تاثير اضافة الياف الكاربون على بعض خواص الخرسانة ذاتية الرص

د شاكر احمد صالح* و د .غزوان عبد الصمد سلمان*

تاريخ التسلم:2009/10/6
تاريخ القبول:2011/5/5

الخلاصة

لدراسة امكانية انتاج خرسانة ذاتية الرص حاوية على مواد بوزولانية ناعمة والملدن المتفوق (Glenlum 51)ومسلحة بالياف الكاربون . تمت اضافة 10% من وزن السمنت مواد ناعمة جدا من ابخرة السليكا او الميتاكاؤلين . وتم استخدام الياف الكاربون وبمحتويين حجميين وهما (0.1% و0.5%) وبطولين مختلفين ايضا (6 ملم و12 ملم) وذلك لدراسة تاثير هذه المتغيرات على معظم خواص الخرسانة الذاتية الرص المسلحة بالياف الكاربون . بينت نتائج فحوصات الخلطات الخرسانية الحاوية على ابخرة السليكا والميتاكاؤلين الى ان هناك ضرورة لزيادة محتوى الملدن المتفوق الى 9% و10% من وزن السمنت على التوالي مقارنة مع 10% من وزن السمنت للنماذج الخالية من المواد البوزولانية لتامين خرسانة ذات خواص رص ذاتي . كما لوحظ حدوث تحسن ملحوظ في الخواص الميكانيكية لهذه الخلطات تشمل مقاومتي الانضغاط وشد الانفلاق ومعاير الكسر ومعامل المرونة الساكن ومقاومة الصدم عند الفشل النهائي . وهذا التحسن كان بنسب (6.07% , 6.74% , 5.37% , 4.5% , 3.2%) للخواص اعلاه على التوالي وبعمر (28) يوما وللخلطات المضاف اليها ابخرة السليكا المكثفة و (8.43% , 7.6% , 6.08% , 4.03% , 30.30%) للخلطات المضاف اليها ابخرة الميتاكاؤلين . اشارت نتائج الفحوصات الى ان اضافة الياف الكاربون يؤدي الى انخفاض ملحوظ في قابلية تشغيل الخلطات ، وتزداد نسبة الانخفاض في قابلية التشغيل مع زيادة طول الالياف المضافة او مع زيادة محتوى الالياف المضافة . كما ان الخلطات المسلحة باليياف الكاربون اظهرت مقاومة انضغاط ومقاومة شد الانفلاق ومعاير الكسر ومعامل مرونة ساكن ومقاومة الصدم عند الفشل النهائي اعلى من الخلطات المرجعية بنسب اقصاها (25.75) % و(66.18)% و(38.26)% و(14.14)% و(1195)% على التوالي .

الكلمات الدالة: الخرسانة ذاتية الرص, الألياف , المضافات المعدنية , ابخرة السليكا , الميتاكاؤلين , الياف الكاربون.

The Effect of Addition of Carbon Fibers on Some Properties of Self Compacting Concrete

Abstract

To Study the possibility of producing self compacting concrete (SCC), 10% by weight of cement of metakaoline and silica fume were used and carbon fiber with two volume fraction (0.1%, 0.5%) and two fiber lengths (6mm, 12mm) were add . the effect of these variables on most properties of SCC containing fibers has been studied.

Test results show that concrete mixes containing metakaoline and silica fume required higher superplastizer content to 9% and 10% by weight of cement compared with 8% by weight of cement for mixes without Pozzolanic materials to maintain the self compatibility of mixes .

A significant improvement was observed in the mechanical properties of mixes including compressive and splitting tensile strength, Moduls of rupture, static Modulus of elastisity, and impact resistance. the improvment percentage at 28 days

* قسم هندسة البناء والانشاءات ، الجامعة التكنلوجية/بغداد

https://doi.org/10.30684/etj.29.14.19
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

were (6.74% , 5.37% , 4.5% , 3.2% , 6.07%) respectively for SCC with silica fume mixes and (8.43% , 7.6% , 6.08% , 4.03% , 30.30%) respectively for SCC with High reactive metakaolin mixes .

Test results indicate that the addition of carbon fibers led to reduce the workability of mixes and the reduction was increased with fiber length and fiber content. mixes reinforced with carbon fibers, the compressive and splitting tensile strength, modulus of rupture, static moduls of elastisity, and impact resistance at failure were higher than the reference mixes by not more than (25.75% , 66.18%, 38.26% , 14.14% and 1195%) respectively .

Keywords : Scc, Fibers, mineral admixtures, Silica Fume, meta kaoline, carbon Fibers

المقدمة

شهدت صناعة الخرسانة في العقود الأخيرة من الزمن تطورا كبيرا تمثل في إنتاج أنواع جديدة منها لتشييد منشآت خرسانية موثوق في خواصها من حيث القدرة على تحمل الضغوط المسلطة عليها والديمومة العالية مع سهولة التنفيذ (الصب و الرص) وتقليص فترة الإنشاء وتقليل الاعتماد على مهارة العمالة إثناء التنفيذ . تمثل الخرسانة الذاتية الرص (Self Compacting Concrete) نوع من هذه الأنواع الجديدة من الخرسانة التي تفي بالخواص المذكورة أنفا .

تعتبر الخرسانة الذاتية الرص من الانواع الحديثة للخرسانة العالية الأداء ، وتمتاز هذه النوعية بالانسيابية العالية واللزوجة التي تجعل الخرسانة قادرة على الحفاظ على حبيبات الركام معلقة بحيث لا يحدث فيها اي انفصال حبيبي . تنعكس هذه المميزات في أدائية الخرسانة الذاتية الرص حيث تجعلها قادرة على التشكل والمرور خلال القوالب الإنشائية الضيقة أو المقاطع الإنشائية ذات نسب التسليح المرتفعة مع تحقيق نسبة رص عالية بدون الحاجة إلى رص خارجي وكذلك بدون حدوث انفصال حبيبي أو نضوح في الخرسانة . تستخدم الألياف في الخرسانة ذاتية الرص لتحسين خواصها كما في الخرسانة التقليدي

تضاف الألياف الى الخرسانة ذاتية الرص وذلك لتحسين العديد من الخواص الهندسية كقساوة التصدع (Toughness Fracture)ومقاومة الانثناء(Flexural Strength) ومقاومة الصدم (Impact Resistance) والزحف (Creep) والصدمات الحرارية (Thermal Shock) والانكماش اللدن (Plastic Shrinkage) والانفصال الحبيبي وزيادة المقاومة ضد الحريق (1)(2)(3)(4)(5)(6)(7) .

● أهداف البحث:-

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير طول ومحتوى الياف الكاربون على خواص الخرسانة ذاتية الرص الطرية والمتصلدة وكذلك إلى التحقق من إمكانية الاستفادة من مزايا ألياف الكاربون في تحسين الخصائص الهندسية للخرسانة ذاتية الرص دون إن يؤثر ذلك على خواصها الانسيابية.

● اهمية البحث:-

تتناول هذه الدراسة استخدام ألياف كاربون في إنتاج انواع متطورة من الخرسانة ذاتية الرص . وتكمن في ذلك فوائد عديدة للخرسانة ذاتية الرص في حالتها الطرية (Fresh State) والمتصلدة .ومن هذه الفوائد زيادة مطيليه(Ductility) الخرسانة ذاتية الرص عن طريق إضافة الألياف إليها لكون الخرسانة الاعتيادية او ذاتية الرص مادة قصيفة (Brittle

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Material) ،كما تقوم الألياف بنقل الأحمال خلال التشققات وتساهم بذلك في زيادة المتانة وقساوة الانثناء ومقاومة الشد والانثناء،وتساعد الألياف على منع تشظي مكونات الخرسانة ذاتية الرص في درجات الحرارة العالية وفي حالة الحريق،كما تحافظ على وحدة مكونات الخرسانة والسيطرة على الضغط الممزق الناتج من التغيرات الحجمية الناتجة من تكون نواتج تفاعل جديدة عند تعرض الخرسانة ذاتية الرص المسلحة بالألياف لهجوم الكبريتات اؤ الحوامض أو القواعد (المحاليل الكيميائية)،وتزداد متانة الخرسانة ذاتية الرص المسلحة بالألياف عند تعرضها لدورات الإنجماد والذوبان ، وبذلك يمكن استخدامها في المناطق المعرضة للإنجماد وبكفاءة عالية (Persson)[5]، وأخيرا الحصول على ديمومة عالية للخرسانة ذاتية الرص بسبب انخفاض الانكماش اللدن ولانكماش الجاف ، وكذلك انخفاض نسبة التشققات الشعرية وعرض هذه التشققات وبالتالي التوسع من التطبيقات المستخدمة فيها هذه الخرسانة (Ozawa)[6]و(Karmouty Noval and)[7].

● البرنامج العملي:-

المواد المستخدمة:-

● السمنت :-

تم استخدام السمنت البورتلاندي الاعتيادي المصنع في تركيا نوع (ADANA) في جميع الخلطات المستخدمة في هذا البحث . ويوضح الجدولان (1) و(2) نتائج التحاليل الكيميائية والخواص الفيزياوية لهذا السمنت على التوالي .

● الركام الناعم:-

استخدم رمل طبيعي من منطقة تازة كركام ناعم بعد نخله على منخل مقاس 4.75 ملم وأجريت الفحوصات الخاصة بالرمل وحسب متطلبات المواصفة القياسية العراقية رقم (45) لسنة 1984[8] . تشيير الفحوصات الى ان الركام الناعم مطابق للمواصفة من حيث التدرج وضمن منطقة التدرج الثالثة علما بان الوزن النوعي والكثافة الاجمالية المرصوصة ونسبة الاملاح الكبريتية والامتصاص للركام هي 2.65 و 1650 كغم/م3 و 0.08% و 2.2% على التوالي .

