، اما الفصل الرابع يشمل الاعمال المختبرية من تهيئة المواد الاولى وفحصها وصب النماذج واجراء المعالجة اللازمة لها واخيرا اجراء اهم الفحوصات الميكانيكية والفيزيائية ، اما الفصل الخامس فيتضمن نتائج الفحوصات الميكانيكية والفيزيائية التي اجريت على المواد والنماذج وادراجها في جداول وكذلك يتضمن مناقشة نتائج الفحوصات ومقارنتها مع المواصفات العالمية وتوضيح ذلك بمخططات . والفصل السادس والاخير يحتوي على اهم الاستنتاجات والتوصيات المستقبلية للبحث .

الفصل الثاني

البحوث السابقة

2-1 تمهيد:

يشمل هذا الفصل اعادة لأهم البحوث السابقة المنجزة ذات العلاقة بالمشروع والذي يعتبر تكملة علمية وبحثية للبحوث التي أجريت حول الخرسانة المسلحة بألياف الكربون ودراسة خواصها ودراسة خواص الخرسانة بعد تعرضها للحرارة العالية .

2-2 البحوث السابقة :

درست العطار ، علياء [5] الخواص الميكانيكية للخرسانة الخفيفة الوزن المسلحة بألياف البولي بروبيلين وألياف الكربون والحاوية على نسب حجمية مختلفة وأيضاً قامت بدراسة تأثير المضاف المقلل للماء بدرجة متفوقة إضافة الى التأثير المشترك لهذا المضاف مع 8% أبخرة السليكا المكثفة و 8% الميتاكاؤلولين ذو الفعالية العالية كإحلال جزئي عن وزن السمنت في الخليط على الخواص الميكانيكية لخرسانة الركام الخفيف الوزن.

تم في هذه الدراسة استخدام عدة فحوص تضمنت فحص قابلية التشغيل وفحص وحدة الوزن للخرسانة المتصلبة والطرية وفحص مقاومة شد الانفلاق ومقاومة الأثناء والقساوة (امتصاص الطاقة) ومعامل المرونة الساكن وسرعة الذبذبات فوق الصوتية. وإن معظم الفحوص تم على نماذج بأعمار (7 ، 28 ، 60 ، 90 ، 180) يوم ، إضافة الى ذلك تم دراسة طبيعة الأصرة والتلاصق بين الياف البولي بروبيلين والياف الكربون مع الخرسانة الخفيفة الوزن من خلال استخدام تقنية الماسح الإلكتروني (SEM) .

لقد بين تحليل النتائج أهمية الياف البولي بروبيلين والياف الكربون في تحسين الخواص الميكانيكية في كل اعمار معالجة الخرسانة مقارنة بالخرسانة المرجعية غير المسلحة بالألياف كذلك بينت النتائج ايضاً بان الخرسانة الخفيفة الوزن الحاوية على المضاف المقلل للماء بدرجة

متفوقة أظهرت تحسنا كبيرا في كل الخواص الميكانيكية في كل مقارنة مع نظيراتها غير الحاوية على مضاف الملدن و من جانب اخر فإن اضافة (8%) من أبخرة السليكا و (8%) من الميتاكاؤولين كنسبة تعويضية من وزن السمنت مع احتواء الخلطة على المضاف المقلل للماء بدرجة متفوقة سيؤدي الى تحسين اداء الخرسانة الخفيفة الوزن المعززة بالألياف مقارنة بتلك الخلطات الحاوية على المضاف المقلل للماء بدرجة متفوقة فقط ولكن الميتاكاؤولين ذو فعالية أكثر من أبخرة السليكا ولكافة الفحوصات.

أشارت نتائج الفحوصات ايضا بأن قيم الكثافة ومقاومة الانضغاط للمركب تنخفض عندما تزداد النسب الحجمية لألياف البولي بروبيلين بينما تزداد بعض الشئ بزيادة محتوى الياف الكربون . تزداد مقاومة الشد بزيادة النسب الحجمية للألياف لكلا النوعين من الألياف . ولكن في حالة مقاومة الانثناء كان السلوك مختلفا حيث اظهرت النتائج انه ليس هناك تأثير نواهيية عند استخدام الياف البولي بروبيلين بينما ابدت الياف الكربون تحسنا كبيرا في مقاومة الانثناء عند استخدام نسب حجميه عالية عند المقارنة مع الخرسانة المرجعية . ابدت مقاومة الصدم تحسنا مع وجود الياف البولي بروبيلين والياف الكربون وكذلك استنتج ايضا بان مقاومة الصدم تزداد بزيادة النسب الحجمية للألياف. ووجد بأن معامل المرونة الساكن ينخفض بزيادة النسب الحجمية لألياف البولي بروبيلين بينما تزداد بزيادة النسب الحجمية لألياف الكربون كما وجدت بأن القساوة و معامل القساوة والمطيلية تزداد بزيادة النسب الحجمية للألياف ، وهذا ما تم فحصه من خلال منحنى الحمل / الأنفعال لمختلف الأعمار . وأيضا وجد بأن فحص الذبذبات فوق الصوتية من الفحوص غير الاتلافية مؤثرة للوصول الى نوعية الخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن المعززة بالألياف.

بحث Lourenzo وجماعته [6] تأثير اضافة انواع من الألياف غير المعدنية على الخرسانة بعمر 28 يوما وتعرضها الى درجات حرارة مختلفة تراوحت بين درجة حرارة الغرفة (20)°م ودرجات (250، 500، 750، 1000)°م . استخدمت نماذج اسطوانية (300*150) ملم لأيجاد معامل المرونة والعلاقة بين الأجهاد - الانفعال كما استخدمت مواشير بأبعاد (600*150*150) ملم لدراسة سلوك الإنشاء للخرسانة المعززة بالألياف . أجريت الفحوصات بعد وصول الفرن الى درجة الحرارة المطلوبة ولوحظ تحسن في الخواص الهندسية عند اضافة الألياف عدا تكسر وتفتت النماذج عند (1000)°م .

درس B. Mahasneh [7] الفوائد المرجوه من استخدام الخرسانه المعززة بألياف البوليمرات من حيث مقاومتها للحرائق . استخدمت نماذج اسطوانية بأبعاد (300*150) ملم و (150*150) ملم و (200*100) ملم ومكعبة بمقاس (150) ملم و قسمت الى مجموعتين احدهما مرجعية بدون الياف و الاخرى حاوية على الياف بوليمرية بنسبة 0.8% من الخرسانة ومن خلال البحث تبين بانها نسبة اضافة جيدة للالياف و عرضت جميع النماذج الى نفس ظروف التعرض من درجة حرارة ولنفس الفترة الزمنية ولاعمار تراوحت بين اسبوع واحد الى اربعة اسابيع. فحصت النماذج بدرجة حرارة الغرفة و بدرجات حرارة مرتفعة وصلت الى (1000)°م ولفترة تعرض للحرارة تراوحت بين (1-7) ساعة حيث يصل الفرن الى درجة الحرارة المطلوبة ثم توضع النماذج بداخله . أجري فحص (pull out test) بتسليط قوة شد مقدارها (1.33 kN/s) لجميع النماذج واجري كذلك فحص الشد الانفلاقي لدرجات حرارة وصلت الى (1200)°م علما بان الباحث اعتمد المواصفات الاميريكية (ASTM) في فحوصات النماذج وأظهرت النتائج بأن السيطرة على مقاومة الخرسانة المعززة بألياف البوليمرات يتم من خلال السيطرة على تأثير كل من الخرسانة والألياف. بينت نتائج البحث بأن اضافة الألياف

البوليمرية عملت على زيادة مقاومة الانضغاط بمقدار 15% بعمر خمسة اسابيع وفي حالة الخرسانة المعززة بالالياف فان الزيادة بمقدار 11.3% في درجة حرارة الغرفة و 2% عند (200) °م كما ان الخرسانة المعززة بالالياف تقاوم درجات الحرارة لغاية (800) °م اكثر بمقدار 20% من مقاومة الخلطات المرجعية بدون الياف . من الفحوصات الاخرى الشد والمطيلية للحرائق كما أن الدراسة اعطيت فهماً جيداً لسلوك البوليمرات وتأثيرها الايجابي على خواص الخرسانة غير المحمية ضد الحرائق .

قام مجموعة من الباحثين [2] بدراسة تأثير اضافة بعض الملدنات والسليكا على مقاومة الخرسانة عند تعرضها لدرجات الحرارة العالية حيث قاموا بتصميم ثلاث انواع من الخلطات الخرسانية ، الخلطة الاولى هي خلطة مرجعية بدون اية اضافات اما الخلطة الثانية فكانت تحتوي على ملدنات بينما الخلطة الثالثة كانت تحتوي على ملدنات وسليكا . قسمت كل عينة من هذه العينات الثلاثة الى (7) مجاميع وكل مجموعة تتكون من ثلاث مكعبات .

كسرت المجموعة الاولى من كل عينة مباشرة وسجلت النتائج وبعدها عرضت المجموعة الثانية من كل عينة الى درجة حرارة (200) °م والمجموعة الثالثة الى درجة حرارة (400) °م والمجموعة الرابعة الى درجة حرارة (600) °م لمدة ساعتين ثم كسرت النماذج بعد التبريد وسجلت النتائج .

