

استخدام مونة السمنت المعززة بألياف الكربون لمعالجة الأرضيات الخرسانية المعرضة للقلويات

د. شاكر أحمد صالح* د. زينب عامر شمس الدين* د. رافع زاير جاسم**

تاريخ التسلم: 2010/4/7

تاريخ القبول: 2011/1/5

الخلاصة

إن الهدف الأساسي من البحث هو إصلاح الأرضيات الخرسانية المتضررة بتعرضها للقلويات و تحديدًا مركب هيدروكسيد الصوديوم (الصودا الكاوية) في معامل الزيوت النباتية باستخدام مونة السمنت والرمل المعززة بألياف الكربون بنسب (0,5 – 1) % حجماً بالإضافة إلى الملمن المتفوق بجرعة (2-2,6) لتر / 100 كغم سمنت علماً بأن سمك مونة السمنت المستخدمة في المعالجة تعتمد على الجزء المتضرر. أجريت الفحوص الميكانيكية كفحص مقاومة الانضغاط والفحوص الفيزيائية مثل فحوص سرعة الموجات فوق الصوتية، الكثافة الكلية، النفاذية الظاهرية و امتصاص الماء للنماذج المعالجة بالماء لمدد (7، 28، 60، 90، 180) يوماً و لنماذج أخرى وضعت لمدد تصل إلى ستة أشهر في محلول الصودا الكاوية بتركيز 37% أظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في ديمومة خلطات المونة المقترحة عند تعرضها للمحاليل القلوية القاسية.

الكلمات المرشدة: ألياف الكربون، القلويات، الصودا الكاوية، إصلاح الأرضيات، مونة السمنت والرمل، الملمن المتفوق

Improvement The Durability of Concrete floors (A Lkalis Actions) By Using Carbon Fibers Mortars

Abstract

The main purpose of this research is to repair the concrete floors in contact with alkalis action especially sodium hydroxide (caustic soda) in the floors of factories of Vegetable Oils by using cement and sand mortars incorporated with carbon fiber chips in proportions (0.5 – 1)% by volume was used, superplasticizer with a dosage of (2 -2.6) L/100 kg cement was added, thickness of cement and sand mortars depend on damage concrete. Mechanical tests such as compressive strength test and physical tests such as ultrasonic pulse velocity, bulk density, apparent porosity and water absorption tests were done to samples after curing in normal water for (7, 28, 60, 90, 180) days and then they were exposed to caustic soda solution (37% concentration) up to six months. Test results showed a noticeable improvement in durability of suggested mortar mixes against such type of aggressive alkalis solutions.

مقدمة

الخدمي لهذه المنشآت و تقليل كلفة صيانتها تعتبر ألياف الكربون مادة غير فعالة في الظروف البيئية الشديدة المحيطة بالمنشآت فهي مقاومة لتأثير الحوامض و القواعد و التأثيرات الحرارية كالانجماد و الذوبان... الخ، أي أن استخدام هذه الألياف في المنشآت الخرسانية يزيد من ديمومتها وهي الحل الأمثل لمثل هذه الظروف.

استخدمت المونة و الخرسانة المسلحة بألياف الكربون على مدى واسع في السنوات الأخيرة في إصلاح و تقوية المنشآت الخرسانية لما تتمتع به هذه الألياف من خصائص ميكانيكية و فيزيائية مشجعة جداً مما يقود إلى زيادة العمر

المنشآت وهذا يعني إعطاء عمر خدمي أكبر للمنشأ مع صيانة أقل [4]. إن القلويات المؤثرة على الخرسانة إما أن يكون مصدرها داخلياً ناتج عن تفاعل كيميائي بين السليكا الفعالة في الركام من جهة و القلويات في السمنت من جهة أخرى وهي عبارة عن هيدروكسيدات القلويات الناتجة من تفاعل اوكسيد الصوديوم و البوتاسيوم (K_2O, Na_2O) في السمنت مع ماء الخلطة وناتج التفاعل بين السليكا و القلويات هو تدمير الترابط بين السمنت و الركام بسبب تكون مادة هلامية ناتجة من هذا التفاعل هي *alkali-silicate gel* وهي مادة ذات خاصية تمددية [5] وقد يكون التأثير خارجياً حيث قام (Karbhari) [3] بدراسة تحليلية لتأثير القلويات الخارجية ومنها المركبات الكيميائية مثل ($NaOH$) التي هي في تماس مع الخرسانة المسلحة بألياف البوليمرات ومنها ألياف الكربون حيث بالإمكان تقليل تأثيرها باستخدام الراتنجات *Resins* على شكل طبقات تحيط بها و تمنع تأكلها ومنها مادة *Epoxy* ومادة *Vinylesters*.

قام العديد من الباحثين منهم *Marom and Broutman* [3] و غيرهم بدراسة تأثير الرطوبة و المحاليل القاعدية على مركبات البوليمرات المستخدمة في منشآت الهندسة المدنية التي هي في تماس مع هذه البيئة و توصلوا إلى إمكانية تقليل هذه التأثيرات باستخدام طلاء الراتنجات مع الخرسانة المسلحة بالألياف كما تم التأكد من إن استخدام ألياف البوليمرات في ظروف قاعدية كمحاليل الصوديوم و البوتاسيوم و الكالسيوم والتي يكون *PH* أكبر من 12 لها تأثير سلبي أقل في حالة استخدام ألياف الكربون مما لو استخدمت أنواع أخرى من الألياف و من خلال إجراء تجارب عديدة على ألياف الكربون التي لصقت بالخرسانة لإعادة تأهيلها باستخدام الايبوكسي و عرضت إلى ظروف بيئية مختلفة ولمدة شهرين و لوحظ بأن طبقات ألياف الكربون الأقل سمكاً هي الأفضل في نتائج الفحوص الميكانيكية ، و نتيجة لما تم ذكره أنفاً تم اقتراح هذا البحث .