● الركام الخشن:-

تم استخدام حصى طبيعي غير مكسر من منطقة الصدور كركام خشن وبمقاس أقصى 10 ملم ، ومن خلال التحليل المنخلي وجد بان الركام مطابق للمواصفة العراقية المرقمة (45) لسنة 1984[8] ، وان الوزن النوعي ومعامل سحق الركام ونسبة الاملاح الكبريتية والامتصاص للركام هي 2.68 و 0.05 و 0.05% و0.6% على التوالي .

● الملدن المتفوق :-

استخدم في هذا البحث مضاف مقلل للماء بدرجة متفوقة والمعروف تجاريا (GLenlum 51) ويوضح الجدول(3)الخصائص التقنية للملدن المتفوق المستخدم في هذه الدراسة ومطابقته للمواصفة الأمريكية (ASTM C494- C494M/0)[9] نوع A و F وهو خال من ايون الكلورايد .

● ابخرة السليكا :-

هي من الإضافات المعدنية التي يكثر استخدامها في الخرسانة ذاتية الرص ، وتستخدم كنسبة من وزن السمنت وابخرة السليكا المستخدم في هذه الدراسة هو (ELKem Micro Silica Fume) وهو مصري المنشأ . يبين الجدول (4) التركيب الكيميائي لابخرة السليكا المستخدمة. علما بان الوزن النوعي والمساحة السطحية والكمية المتبقية على منخل ذو فتحات 45 مايكروميتر هي 2.45 و 21000 سم2/غم و 4.8% على التوالي.

● الميتاكاؤلين :-

ويبين الجدول (5) التركيب الكيميائي للميتاكاؤلين ، علما بان الوزن النوعي

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

والمساحة السطحية للميتاكاؤلين هي 2.62 و 19000 سم2/غم .

● الماء :-

ماء الشرب الاعتيادي هو المستخدم في هذه الدراسة في جميع الخلطات الخرسانية ولغرض الإنضاج بعد ذلك .

● ألياف الكاربون :-

النوع الثالث من الألياف الذي تم استخدامه في هذه الدراسة هو ألياف كاربون ذو فعالية عالية تم جلبه على شكل حصيرة وقطع إلى القياسات المطلوبة وبطول (6 ملم و 12 ملم) تم استخدامه كألياف شعيرات منفردة كما موضح شكلها في الشكل (1) ، ويبين الجدول (6) خواص هذه الألياف ، ويلاحظ إن هذه الألياف تمتاز بامتلاكها مقاومة شد و معامل مرونة عالية أيضا.

● تصميم وخلط الخلطة الخرسانية : -

تم استخدام طريقة معهد أبحاث السمنت والخرسانة بالسويد(CBI)[10] لتصميم الخلطة الخرسانية الذاتية الرص مع الأخذ بنظر الاعتبار إن إضافة الألياف تؤثر في انسيابية ولزوجة الخلطة الخرسانية المرجعية . ولهذا السبب فان نسب الخلط للخلطة المرجعية تم تعديلها من اجل تحقيق المستويات العليا من الرص الذاتي للحفاظ على الخواص الانسيابية لهذه الخلطات ضمن الحدود المقبولة من المواصفات عند إضافة الألياف. لاستكمال البرنامج البحثي المقترح لهذه الدراسة تم اعتماد (16) خلطة خرسانية ذاتية الرص ذات متغيرات عديدة كما يوضحها الجدول (7).تم خلط المكونات بأسلوب مشابه لما قام به (Walraven & Grunewald)[11] و(Grunewald)[12] (Grunewald & Walraven)[13] حيث يخلط السمنت والرمل وابخرة السليكا أو الميتاكاؤلين لمدة (10) ثواني ثم يضاف ماء الخلط والملدن المتفوق ويستمر الخلط لمدة 110 ثانية وبعد ذلك يضاف الحصى ويستمر الخلط لمدة (60) ثانية .واخيرا تضاف الالياف ويستمر الخلط لمدة(90) ثانية اخرى .

● اختبارات الرص الذاتي:-

تم تقييم خلطات الخرسانة ذاتية الرص في حالتها الطرية وذلك عن طريق إجراء فحوصات محددة لهذا الغرض للتأكد من أدائية الخرسانة كونها ذاتية الرص . وهناك طرق مقترحة عديدة تعطي صورة عن الخواص الانسيابية ومقاومة الانفصال الحبيبي والانسداد او الإعاقة للمرور بين قضبان حديد التسليح للخلطات الخرسانية ذاتية الرص . وقد تم ذكر تفاصيل واسلوب اجراء هذه الفحوصات في بحوث سابقة عديدة منها (Walraven&Grunewald)[11] و(Grunewald)[12] (EFNARC)[14] و(Okamura et al)[15] وكما تم اقراره من قبل (جمعية المهندسين المدنيين اليابانية)[16] و(معهد السمنت والخرسانة السويدي)[7] ،وهذه الاختبارات هي اختبار انسياب الهطول (Slump Flow Test) و اختبار القمع على شكل (V) (V- Funnel Test) و فحص صندوق الاختبار على شكل (L) (L-Box) و فحص صندوق الاختبار على شكل (U) (U-Box Test).

● تحضير النماذج وصبها ومعالجتها :-

استخدمت القوالب الحديدية لصب جميع النماذج بعد تنظيفها وتزييت أوجهها الداخلية لمنع التصاق الخرسانة ، وملئت القوالب بالخرسانة وبطبقة واحدة بدون استخدام أي هزاز باستثناء الخرسانة المرجعية (MN) حيث رصت باستخدام المنضدة الهزازة لمدة (10-15) ثانية للحصول على أفضل تجانس وعلى عدة طبقات سمك الطبقة (50) ملم . بعد صب النماذج تم تسوية سطح الخرسانة مع تغطية النماذج مباشرة لتجنب تبخر الماء من سطح الخرسانة الغير متصلبة وتركت في جو المختبر بدرجة حرارة (24±2)0م ومغطاة بطبقة من النايلون ولمدة 24

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ساعة . بعد ذلك فتحت القوالب ووضعت كافة النماذج في أحواض معالجة تحتوي على ماء الشرب الاعتيادي لحين موعد فحصها.

● فحوصات الخرسانة المتصلدة

تم قياس مقاومة الانضغاط باستخدام مكعبات خرسانية بأبعاد (100ملم) استنادا للمواصفة البريطانية (B.S 1881 part 116 : 2004)[17] وقد تم استعمال جهاز (ELE Digital Testing) ذات سعة (2000) كيلو نيوتن ، وقد أجريت الفحوصات بأعمار (7 ، 28 ، 90 ، 180) يوم . تم قياس مقاومة شد الانفلاق للخلطات الخرسانية باستخدام نماذج خرسانية اسطوانية بأبعاد (100ملم * 200ملم) استنادا للمواصفة الأمريكية (ASTM 496-04)[18] . اجريت الفحوص على النماذج الخرسانية بأعمار (7 ، 28 ، 90، 180) يوما وقد تم اعتماد المعدل لثلاثة نماذج في كل حالة. استخدمت مواشير خرسانية بأبعاد (100ملم* 100ملم * 400ملم) لقياس معاير الكسر للخرسانة ذاتية الرص ، وبأتباع طريقة التحميل (Third point Loading) المبينة في (ASTMC c78-02)[19]،حيث جرى كسر نماذج المواشير المستخدمة ، وبواقع موشورين لكل فحص ، و تم الفحص لأعمار (7 ، 28 ، 90 ، 180) يوم ، وقد استخدم جهاز (Versa tester) ذا سعة 600 كيلو نيوتن لقياس معاير الكسر. تم الحصول على معامل المرونة باستخدام نماذج اسطوانية (300ملم * 150ملم) استنادا للمواصفة الأمريكية(ASTMCc469-02)[20]، وفي هذا الفحص تم استخراج معامل المرونة الساكن من تسليط حمل انضغاط بالاتجاه الطولي على اسطوانة خرسانية ، تم استخراج مقاومة الانضغاط من تحطيم احدى النماذج الاسطوانية الخرسانية . وتم تسليط 40% من اجهاد الحمل الاقصى على النماذج الاسطوانية الخرسانية لانجاز فحص معامل المرونة الساكن . تم اخذ معدل ثلاث نماذج اسطوانية لكل فحص وتم الفحص بالاعمار(28 ، 60 ، 90 ، 180) يوما.