عرضت بعدها المجموعة الخامسة من كل عينة الى درجة حرارة (200) °م والمجموعة السادسة الى درجة حرارة (400) °م والمجموعة السابعة الى درجة حرارة (600) °م لمدة (4) ساعات وكسرت النماذج بعد التبريد وسجلت النتائج . وجدوا من خلال النتائج بأن الخرسانة بشكل عام تزيد مقاومتها عند تعرضها لدرجة حرارة (200) °م لمدة ساعتين وذلك لأن نسبة سليكات الكالسيوم المائية تزداد في الخلطة ، وعند تعرض الخرسانة لدرجة حرارة

أكبر من (200) °م لمدة أكثر من ساعتين فإن المقاومة تبدأ بالأضمحلال لحوث تحلل سليكات الكالسيوم المائية وكذلك تحلل جزئي في الركام الذي يعتبر الهيكل الرئيسي للخرسانة ، كما ان الزيادة في المقاومة بالنسبة للخلطات العادية عند تعرضها لدرجة حرارة (200) °م لمدة ساعتين تكون طفيفة والزيادة في المقاومة في الخلطات التي تحتوي على ملدنات وسليكا تكون عالية نسبيا ووجدوا بأن الخلطات في مجملها يحدث لها انهيار عند تعرضها لدرجة حرارة (600) °م لمدة ساعتين فأكثر لكن الخلطات التي تحتوي على ملدنات وسليكا تكون لها القدرة على تحمل الحرائق حيث ان الخلطة الثالثة أستطاعت ان تتحمل درجة حرارة (600) °م لمدة ساعتين دون ان يحدث لها انهيار.

درس الديداموني ، حمدي وجماعته [8] تأثير الإضافات البوزولانية على مقاومة الخرسانة لدرجات الحرارة العالية حتى (800) °م . تم تحضير بعض انواع السمنت المخلوط مع خبث افران الحديد المبرد مائيا وكسر الطابوق بعد طحنهما وخلطهما معا بالسمنت البورتلاندي الاعتيادي وصبت مكعبات من خلطات السمنت وتم معالجتها بالماء فترة (28) يوما وبعدها عرضت لدرجات حرارة وصلت الى (800) °م لمدة ثلاث ساعات عند كل درجة وتركها تبرد في الفرن حتى درجة حرارة الغرفة. أوضحت النتائج ان خلطات السمنت المخلوطة مع المواد السابقة تقاوم الحريق حتى (800) °م وعلى العكس فإن السمنت البورتلاندي الاعتيادي قد تدهور عند (800) °م. وجد ان (70%) سمنت بورتلاندي اعتيادي و (20%) خبث افران الحديد و (10%) كسر الطابوق المخلوطة معا اظهرت مقاومة للحريق حتى (800) °م اي انه نسبيا يمكن ان يقاوم تدهور الخرسانة في المباني المعرضة للحريق .

قام الباحث ناصر ، ضياء [9] بدراسة الخرسانة حيث استعمل في هذا البحث نوعين من

النماذج الخرسانية ، الاول يتكون من اسطوانات بأبعاد (230 * 120) ملم لفحوصات

الانضغاط والشد والثاني يتكون من نماذج موشورية بأبعاد (76*76*381) ملم لفحوصات الزحف والانكماش وقد سلط حمل على نماذج الزحف باستعمال قضبان مسبقة الجهد .

استعملت خلطتان خرسانيتان بمقاومتين انضغاط (20.7 و 27.6) نيوتن /ملم² باستخدام نماذج اسطوانية عرضت لدرجات حرارة (20,100,150,300,450,600) °م وكانت لفحوصات مقاومتي الانضغاط والشد . والخلطة الثانية عرضت لدرجات حرارة (20,90,120) °م وكانت لفحوصات الانكماش والزحف حيث كانت النماذج بحالة رطوبة بأعمار (3,7,28,60) يوم قبل التعرض للحرارة لفترات تسخين (30,60,90) دقيقة بعدها فحصت لاجاد مقاومة الخرسانة .

أظهرت النتائج بان ارتفاع الحرارة يسبب انخفاض مقاومتي انضغاط الخرسانة (عدا بدرجة 100 °م حيث شوهد زيادة في المقاومة) ومقاومة الشد للخرسانة . لوحظ سلوك متشابه لكلا الخلطتين عند التعرض للحرارة العالية . أظهرت النتائج كذلك ان الانكماش والزحف يزداد بارتفاع الحرارة وفترة التعرض للحرارة .

الفصل الثالث

خواص الخرسانة

المعززة بالألياف

3-1 تمهيد :

أصبح التزايد هائلاً في معدل التطوير والتحديث في مجالات البناء والتشييد في الأعوام القليلة الماضية ولم يعد يمر عام واحد إلا نسمع ونرى ابتكارات جديدة تغزو هذا المجال وتفرض نفسها نظراً لأهميتها الكبيرة ، ومن ضمن هذه التطورات استخدام الألياف في الأعمال الخرسانية للاستفادة منها لتحسين خصائص الخرسانة وتعمل الألياف على تحسين مقاومة الخرسانة في القص والشد والانحناء والصدم والانكماش كما أنها تعمل على تقليل اتساع التشققات وإعادة توزيعها وليس لها تأثير بدرجة كبيرة على مقاومة الانضغاط وتستخدم في أعمال الترميم وتسليح الخرسانات وأهم استخدام للألياف هو تحسين معيار المتانة للخرسانة بشكل كبير ، توضع الألياف بشكل عشوائي وذلك لضمان تقاطعها مع مستويات الفشل والعمل على ترابطها للسماح بتوزيع الحمل حتى بعد حدوث التشققات وانزلاق المستويات مع بعضها للوصول إلى الحمل الأقصى الذي صممت لتحمله الخرسانة المسلحة بالألياف. توجد مواد ليفية عديدة أجريت عليها الأبحاث والاختبارات اللازمة لاستخدامها في الأعمال الخرسانية مثل (الألياف الكربونية - الألياف الحديدية - الألياف الزجاجية - ألياف البولي بروبيلين ...) وسوف يتم التحدث في هذا الفصل عن الألياف البوليمرية فقط وبالتحديد ألياف الكربون والألياف البولي بروبيلين .

3-2 الهدف من استخدام الألياف في الخرسانة :

تهدف استخدام الألياف إلى [11] :

أ . زيادة متانة الخرسانة (Toughness).

ب . زيادة مقاومة الشد Tensile Strength .

ت. تحسين مقاومة التشققات والتشوهات.

ث. تحسين مقاومة الخرسانة لاحمال الصدم.

ج. تقليل اتساع التشققات واعادة توزيعها.

لذلك فان للألياف دور كبير في الخرسانة المسلحة حيث انها تسمح بحدوث التشققات المتلاحقة لذا فان الخرسانة المسلحة بالألياف يمكنها الاستمرار في تحمل القيمة القصوى من الاحمال بعد حدوث التشقق، وكذلك فان إضافة الألياف إلى الخرسانة يجعلها أكثر تجانساً وموحدة الخواص كما تحسن من استجابة الشد والمطيلية خصوصاً، إذ أن وجود الألياف الموزعة عشوائياً يعمل على منع حدوث الشقوق الشعرية وبذلك فإنها ستزيد من الصلادة والمطيلية .

3-3 الخرسانة الليفية واستخداماتها :

هي خرسانة عاديه اى عبارة عن خليط من السمنت والركام الخشن والناعم والمحتوية على نسب مختلفة من الألياف وموزعه توزيعاً عشوائياً في الخلطة الخرسانية و يمكن استخدام مضافات اخرى معها. وتستخدم في [11] :

- أ . ملئ الشقوق في الوحدات الخرسانية.
- ب . اعادة ترميم الطرق و ممرات الطائرات و ارضيات المصانع.
- ت . الطبقات الخرسانية المعرضة للتآكل .
- ث . تغليف الاعمدة الحديدية بغرض وقايتها من العوامل الخارجية.
- ج . الاساسات المعرضة للاهتزازات و الاحمال المتحركة.
- ح . الابنية و المنشآت الحربية.

4-3 أنواع الاليف البوليمرية وخواصها [11]:

1-4-3 : ألياف الكربون carbon fibers :

هى مادة ذات شكل ليفي مكونه من بلورات الكربون الدقيقة والتي تصنع بصورة رئيسية من البولي اكريلونيتريل (Polyacelonitrile) بنسبة (90%) والرايون (Rayon) بنسبة (10%) التي تحضر بحرق المواد الاولية بعملية الكربنة (carbonization) بدون الاوكسجين [11] . من أهم انواعها بالاعتماد على اشكالها :

أ - الألياف الطويلة : طولها حوالي (5) سم وتضاف في أغلب الأحيان إلى ألواح الزجاج المصحلة كهربائياً لزيادة جساءة الأجزاء المصبوبة بالضغط.



شكل (3-1) : لفائف من الألياف الكربونية [11]

ب- الألياف المطحونة :

طولها يتراوح طولها بين (30-3000) ميكرون و نسبة باعية aspect ratio (L/D) حوالي

30 .



شكل (3-2) : الألياف الكربونية المطحونة [11]

ج- الألياف الرقائقية :

طولها حوالى 6 ملم و نسبة (L/D) حوالى 800 و تكون مقاومتها أكبر من الألياف المطحونة و تكلفة تصنيعها ضعيفا.