تتعرض العديد من المنشآت الخرسانية المسلحة كالخزانات و الأرضيات إلى الفعل التآكلي الناتج من احتواء خزانات وحدات معالجة المياه الصناعية على مياه صناعية قاعدية بالإضافة إلى تسرب هذه المياه لأرضية المصنع مما يؤدي إلى عرقلة أو إيقاف عملية الإنتاج و هذا يستدعي إيجاد الحلول الفعالة لهذه المشاكل و خاصة في معامل الزيوت النباتية المنتشرة في كافة أنحاء العراق .

تتكون ألياف الكربون بصورة أساسية من ذرات الكربون و التي يتم صنعها بتعريض أنواع من البوليأكريلامرات (*Polyacrylonitril*) ومختصرها (*PAN*) بنسبة 90% و الرايون (*Rayon*) بنسبة 10% إلى درجات حرارة عالية دون حرقها مما يؤدي إلى فصل الذرات غير الكربونية و بطرق صناعية معينة يتم إنتاج هذه الألياف و التي تتنوع أشكالها فهي إما طبقات *Sheets* أو شرائح *Strips* ... الخ [1]

إن استخدام المواد المركبة *Composite Materials* في المنشآت يعود إلى آلاف السنين , وبدأت منذ استخدام الخشب إلى أن وصلت إلى استخدام الخرسانة المسلحة بألياف البوليمرات (*FRPC*) الذي لازال تطبيقه محدداً وهذا يعود إلى فقدان المعرفة الكاملة بين المصممين و المهندسين بطبيعة وسلوكية هذه المواد من حيث أدائها على المدى البعيد وكذلك اختلاف الخواص الميكانيكية لها عن خواص المواد التقليدية بالإضافة إلى عدم وجود مواصفات صناعية حول أفضل سبل الاستخدام [2 , 3] .

أجريت إحصائية في الولايات المتحدة الأمريكية بينت أن نصف جسور الطرق السريعة (*Highway Bridges*) و البالغ عددها 576665 جسراً غير مؤهلة لاستخدامها إنشائياً و تحتاج إلى مبلغ 90 بليون دولار لإصلاحها , وعلى هذا الأساس أوصت المؤسسة الأمريكية لبحوث الهندسة المدنية *CERF* باستخدام مواد ذات أداء عالي مثل البوليمرات و منها ألياف الكربون في

الجانب العملي:

1 - المواد الأولية :

أ- السمنت المقاوم : استخدم في الخلطة سمنت مقاوم للأملاح الكبريتية ونتائج فحوصاته الكيماوية و الفيزيائية مبينتين في الجدولين (1 و 2) تشير نتائج الفحص إلى أن السمنت المستخدم مطابق للمواصفة العراقية رقم (5) لسنة (1984) و تم التأكد من أن نسبة القلويات في السمنت متدنية وضمن الحدود المسموح بها لتلافي التأثير الداخلي للتفاعل القلوي ، حيث كانت 0,7 % .

ب - الركام الناعم : استخدم الرمل المستخرج من مقلع الاخضر كركام ناعم في كافة الخلطات و إن تدرجه المنخلي كما موضح في الجدول (3) و هو مطابق للمواصفة العراقية رقم (45) لسنة (1984) ضمن منطقة التدرج الثالثة و بينت الفحوصات المخبرية بان الوزن النوعي والامتصاص ومحتوى الأملاح الكبريتية للركام الناعم المستخدم هي (6,2) و (1,6 %) و (0,27 %) على التوالي .

ج- الملدن المتفوق : استخدم الملدن المتفوق 603 Tufflow SP المجهز من شركة الخليج الدولية للكيماويات سلطنة عمان وهو عبارة عن مضاف خرساني سائل اسود اللون خالٍ من الكلوريدات يتكون من مادة السلفونيت نفتالين مع مضافات أخرى لزيادة قابلية تشغيل الخرسانة الطرية دون التأثير على زمن التماسك الابتدائي و تقليل نسبة الماء \ السمنت في الخلطة لإنتاج خرسانة عالية المقاومة .

د- ألياف الكربون : استخدمت ألياف الكربون على شكل رقائق مصنوعة بصورة رئيسية من البولي اكريلونيترايل Polyacrelonitrile بنسبة 90% و الريابون Rayon بنسبة 10% و تحضر بحرق المواد الأولية بعملية الكربنة Carbonization (بدون اوكسجين) . إن أبرز خواص ألياف

استخدام مونة السمنت المعززة بألياف
الكربون لمعالجة الأرضيات الخرسانية
المعرضة للقلويات

الكربون المستخدمة موضحة في الجدول (4) .

2- الخلطات المستخدمة : تم في هذا البحث استخدام خلطة واحدة من السمنت والركام الناعم وبنسب وزنية 3:1 ونسبة ماء :سمنت مقدارها 4 , 0 وبما يؤمن فحص انسياب مقداره 110 % ولغرض دراسة تأثير ألياف الكربون تم إدخال ألياف الكربون إلى هذه الخلطة وبنسبتين حجمية احدهما 0,5 % والأخرى 1 % وتم التحكم بنسبة الملدن المتفوق المضاف للمحافظة على انسيابية الخلطة المستخدمة و الجدول (5) يبين تفاصيل الخلطات الثلاث .

3- تهيئة النماذج وظروف التعرض : استخدم الخلاط الكهربائي للخلط المتجانس و تم صب نماذج من المكعبات الفولاذية القياسية (مقاس 50 ملم) و رصها بشكل متكامل باستخدام المنضدة الهزازة و بعد تسوية سطح القالب ترك في جو المختبر مغطى بالنايلون لمدة 24 ساعة بعدها نزلت النماذج وعرضت لظروف التعرض المطلوبة في الدراسة و كما يلي :

أ - خمس وسبعون مكعباً من كل خلطة تم غمرها في الماء الاعتيادي لغاية ستة أشهر وأجريت عليها فحوصات مقاومة الانضغاط ، سرعة الموجات فوق الصوتية ، الكثافة الكلية ، النفاذية الظاهرية والامتصاص الكلي للماء للأعمار (7 ، 28 ، 60 ، 90 ، 180) يوماً .