● مناقشة النتائج :-

● نتائج فحوصات الخرسانة الطرية :-

تاثير المضافات المعدنية على نتائج فحوصات الخرسانة الطرية :-

تتميز الخرسانة ذاتية الرص بان لها القدرة على الرص الذاتي بدون الحاجة الى هزازات، ولتحقيق هذا المطلب فان الخرسانة الطرية يجب ان تحقق شرطين اساسيين : الاول سيولة عالية لملىء القوالب خلال التسليح المزدحم او اي عوائق اخرى تحت تاثير وزنها الذاتي فقط ، والثاني لزوجة كافية لمقاومة الانفصال الحبيبي وبذلك تكون الخلطات متجانسة خلال النقل والضخ والصب في القوالب . تم في هذه الدراسة اضافة ابخرة السليكا كمواد ناعمة لانتاج خلطات خرسانية ذاتية الرص ، وهذا يؤدي الى زيادة المساحة السطحية للمواد السمنتية ، تتميز حبيبات ابخرة السليكا بانها ذات شكل كروي ومساحة سطحية عالية (21000) سم2/غم أي حوالي ثمانية إضعاف نعومة السمنت . نتيجة لذلك فأن إضافة ابخرة السليكا إلى الخلطات بنسبة 10% أدى إلى تقليل قدرة الخرسانة على الانسياب بسبب زيادة الحاجة إلى محتويات ماء إضافية . للمحافظة على الانسيابية العالية المطلوبة تمت زيادة محتوى الملدن المتفوق بنسبة (25%) في (MS) مقارنة بالخلطة المرجعية (MR) . يبين الجدول (8) تأثير إضافة أبخرة السليكا على محتوى الملدن المتفوق المضاف للخلطة المرجعية للمحافظة على خاصية الرص الذاتي للخرسانة المنتجة. وأثبتت النتائج المبينة انه بالرغم من محتوى الملدن المتفوق الأعلى المضاف للخلطة الحاوية على أبخرة السليكا (MS) إلا إنها تبقى ذات

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

انسيابية اقل بنسبة طفيفة جدا مقدارها (1.25%) من انسيابية الخلطة الخالية من المضافات (MR) . ويرجع سبب ذلك الى المساحة السطحية العالية لمواد الخلطة (MS) الحاوية على السمنت وابخرة السليكا والتي تؤدي إلى تقليل الانسيابية نتيجة لحاجتها إلى محتويات ماء أعلى . بينت نتائج الفحص الموضحة في الجدول (8) زيادة زمن الوصول لقطر 500 ملم للخلطة الحاوية على ابخرة السليكا (MS) وبنسبة (9.1%) مقارنة بالخلطة (MR) ، وذلك لان إضافة أبخرة السليكا تؤدي إلى زيادة محتوى المواد الناعمة في الخلطة ، وهذا يؤدي إلى زيادة لزوجة الخلطة (MS) مقارنة بالخلطة (MR) وبالتالي تحقق لها درجة ثبات أعلى ضد الانفصال الحبيبي خصوصا في درجة الانسياب المتحققة لها . لوحظ من الجدول (8) ان إضافة أبخرة السليكا يؤدي إلى زيادة زمن (T-Vfunnel) بشكل طفيف لكافة الخلطات مقارنة بالخلطات الخالية من المضافات المعدنية ، فمثلا زمن فحص القمع للخلطة (MS) يكون اكبر بنسبة مقدارها (4.8%) مقارنة بالخلطة (MR) . ان سبب هذا التغير يعود لزيادة حجم المواد الناعمة فيها وبالتالي زيادة لزوجة هذه الخلطات وزيادة زمن (T-Vfunnel) تبعا لذلك . وقد لوحظ ان نسبة الانسداد تقل بشكل طفيف عند إضافة 10% أبخرة سليكا إلى الخلطة (MR) ، ويعود السبب في تصرف الخلطة الطرية الى زيادة لزوجتها مع انخفاض سرعة الانسياب نتيجة زيادة محتوى المواد الناعمة في الخلطة مقارنة بالخلطات الخالية من المضافات المعدنية. نستنتج من الجداول (8) ارتفاع المليء للخلطات الحاوية على أبخرة السليكا أعلى من ارتفاع المليء للخلطات الخالية من المضافات المعدنية ، فارتفاع المليء للخلطة (MS) اعلى بنسبة (166.6%) مقارنة بالخلطة (MR) . ان هذا السلوك يعود الى ان المضاف المستخدم ذات مساحة سطحية عالية ومع تثبيت نسبة الماء الى السمنت مما يؤدي الى تقليل الانسيابية وزيادة اللزوجة وانخفاض سرعة الانسيابية لهذه الخلطات والذي يؤدي إلى زيادة في الاحتكاك الداخلي بين حبيبات الركام اؤ بين الخرسانة والسطح الملامس لها .

تم اضافة مادة الميتاكاؤلين كبديل عن ابخرة السليكا وبنسبة 10% من وزن السمنت وذلك لانتاج خرسانة ذاتية الرص . تمتاز حبيبات الميتاكاؤلين بانها ذات مساحة سطحية اقل من المساحة السطحية لحبيبات ابخرة السليكا حيث ان مساحتها السطحية تبلغ 19000 سم2/غم . ان إضافة الميتاكاؤلين إلى الخلطات أدى إلى تقليل قدرة الخرسانة على الانسياب بسبب زيادة الحاجة إلى محتويات ماء إضافية نتيجة زيادة المساحة السطحية للخلطة (MM) الحاوية على السمنت والميتاكاؤلين . للمحافظة على الانسيابية العالية المطلوبة تمت زيادة محتوى الملدن المتفوق بنسبة مقدارها (12.5%) في الخلطة (MM) مقارنة بالخلطة المرجعية (MR) وكما مبين في الجدول (8) . نستنتج من الجدول (8) ان هناك امكانية للحصول على خلطة ذاتية الرص بعد زيادة نسبة الملدن المتفوق المضاف في الخلطة (MM) بما يؤمن انسياب هطول يقل بنسبة قليلة جدا مقدارها (0.63)% مقارنة بانسياب هطول الخلطة الخالية من المضافات (MR) . ويعزى السبب في متطلبات زيادة محتوى الملدن المتفوق الى المساحة السطحية الاعلى للخلطة (MM) الحاوية على السمنت والميتاكاؤلين مقارنة بالمساحة السطحية للخلطة (MR) الحاوية على السمنت فقط . ان زمن الوصول لقطر 500 ملم للخلطة (MM) اقل من زمن الوصول للخلطة (MR) بنسبة مقدارها (4.5)% ، ويعزى سبب ذلك الى زيادة لزوجة الخلطة (MM) نتيجة زيادة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

محتوى المواد الناعمة في هذه الخلطة مقارنة بالخلطة (MR) .
يلاحظ من الجدول (8) ان إضافة الميتاكاؤلين ادى إلى زيادة زمن (T-Vfunnel) بشكل طفيف للخلطة (MM) وبنسبة مقدارها (3.2%) مقارنة بالخلطة الخالية من المضافات المعدنية (MR) . ويعود السبب الى ارتباط فحص زمن القمع مع لزوجة الخلطات الخرسانية التي تزداد في الخلطة (MM) كما ذكر سابقا نتيجة زيادة محتوى المواد الناعمة . تقل نسبة الانسداد بشكل طفيف عند إضافة الميتاكاؤلين للخلطات ، حيث نلاحظ ان نسبة الانسداد للخلطة (MM) تكون اكبر بنسبة مقدارها (2.1%) على التوالي مقارنة بنسبة الانسداد الخلطة (MR). والسبب هو زيادة لزوجة وانخفاض انسيابية الخلطة (MM) مقارنة بالخلطة (MR) . يتضح من الجدول (8) ان ارتفاع الملىء للخلطة (MM) اعلى من ارتفاع الملىء للخلطة الخالية من المضافات المعدنية (MR) حيث كان ارتفاع الملىء للخلطة (MM) مقداره (5) بينما ارتفاع الملىء للخلطة (MR) مقداره (3) . يتبين من دراسة النتائج في الجدول (8) ان فحص زمن الوصول لقطر انتشار 500 ملم اشد تاثرا باضافة المواد البوزولانية مقارنة بفحص زمن القمع ، فعلى سبيل المثال ان زمن الوصول لقطر 500 ملم للخلطة (MM) يكون اكثر بنسبة (4.5)% مقارنة بالخلطة (MR) ، في حين ان زمن فحص القمع زاد بنسبة (3.2)% في الخلطة (MM) مقارنة بنفس الخلطة انفة الذكر . ويرجع سبب هذا الاختلاف (البسيط) في التاثير الى الطبيعة المختلفة للفحصين ، حيث ان انسياب الخرسانة في فحص زمن الوصول لقطر 500 ملم يكون على ارض مستوية بينما انسياب الخرسانة في فحص زمن القمع يكون من الاعلى الى اسفل ولذلك فان وزن الخرسانة يساعد في سرعة نزولها وبالتالي التقليل من تاثير اللزوجة على زمن فحص القمع . ومن الجدير بالذكر ايضا ان حساسية فحص ارتفاع الملىء هي اشد من حساسية فحص نسبة الانسداد عند فحص الخلطات الحاوية على المواد البوزلانية ، فمثلا ان فحص ارتفاع الملىء قد تاثر بنسبة (66.67)% عند اضافة الميتاكاؤلين في حين ان فحص نسبة الانسداد قد تاثر بنسبة (2.1)% . يعزى السبب في زيادة حساسية فحص ارتفاع الملىء مقارنة بفحص نسبة الانسداد الى تاثير الجاذبية الارضية على انسياب الخلطة الخرسانية عند اجراء فحص ارتفاع الملىء.