شكل (3-3) : الألياف الكربونية الرقائقية [11]

د- طبقات أو ألواح ألياف الكربون :

هى الأعلى أداءا ووزنها منخفض وتحتوى الألواح من 400 إلى 16000 شعيرة منفردة وقد يصل عرض الألواح إلى 1.5 متر و تتميز الألياف الطويلة بمقاومتها الميكانيكية العالية و مقاومة كيميائية أفضل من ألياف الزجاج خصوصا فى البيئات القلوية .



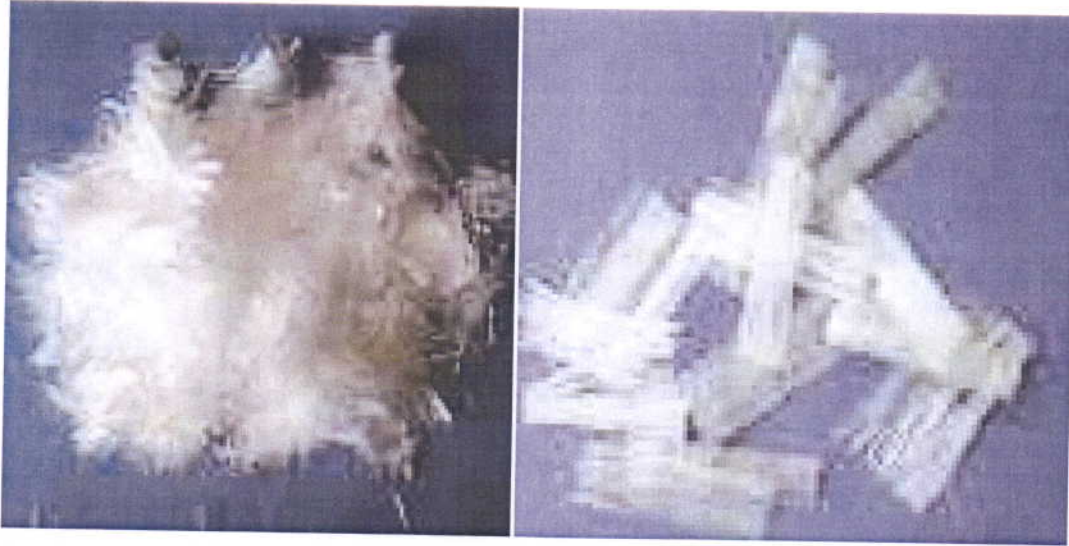
شكل (4-3) : ألواح الياف الكربون [11]

2-4-3 : ألياف البولي بروبيلين polypropylene fibers

الياف البولي بروبيلين عبارة عن حزم من ألياف متماسكة مع بعضها مصنوعة من مادة البولي بروبيلين POLYPROPYLENE وتضاف بنسبة 0.9 كجم/ م³ من الخرسانة أثناء الخلط . هذه الألياف تتوزع بانتظام داخل الخرسانة في جميع الاتجاهات لعمل قوة إضافية للمقاومة ضد التشققات التي تنتج عن الإنكماش أثناء عملية التماسك ، و من مميزاتها [11]:

أ- التقليل من نفاذية الخرسانة للمياه حيث أثبتت التجارب العملية إن إضافة الالياف للخرسانة وما يترتب عليها من الحد من التشققات إلى حد كبير مما يؤدي إلى التقليل من نفاذية الخرسانة للمياه وتبين التجارب معدل النفاذية للخرسانة في حالة عدم وجود الليف ومقارنته في حالة وجود نسب متفاوتة منه.

ب- اعطاء الخرسانة مرونة عالية لمقاومة أحمال الالتواء والانحناء.



شكل (3-5) : الياف البولي بروبيلين [13]

3-5 اهم تطبيقات الياف الكربون في الهندسة المدنية :

من اهم تطبيقات الياف الكربون في الهندسة المدنية حيث استخدمت بصورة واسعة خلال العقدين الماضيين ودرست في الجامعات كمادة انشائية مهمة كما في الصناعة في اعادة تاهيل retrofitting وتقوية strengthen للمنشآت المنفذة سابقا او استبدال قضبان من الياف الكربون بدلا من حديد التسليح حيث يشمل تاهيل المنشآت زيادة الاحمال المسلطة وخاصة في الجسور وكذلك المنشآت المعرضة للزلازل والمنشآت المحطمة ، تستخدم CFRP لمقاومة الصدمات وزيادة الصلابة stiffness لانها مادة قوية مقاومة الشد العظمى (3000 MPa) اكثر 10 مرات من حديد التسليح وكذلك تستخدم لمقاومة اجهادات القص حيث يتم لفها حول المقطع كما في الجسور واعمدة الابنية [12] .

تحتاج العديد من المنشآت الخرسانية المسلحة إلى إصلاحها وإعادة تأهيلها وخاصة الجسور القديمة بسبب تعرضها إلى أحمال تفوق الأحمال التصميمية للجسر واستخدمت في السنوات الأخيرة البوليمرات المعززة بالألياف ومنها ألياف الكربون (CFRP) . يتم لصقها في الأجزاء المعرضة إلى اجهادات الانحناء وذلك لكون ألياف الكربون قوية حيث تصل مقاومة الشد القصوى إلى (3000) نيوتن /ملم² وهي تفوق مقاومة الشد القصوى للحديد بعشرة مرات.

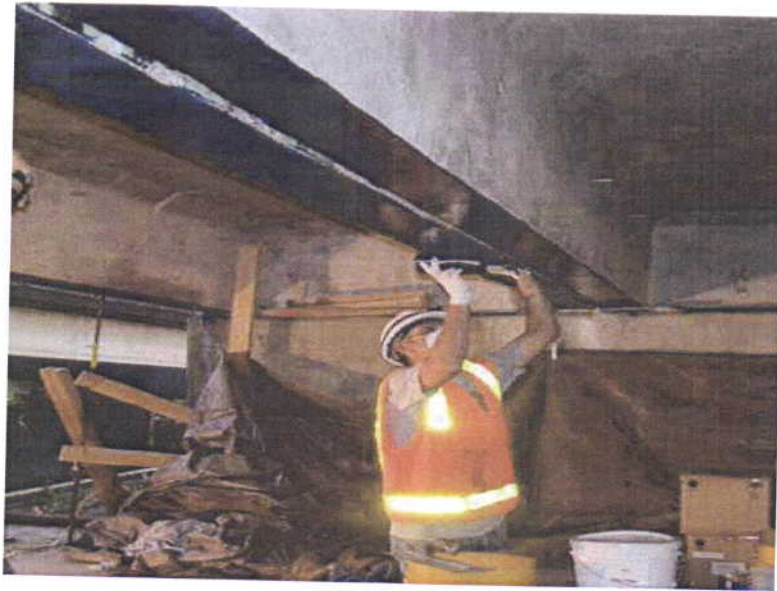
تستخدم البوليمرات المعززة بألياف الكربون في إصلاح الأعمدة لزيادة مقاومتها لاجهادات القص حيث تلف حول العمود عند تعرضها للزلازل ومنعها من الانهيار وتعتبر هذه الطريقة في التأهيل أكثر اقتصادية من الطرق الأخرى . إن الأعمدة المعرضة إلى أحمال محورية تفوق سعتها التصميمية يتم استخدام هذه التقنية لزيادة مقاومة الانضغاط للخرسانة .

تتوفر أنواع خاصة من البوليمرات المعززة بألياف الكربون والتي يصل معامل الشد لها إلى ($10^9 * 420$) نيوتن /متر² وتستخدم لتقوية المقاطع الفولاذية بربطها مع الفلنجة

المعرضة إلى اجهادات الشد لزيادة مقاومتها . من الميزات الأخرى لألياف الكربون هو خفة وزنها ومقاومتها للصدأ وعليه يمكن أن يكون تطبيقها في المنشآت البحرية , لاحظ الشكلين (6-3) ، (7-3). من المهم الإشارة إلى أن تطبيقات هذه التقنية لازالت محدودة في بعض البلدان ومنها العراق وهذا يعود إلى فقدان المعرفة الكاملة بين المصممين والمهندسين بطبيعة وسلوكية هذه المواد من حيث أدائها على المدى البعيد وكذلك اختلاف الخواص الميكانيكية لها عن خواص المواد التقليدية ولعدم وجود مواصفات صناعية حول الاستخدام الأفضل لها [13].



شكل (6-3) : استخدام ألياف الكربون على شكل طبقات لمعالجة الجدران [13]



شكل (7-3) : استخدام ألياف الكربون على شكل طبقات لإعادة تأهيل الجسور [13]

الفصل الرابع

الجانب العملي

1-4 تمهيد :

يتضمن هذا الفصل الاعمال المختبرية من تهيئة المواد الاولية وفحصها وصب النماذج واجراء المعالجة اللازمة وكذلك الفحوصات الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية التي تم اجرائها على المواد الاولية والنماذج المصبوبة وادراج النتائج في جداول .