ب - ستون مكعباً من كل خلطة غمرت بمحلول الصودا الكاوية NaOH بتركيز 37 % لمدة أقصاها ستة أشهر بعد أن عولجت بالماء لمدة 28 يوماً وتركت لتجف في الهواء لمدة يومين وفحصت نفس الفحوصات الواردة في (أ) ولأعمار تعرض (30 ، 60 ، 90 ، 180) يوماً

4- الفحوصات : تم إجراء الفحوصات التالية لغرض تقييم تأثير محلول الصودا الكاوية على الخرسانة الحاوية على ألياف الكربون :

(1) % حجما ارتفعت من 31 نيوتن / ملم² بعمر سبعة أيام إلى 53 ، 45 نيوتن / ملم² بعمر 180 يوما لنماذج المجموعة الثانية و من 34 نيوتن / ملم² بعمر سبعة أيام إلى 3، 47 نيوتن / ملم² بعمر 180 يوما لنماذج المجموعة الثالثة علما بان مقاومة الانضغاط ازدادت عند إضافة ألياف الكربون بالنسبتين المذكورتين أنفا ولنفس عمر النموذج وهذا ما تم توضيحه في الشكل رقم (1). ان سبب التحسن في مقاومة الانضغاط النسبي يعود إلى تداخل ألياف الكربون مع هيكل مونة السمنت والرمل و جعله أكثر تماسكا وسببا في تأخير الانفعال مع الزمن الذي يسبب فشل النموذج أثناء فحص مقاومة الانضغاط. اظهر عمر النماذج محلول الصودا الكاوية بنسبة 37 % ولأعمار (7 ، 30 ، 60، 90 ، 180) يوما انخفاضا في مقاومة الانضغاط مع زيادة فترة الغمر حيث انخفضت من 31 نيوتن / ملم² بعمر سبعة أيام إلى 6، 28 نيوتن / ملم² بعمر 180 يوما لنماذج المجموعة الأولى ومن 37 نيوتن / ملم² بعمر سبعة أيام إلى 35،2 نيوتن / ملم² بعمر 180 يوما لنماذج المجموعة الثانية ومن 42 نيوتن / ملم² بعمر سبعة أيام إلى 3، 41 نيوتن / ملم² بعمر 180 يوما لنماذج المجموعة الثالثة. إن سبب التدهور في مقاومة الانضغاط عند تعرض النماذج لمحلول هيدروكسيد الصوديوم يعود إلى تفاعل هيدروكسيد الصوديوم مع السليكا الموجودة في السمنت و الرمل وتكوين مركبات تمددية ، في حين إن هذا التدهور قد تناقصت نسبته عند استخدام ألياف الكربون بسبب عملها على تقليل النسبة المئوية للنفاذية و امتصاص الماء و زيادة الكثافة وبالتالي تقليل تسرب محلول الصودا الكاوية لمونة السمنت و الرمل . تعتبر مقاومة الانضغاط مؤشرا للعديد من الخواص و منها (للنماذج المغمورة بالماء) زيادة الكثافة الكلية من 808، 1 غم / سم² بعمر سبعة أيام إلى 474، 2 غم / سم² بعمر 180 يوما لنماذج المجموعة الأولى ومن 968، 1 غم / سم² بعمر سبعة أيام إلى 690، 2 غم / سم² بعمر 180 يوما لنماذج

أ – فحص مقاومة الانضغاط : اجري فحص مقاومة الانضغاط بموجب المواصفة BS 1881 : Part 116 لعام 1983 على المكعبات الخرسانية وكانت كل قراءة تمثل المعدل لثلاثة مكعبات .

ب – فحص الموجات فوق الصوتية : تعتبر من الفحوصات الغير اتلافية المهمة حيث انه يمكننا المقارنة بين النماذج من حيث تجانسها واحتوائها على التشققات أو المسامات أو أية أضرار أخرى تحدث ضمن هيكل النموذج . اجري هذا الفحص بموجب المواصفة ASTM C 597-02 وان سرعة هذه الموجات تعتبر المعدل لثلاثة قراءات .

ج – فحص الكثافة الكلية : تم قياس الكثافة الكلية للنماذج بموجب المواصفة ASTM C 642 -97 وتمثل كل قراءة المعدل لثلاثة نماذج .

د – فحص الامتصاص : اعتمدت المواصفة ASTM C 642 -97 في فحص الامتصاص حيث كانت نسبة الامتصاص تمثل المعدل لثلاثة نماذج .

ه – فحص المسامية الظاهرية : اجري هذا الفحص بموجب المواصفة ASTM D 6473-04 ومن الجدير بالذكر إن الفحوصات انفة الذكر قد أجريت لأعمار مختلفة من (7) أيام و لغاية (180) يوما – تم فحص الانسيابية Flow Test لمونة السمنت و الرمل بموجب المواصفات الأمريكية ASTM C143-01 حيث كانت قيمة الانسيابية للخلطة المرجعية وللخلطات الأخرى بحدود 110 %

النتائج و مناقشتها :

أظهرت نتائج فحص مقاومة الانضغاط للنماذج المغمورة في الماء و الموضحة في الجدول رقم (6) و للأعمار (7 ، 28 ، 60 ، 90 ، 180) تحسنا ملحوظا مع زيادة عمر النماذج المعالجة بالماء و ذلك نتيجة استمرار عمليات الاماهة ولكن بمعدلات اقل مع مرور الزمن حيث ازدادت من (27) نيوتن / ملم² بعمر سبعة أيام إلى (37،75) نيوتن / ملم² بعمر 180 يوما للمجموعة الأولى وعند إضافة ألياف الكربون بنسبتين (0,5% و