- تاثير الياف الكاربون على نتائج فحوصات الخرسانة الطرية :-

ان استخدام الياف الكاربون في تسليح الخلطات المرجعية أدى الى زيادة كبيرة في الحاجة الى محتويات ماء وملدن متفوق للمحافظة على الخواص الانسيابية ضمن حدود المواصفات المذكورة في (EFNARC)[14] ، حيث اصبحت نسبة الماء/السمنت (0.39) في الخلطات المسلحة بالياف الكاربون بدلا من (0.35) في الخلطات المرجعية ، في حين اصبحت محتويات الملدن المتفوق في الخلطات المسلحة بالياف الكاربون بنسب (12) و(14) و(13)% من وزن السمنت مقارنة ب(8) و(10) و(9)% في الخلطات المرجعية (MR) و(MS) و(MM) . واظهرت الخلطات المسلحة باليف الكاربون انخفاظا ملحوظا في انسياب الهطول وبنسب تتراوح من (6) الى (24)% مقارنة بالخلطات المرجعية (MR) و(MS) و(MM) وكما مبين في الجدول (8) والشكل (1) . ويرجع السبب في هذا الانخفاض في انسياب الهطول في هذه الخلطات الى زيادة لزوجتها وقيام الياف الكاربون بعرقلة انسياب الخلطات نتيجة التشابك بين الالياف فيما بعضها والركام وانخفاض سمك طبقة المونة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

المحيطة بالركام . ونلاحظ من الجدول (8) ان هناك زيادة كبيرة في زمن الوصول لقطر انتشار 500 ملم في الخلطات المسلحة بالياف الكاربون وبنسب تتراوح من (46) الى (191)% مقارنة بالخلطات المرجعية (MR) و(MS) و(MM) وكما مبين مثلا في الشكل (2) . كما يزداد زمن فحص القمع بشكل كبير ايضا عند تسليح الخلطات المرجعية بالياف الكاربون وبنسب تتراوح من (31) الى (177)% مقارنة بالخلطات المرجعية (MR) و(MS) و(MM) وكما مبين في الجدول (8) والشكل (3) وهذا دليل على اللزوجة العالية للخلطات المسلحة بالياف الكاربون . اظهرت الخلطات المسلحة بالياف الكاربون انخفاض ملحوظ في نسب الانسداد وبنسب تتراوح من (7) الى (24)% مقارنة بالخلطات المرجعية(MR) و(MS) و(MM)وكما موضح في الجدول (8) والشكل (4) . يوضح الجدول (8) ان للتسليح بالياف الكاربون في الخلطات المرجعية تاثير كبير في زيادة قيم ارتفاع الملىء وبنسب عالية تتراوح من (138) الى (720)% وكما مبين مثلا في الشكل (5) . يستنتج من نتائج الفحصين (فحص نسب الانسداد و ارتفاع الملىء) على قابلية الياف الكاربون العالية في اعاقة الانسياب نتيجة التشابك بين الالياف والركام وزيادة الاحتكاك بينهما . ان جميع الخلطات المسلحة بالياف الكاربون كانت ضمن حدود المواصفات المذكورة في (EFNARC)[14] باستثناء الخلطات (MR5C12) و(MS5C12) و(MM5C12) اذ تجاوزت الحدود المذكورة في المواصفات انفة الذكر .

- تاثير زيادة طول الياف الكاربون على نتائج فحوصات الخرسانة الطرية :-

يظهر من تحليل النتائج في الجدول (8) والشكل (1) ان زيادة طول الالياف يؤدي إلى انخفاض ملموس في انسياب الهطول للخلطات الخرسانية المسلحة بها مقارنة بالخلطات المرجعية (MR) و(MS) و(MM) ولأي نوع من الألياف . حيث بلغ الانخفاض في انسياب الهطول الخلطات(MR1C6) و(MR1C12) وبنسب (6.25) و(7.5)% مقارنة بنفس الخرسانة المرجعية (MR) .ويعود السبب وراء انخفاض انسياب الهطول الى زيادة المساحة السطحية للالياف مع زيادة طول الالياف وكذلك زيادة احتمال التشابك بين الالياف بعضها ببعض وكذلك بينها وبين حبيبات الركام فتزداد معها المقاومة الداخلية لانسياب الخرسانة الطرية . ان التاثير السلبي لطول الالياف كان واضحا في زيادة زمن الوصول لقطر 500 ملم وكما مبين في الجدول (8) والشكل(2) . حيث كانت نسب الزيادة في الخلطات (MR1C6) و(MR1C12) هي (50.09) و(66.36)% على التوالي مقارنة بالخلطة المرجعية (MR) . لوحظ من دراسة الجدول (8) والشكل (3) ان زيادة طول الألياف ينتج عنه زيادة في زمن فحص القمع للخلطات ، حيث كانت نسب الزيادة في زمن القمع للخلطات (MR1C6) و(MR1C12) هي (32.26)% و(43.45)% على التوالي مقارنة بالخلطة المرجعية (MR) . يوضح الجدول (8) والشكل (4) تأثير طول الألياف المستخدمة على قيم نسبة الانسداد للخلطات الخرسانية الذاتية الرص ، ويتبين من ذلك انخفاض نسبة الانسداد مع تغيير طول الالياف المضافة من 6 ملم الى 12 ملم . تؤدي زيادة طول الألياف إلى زيادة كبيرة في قيم ارتفاع الملئ للخلطات الخرسانية الذاتية الرص وكما مبين في الجدول (8) والشكل (5) . حيث نلاحظ ان الخلطات (MR1C6) و(MR1C12) ذات قيم ارتفاع ملىء اعلى بنسب (466.67) و(566.67)% مقارنة بالخلطة المرجعية (MR) .

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

● تاثير زيادة المحتوى الحجمي لالياف الكاربون على نتائج فحوصات الخرسانة الطرية :-

من المعروف في الخرسانة الاعتيادية (Normal concrete) إن التسليح بألالياف يؤدي إلى انخفاض ملحوظ في قابلية التشغيل ويزداد هذا الانخفاض مع زيادة محتوى الألياف . ان زيادة المحتوى الحجمي للالياف ادى الى انخفاض ملموس في انسياب الهطول وكما يظهر من تحليل النتائج في الجدول (8) والشكل (1) ، فعلى سبيل المثال ان نسب الانخفاض في انسياب الهطول في الخلطات المسلحة ب 0.5% باليياف الكاربون {(MR5C6) و(MS5C6) و(MM5C6)} تتراوح من (12.2)% الى (12.5)% مقارنة بنظيراتها من الخلطات {(MR1C6) و(MS1C6) و(MM1C6)}.

وإذا ما تم مناقشة تأثير محتوى الألياف المضافة على لزوجة الخلطات الخرسانية الذاتية الرص، فيمكن ملاحظة إن زيادة محتوى الألياف المضافة من 0.1% إلى 0.5% تؤدي إلى زيادة كبيرة في لزوجة الخلطات . وبما إن اللزوجة ترتبط بصورة مباشرة مع زمن الوصول لقطر 500 ملم ، فنلاحظ من خلاصة النتائج في الجدول (8) والشكل (2) ان زمن الوصول لقطر انتشار 500 ملم يزداد بشكل كبير مع زيادة محتوى الألياف المضافة من 0.1% إلى 0.5%. الخلطات الحاوية على اليياف الكاربون {(MR5C12) و(MS5C12) و(MM5C12)} فقد حققت نسب زيادة اعلى وتتراوح من (74.9)الى(81.1)%مقارنة بنظيراتها من الخلطات{(MR1C12) و(MS1C12) و(MM1C12) }. إن زيادة اللزوجة بسبب زيادة محتوى الألياف المضافة تؤدي أيضا إلى زيادة زمن فحص القمع (V) وبشكل ملحوظ ولأي نوع من الألياف المستخدمة وذلك لان اللزوجة ترتبط ايضا مع زمن فحص القمع ، حيث ان نسب زيادة اكبر سجلت في قيم زمن فحص القمع للخلطات {(MR5C6) و(MS5C6) و(MM5C6)} مقارنة بقيم نظيراتها من الخلطات {(MR1C6) و(MS1C6) و(MM1C6)} وتتراوح من (30.7)% الى (84.6)% وكما مبين في الجدول (8) والشكل (3) . ان قيم نسبة الانسداد (Blocking Ratio) هي الاخرى قد انخفضت مع زيادة محتوى الألياف الحجمي ولكافة انواع الالياف المستخدمة . يوضح الجدول (8) والشكل (4) تأثير محتوى الألياف المضافة على قيم نسبة الانسداد لكافة الخلطات. واعلى معدل انخفاض في قيم نسبة الانسداد في الخلطات الحاوية على اليياف الكاربون {(MR5C6) و(MS5C6) و(MM5C6)} وكان مقداره (11.53)% مقارنة بنظيراتها من الخلطات {(MR1C6) و(MS1C6) و(MM1C6)}. يتوضح ايضا من دراسة الجدول (8) و الشكل (5) ان زيادة محتوى الالياف من 0.1% الى 0.5% ادت الى زيادة عالية في قيم ارتفاع الملىء لكافة الخلطات . وتم تاشير زيادة اعلى في قيم ارتفاع الملىء سجلت في الخلطات الحاوية على اليياف الكاربون {(MR5C6) و(MS5C6) و(MM5C6)} حيث كانت تتراوح من (137.5) الى (275)% . مقارنة بقيم ارتفاع الملىء لنظيراتها من الخلطات {(MR1C6) و(MS1C6) و(MM1C6)}.

● تأثير المضافات البوزولانية والألياف على الخواص المتصلدة للخرسانة ذاتية الرص:-

غالبا ما تستخدم الاضافات المعدنية ذات الخواص البوزولانية كابخرة السليكا والميتاكاولين في انتاج الخرسانة عالية المقاومة وعالية الاداء لغرض التحسين من مقاومتها وديمومتها ولتحقيق فوائد اقتصادية على مدى العمر الاستخدامي مع

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تقليل مسامية الخرسانة . اما اضافة الالياف فلها فوائد وايجابيات عديدة ، فقد أظهرت تأثيراً إيجابياً على الخرسانة من خلال تحسين الخواص المتصلدة مثل مقاومتا الشد والصدم والمتانة ومقاومة الحريق .