2-4 المواد الاولية :

1-2-4 السمنت :

استخدم في الخلطة سمنت بورتلاندي اعتيادي من انتاج معمل طاس لوجة نوع الجسر وتم اجراء الفحوصات الخاصة في مختبر الخرسانة للجامعة التكنولوجية قسم هندسة البناء والانشاءات كما موضح في الجدولين (1-4) و(2-4) نتائج الخواص الفيزيائية والتحليل الكيميائي . تشير نتائج الفحص الى ان السمنت المستخدم مطابق للمواصفه العراقية رقم 5 لسنة 1984 .

جدول (1-4): نتائج التحليل الكيميائي للسمنت البورتلاندي الاعتيادي

نوع التحليل	النتائج	حدود المواصفه العراقية رقم 5 لسنة 1984
SiO ₂	21.82	-
Al ₂ O ₃	3.55	-
Fe ₂ O ₃	4.2	-
CaO	62.32	-
MgO	2.13	لا تزيد عن 5%
SO ₃	2.48	لا تزيد عن 2.5%
L.O.I	1.83	لا تزيد عن 4%
I.R	0.65	لا تزيد عن 1.5%
L.S.R	0.9	0.66-1.52
C ₃ A	2.3	-
C ₂ S	24.25	-

-	50.81	C ₃ S
-	12.78	C ₄ AF

جدول (4-2) : الخواص الفيزيائية للسمنت البورتلاندي الاعتيادي

الخواص	النتائج	حدود المواصفة العراقية رقم 5 لسنة 1984
زمن التماسك الابتدائي	245	لا يقل عن 45 دقيقة
زمن التماسك النهائي	311	لا يزيد عن 10 ساعات
الثبات	1	لا يزيد عن 10 ملم
مقاومة الانضغاط بعمر 3 يوم	19.83	لا تقل عن 15 نيوتن/ملم ²
مقاومة الانضغاط بعمر 7 يوم	27.22	لا تقل عن 23 نيوتن/ملم ²

2-2-4 الركام الناعم :

استخدم الرمل المستخرج من مقالع الاخضر مغسول ومجفف بفرن التجفيف بدرجة حرارة (70)°م ومار من منخل # 16 (1.88mm). واستخدم الرمل المستخرج من مقلع الاخضر في كافة الخلطات وان تدرجه المنخلي الموضح في الجدول رقم (4-4) وهو مطابق للمواصفة العراقية رقم 45 لسنة 1984 ضمن منطقة التدرج الثالثة وبينت الفحوصات المختبرية للخواص الفيزيائية بان الوزن النوعي والامتصاص ومحتوى الاملاح الكبريتية للركام الناعم كما في الجدول رقم (4-3). اجريت الفحوصات في مختبر الخرسانة للجامعة التكنولوجية قسم هندسة البناء والانشاءات .

جدول رقم (4-3): الفحوصات الفيزيائية للركام الناعم

الفحص	النتائج
الوزن النوعي	2.6
الامتصاص (%)	1.6
محتوى الاملاح الكبريتية (%)	0.27

جدول (4-4) التدرج المنخلي للرمل المستخدم في البحث

قياس المنخل (ملم)	النسبة المئوية المارة	حدود المواصفة العراقية رقم 45 لسنة 1984
9.5	100	100
4.75	95	90-100
2.36	93	85-100
1.18	79	75-100
0.6	61	60-79
0.3	28	12-40
0.15	0	0-10

3-2-4 الركام الخشن:

استخدم الحصى المستخرج من مقالع النباعي في الخلطات الخرسانية وهو مطابق للمواصفة العراقية رقم 45 لسنة 1984 والمارة من غربال (9.5mm) وبينت الفحوصات المختبرية للخواص الفيزيائية بان الوزن النوعي والامتصاص ومحتوى الاملاح الكبريتية للركام الخشن كما في الجدول رقم (4-5) . اجريت الفحوصات في مختبر الخرسانة للجامعة التكنولوجية قسم هندسة البناء والانشاءات .

جدول رقم (5-5): الفحوصات الفيزيائية للركام الخشن

الفحص	النتائج
الوزن النوعي	2.64
الامتصاص (%)	0.9
محتوى الاملاح الكبريتية (%)	0.07

4-2-4 الالياف :

استخدمت الياف الكربون المقطعة والتي تكون على شكل رقائق (chips). الموضحة في الشكل (1-4). والتي تصنع بصورة رئيسية من البولي اكريلونيتريل (Polyacelonitrile) بنسبة (90%) والرايون (Rayon) بنسبة (10%) التي تحضر بحرق المواد الاولية بعملية الكربنة (carbonization) بدون الاوكسجين [11]. ان ابرز خواص الكربون المستخدمة موضحة في الجدول (4-6).

جدول (5-6): خواص الياف الكربون المستخدمة في البحث

الخواص	النتائج [11]	النتائج [18]
الكثافة (كغم/ م ²)	1850	1900
معامل المرونة (GPa)	300	230-380
مقاومة الشد (MPa)	2450	1800-2600
الاستطالة عند الكسر (%)	0.75	0.5-1
النسبة الباعية (%)	100	-

5-2-4 الماء :

تم استخدام ماء الاسالة الاعتيادي الصالح للشرب لمدينة بغداد في جميع الخلطات الخرسانية المستخدمة في هذا البحث .

3-4 الخلطات المستخدمة :

تم في هذا البحث استخدام خلطة تتكون من السمنت والركام الناعم والخشن ونسب وزنية 4:2:1 ونسبة ماء : سمنت تراوحت بين (0.5 – 0.6) وبما يؤمن فحص هطول مقداره (25) ملم ولغرض دراسة تأثير الياف الكربون تم ادخال الياف الكربون الى هذه الخلطة وبنسبتين حجميتين (1% و 2%).

4-4 تهيئة النماذج وظروف التعرض :

تم تهيئة قوالب فولاذية بأبعاد (100*100*100) ملم وتم تنظيفها وتزييتها مع ملاحظة عدم الاكثار من الزيت لانه يؤثر على مقاومة الانضغاط وتترك على الطاولة لكي ينزل الزيت الزائد وكذلك تهيئة خلط كهربائي (mixer) وكذلك تحضير المواد الأولية من سميت بورتلاندي اعتيادي وركام ناعم وركام خشن واللياف الكربون بعدها تم عمل الخلطة الخرسانية الاولى (مرجعية) والتي لا تحتوي على اليف الكربون ونسبة 4:2:1 سميت : رمل : حصى حيث خلطت المواد مع بعضها وهي جافة ومن ثم اضيف الماء بنسبة ($w/c=0.45$) الى الخليط الجاف وكان عدد المكعبات المصبوبة (8) مكعبات بعدها تم عمل الخلطة الخرسانية الثانية الحاوية على اليف الكربون بنسبة (1%) حجما ونسبة 4:2:1 سميت : رمل : حصى و اضافة الاليف الى الخليط وهو جاف وخلطه يدويا وبعدها خلط بالخلط الكهربائي و اضيف الماء بنسبة ($w/c=0.55$) الى الخليط الجاف بنفس الطريقة عملت الخلطة الخرسانية الثالثة الحاوية على اليف الكربون بنسبة (2%) حجما ونسبة ماء ($w/c=0.6$) ثم صبت النماذج في القالب على شكل طبقتين متساويتين ورسبت لطرت فقاعات الهواء باستخدام المنضدة الهزازة ثم سوي سطح القالب باستخدام المالج . علما بان درجة حرارة المختبر اثناء عملية الصب كانت تتراوح بين (15-22) °م علما ان فترة الصب كانت (من 13 / 12 / 2010 الى 4 / 1 / 2011) .

نزلت القوالب عن النماذج وعرضت لظروف التعرض المطلوبة في الدراسة وكما يلي :

أ - مكعبان من الخرسانة (مقاس 100 ملم) غمرت في الماء الاعتيادي التنظيف لمدة 28 يوما واستبدل اسبوعيا و تركت النماذج لتجف لمدة في الهواء لمدة يوم واحد واجريت عليها فحوصات مقاومة الانضغاط وسرعة الموجات فوق الصوتية .

ب - مكعبان من الخرسانة (مقاس 100 ملم) غمرت في الماء الاعتيادي التنظيف لمدة 28 يوما استبدل اسبوعيا و تركت النماذج لتجف في الهواء لمدة يوم واحد وبعدها وضعت في فرن كهربائي خاص موجود في المركز الوطني للبحوث والمختبرات الانشائية لاحظ الشكل (4-2) بدرجة حرارة (250) درجة مئوية لمدة ساعتين وتركت لتبرد الى درجة حرارة الغرفة بعدها اجريت عليها فحوصات مقاومة الانضغاط وسرعة الموجات فوق الصوتية . كررت هذه الفقرة لدرجات الحرق (500 و 750) درجة مئوية.

ج - مكعبان من الخرسانة (مقاس 100 ملم) وبنسبة الياف الكربون (1 %) حجما غمرت في الماء الاعتيادي النظيف لمدة 28 يوما استبدل اسبوعيا وتركت النماذج لتجف في الهواء لمدة يوم واحد واجريت عليها فحوصات مقاومة الانضغاط وسرعة الموجات فوق الصوتية .