1, غم / سم² بعمر 180 يوماً لنماذج المجموعة الأولى ومن 13, 2 غم / سم² بعمر سبعة أيام إلى 2,065 غم / سم² بعمر 180 يوماً لنماذج المجموعة الثانية و من 19, 2 غم / سم² بعمر سبعة أيام إلى 16, 2 غم / سم² بعمر 180 يوماً لنماذج المجموعة الثالثة وهذا ما تم توضيحه في الجدول رقم (10) وبالتالي زيادة سرعة الموجات فوق الصوتية الطولية من 544, 2 كلم / ثا بعمر سبعة أيام إلى 690, 3 كلم / ثا بعمر 180 يوماً لنماذج المجموعة الأولى و من 334, 2 كلم / ثا بعمر سبعة أيام إلى 499, 4 كلم / ثا بعمر 180 يوماً لنماذج المجموعة الثانية و من 502, 3 كلم / ثا بعمر سبعة أيام إلى استخدام مونة السمنت المعززة بألياف الكربون لمعالجة الأرضيات الخرسانية المعرضة للقلويات

654, 4 كلم / ثا بعمر 180 يوماً لنماذج المجموعة الثالثة و موضح في الجدول رقم (8) وقلة النسبة المئوية للنفذية الظاهرية من 3, 27 % بعمر سبعة أيام إلى 23 % بعمر 180 يوماً لنماذج المجموعة الأولى و من 89, 24 % بعمر سبعة أيام إلى 89, 21 % بعمر 180 يوماً لنماذج المجموعة الثانية و من 804, 24, % بعمر سبعة أيام إلى 21,5 % بعمر 180 يوماً لنماذج المجموعة الثالثة و موضح في الجدول رقم (12) أما النسبة المئوية لامتصاص الماء فقلت بمقدار تراوح بين 51, 16 % بعمر سبعة أيام إلى 217, 10 % بعمر 180 يوماً لنماذج المجموعة الأولى و من 65, 14 % بعمر سبعة أيام إلى 8, 9 % بعمر 180 يوماً لنماذج المجموعة الثانية و من 535, 13 % بعمر سبعة أيام إلى 54, 9 % بعمر 180 يوماً لنماذج المجموعة الثالثة و موضح في الجدول رقم (14) علما بان الكثافة الكلية و سرعة الموجات فوق الصوتية الطولية ازدادت و قلت النسبة المئوية للنفذية الظاهرية و امتصاص الماء عند إضافة ألياف الكربون بالنسبتين المذكورتين أنفا و لنفس عمر النموذج وهذا ما تم توضيحه في الأشكال المرقمة (3, 5, 7, 9) على التوالي، أما النماذج المغمورة بمحلول الصودا الكاوية فقد أظهرت انخفاضا في الكثافة الكلية من 059 2, غم / سم² بعمر سبعة أيام إلى 853

الماء و زيادة الكثافة وبالتالي تقليل تسرب
محلول الصودا الكاوية لمونة السمنت و
الرمل .

المصادر

- [1] Vossoughi F. , "Electrical Resistivity of Carbon Fiber Reinforced Concrete , " 2004 , 19 PP .
www.ce.berkeley.edu.au
- [2] Humphreys , M . F . , "The Use of Polymer Composites in Construction , " 10 PP .
www.eprints.qut.edu.au
- [3] Karbhari , V . M . , "Durability Gap Analysis for Fiber-Reinforced Polymer Composites in Civil Infrastructure , " Journal of Composite for Construction , 2003 , PP. (238 – 247) .
www.fire.nist.gov
- [4] Duthinh , D. , " NIST Workshop of Standards Development for the Use of FRP for the Rehabilitation of Concrete and Masonry Structures , " www.fire.nist.gov
- [5] Neville, A . M . , "Properties of Concrete , " 4th Edition , Pearson Education , 1995 .
- [6] American Society for Testing and Materials C143-01 , " Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar , " 2001 , 2PP.
- [7] British Standard BS 1881 : Part 116 : 1983 , " Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes , " 1983
- [8] American Society for Testing and Materials C597-02 , "

استخدام مونة السمنت المعززة بألياف الكربون لمعالجة الأرضيات الخرسانية المعرضة للقلويات

الصودا الكاوية بتركيز 37 % ولمدد مختلفة وصلت إلى ستة أشهر أظهرت نقصان في مقاومة الانضغاط ، الكثافة الكلية وسرعة الموجات فوق الصوتية وزيادة في النسبة المئوية للنفاذية وامتصاص الماء وهذا بسبب التأثير السلبي لمحلول الصودا الكاوية علما بان إضافة ألياف الكربون حسنت الخواص المذكورة آنفا وخاصة عند زيادة النسبة المئوية للألياف وسبب ذلك هو تأثير إضافة الألياف لما تتمتع به من خواص جيدة وكما مبين في الجدول رقم (4) والذي انعكس على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للنماذج .

الاستنتاجات :

- 1- تقليل التدهور لخواص الخرسانة عند إضافة ألياف الكربون للنماذج المغمورة بالصودا الكاوية بتركيز 37% ولمدد وصلت إلى ستة أشهر .
- 2- إن زيادة النسبة المئوية الحجمية لألياف الكربون من (0,5 – 1) % أدت إلى تقليل التدهور للخواص الميكانيكية والفيزيائية للنماذج بنسبة أكبر .
- 3- إن زيادة مقاومة الانضغاط مع زيادة النسبة المئوية الحجمية لألياف الكربون المضافة يعود إلى زيادة الكثافة الكلية ونقصان النسبة المئوية للنفاذية وامتصاص الماء للنماذج لما تتمتع به هذه الألياف من خواص هندسية جيدة انعكست على النماذج وبسبب تداخل ألياف الكربون مع هيكل مونة السمنت والرمل و جعله أكثر تماسكا .
- 4- أظهرت النماذج المغمورة بالماء خواص أفضل من النماذج المغمورة في الصودا الكاوية وذلك للتأثير السلبي لمحلول الصودا الكاوية بسبب تفاعل هيدروكسيد الصوديوم مع السليكا الموجودة في السمنت والرمل وتكوين مركبات تمددية، في حين إن هذا التدهور قد تناقصت نسبته عند استخدام ألياف الكربون بسبب عملها على تقليل النسبة المئوية للنفاذية وامتصاص

Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete," 2002 , 4PP.