● تاثير المضافات البوزولانية على خواص الخرسانة ذاتية الرص المتصلدة :-

ان استخدام ابخرة السليكا ادى الى وجود تحسن في مقاومة الانضغاط في الخلطة (MS) وبنسب (3.34) و(6.74) و(1.78) و(5.24)% مقارنة بالخلطة المرجعية (MR) وللاعمار 7 و28 و90 و180 يوما على التوالي وكما موضح في الجدول (9) . بينما لوحظ تحسن اكثر في قيم مقاومة شد الانفلاق مع تقدم العمر ، حيث بلغ (1.65) و(5.37) و(8.07) و(8.03)% ولنفس الاعمار على التوالي. في حين ان التحسن في معاير الكسر للخلطة (MS) قد كان (5.16) و(4.5) و(3.44) و(3.5)% وللاعمار 7 و28 و90 و180 يوما على التوالي مقارنة بالخلطة (MR) . اما التحسن في معامل المرونة الساكن فبلغ (4.4) و(3.2) و(1.4) و(0.75)% ولنفس الاعمار على التوالي وكما موضح في الجدول (10) . ويعزى هذا التحسن في الخواص الى التفاعل البوزولاني لابخرة السليكا المكثفة والذي يؤدي الى زيادة نواتج الاماهة والتي تملىء وتغلق الفراغات في المنطقة البينية بين الركام وعجينة السمنت وجعلها اكثر كثافة وسيكون تركيبها المجهري الكثيف اقرب منه للتركيب المجهري لعجينة السمنت منه للتركيب المجهري لعجينة السمنت والركام وقد اكد هذا ايضا من قبل (Beutur et al)[21] . يوجد تحسن ملحوظ في مقاومة الانضغاط في الخلطة (MM) وبنسب (8.43) و(3.95) و(5.45)% لاعمار 28 و90 و180 يوما على التوالي مقارنة بالخلطة (MR) وكما موضح في الجدول (9) ، بينما يكون التحسن معدوم وبالعكس يكون سلبيا (9.47-%) بعمر 7 ايام. كما وجد تحسن اكبر في مقاومة شد الانفلاق وبنسب (7.6)و(10.83) و(10.44) % لنفس الاعمار انفا على التوالي مع انخفاض بنسبة (9.54-%) في عمر 7 ايام ايضا. بينما كان هناك تحسن اقل في معاير الكسر للخلطة (MM) وبنسب (6.08) و(5.2) و(4.87)% مقارنة بالخلطة (MR) ولنفس الاعمار السابقة على التوالي مع تحسن يكاد ان يكون معدوم ايضا بعمر 7 ايام . ان هناك زيادة في معامل المرونة الساكن وبنسب (4.03) و(4.55) و(2.61) % في الخلطة (MM) للاعمار 28 و90 و180 على التوالي مقارنة بالخلطة (MR) وتحسن معدوم في معامل المرونة الساكن للنماذج المستخدمة بعمر 7 ايام ايضا . وتوصل باحثون اخرون على نتائج مشابهة (Al Qaisy)[22] و(El-Desoky)[23] و (Al-Jabri)[24] عند اضافة الميتاكاؤلين للخرسانة ذاتية الرص . وتوصل باحثون اخرون ايضا الى نفس الملاحظات منهم (Wild et al)[25]، (Caldarone et al)[26] و(dubey and Bauthia)[27] ولكن كانت بحوثهم بصدد الخرسانة التقليدية الحاوية على الميتاكاؤلين . ان مجمل هذه النتائج تشير الى ان مساهمة الميتاكاؤلين في الاداء تكون مقيدة في اول (14) يوماً من عمر الخرسانة وذلك نتيجة لبطئ التفاعل البوزولاني في البداية وبمرور الزمن ونتيجة للفعاليه البوزلانيه العاليه للميتاكاؤلين والتي ينتج عنها زيادة تكون نواتج الأماهه وامتلاء الفراغات بها وتقليل التشققات المجهرية ومسامات المنطقه البينيه مما يؤدي الى تحسن الخواص الميكانيكية وكما ذكر ايضا كل من (Wild et al)[25] و(Caldarone et al)[26] و(dubey and Bauthia)[27] .

● تاثير الالياف على الخواص المتصلدة للخرسانة ذاتية الرص :-

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

تؤدي اضافة الياف الكاربون الى زيادة ملحوظة في مقاومة الانضغاط ومعامل المرونة الساكن وكما نستنتج من الجدولين (9) و(10). تعزى الزيادة الاعلى في مقاومة الانضغاط ومعامل المرونة الساكن للخلطة المسلحة بالياف الكاربون الى معامل المرونة العالي لالياف الكاربون ومقاومة التلاصق الجيدة بين السمنت والياف الكاربون والذي يؤدي الى تحسين انتقال الاجهاد من الليف الكاربوني الى المونة وبالتالي زيادة مقاومة الانضغاط ، كما ان معامل المرونة العالي لالياف الكاربون يؤدي الى زيادة معامل مرونة المركب ككل .الخلطات الحاوية على الياف كاربون تحسن ملموس جدا في مقاومة شد الانفلاق ومعاير الكسر مقارنة بالخلطات المرجعية (MR) و(MS) و(MM) وكما موضح في الجدولين (9) و(10). مثلا ان نماذج الخلطة (MR5C6) تعطي مقاومة شد اعلى بنسب (42.43) و(35.40) و(38.85) و(35.55)% ومعاير كسر اعلى بنسب (18.64) و(22.76) و(19.32) و(16.25)% مقارنة بالخلطة (MR) وللاعمار 7 و28 و90 و180 يوما على التوالي . يعود السبب الى مقاومة التلاصق العالية بين السمنت والياف الكاربون والذي يؤدي الى تحسين انتقال الاجهاد من الليف الكاربوني الى المونة وهذا ما اشار اليه باحث اخر في هذا المجال (Raouf)[28].

ان تسليح الخلطات بالياف كاربون بطول 12 ملم انتج خلطات ذات مقاومة انضغاط ومعامل مرونة ساكن اعلى بقليل مقارنة بالخلطات المسلحة بالياف كاربون بطول 6 ملم . ويوضح الجدولين (9) و(10) تاثير طول الالياف على مقاومة الانضغاط ومعامل المرونة الساكن للخلطات الخالية من المضافات على التوالي . كما يؤدي زيادة طول الياف كاربون المستخدمة من 6 ملم الى 12 ملم الى حدوث زيادات طفيفة جدا في مقاومة شد الانفلاق ومعاير الكسر في الخلطات الخالية من المضافات والحاوية على ابخرة السليكا اؤ الميتاكاؤلين وكما موضح في الجدولين (9) و(10) ويعزى السبب في ذلك الى مقاومة التلاصق العالية ومعامل المرونة العالي لالياف الكاربون.

نلاحظ زيادة ملحوظة في مقاومة الصدم للخرسانات ذاتية الرص المسلحة بالالياف عند زيادة طول الياف كاربون المضافة في هذه الدراسة ،ان مقاومة الصدم للشق الاول والفشل النهائي ولعمر 180 يوما للخلطة المسلحة بالياف الكاربون بطول 12 ملم (MR1C12) اعلى من مقاومة الصدم عند الشق الاول والفشل النهائي للخلطة المرجعية (MR) بنسب (242.65) و(323.53)%على التوالي ، في حين ان الخلطة (MR1C6) المحتوية على نفس الالياف بطول 6 ملم تكون اعلى من مقاومة الصدم عند الشق الاول والفشل النهائي مقارنة بنفس الخلطة المرجعية بنسب (271.73) و(364.7)%على التوالي . ان تحسن مقاومة الخلطات الخرسانية لمقاومة الصدم عند زيادة طول الالياف يعود الى زيادة المساحة الملتصقة بين الالياف والمادة الرابطة ، والذي يزيد من مقاومة احتكاك السطح البيني المشترك بينهما . يختلف شكل الفشل في الخلطات المسلحة بالياف بطول 12 ملم عن الخلطات المسلحة بالياف بطول 6 ملم ، حيث ان كلا نوعي الفشل عند الشق الاول يكون فشل شد وموضعي والخلطات تحصل فيها شقوق متعددة مع مزيد من القص والتشظي والسحق ولا تنكسر ، باستثناء ان هناك زيادة ملحوظة في عدد الشقوق في الخلطات المحتوية على الياف بطول 12 ملم ، وتكون اكثر وضوحا في الخلطات المحتوية على الياف كاربون .

لوحظ ارتفاع نسبي في مقاومة الانضغاط ومعامل المرونة الساكن للخلطات المضاف اليها الياف كاربون بنسبة 0.5% بدلا من 0.1% . يعود سبب الاداء الافضل لالياف الكاربون مقارنة ببقي انواع الالياف

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

المستخدمة في هذه الدراسة الى زيادة مقاومة التلاصق العالية اصلا بين الياف الكاربون والمادة الرابطة وزيادة صلادة الخلطات ، كما ان زيادة معامل المرونة نتيجة اضافة الياف الكاربون عامل مسبب اخر للتحسن . ونستنتج من الجدولين (9) و(10) ان زيادة النسبة الحجمية المضافة من الالياف من 0.1% الى 0.5% الى الخلطات تؤدي الى زيادة مقاومة شد الانفلاق . يعزى السبب في زيادة المقاومة مع زيادة النسبة الحجمية المضافة من الالياف الى زيادة عدد الالياف في الوسط السمنتي مع التوزيع المنتظم لهذه الالياف ، مما يؤدي الى زيادة ترابط الالياف والمادة الرابطة ، وينتج عن هذا كبح التشققات وعرقلة اكثر لانتشار الشقوق في المركب . نلاحظ من الجدولين (9) و(10)ان زيادة محتوى الياف الكاربون من 0.1% الى 0.5% ادى الى زيادة معاير الكسر للخلطات . والسبب في ذلك يعزى الى ان زيادة النسبة الحجمية من الالياف في الخلطة تؤدي الى زيادة مناطق الترابط بين الالياف القصيرة والمادة الرابطة مع زيادة عدد الالياف في الخلطة الخرسانية مع التوزيع المنتظم لهذه الالياف في الخلطة وقوة التلاصق العالية للالياف مع المادة الرابطة ، ويؤدي هذا الى عرقلة انتشار الشقوق في كتلة المركب وينتج عنه زيادة في معاير الكسر .