د _ مكعبان من الخرسانة (مقاس 100 ملم) وبنسبة الياف الكربون (1%) غمرت في الماء الاعتيادي النظيف لمدة 28 يوما استبدل اسبوعيا و تركت النماذج لتجف في الهواء لمدة يوم واحد بعدها وضعت في فرن كهربائي خاص المذكور سابقا بدرجة حرارة (250) درجة مئوية لمدة ساعتين وتركت لتبرد الى درجة حرارة الغرفة بعدها اجريت عليها فحوصات مقاومة الانضغاط وسرعة الموجات فوق الصوتية .كررت هذه الفقرة لدرجات الحرق (500 و 750) درجة مئوية.

هـ _ مكعبان من الخرسانة (مقاس 100 ملم) وبنسبة الياف الكربون (2 %) حجما غمرت في الماء الاعتيادي النظيف لمدة 28 يوما استبدل اسبوعيا وتركت النماذج لتجف في الهواء لمدة يوم واحد واجريت عليها فحوصات مقاومة الانضغاط وسرعة الموجات فوق الصوتية .

و _ مكعبان من الخرسانة (مقاس 100 ملم) وبنسبة الياف الكربون (2%) غمرت في الماء الاعتيادي النظيف لمدة 28 يوما استبدل اسبوعيا و تركت النماذج لتجف في الهواء لمدة يوم واحد وبعدها وضعت في فرن كهربائي المذكور سابقا بدرجة حرارة (250) درجة مئوية لمدة ساعتين وتركت لتبرد الى درجة حرارة الغرفة بعدها اجريت عليها فحوصات مقاومة الانضغاط وسرعة الموجات فوق الصوتية , كررت هذه الفقرة لدرجات الحرق (500 و 750) درجة مئوية .

4-5 الفحوصات المختبرية :

4-5-1 فحص مقاومة الانضغاط :

اجري فحص مقاومة الانضغاط بموجب المواصفة BS 1881 : Part 116 لعام 1983 [14] على مكعبات الخرسانة وذلك باستخدام ماكينة الفحص الاوتوماتيكي بسعة (2000) كيلو نيوتن الموضحة في الشكل (4-2) وكانت كل قراءة تمثل معدل قراءة مكعبين .

4-5-2 فحص الهطول :

اجري هذا الفحص بموجب المواصفة الامريكية ASTM C143-01 [15] حيث كانت قيمة الهطول للخلطة المرجعية والخلطات الاخرى بحدود 25 ملم .

طريقة العمل :

استخدم قالب مخروطي معدني يتم وضع الخرسانة على شكل طبقات كل طبقة ترص بواسطة قضيب معدني قطره (16) ملم و بواقع (25) ضربة بصورة دائرية متجه نحو المركز بعد ذلك يتم تسوية سطح القالب بواسطة عصا الرص ويرفع المخروط الى الاعلى بصورة بطيئة و بعدها يتم قياس الهطول الحاصل بواسطة المسطرة .

3-5-4 فحص الموجات فوق الصوتية :

تم اجراء الفحص باستخدام جهاز الموجات فوق صوتية كما في الشكل (3-4) حسب المواصفة الامريكية (ASTM C 597 - 02) [16] . في هذا الفحص يتم احداث نبضات عبارة عن موجات فوق صوتية لتسري خلال الجسم المختبر ويتم تعيين زمن انتقالها ، حيث وجد ان سرعة النبضات خلال جسم صلب يعتمد على كثافة المادة المختبرة وخواص المرونة لها و يستعمل هذا الفحص في مجال الخرسانة لاستنتاج الاتي [17] :

- أ- قيمة مقاومة الخرسانة للضغط .
- ب- قياس معايير المرونة للخرسانة.
- ت- مدى تجانس الخرسانة .
- ث- مراقبة تطور قيم مقاومة الخرسانة للضغط.
- ج- قياس عمق طبقة الخرسانة .
- ح- تحديد درجة تلف الخرسانة.
- خ- اكتشاف الشقوق والفجوات للخرسانة .

طريقة العمل :

اعتمدت المواصفة الامريكية (ASTM C597-03) [16] في فحص سرعة الذبذبات فوق الصوتية و كما يلي :

- أ- يتم ضبط الجهاز مع جزء المعاييرة المرفق مع الجهاز قبل بدء الاختبار على العينة .
- ب- يتم قياس المسافة التي تسيرها النبضات (Path Length) بدقة (أي طول السير) .
- ت- يوضع المرسل Transmitter والمستقبل Receiver على العينة وان يكون الاتصال تام بين سطحي المرسل والمستقبل و سطح العينة يستخدم لهذا الغرض الشمع او عجينة الجلسرين او الصابون السائل .

ث- عند وضع المرسل والمستقبل على العينة يستمر هذا الوضع حتى تثبت القراءة وإذا تارجحت النتائج بين قرائتين يؤخذ المتوسط .

ج- يكون الرقم معبرا عن الوقت (T) لسريان النبضات خلال الجزء المختبر و(V) سرعة النبضات وكما موضح بالمعادلة ادناه.

$$V = L / T \text{ km/sec} \text{ -----(1)}$$

$$fc' = e^{0.53 \cdot V} \cdot 2.8 \text{ -----(2)}$$

حيث ان :

L = طول المسار (م)

T = زمن انتقال الموجة (ثا)

6-4 طريقة حساب الاوزان لالياف الكربون [18]:

نسبة 1% حتما :

$$\text{Wt of fiber \%} = vf \cdot df / vm \cdot dm$$

$$= 1900 \cdot 0.01 / 0.99 \cdot 2300$$

$$= 0.0083 \cdot 100\%$$

$$= 0.83$$

$$0.83 / w = 100 / 1000$$

$$W = 8.3 \text{ gm}$$

نسبة 2 % حجما :

$$\text{Wt of fiber \%} = v_f \cdot d_f / v_m \cdot d_m$$

$$= 1900 \cdot 0.02 / 0.98 \cdot 2300$$

$$= 0.017 \cdot 100\% = 1.7$$

$$1.7 / w = 100 / 1000$$

$$W = 17 \text{ gm}$$

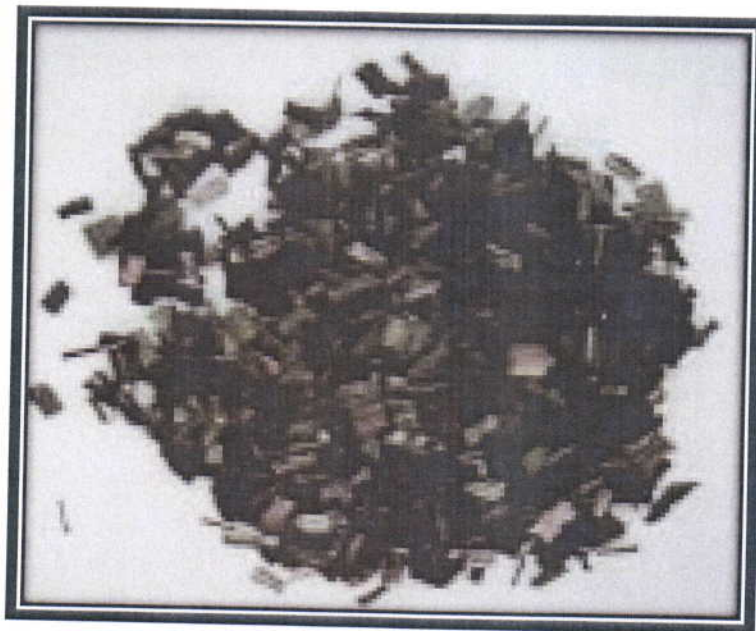
حيث ان :

Df : كثافة الالياف (كغم / م³) .

Dm : كثافة الخلطة الكلية (كغم / م³) .

Vf : حجم الالياف (م³) .

Vm : حجم الخلطة الخرسانية (م³) .



شكل (1-4) الياف الكربون المقطعة [11].



الشكل (2-4) ماكينة الفحص الاوتوماتيكي



الشكل (3-4) جهاز قياس الموجات فوق الصوتية.

الفصل الخامس

النتائج و مناقشتها

1-5 تمهيد :

يشمل هذا الفصل اهم الاستنتاجات التي تم التوصل اليها من خلال الفحوصات المختبرية
لنماذج مختلفة مرجعية (بدون الياف) وحاوية على الياف بنسبتين (1 و 2) % حجما .

