استخدام الياف الكاربون في تقوية الخرسانه البوليمريه

صباح عجيب كاصد حميد رشيد حمادي خالد مهدي ثجيل عبد المجيد حسن عبد المجيد

وزارة العلوم والتكنولوجيا / دائرة بحوث المواد

بغداد – العراق

الخلاصة

درست التصرف الميكانيكي لخرسانه بوليمريه مقواة بالياف الكاربون المقطعّة بدلالة مقاومة الشد ومقاومة الحني ومقاومة الكبس ومعامل المرونه . حيث استخدم البولي استر غير المشبع كمادة بوليمرية رابطه وبنسبة وزنية 30% واستخدمت ثلاثة انواع من المالئات هي السليكا بحجم 399 مايكرون وبنسبة وزنية 20% والرمل بحجم 125–212 مايكرون وبنسبة وزنية 38– 40% وحصى ناعم بحجم 1.4– 2.4ملم وبنسبة7–10% اما نسبة الياف الكاربون فكانت1–5% وباطوال متساوية 6.5 ملم وبقطر 0.12 ملم ، وقد اضيفت الالياف بشكل عشوائي بالنسبة للاتجاهات .وتبين من نتائج هذه الدراسة، ان اضافة الياف الكاربون ادى الى تحسين الخواص الميكانيكية للخرسانه البوليميريه بشكل ملحوظ .

الكلمات المفتاحية: الخرسانه البوليمريه ، الياف الكاربون ، معامل يونك و راتنج البولي استر غير المشبع

Using of Carbon Fibers in Strengthening Polymer Concrete

Sabah Ageeb Kassid Hameed Rasheed Hommadi Khalid Mahdi Thajeel

Abdul Majeed Hassan Abdul Majeed

Ministry of Science and Technology / Directorate of Materials Research

Baghadad- Iraq

E-mail: sabahageeb@gmail.com

Abstract

The mechanical behavior of polymer concrete reinforced with chopped carbon fibers have been studied in terms of tensile strength ،flexural strength ، compressive strength and young's modulus . Unsaturated polyester resin was used as a binder at weight fraction 30% ،with three types of fillers silica 20% with particle size 399 µm ،sand 38-40% with sizes 125-212 m and fine stone 7-10% with sizes 1.4-2.4 mm ،while the weight fraction of chopped carbon fibers was up to 5% with length 6.5 mm and diameter is 0.12mm which added as randomly and in different orientations .The results from this study show that the addition of carbon fibers leads to improve the mechanical properties of polymer concrete.

Key Words: Polymer Concrete , Carbon Fibers, Young Modulus and Unsaturated Polyester Resin

المقدمة

على مر السنين ظلت الهياكل الخرسانية كالجسور والابنية تعاني من ضعف المقاومة وهبوط خواصها بسبب التعرض المستمر للظروف البيئية لذا كانت المواد البوليمرية المقواة بالالياف احد الحلول المقبولة في مجال تطبيقات الهندسة المدنية (Ferjani , *et al.*,2013) ، وقد اصبح الان استخدام البوليمرات المقواة بالالياف احد الاساليب الشائعة لتقوية عناصر البنية الخرسانية بسبب مقاومتها العالية للتآكل والمقاومة الميكانيكية العالية نسبة الى الوزن وخصوصا البوليمرات المقواة بالياف الكاربون (Ding , *et al.*,2010) . الخرسانة البوليمرية PC (Polymer concrete) هي مادة متراكبه مكونه من خليط من مادة مالئه مثل الرمل او السليكا وغيرها مع مادة بوليمريه والتي تصلّد خلال عملية البلمره (Mantrala,1995)، ولا تحتوي على سمنت ولا ماء وانما تستخدم المادة البوليمرية كمادة رابطة بين المكونات (Barbuta and Harja , 2008) وبسبب تصلبها السريع ومقاومتها العالية وقابليتها الجيدة على تحملّ ظروف البيئة المحيطه بها ، ازداد استخدامها في مختلف المجالات كمواد البناء غير التقليدية وهياكل الجسور وانابيب الصرف الصحي وغيرها (Ohama,1997) .

ان مكونات الخرسانه البوليمريه تحدّد من خلال تطبيقاتها ، وخصوصا تحملّ الاجهادات وامكانية مقاومتها للظروف البيئية ، وقد تركزت الدراسات الحديثة على ايجاد مواد تساعد في تحسين الخواص الفيزياوية والميكانيكية ومعالجة الانكماش بعد الانضاج وقد وجد ان البولي استر افضل من راتنج الايبوكسي في هذا المجال (Musynki,1983). ولتحسين الخواص الميكانيكية للخرسانه البوليمريه تضاف الياف الكاربون او الياف الزجاج الى الاساس البوليمري ، لان الاساس البوليمري لا يعطي المتانة فقط للخرسانه بل يعمل كمادة رابطه تربط المالئات والالياف اضافة الى نقل الحمل الى الطور المقوي (الالياف) (Joao,2005) .