- الاستنتاجات :-

أ- وفقا للمواد المستخدمة في البحث يمكن انتاج خرسانة ذاتية الرص تقليدية وذلك باستخدام نسب خلط وزنية (سمنت : رمل : حصو)(1 : 2.08 : 0.96) ونسبة ماء / سمنت هي (0.35) ومحتوى ملدن متفوق (Glenum 51) (8%) من وزن السمنت . كما يمكن انتاج خرسانة ذاتية الرص حاوية على ابخرة السليكا كمواد بوزولانية ناعمة وذلك باستخدام نسب خلط وزنية (1 : 2.08 : 0.96) ونسبة ماء / سمنت هي (0.35) ومحتوى ملدن متفوق (Glenum 52) (10%) من وزن السمنت وابخرة السليكا بنسبة 10% من وزن السمنت . تحقق لنا امكانية استخدام مادة الميتاكاؤلين كبديل مناسب جدا عن مادة ابخرة السليكا لانتاج خرسانة ذاتية الرص وذلك باستخدام نسب خلط وزنية (1 : 2.08 : 0.96) ونسبة ماء / سمنت هي (0.35) ومحتوى ملدن متفوق (Glenum 51) (9%) من وزن السمنت ومادة الميتاكاؤلين بنسبة 10% من وزن السمنت .

ب- ان اضافة ابخرة السليكا او الميتاكاؤلين بنسبة وزنية مقدارها 10% من وزن السمنت الى الخلطة الخرسانية اثر بوضوح على قابلية تشغيل الخلطة مما تطلب زيادة محتوى الملدن المتفوق من (8) % الى (10) و (9)% للمحافظة على خاصية الرص الذاتي للخلطة .

ج- ان تاثير ابخرة السليكا اشد من تاثير الميتاكاؤلين على الخواص الطرية للخرسانة الذاتية الرص مما يتطلب زيادة محتوى المضافات الملدنة للخلطات الحاوية على ابخرة السليكا بنسبة 11.11% مقارنة بالخلطة الحاوية على الميتاكاؤلين .

ح- لم تؤثر المضافات البوزولانية (الميتاكاؤلين وابخرة السليكا) على المقاومات المبكرة (بعمر 7 ايام) للخلطة الخرسانية ذاتية الرص المرجعية .بينما ازدادت مقاومتا الانضغاط والشد ومعاير الكسر ومعامل المرونة الساكن للخرسانة الحاوية على ابخرة السليكا ولاعمار (28 و90 و180) يوم وكانت حدود الزيادة لمقاومة الانضغاط من (1.77) الى (6.74)% ولمقاومة الشد من (5.37) الى (8.06)% بينما كانت حدود الزيادة لمعاير الكسر من (3.44) الى (4.49)% ولمعامل المرونة الساكن من (1.39) الى (3.22)% . في حين ان اضافة الميتاكاؤلين اثر على مقادير التحسن في تلك الخواص فاصبحت نسب الزيادة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

بحدود(3.95-8.42)% لمقاومة الانضغاط ، (7.56-10.82)% لمقاومة الشد ، (4.87-6.09)% لمعايير الكسر ، و(2.60-4.31)% لمعامل المرونة الساكن .

خ- ان اضافة الياف الكاربون (بنسب حجمية مختلفة وباطوال مختلفة) ادى الى انخفاض عام في قابلية التشغيل حيث حدث نقصان في انسياب الهطول بمقدار (50-144) ملم وزيادة في زمن الوصول لقطر انتشار 500 ملم بمقدار (1.4-2.8) ثانيةو زيادة في زمن فحص القمع بمقدار (2-5.5) ثانية.كما حدث انخفاض في نسبة الانسداد بمقدار (0.07-0.16) و زيادة في ارتفاع الملىء بمقدار (10.5-23.5) ملم .كما ان جميع الخلطات المسلحة بالياف الكاربون كانت ضمن حدود المواصفات المذكورة في (EFNARC)(14) باستثناء الخلطات (MR5C12) و(MS5C12) و(MM5C12) اذ تجاوزت الحدود المذكورة في المواصفات انفة الذكر .

د- ان استخدام الياف الياف طول 12 ملم بدلا من 6 ملم ادى الى استمرار الحصول على خرسانة ذاتية الرص عدا الخلطات الحاوية على 0.5% الياف كاربون وبطول 12 ملم الا ان ذلك ادى الى احداث تاثيرات ملموسة على قابلية التشغيل لكافة الخلطات ولكافة الانواع والنسب الحجمية للالياف. حيث حدث انخفاض في انسياب الهطول بمقدار (8-10) ملم وانخفاض في نسبة الانسداد بمقدار (0.019-0.02)% و زيادة في زمن الوصول لقطر انتشار 500 ملم بمقدار (0.29-0.36) ثانية وزيادة في ارتفاع الملىء بمقدار (3.4-4) ملم .كما زاد زمن فحص القمع بمقدار (0.7-0.8) ثانية .

ذ- تم الحصول على خرسانة ذاتية الرص بالرغم من زيادة المحتوى الحجمي لالياف الكاربون من 0.1% الى 0.5% عدا الخلطة الحاوية على 0.5% الياف كاربون وبطول 12 ملم الا ان ذلك ادى الى تقليل انسياب الهطول بنسب تتراوح من (12.16-17.80)% وزيادة في زمن الوصول لقطر انتشار 500 ملم بنسب تتراوح من (45.71-81.08)% وزيادة في زمن فحص القمع بنسب تتراوح من (40.48-93.55)% وانخفاض في نسبة الانسداد بنسب تتراوح من (6.29-17.44)%.واخيرا زيادة في ارتفاع الملىء بنسب تتراوح من (59.10-95.24)% .

ر- ان اضافة الياف كاربون (بنسب حجمية مختلفة واطوال مختلفة) ادى الى تحسن واضح في الخواص المتصلدة بصورة عامة حيث حصلت زيادة ملموسة في مقاومة الانضغاط بنسب تتراوح من (1.08-25.75)% وزيادة واضحة في مقاومة الشد بنسب تتراوح من (9.75-66.18)% وزيادة ملموسة في معاير الكسر بنسب تتراوح من (2.86-38.26)% و زيادة ملموسة في معامل المرونة الساكن بنسب تتراوح من (0.30-14.14)%.

ز- ان زيادة طول الياف كاربون من 6 الى 12 ملم ادى الى تحسين الخواص المتصلدة للخرسانة الذاتية الرص حيث حدثت زيادة قليلة في مقاومة الانضغاط وبمعدل عام مقداره من (2.563-2.95) نت/ملم^2 وزيادة طفيفة جدا في مقاومة الشد وبمعدل مقدار زيادة من (0.229-0.441) نت/ملم^2 وزيادة قليلة في معاير الكسر وبمعدل مقدار زيادة من (0.442-0.603) نت/ملم^2 وزيادة قليلة جدا في معامل المرونة وبمعدل مقدار زيادة من (0.742-0.829)*310 نت/ملم^2 .

ان زيادة المحتوى الحجمي لالياف الكاربون من 0.1% الى 0.5% ادى الى حدوث بعض التغيرات في خواص الخرسانة الذاتية الرص تمثلت في زيادة ملموسة في مقاومة الانضغاط وبنسبة

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

(3.76-18.03)% و زيادة كبيـــرة فـــي مقاومة الشد وبنسبة (17.17-34.81)% وزيادة ملحوظة في معاير الكسر وبنســبة (10.78-30.68)% و زيادة قليلـــة فـــي معامل المرونة وبنسبة (1.88-8.37)% .

المصادر

[1] G. Pons, M. Mouret, M. Alcantara, and J. L. Granju, "Mechanical Behavior of Self Compacting Concrete With Hybrid Fiber Reinforcement" , Materials and Structure Journal 2007 No. 40, pp.201-210.

[2] G. Barluenga and F. H. Olivares, "Cracking Control of Concrete Modified With Short AR-Glass Fibers at Early Age. Experimental Results on Standard Concrete and SCC", Cement and Concrete Journal 2007, No. 37, pp 1624-1638 .

[3] X. Liu, G. Ye, G. De. Schutter, Y. Yuan, and L. Taerwe," On the Mechanism of Polypropylene Fibers in Preventing Fire Spalling in Self Compacting and High Performance Cement Paste" Cement and Concrete Research Journal, November 2007, Available Online at www.Sciencedirect.com .

[4] M.T. Bassuoni and M. L. Nehdi, "Resistance of Self Consolidating Concrete to Sulfuric Acid Attack With Consecutive PH reduction" Cement and Concrete Research Journal April 2007, No 37, pp. 1070-1084.

[5] Persson. B, "On the Internal Frost Resistance of Self Compacting Concrete With and Without Polypropylene Fibers" Materials and Structures Journal, 2006, No. 39, pp. 707-716

[6]K. Ozawa; K.Maekawa; K. Kunishima; and H. Okamura, "High Performance Concrete Based On The Durability Of Concrete Structures" Proceeding Of the 2nd East Asia-Pacific Conference On Structural Engineering and Construction, Chiang-Mai, 1989.

[7]Nofal. N and El-Karmouty, "Shrinkage Of High Performance Self Compacting Fiber Reinforced Concrete" International Conference Future Vision and Challenges For Urban Development, Housing and Building Research Center, Egypt, Cairo, December 2004.