2-5 النتائج :

جدول (5-7) :نتائج فحص مقاومة الانضغاط (نيوتن / ملم²)

درجة حرارة التعرض	نوع الخلطة	25 °م	250 °م	500 °م	750 °م
		بدون الياف			
		18.5	15	8	2.5
	1% الياف كاربون	19	18	10	6
	2% الياف كاربون	20.5	18.5	12	7

جدول (5-8) : نتائج فحص الموجات فوق الصوتية (كم /ثا)

درجة حرارة التعرض	نوع الخلطة	25 °م	250 °م	500 °م	750 °م
		بدون الياف			
		3.5	3.3	2.96	2.9
	1% الياف كاربون	3.8	3.5	3.1	2.98
	2% الياف كاربون	4	3.5	3.3	3.1

3-5 مناقشة النتائج :

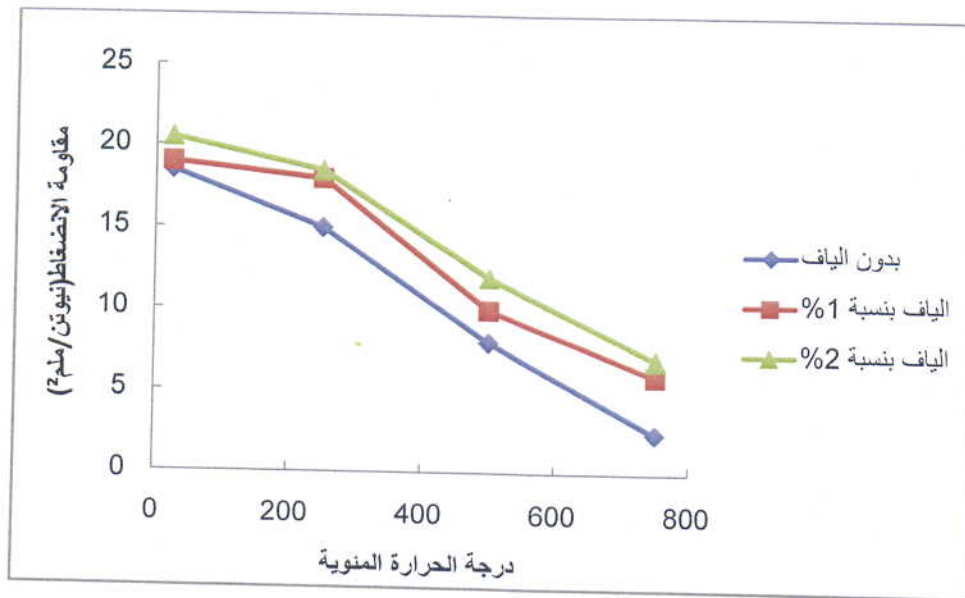
اظهرت نتائج فحص مقاومة الانضغاط للنماذج الخرسانية المكعبة بعمر 28 يوما و المبينة نتائجها في الجدول (5- 7) تحسنا ملحوظا بدرجة حرارة الغرفة (Room Temperature) عند اضافة الياف الكربون حيث ازدادت مقاومة الانضغاط من (18.5) نيوتن / ملم² للخلطة المرجعية الى (19) نيوتن / ملم² للخلطة الحاوية على (1) % الياف الكربون و (20.5) نيوتن / ملم² للخلطة الحاوية على (2) % حيث ازداد التحسن عند زيادة نسب الاضافة وضمن الحدود المسموح بها و التي لا تسبب ظاهرة التكور (Balling) [18] وسبب الزيادة هو لاكتساب الخرسانة مواصفات جديدة وجيدة من الياف الكربون ويعود ذلك الى تداخل الياف الكربون مع هيكل الخرسانة وجعله اكثر تماسكا.

عرضت النماذج لدرجات حرارة (250,500,750) درجة مئوية . بينت النتائج بان مقاومة انضغاط كافة النماذج ازدادت بنسبة لا تكاد ان تذكر عند تعريضها لدرجة حرارة 250 درجة مئوية بسبب زيادة نسبة سليكات الكالسيوم المائية في الخلطة عند هذه الدرجة . عند زيادة درجة حرارة التعرض الى 500 درجة مئوية لوحظ من خلال النماذج بان مقاومة الانضغاط لكافة الخلطات قد انخفضت فعلى سبيل المثال ان مقاومة الانضغاط للخلطة المرجعية (8) نيوتن / ملم² في حين انه للنماذج الخرسانية الحاوية على الياف الكربون بنسبة حجمية مقدارها 1% انخفضت الى (10) نيوتن / ملم² في حين انه للنماذج الخرسانية الحاوية على الياف الكربون بنسبة حجمية مقدارها 2% انخفضت الى (12) نيوتن / ملم²

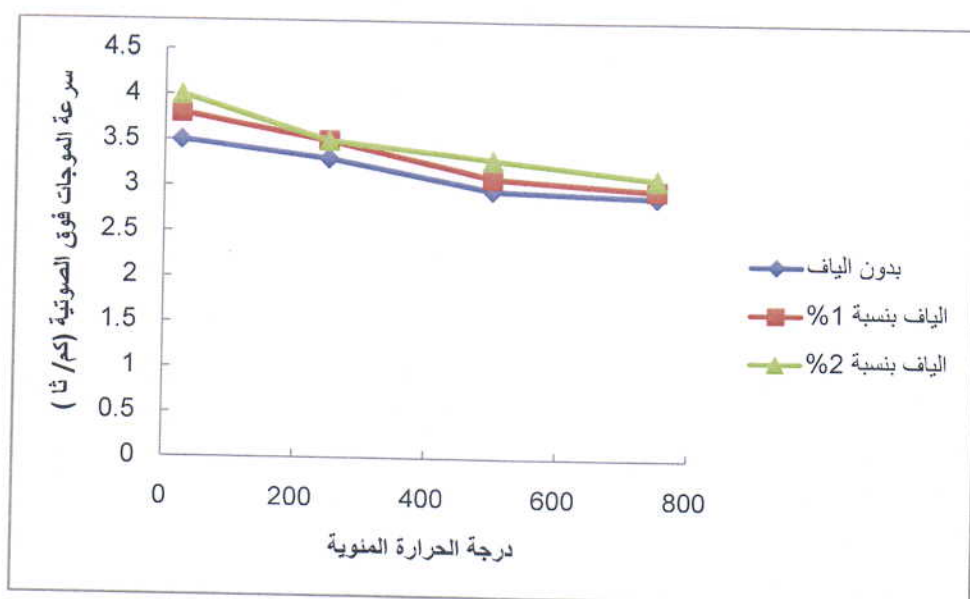
عند زيادة درجة حرارة التعرض الى 750 درجة مئوية لوحظ من خلال النماذج بان مقاومة الانضغاط لكافة الخلطات قد انخفضت فعلى سبيل المثال ان مقاومة الانضغاط للخلطة المرجعية (2.5) نيوتن / ملم² في حين انه للنماذج الخرسانية الحاوية على الياف الكربون بنسبة حجمية مقدارها 1% انخفضت الى (6) نيوتن / ملم² في حين انه للنماذج الخرسانية الحاوية على الياف الكربون بنسبة حجمية مقدارها 2% انخفضت الى (7) نيوتن / ملم² وسبب ذلك هو تحلل سليكات الكالسيوم المائية وكذلك حدوث تحلل كلي في الركام الذي يعتبر الهيكل الرئيسي في الخرسانة , بينما نلاحظ الانخفاض بالمقاومة يكون قليل في الخلطات الحاوية على 1% الياف كربون ويكون اقل منه في الخلطات الحاوية على 2% الياف كربون , لاحظ الشكل (5-1) .

تعتبر سرعة الموجات فوق الصوتية مؤشرا للعديد من الخواص لاحظ الجدول (5- 8) و منها مقاومة الانضغاط حيث ان زيادة مقاومة الانضغاط تعني زيادة الكثافة وزيادة سرعة الموجات

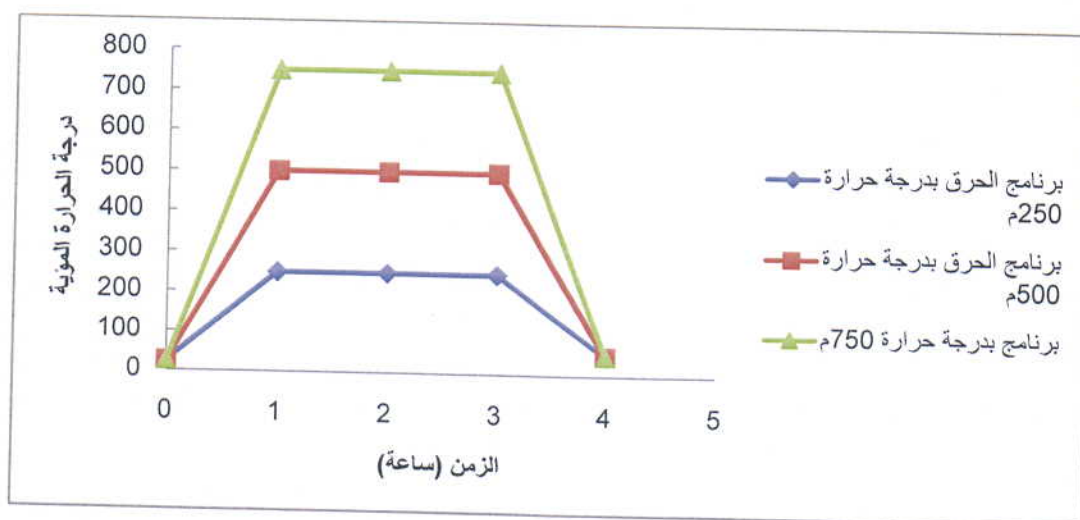
فوق الصوتية كما ساهمت الياف الكربون بزيادة الكثافة وتقليل الفجوات و بالتالي تقليل الفترة الزمنية اللازمة لمسار الموجة وزيادة سرعة هذه الموجات . اظهرت النتائج بان اضافة الياف الكربون تعمل على زيادة سرعة الموجات فوق الصوتية حيث ازدادت سرعة الموجات فوق الصوتية من (3.5) كم / ثا للخلطة المرجعية بدون الياف الى (3.8) كم/ ثا للخلطة الحاوية على 1% الياف كاربون الى (4) كم/ ثا للخلطة الحاوية على 2% الياف كاربون في درجة حرارة الغرفة كما ازدادت سرعة الموجات فوق الصوتية بنسب طفيفة جدا للنماذج الخرسانية عند ارتفاع درجة الحرارة الى 250 درجة مئوية كما حدث انخفاض في سرعة الموجات فوق الصوتية للنماذج الخرسانية مع ارتفاع درجة الحرارة الى 500 درجة مئوية حيث انخفضت الى (2.96) كم / ثا للخلطة المرجعية بدون الياف الى (3.1) كم/ ثا للخلطة الحاوية على 1% الياف كاربون الى (3.3) كم/ ثا للخلطة الحاوية على 2% الياف كاربون كما حدث انخفاض في سرعة الموجات فوق الصوتية للنماذج الخرسانية مع ارتفاع درجة الحرارة الى 750 درجة مئوية حيث انخفضت الى (2.9) كم / ثا للخلطة المرجعية بدون الياف الى (2.98) كم/ ثا للخلطة الحاوية على 1% الياف كاربون الى (3.1) كم/ ثا للخلطة الحاوية على 2% الياف كاربون , لاحظ الشكل (2-5) .