[9] American Society for Testing and Materials D6473-04 , " Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Rock for Erosion Control , " 2004 , 3PP.

[10] American Society for Testing and Materials C 642-97 , " Standard Test Method for Density , Absorption and Voids in Hardened Concrete," 1997 , 3PP.

[11] Hannant, D. J., "Fiber Cement and Fiber Concrete," John Wiley and Sons, 1978.

جدول رقم (1) : التحليل الكيميائي للسمنت المقاوم للأحماض الكبريتية

| نوع التحليل | النتائج (%) | الحدود المسموح بها حسب المواصفات العراقية رقم (5) لعام 1984 |
|--------------------------------|-------------|---|
| SiO ₂ | 22.041 | - |
| Al ₂ O ₃ | 3.531 | - |
| Fe ₂ O ₃ | 3.783 | - |
| CaO | 63.21 | - |
| MgO | 2.282 | لا تزيد عن 5% |
| SO ₃ | 2.401 | لا تزيد عن 2.5% |
| L.O.I | 0.643 | لا تزيد عن 4% |
| IR | 0.97 | لا تزيد عن 1.5% |
| L.S.R | 0.89 | 1.02-0.66 |
| C ₃ A | 1.7 | - |
| Alkalis | 0.7 | - |

جدول رقم (2) : الخواص الفيزيائية للسمنت المقاوم للأحماض الكبريتية

| الخواص | النتائج | الحدود المسموح بها حسب المواصفات العراقية رقم (5) لعام 1984 |
|----------------------------|-------------------------------|---|
| زمن التماسك الابتدائي | 122 دقيقة | لا يقل عن 45 دقيقة |
| زمن التماسك النهائي | 176 دقيقة | لا يزيد عن 10 ساعات |
| الثبات | 1 ملم | لا يزيد عن 10 ملم |
| مقاومة الانضغاط بعمر 3 يوم | 26.6 نيوتن / ملم ² | لا يقل عن 15 نيوتن / ملم ² |
| مقاومة الانضغاط بعمر 7 يوم | 43 نيوتن / ملم ² | لا يقل عن 23 نيوتن / ملم ² |

جدول رقم (3) : التدرج المنخلي للرمل المستخدم في البحث

| قياس المنخل (ملم) | النسبة المئوية المارة | الحدود المسموح بها حسب المواصفات العراقية رقم (45) لعام 1984 (zone 3) |
|-------------------|-----------------------|---|
| 9,5 | 100 | 100 |
| 4,75 | 95 | 100-90 |
| 2,36 | 93 | 100-85 |
| 1,18 | 79 | 100-75 |
| 0,6 | 61 | 79-60 |
| 0,3 | 28 | 40-12 |
| 0,15 | 0 | 10-0 |

جدول (4) خواص ألياف الكربون المستخدمة في البحث

| الخواص | النتائج [1] | النتائج [11] |
|--------------------------------|-------------|--------------|
| الكثافة (كغم ام ³) | 1850 | 1900 |
| معامل المرونة (GPa) | 300 | 380 - 230 |
| مقاومة الشد (MPa) | 2450 | 2600 - 1800 |
| الاستطالة عند الكسر (%) | 0.75 | 1 - 0,5 |
| النسبة الباعية (%) | 100 | - |

جدول (5) أنواع الخلطات المستخدمة في البحث .

| رقم الخلطة | نسبة الماء /سمنت | محتوى SP 603 (لتر/100كغم) سمنت | إضافة ألياف الكربون (% حجم المواد الجافة) |
|------------|------------------|--------------------------------|---|
| 1 | 0.4 | 2 | - |
| 2 | 0.4 | 2.3 | 0.5 |
| 3 | 0.4 | 2.6 | 1 |

جدول (6) : نتائج فحص مقاومة الانضغاط للنماذج المعرضة للماء (نيوتن / ملم²)

| معالجة النماذج بالماء أرقام الخلطات | (7) أيام | (28) يوما | (60) يوما | (90) يوما | (180) يوما |
|--|----------|--------------|-----------|-----------|------------|
| 1 | 27 | 30.6 | 34.01 | 36.2 | 37.75 |
| 2 | 31 | 36.3 | 41.1 | 44.3 | 45.53 |
| 3 | 34 | 41.2 | 44.8 | 46.2 | 47.3 |

جدول (7) : نتائج فحص مقاومة الانضغاط للنماذج المعرضة لمحلول الصودا الكاوية (نيوتن /ملم²)
بعد معالجتها بالماء لمدة 28 يوما وتعرضها للهواء لمدة يومين

| معالجة النماذج بالمحلول أرقام الخلطات | (7) أيام | (30) يوما | (60) يوما | (90) يوما | (180) يوما |
|---|----------|--------------|--------------|-----------|------------|
| 1 | 31 | 30.5 | 29.8 | 29.2 | 28.6 |
| 2 | 37 | 36.7 | 36.1 | 35.5 | 35.2 |
| 3 | 42 | 41.9 | 41.7 | 41.5 | 41.3 |

جدول (8): سرعة الموجات فوق الصوتية للنماذج المعالجة بالماء

| رقم الخلطة | سرعة الموجات فوق الصوتية الطولية كم / ثا | | | | |
|---------------|---|--------|--------|--------|---------|
| | 7 أيام | 28 يوم | 60 يوم | 90 يوم | 180 يوم |
| 1` | 2.953 | 3.077 | 3.318 | 3.617 | 3.69 |
| 2 | 3.434 | 3.695 | 4.706 | 4.405 | 4.499 |
| 3 | 3.502 | 3.808 | 4.25 | 4.57 | 4.654 |

جدول (9): سرعة الموجات فوق الصوتية للنماذج المعالجة بمحلول الصودا الكاوية

| سرعة الموجات فوق الصوتية الطولية كم / ثا | | | | | رقم الخلطة |
|---|--------|--------|--------|--------|---------------|
| 180 يوم | 90 يوم | 60 يوم | 30 يوم | 7 أيام | |
| 2.619 | 2.835 | 3 | 3.085 | 3.129 | 1 |
| 3.64 | 3.7 | 3.795 | 3.83 | 3.865 | 2 |
| 3.803 | 3.875 | 3.883 | 3.9 | 3.945 | 3 |