[8] المواصفة القياسية العراقية I. O. S رقم (45) لسنة 1984، "ركام المصادر الطبيعية المستعمل في الخرسانة والبناء "الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية ، بغداد صفحات (4).

[9] ASTM c494/c494m-04, "Standard and Specification For Chemical Admixtures For Concrete" Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04, 02, 2004, pp. 271-279.

[10] Swedish Cement and Concrete Institute, "Self Compacting Concrete For Civil Engineering Structures-The Swedish Experience" CBI Report 2:99, Stockholm, August 1999.

[11] Grunewald. S and Walraven. S, "Rheological Study On The Work Ability Of Fiber Reinforced Mortar, Second International Symposium On SCC, 2001 Edited By Ozawa And Ouchi, University Of Tokyo, Coms, Engineering Publication, pp. 127-136.

[12] Grunewald. S, "Performance Based Design Of Self Compacting Fiber Reinforced Concrete", PH. D Thesis, Department Of Civil And Mining Engineering, Delft University Of Technology,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

[21]Bentur. A and Mindess. S, "Fiber Reinforced Cementations Composites", Elsevier Applied Science, 1990, pp. 449.

[22] Al Qaisy Wissam., "Steel Fiber Reinforced Ultra High Performance Self Compacting Concrete", PH. D Thesis, Building and Construction Engineering, University of Technology, Baghdad, Iraq, 2006.

[23] El-Desoky, S. A.," SELF – CONSOLDATIONG CONCRETE INCORPORATING DIFFERENT MINERAL ADMIXTURES. International Conference Future Vision and Challenges For Urban Development, Housing and Building Research Center, Egypt, Cairo, December 2004.

[24] Al-Jabri. L. A, "The Influence Of Mineral Admixtures And Steel Fibers On The Fresh And Hardened Properties of SCC" An M. SC. Thesis Submitted To The Department of Civil Engineering-College of Engineering, Al-Mustansiriya University, Baghdad, 2005.

[25] ild, S.;Khatib,J.M.;and Jones,A.,"Relative Strength Pozzolanic Activity And Cement Hydration In Superplasticised Metakaoline Concrete "Cement And Concrete Research, V.26,NO.10,1996,pp.1537-1544.

[26]Caldaron, M. A., Gurber, K. A. and Burg, R. G., "High Reactivity Metakaolin: A New Generation Mineral Admixture", Concrete International, Vol. 16, No. 11, November 1994; pp. 37-40.

[27]Dubey , A., and Banthia , N. ," Influence Of High-Reactivity Metakaoline And Silica Fume On The Flexural Toughness Of High Published And distributed By Delft University Press, Netherlands, 2004.

[13] Grurnewald. S and walraven. J. C," Self Compacting Fiber Reinforced Concrete-Test Methods And Properties Of The Fresh State", Basil, 2000, 14. InT. Baustofftagung, Weimar, pp. 51-66.

[14] EFNARC:Specification And Guidelines For Self Compacting Concrete, February 2002.

[15] H.Okamura,M.Ouchi"Self Compacting Concrete"J.Adv.Concr.Technol. 1(1)(2005),pp 5-15.

[16] Japan Society Of Civil Engineers, "Recommendation For SCC" Research Subcommittee On Recommendation Of Self-Compacting Concrete, Tokyo, August 1999.

[17] BS 1881, Part 116, 1989, "Method For Determination Of Compressive Strength Of Concrete Cubes" British Standards Institution, 1881, pp.3.

[18]ASTMC496/C496m-04, "Stander Test Method For Splitting Tensile Strength Of Cylindrical" ASTM standers, vol. 04.02 2004, PP.283-287.

[19] ASTM Designation C78-02, "Stander Test Method For Flexural Strength Of Concrete (Using Samples Beam With Third Point Loading" Annual Book of ASTM Standards, vol. 04.02,2004, PP-36-38.

[20] ASTM C494-02, "Standard Test Method For Static Modulus Of Elasticity And Poisson's Ratio Of Concrete In Compression" Annual Book of ASTM Standees, Vol. 04.02,2004, PP.256-259.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Performance Steel Fiber Reinforced Concrete," ACI Materials Journal ,V .95,NO.3,May-June 1998, pp.284-292.

[28] Raouf, Z.A.,"Dynamic Mechanical Properties Of Fiber Reinforced Cement Composite ", PH.D. Thesis, Vicoria University of Manchester, UMIST, May, 1975.

الجدول(1): -التحليل الكيمائي للسمنت ومركباته الأساسية .

نوع الأوكسيد أو المركب	المحتوى %	حدود المواصفة القياسية العراقية م . ق. ع رقم 5 /1984)[52]
ثاني اوكسيد السليكون (SiO_2)	19.9	-
أول أوكسيد الكالسيوم (CaO)	60.8	-
أول أوكسيد المغنيسيوم (MgO)	1.5	الحد الأعلى (5)
ثالث أوكسيد الحديد (Fe_2O_3)	3.0	-
ثالث أوكسيد الألمنيوم (Al_2O_3)	5.69	-
ثالث أوكسيد الكبريت (SO_3)	2.3	الحد الأعلى (2.8)
الفقدان بالحرق (L.O.I)	1.5	الحد الأعلى(4.0)
المواد غير القابلة للذوبان (I.R)	1.1	الحد الأعلى(1.5)
عامل الإشباع الجيري L.S.F	0.85	(0.66-1.02))
سليكات ثلاثي الكالسيوم (C_3S)		
سليكات ثنائي الكالسيوم (C_2S)		
ألومينات ثلاثي الكالسيوم (C_3A)		
ألومينات حديد رباعي الكالسيوم C_4AF		

الجدول(2): -الخواص الفيزيائية للسمنت.

الخاصية	نتيجة	حدود المواصفة رقم 5 لسنة 1984[19]
النعومة (سم^2/غم) بطريقة بلين	2850	2300 سم^2/غم الحد الأدنى
زمن التجمد بطريقة فيكات الابتدائي(دقيقة) النهائي(دقيقة)	130 205	ن 45 دقيقة لا يزيد عن 600 دقيقة
مقاومة الانضغاط لمكعبات مونة السمنت(نيوتن/مم^2) وللأعمار	17.3	ن 15

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3 أيام **7 أيام**	7 26.66	لا يقل عن 23
الثبات بطريقة اوتوكليف	0.34 %	لايزيد عن 0.8%

الجدول (3): -الخصائص التقنية للملدن المتفوق المستخدم.

الخاصية الأساسية	خواص الملدن المتفوق المستخدم
الشكل	سائل لزج
اللون	بني
الكثافة النسبية	1.1 غم/سم^3
قيمة الحامضية(PH)	6.6
اللزوجة	1.30 cps
النقل(Transport)	لا توجد مخاطر بالنقل
التصنيف (Labeling)	لا توجد علامة خطر

الجدول (4): -التركيب الكيميائي لابخرة السليكا المستخدم

نوع الاوكسيد	محتوى الاوكسيد (%)
SiO_2	94
Al_2O_3	2.03
Fe_2O_3	1.32
CaO	لا يوجد
MgO	2.00
K_2O	لا يوجد
Na_2O	لا يوجد
المجموع	99.35

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الجدول(5) : -التركيب الكيميائي للميتاكاؤلين المستخدم.

نوع الاوكسيد	محتـــــوى الاوكسيد (%)(بالوزن)	مواصفات البوزولانا نـــــوع N بموجـــــب المواصفة (ASTM C618-03)
SiO_2	51.34	لا يقل عن 70%
Al_2O_3	33.4	
Fe_2O_3	2.3	
CaO	3.00	
MgO	0.17	
SO_3	0.15	لا يزيد عن 4%
L.O.I	7.8	لا يزيد عن 10

الجدول (6): - الخواص الفيزيائية لألياف الكاربون.

الخاصية الاساسية	خواص الكاربون
الوزن (غم)	300
السمك المصمم(ملم)	20.1
مقاومة الشد(نت/ملم^2)	59
معامل المرونة بالشد المصمم(نت/ملم^2)	235000
طول الليف(ملم)	19
محتوى الكاربون (%)	98
الكثافة النسبية	1.9
الاستطالة عند القطع (%)	1.4

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

الجدول (7) :-نسب وكميات المواد اللازمة لانتاج متر مكعب من الخرسانة المرجعية والمسلحة بألياف الكاربون.

نوع الخلطة	رمز الخلطة	S.F % من وزن السمنت (اضافة)	H.R.M % من وزن السمنت (اضافة)	W/C نسبة الماء/لسمنت أوموادسمنتية	حجم الألياف المضافة (% من الحجم)	طول الألياف المضافة (ملم)	S.P (%) من وزن السمنت	انسياب الهطول (ملم)
الخلطات المرجعية	MN	-	-	0.52	-	-	-	**185**
	MR	-	-	0.35	-	-	8	**800**
	MS	10	-	0.35	-	-	10	**790**
	MM	-	**10**	**0.35**	-	-	**9**	**795**
الخلطات الحاوية على ألياف الكاربون	***MR1C6***	-	-	***0.39***	***0.1***	***6***	***12***	***750***
	MS1C6	10	-	0.39	0.1	6	14	**740**
	MM1C6	-	10	0.39	0.1	6	13	**744**
	MR1C12	-	-	0.39	0.1	12	12	**740**
	MS1C12	10	-	0.39	0.1	12	14	**732**
	MM1C12	-	10	0.39	0.1	12	13	**736**
	MR5C6	-	-	0.39	0.5	6	12	**656**
	MS5C6	10	-	0.39	0.5	6	14	**650**
	MM5C6	-	10	0.39	0.5	6	13	**653**
	MR5C12	-	-	0.39	0.5	12	12	**612**
	MS5C12	10	-	0.39	0.5	12	14	**602**
	MM5C12	-	**10**	**0.39**	**0.5**	**12**	**13**	**605**

*محتوى السمنت والرمل والحصى ثابت في جميع الخلطات ومساوي ل500 كغم/م^{3}و480كغم/م^3 و1040كغم/م^3 على التوالي.