شكل (5 - 1) : مقاومة الانضغاط للنماذج الخرسانية



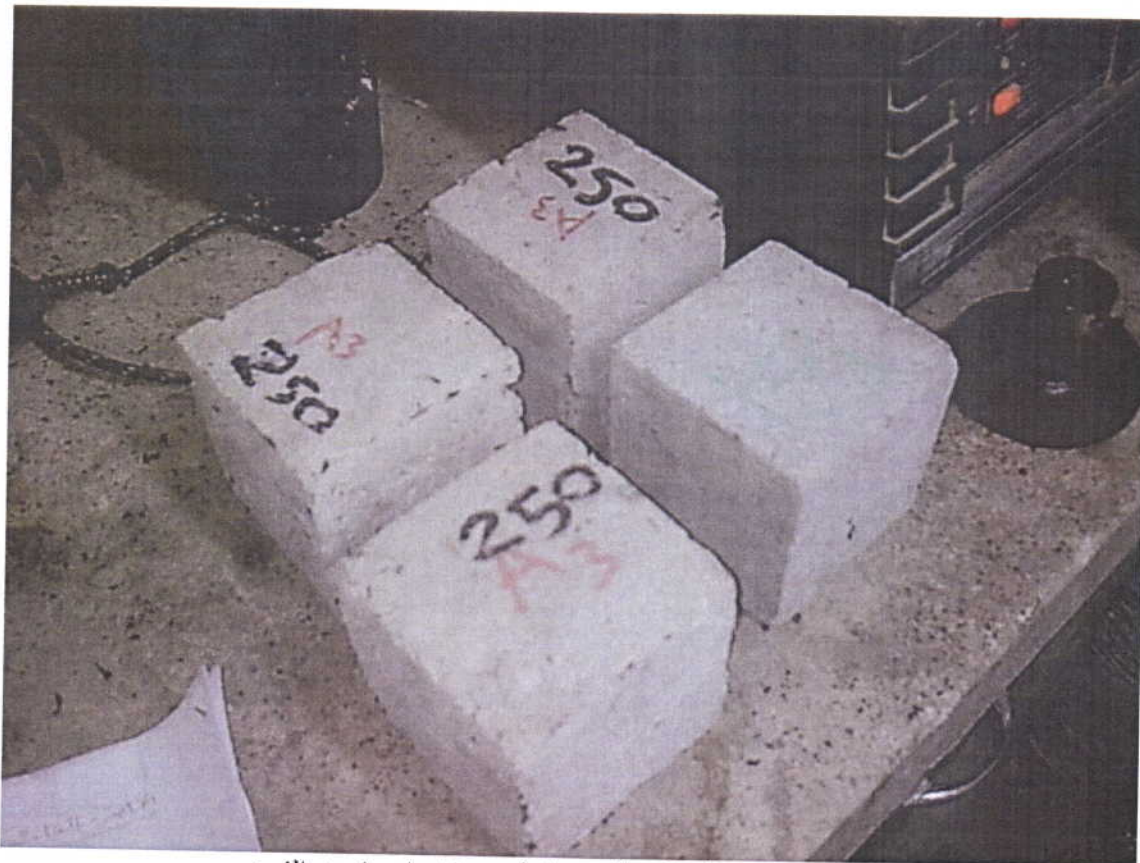
شكل (2 - 5) : سرعة الموجات فوق الصوتية للنماذج الخرسانية



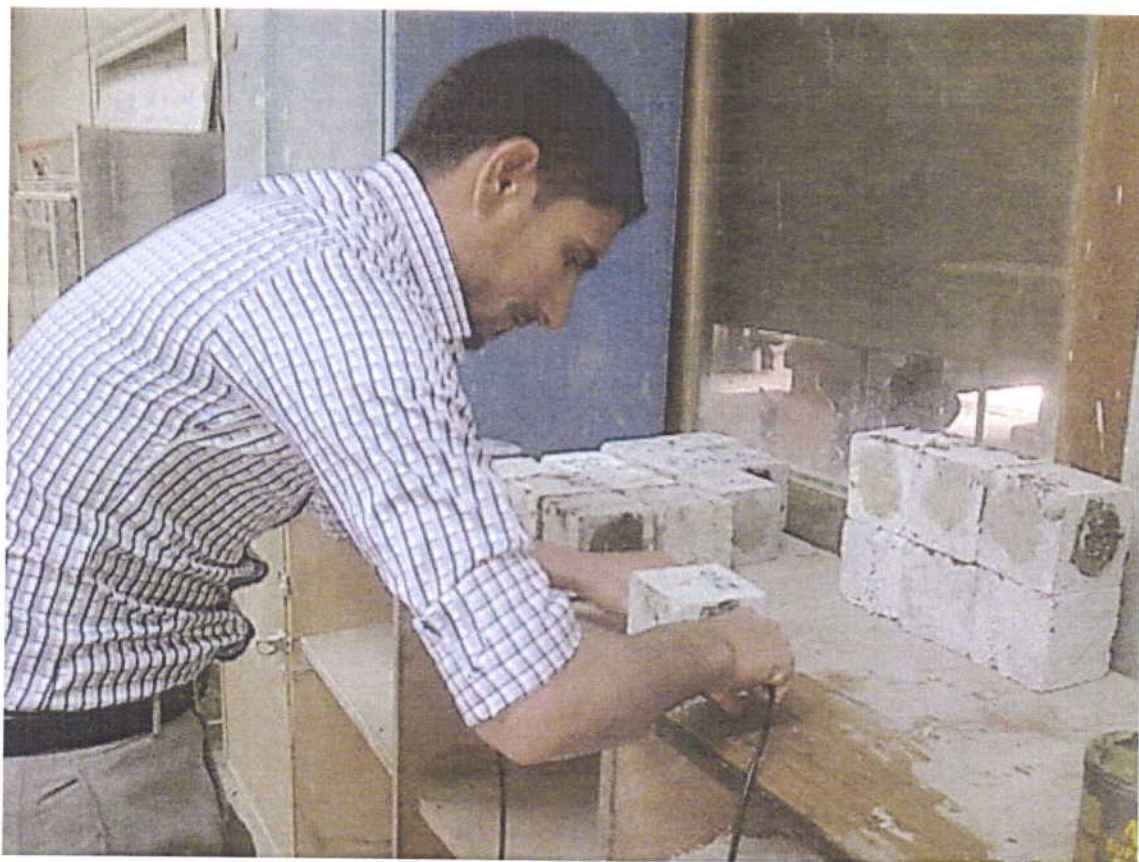
شكل (3-5) برنامج الحرق للنماذج



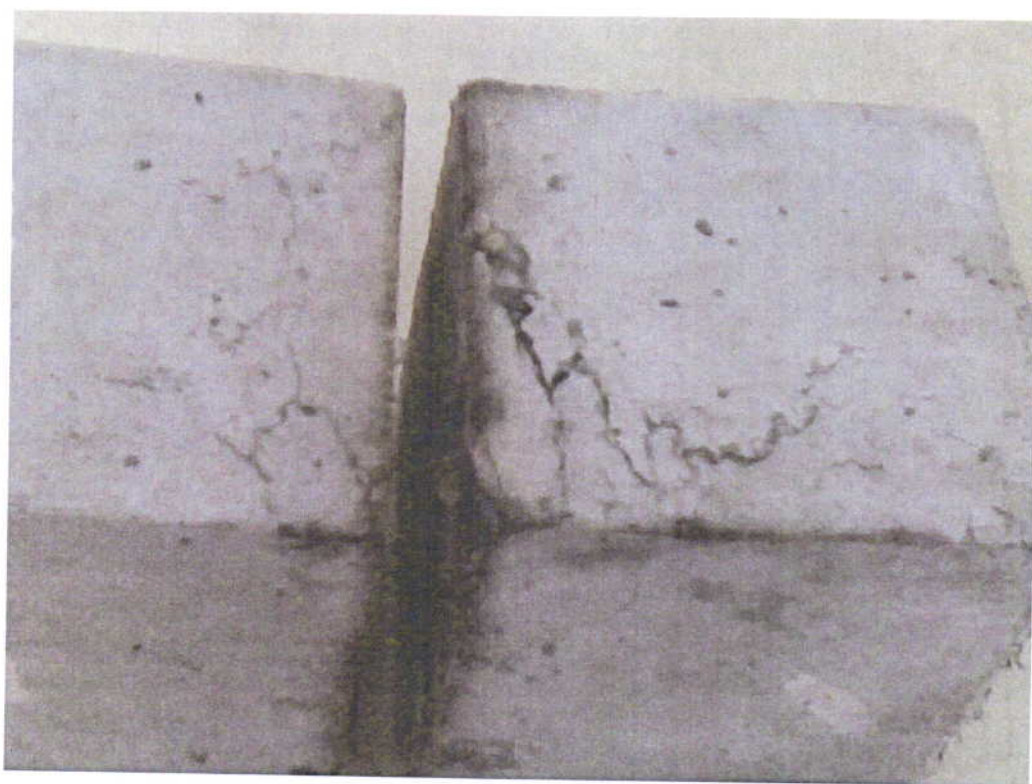
شكل (4-5) : وضع النماذج داخل الفرن الحراري .