جدول (10): الكثافة الكلية للنماذج المعالجة بالماء

| الكثافة الكلية (غم / سم ³) | | | | | رقم الخلطة |
|--|--------|--------|--------|--------|---------------|
| 180 يوم | 90 يوم | 60 يوم | 28 يوم | 7 أيام | |
| 2.474 | 2.366 | 2.27 | 2.025 | 1.808 | 1 |
| 2.69 | 2.59 | 2.39 | 2.147 | 1.968 | 2 |
| 2.99 | 2.79 | 2.577 | 2.288 | 2.122 | 3 |

جدول (11): الكثافة الكلية للنماذج المعالجة بمحلول الصودا الكاوية

| الكثافة الكلية (غم / سم ³) | | | | | رقم الخلطة |
|--|--------|--------|--------|--------|---------------|
| 180 يوم | 90 يوم | 60 يوم | 30 يوم | 7 أيام | |
| 1.853 | 1.906 | 2 | 2.04 | 2.059 | 1 |
| 2.065 | 2.076 | 2.098 | 2.117 | 2.13 | 2 |
| 2.16 | 2.169 | 2.173 | 2.184 | 2.19 | 3 |

جدول (12): النفاذية الظاهرية للنماذج المعالجة بالماء

| النفاذية (%) | | | | | رقم الخلطة |
|--------------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| 180 يوم | 90 يوم | 60 يوم | 28 يوم | 7 أيام | |
| 23 | 23.5 | 24.2 | 25.284 | 27.3 | 1 |
| 21.89 | 22.3 | 22.754 | 23.199 | 24.89 | 2 |
| 21.5 | 21.83 | 22.55 | 22.89 | 23.804 | 3 |

جدول (13): النفاذية الظاهرية للنماذج المعالجة بمحلول الصودا الكاوية

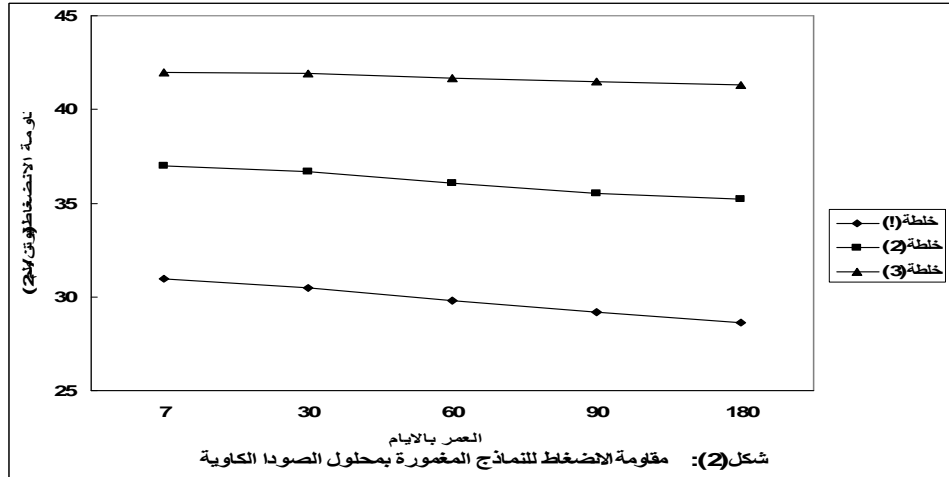
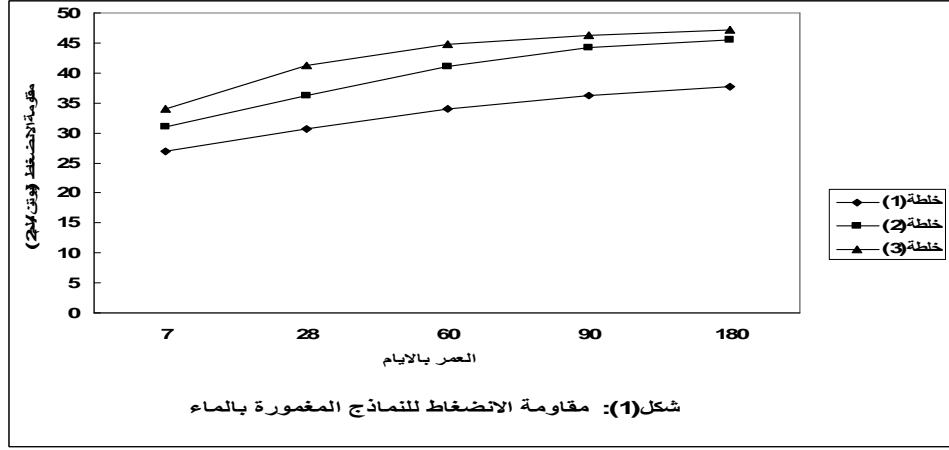
| النفاذية الظاهرية (%) | | | | | رقم الخلطة |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| 180 يوم | 90 يوم | 60 يوم | 30 يوم | 7 أيام | |
| 27.53 | 26.82 | 26.4 | 25.8 | 25.3 | 1 |
| 24.4 | 24.21 | 23.9 | 23.621 | 23.4 | 2 |
| 23.78 | 23.61 | 23.47 | 23.269 | 23.012 | 3 |