الجدول(8): -الخواص الانسيابية للخلطات الخرسانية المرجعية والمسلحة بالياف الكاربون.

نوع الخلطة	رمز الخلطة	S.P (%) من وزن السمنت	انسياب الهطول (ملم)	زمن الوصول لقطر لقطر (500)ملم	نسبة الانسداد (H2/H1)	ارتفاع الملىء (H1-) (H2	زمن فحص القمع (ثانية)
الخلطات المرجعية	*MN*	-	*185*	-	-	-	-
	MR	*8*	*800*	*2.2*	*0.97*	*3*	*6.2*
	MS	*10*	*790*	*2.4*	*0.94*	*8*	*6.5*
	MM	*9*	*795*	*2.3*	*0.95*	*5*	*6.4*
الخلطات الحاوية على ألياف الكاربون	*MR1C6*	*12*	*750*	*3.3*	*0.88*	*16.6*	*8.2*
	MS1C6	*14*	*740*	*3.5*	*0.87*	*18.5*	*8.5*
	MM1C6	*13*	*744*	*3.4*	*0.875*	*17.6*	*8.4*
	MR1C1	*12*	*740*	*3.66*	*0.86*	*20*	*8.9*
	MS1C1	*14*	*732*	*3.79*	*0.85*	*22.5*	*9.3*
	MM1C1	*13*	*736*	*3.70*	*0.856*	*21*	*9.2*
	MR5C6	*12*	*656*	*5.0*	*0.81*	*26.5*	*11.7*
	MS5C6	*14*	*650*	*5.1*	*0.815*	*30*	*12.0*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

	MM5C6	13	653	5.06	0.82	28	11.8
	MR5C1	12	612	6.4	0.71	36	15
	MS5C1	14	602	6.8	0.714	40	18
	MM5C1	13	605	6.7	0.72	41	16

الجدول(9): -نتائج فحص مقاومة الانضغاط ومقاومة شد الانفلاق للخلطات المرجعية والخلطات المسلحة بالياف الكاربون.

انواع الخلطات	رمز الخلطة	مقاومة الانضغاط (نت/ملم2) بعد عمر معالجة رطبة (يوم):				مقاومة شد الانفلاق (نت/ملم2) بعد عمر معالجة رطبة (يوم):			
		7	28	90	180	7	28	90	180
الخلطات المرجعية	MN	23.65	36.00	42.72	50.10	2.42	3.40	4.06	4.62
	MR	35.90	56.40	68.88	71.60	3.04	4.10	4.71	4.98
	MS	37.10	60.20	70.10	74.35	3.09	4.32	5.09	5.38
	MM	32.50	61.15	71.60	75.50	2.75	4.41	5.22	5.50
الخلطات الحاوية على الياف الكاربون	MR1C6	37.50	58.60	70.80	73.10	3.52	4.50	5.31	5.47
	MS1C6	38.70	61.00	73.10	76.80	3.59	4.76	5.62	5.78
	MM1C6	35.60	62.50	74.50	77.30	3.22	4.88	5.76	5.94
	MR1C12	39.60	60.20	70.60	76.00	3.67	4.70	5.55	5.72
	MS1C12	40.80	64.50	75.80	78.80	3.70	5.02	5.93	6.10
	MM1C12	37.70	65.60	76.70	79.60	3.39	5.15	6.07	6.25
	MR5C6	40.00	64.60	74.10	76.00	4.33	5.55	6.54	6.75
	MS5C6	41.20	72.00	78.60	80.00	4.42	5.65	6.67	6.86
	MM5C6	39.20	73.10	77.30	81.50	3.88	5.76	6.80	6.96
	MR5C12	43.40	70.60	75.20	79.60	4.57	5.86	6.86	7.07
	MS5C12	44.80	75.70	80.50	84.10	4.66	6.20	7.25	7.47
	MM5C12	40.60	76.70	81.60	85.50	4.57	6.31	7.38	7.60

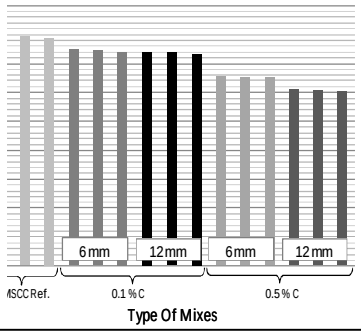
جدول (10): -نتائج فحص معاير الكسر و معامل المرونة الساكن للخلطات المرجعية والخلطات المسلحة بالياف الكاربون

انواع الخلطات	رمز الخلطة	معاير الكسر (نت/ملم^2) بعد عمر معالجة رطبة (يوم):				معامل المرونة الساكن *10^3(نت/ملم^2) بعد عمر معالجة رطبة (يوم):			
		7	28	90	180	7	28	90	180
الخلطات المرجعية	MN	3.61	4.80	5.41	6.15	24.61	27.63	30.02	32.75
	MR	5.85	6.90	7.56	8.00	29.52	34.49	38.01	39.09
	MS	5.91	7.21	7.82	8.28	30.82	35.60	38.54	39.81
	MM	5.62	7.32	7.95	8.39	27.93	35.88	39.74	40.11
الخلطات الحاوية على الياف البولي الكاربون	MR1C6	6.20	7.21	7.80	8.26	30.77	35.53	38.98	39.74
	MS1C6	6.31	7.48	8.26	8.54	31.21	36.22	39.59	40.69
	MM1C6	5.85	7.59	8.34	8.63	30.07	36.65	39.95	40.82
	MR1C12	6.30	7.30	8.03	8.34	31.53	35.99	38.93	40.49
	MS1C12	6.42	7.67	8.34	8.63	31.95	37.21	40.29	41.20
	MM1C12	5.99	7.75	8.48	8.76	30.84	37.52	40.52	41.40
	MR5C6	6.94	8.47	9.02	9.30	31.67	37.24	39.85	40.49

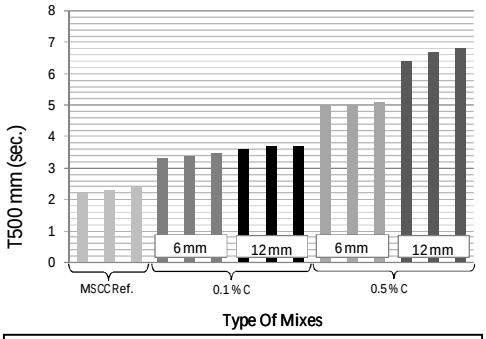
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

41.50	*41.00*	*39.25*	*32.09*	*9.54*	*9.22*	*8.73*	*6.99*	*MS5C6*	
41.88	*40.67*	*39.54*	*31.39*	*9.66*	*9.35*	*8.88*	*6.71*	*MM5C6*	
41.40	*40.13*	*38.88*	*32.85*	*10.50*	*10.20*	*9.54*	*7.51*	*MR5C12*	
42.52	*41.48*	*40.21*	*33.32*	*10.78*	*10.52*	*9.85*	*7.63*	*MS5C12*	
42.86	*41.75*	*40.47*	*31.88*	*10.96*	*10.61*	*9.96*	*7.32*	*MM5C12*	

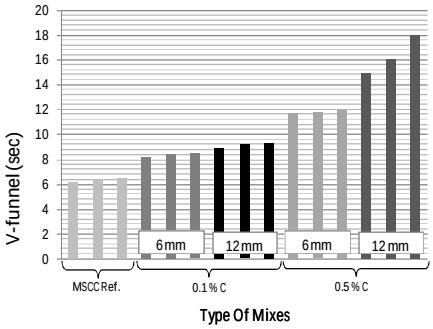
الصـــــورة رقـــــم (1) : -أليـــــاف الكـــــاربون المســـــتخدم



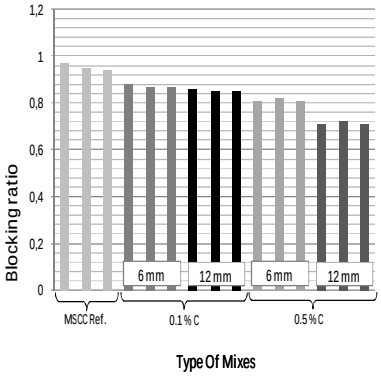
شكل(1)تاثير الياف الكاربون على انسياب الهطول للخلطات الخرسانية



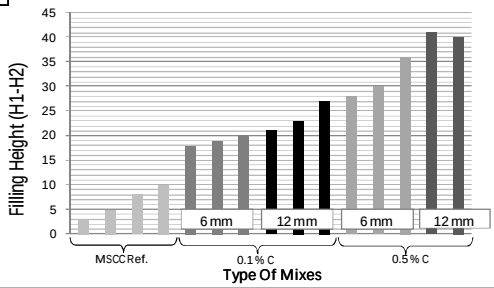
شكل(2)تاثير الياف الكاربون على زمن الوصول لقطر 500 ملم للخلطات الخرسانية



شكل(3)تاثير الياف الكاربون على زمن فحص القمع للخلطات الخرسانية



شكل(4)تاثير الياف الكاربون على نسبة الانسداد للخلطات الخرسانية



شكل(5)تاثير الياف الكاربون على ارتفاع الملىء للخلطات الخرسانية

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com