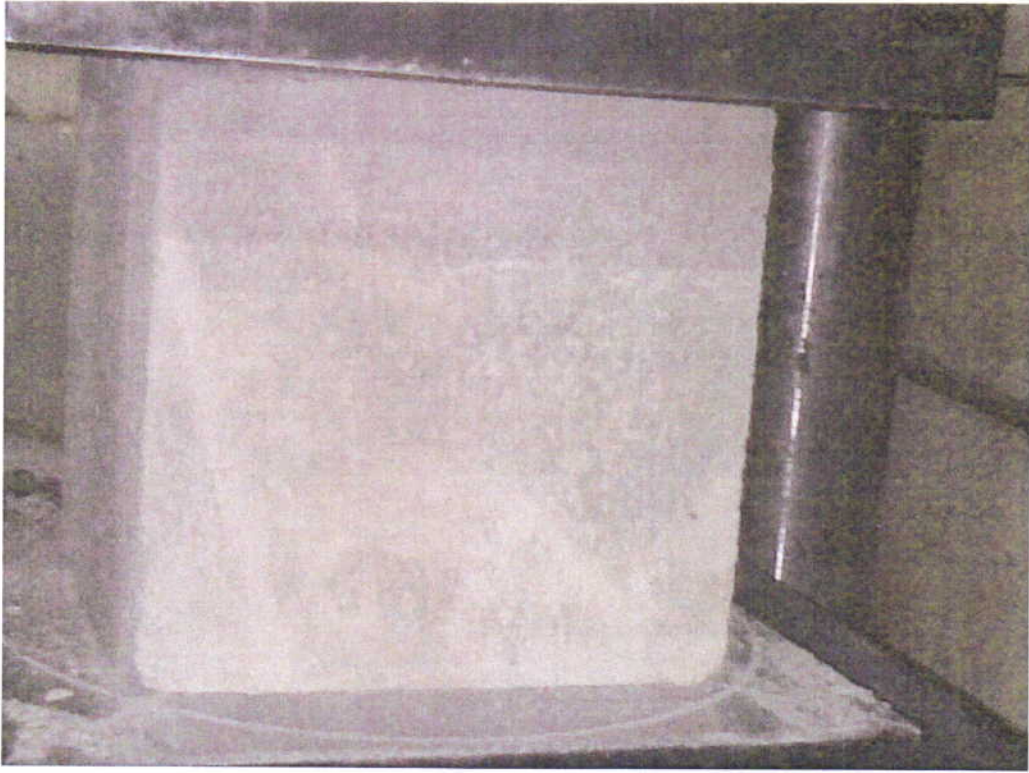
شكل (5-5) : النماذج الخرسانية بعد اخراجها من الفرن



شكل (5-6) : اجراء فحص الموجات فوق الصوتية للنماذج الخرسانية



شكل (5-7) : تأثير درجات الحرارة العالية على النماذج الخرسانية



شكل (8-5) : المكعب الخرسانى داخل ماكينة فحص مقاومة الانضغاط

الفصل السادس

الاستنتاجات و التوصيات

1-6 تمهيد :

يشمل هذا الفصل اهم الاستنتاجات التي تم التوصل اليها من خلال الجانب العملي في البحث وكذلك اهم التوصيات المستقبلية للبحث .

2-6 الاستنتاجات :

- أ- ان اضافة ألياف الكربون الى الخرسانة تعمل على تحسين الخواص الميكانيكية ومنها مقاومة الانضغاط وكذلك الخواص الفيزيائية مثل فحص الموجات فوق الصوتية اللاأتلافي.
- ب- ان زيادة نسبة اضافة الألياف الكربون من 1% الى 2% حجماً عملت على تحسين الخواص الهندسية للخرسانة علماً ان نسب الاضافة ضمن الحدود المسموح بها بالادبيات والتي لا تسبب ظاهرة التكور (balling)
- ت- ان اضافة الألياف الكربون بالنسب المذكورة انفا عملت على تحسين مقاومة الخرسانة للحرائق حيث اظهرت النتائج تفتت النماذج المرجعية (بدون الألياف) بسبب تحول السمنت المميه (hydrated cement) الى سمنت غير مميه (dehydrated cement) بينما لاحظنا حدوث تشققات في الخرسانة الحاوية على الألياف .
- ث- ان زيادة درجة الحرارة الى (250) ° م اظهرت تحسناً طفيفاً في مقاومة الانضغاط لجميع النماذج بسبب زيادة نسبة سليكات الكالسيوم المائية .

3-6 التوصيات المستقبلية :

أوصي بما يلي :

- أ- استخدام انواع اخرى من الالياف البوليمرية مثل البولي بروبيلين والبولي اثلين وغيرهما وبنسب حجمية مختلفة واجراء فحوصات ميكانيكة اخرى مثل فحص الشد الانفلاقي (split tensile test) وفحص الانثناء (flexural test) ومن ثم تعريضها الى درجات تصل الى 1200 درجة مئوية كما وردت في بعض البحوث السابقة وبفترات تعرض مختلفة .
- ب- استخدام الياف غير بوليمرية معدنية وغير معدنية مثل الياف الزجاج والحديد وغيرهما وبنسب حجمية مختلفة وتعريضها الى درجات حرارة مرتفعة تصل الى 1200 درجة مئوية بفترات تعرض مختلفة.
- ت- اجراء فحوصات ميكانيكية وفيزيائية اخرى مثل مقاومة الصدمات ، النفاذية الظاهرية ، امتصاص الماء...الخ على النماذج المعرضة الى درجات الحرارة المرتفعة .

المصادر:

[1] جعفر ، أحمد ، " استخدام الملدنات المتفوقة لتحسين مقاومة القلويات لأرضيات خرسانية مسلحة بألياف الكربون " ، رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة البناء والانشاءات .

[2] " تأثير درجة الحرارة على مقاومة المواد " ، من الانترنت الصفحات (1-27)

www.arab-eng.org

[3] محاضرات ا. د. شاكرا احمد ، مادة الاخفاقات ، المرحلة الرابعة

[4] محاضرات د. زينب عامر ، مادة انشاء المباني ، المرحلة الثانية

[5] العطار ، علياء ، " البنية المجهرية والخواص الميكانيكية للخرسانة الخفيفة الوزن الحاوية

على الالياف " ، اطروحة مقدمة الى قسم هندسة البناء والانشاءات لعام 2006 [6]

[6] Lourenzo ,L. ,Barros , J. and Santos , S. , " High Strength and

Ductile Fibrous Concrete of Enhanced Fire Resistance, " University of

Milano , 2007 ,5 PP .

[7] Mahasneh , B. Z. , " The effect of Addition of Fiber Reinforcement on

Fire Resistance Composite Concrete Material, " Journal of Applied

Sciences , 2005, PP.(373-379).

[8] الديداموني ، حمدي وجماعته ، " الاضافات البوزولانية وتأثيرها على مقاومة الحريق

للخرسانة "

<http://ipac.kacst.edu.sa>

[9] ناصر ، ضياء ، " الخرسانة المسلحة " رسالة ماجستير مقدمة الى قسم هندسة البناء
والانشاءات

[10] "مشروع مقاومة المواد " من الانترنت

www.arab-eng.org

[11] Vossoughi , F., " Electrical Resistivity of Carbon Fiber Reinforced
Concrete , " 2004 ,19 PP.

www.ce.berkeley.edu.au.

[12] " Carbon Fiber – Reinforced Bolymer, " 15/5/2010 ,6 PP.

www.wikipedia.org/wiki

[13] ا.د.احمد ، شاكرا ، د.عامر ، زينب ، " الخرسانة المعززة بالالياف " ، دورة في مركز
التعليم المستمر – الجامعة التكنولوجية – 2010 .

[14] British Standard B S 1881 :Part 116 : 1983 , " Method for
Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes, " 1983

[15] American Society for Testing and Materials C143-01 " ,Standard
Test Method for Slumb of Hydraulic Cement Concrete , " 2000, 3PP.

[16] American Society for Testing and Materials C597 – 02 , " Standard
Test Method for Pulse Velocity Through Concrete , " 2002 , 4 PP.

[17] ا، د. امام ، محمود ، "كتاب الخرسانة " ، اصدارات جامعة المنصورة ، مصر .

[18] Hannant ,D. J. , "Fiber Cement and Fiber Concrete ,"Jone Wiley
and Sons,1978.