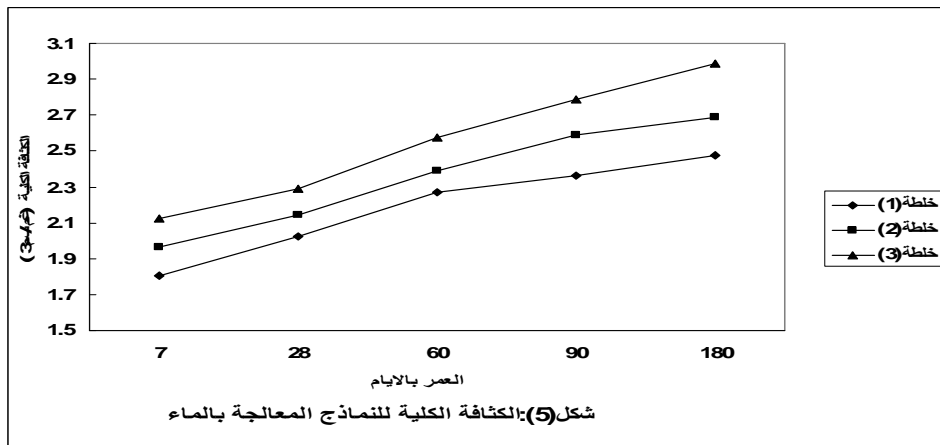
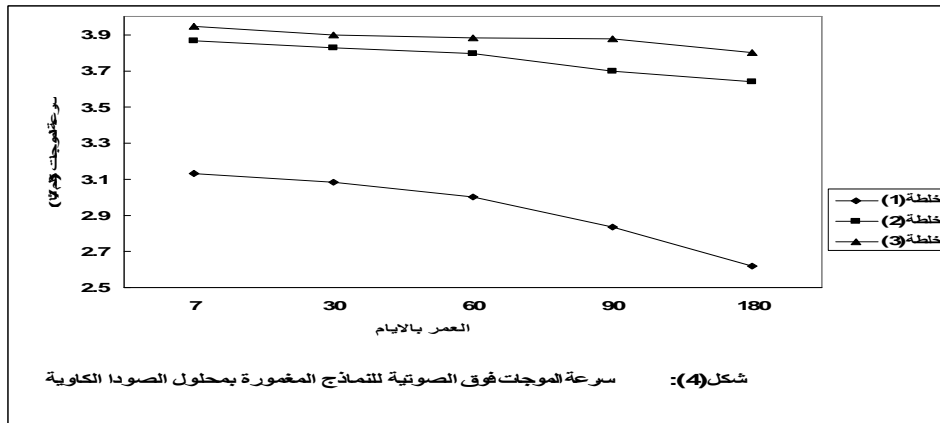
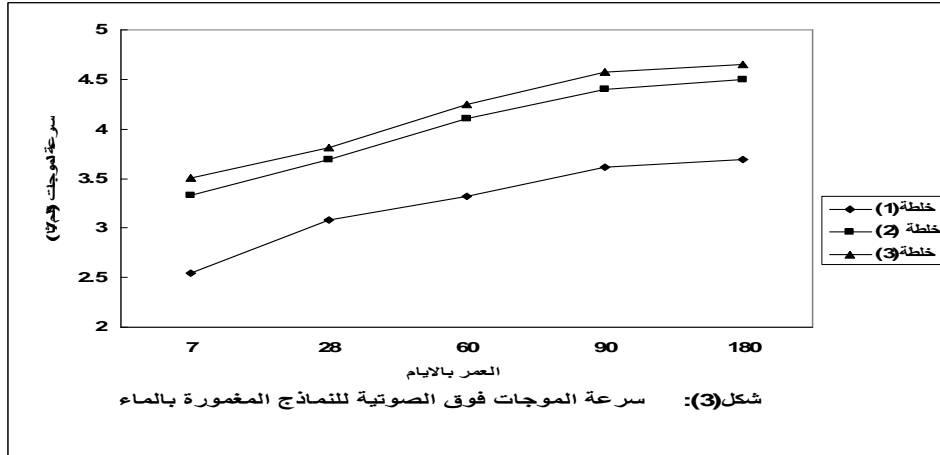
جدول (14): امتصاص الماء للنماذج المعالجة بالماء

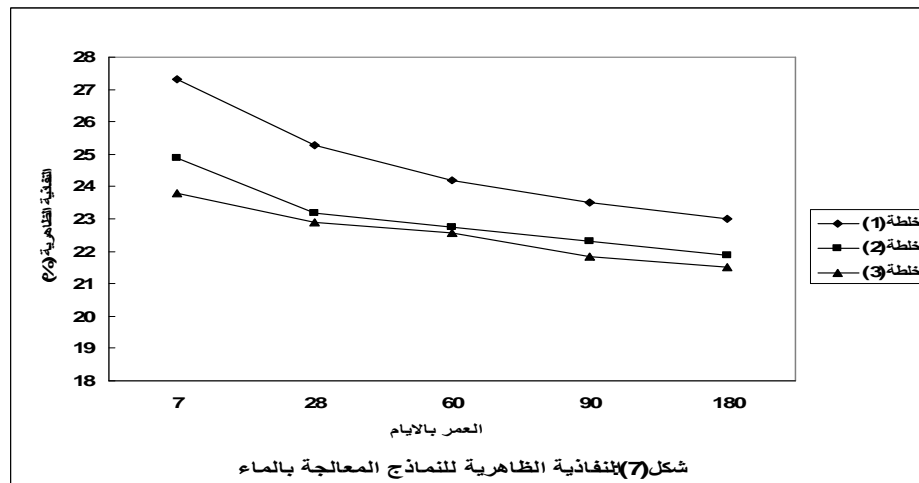
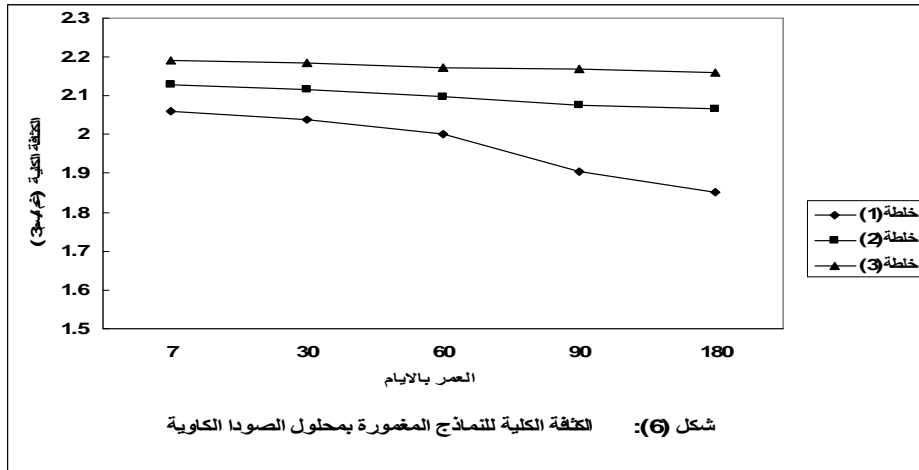
| امتصاص الماء (%) | | | | | رقم الخلطة |
|------------------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| 180 يوم | 90 يوم | 60 يوم | 28 يوم | 7 أيام | |
| 10.217 | 10.98 | 11.535 | 12.485 | 16.51 | 1 |
| 9.8 | 10.3 | 10.76 | 11.26 | 14.65 | 2 |
| 9.54 | 9.7 | 10.21 | 11.17 | 13.535 | 3 |

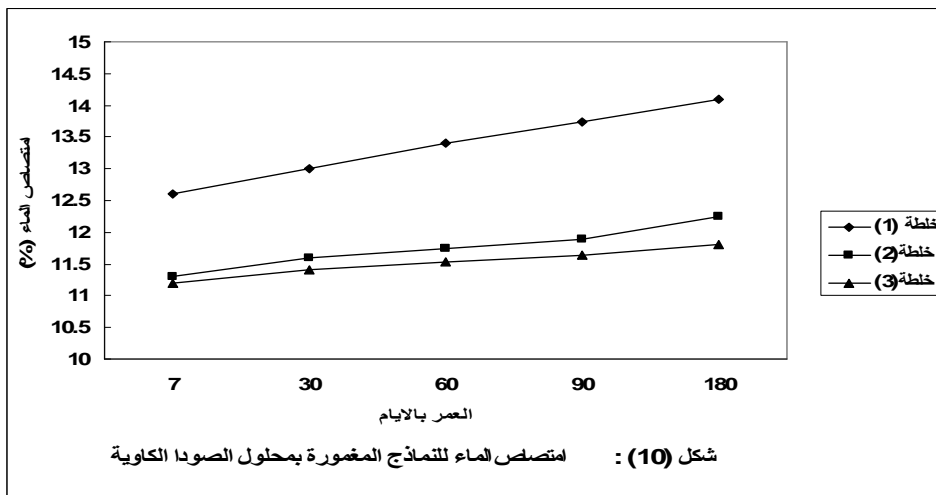
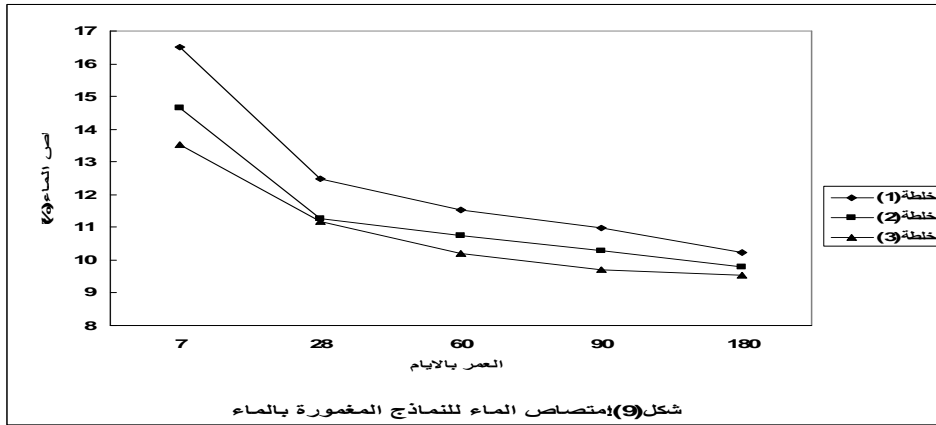
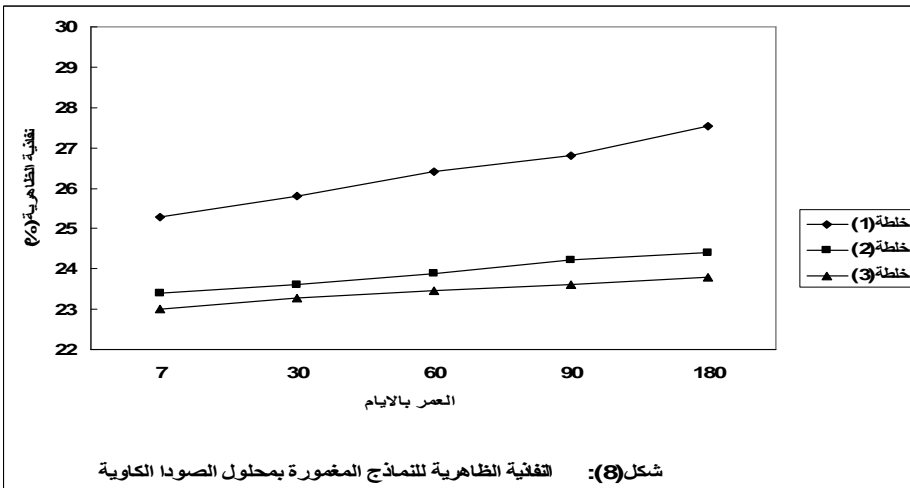
جدول (15): امتصاص الماء للنماذج المعالجة بمحلول الصودا الكاوية

| رقم الخطة | امتصاص الماء (%) | | | | |
|--------------|------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 180 يوم | 90 يوم | 60 يوم | 30 يوم | 7 أيام |
| 1 | 14.104 | 13.75 | 13.4 | 13 | 12.6 |
| 2 | 12.25 | 11.9 | 11.75 | 11.6 | 11.3 |
| 3 | 11.8 | 11.64 | 11.54 | 11.4 | 11.2 |











صورة (2) ألياف الكربون المستخدمة في البحث



صورة (1) أرضية قسم الصابون المتآكلة