تستخدم في الخرسانه البوليمريه عادة راتنجات من نوع ثرموسيت (Thermoset) (اي مواد لا يمكن تلدينها بالحرارة واعادتها ثانية) نظرا لاستقراريتها الحرارية العالية ومقاومتها لانواع كثيرة من المواد الكيميائية . تعتمد خواص الخرسانه البوليمريه على عدة عوامل تركيبيه وتصنيعيه مثل طبيعة الراتنج والمالئ وظروف الانضاج (Curing) ونوع وكمية المادة المقويه ومدى الترابط بين الالياف والراتنج ، وبسبب هذه العوامل المتعددة فان الخواص الميكانيكية والفيزياوية للخرسانه البوليمريه تكون ذات مدى واسع (Blaga,1979) ، وقد استخدم البولي استر غير المشبع لانه يمتاز بسهولة حمله والتصلب السريع ولا يخلف نواتج طياره ، ويمتلك استقرارية بالابعاد وله خواص فيزياوية وكهربائية جيدة (Blaga, 1974) ، ان من اهم محاسن الخرسانه البوليمريه هو التصلب السريع في درجة حرارة الغرفة والمقاومة العالية للشد والحني والكبس ، والالتصاق الجيد مع معظم السطوح ، النفاذية القليله للماء ، مقاومة عالية للمواد الكيميائية وخفة الوزن والعازلية الجيدة (Harja *et al.*, ,2009) .

ان اتجاه الالياف وكيفيتها يؤثر في الخواص الميكانيكية للخرسانه البوليمريه ، حيث ان الراتنج البوليمري في المواد المتراكبة والذي يكون مائع لزج ومن ثم يصبح صلب مرن يبدي مرونه لزجه تجاه الاحمال المسلطة ، لذا فان الالياف تعطي مقاومة كبس عالية اما المالئات فتقلل من الكلفة الاقتصادية والانكماش (Vipulanandan,1988)

تعتبر الالياف من المكونات المهمة في تركيب المواد المتراكبه وتكون بعدة اشكال كالمقطعة (Chopped) او النسيجية (Woven) وغيرها . ومن اهم انواع الالياف الشائعة الاستخدام هي الياف الكاربون والزجاج والكفلر (Hulatt and thorne2004) .

وقد استخدمت الياف الكاربون في هذا البحث لعدة اسباب منها انها تمتلك اوطأ معامل تمدد حراري بالنسبة لباقي انواع الالياف ، كما انها تمتلك مقاومة عالية جدا للزحف والكلال (Banjamin ,1997).

يهدف البحث الى تحسين الخواص الميكانيكيه للخرسانه البوليمريه باستخدام الياف الكاربون .

المواد وطرائق العمل

المواد المستخدمة

1. راتنج البولي استر غير المشبع كاساس بوليمري (سعودي المنشأ) .
2. مثيل اثيل كيتون بيروكسيد MEKP كمادة مصلده (سعودي المنشأ) .
3. سليكا (محلي)، رمل ، حصو ناعم جدا.
4. شمع البارافين كمانع للالتصاق .
5. الياف كاربون مقطعة .

الاجهزة والمعدات المستخدمة

1- منظومة فحص الشد .
1- فرن كهربائي لاكمال عملية الانضاج .
2- منظومة حيود الاشعة السينية .
3- منظومة قياس الحجم الحبيبي بالليزر .
4- مجهر ضوئي .
5- ميزان الكتروني .
6- قالب من مادة الزجاج العضوي (Perspex).
7- مناخل مختبرية قياسية لتحديد الحجم الحبيبي للمالئات .
8- عدد يدوية لاستخراج النماذج من القالب .

جدول (1) النسب الوزنية لكل من المالئات والبولي استر والياف الكاربون.

رقم النموذج	نسبة الياف الكاربون %	نسبة البولي استر %	نسبة السليكا %	نسبة الرمل %	نسبة الحصى %
1	-	30	20	40	10
2	1	30	20	39.5	9.5
3	2	30	20	39	9
4	3	30	20	38	9
5	4	30	20	38	8
6	5	30	20	38	7

طريقة تحضير النماذج

1- هيئت حجوم حبيبيه معينة من الرمل وهي 125 - 212 مايكرون ومن الحصى1.4-2.4 ملم ، باستخدام مناخل مختبرية قياسية
2- غسل كل من الرمل والحصى جيدا لتخليصه من الاتربة العالقة ومن ثم اجريت عملية التجفيف لهما.
3- اخذ نسب وزنية معينة من المالئات والبولي استر والياف الكاربون وكما موضح في الجدول(1)
4- اضافة المصلد بنسبة 3% الى البولي استر ثم اضافة الياف الكاربون وبعدها اضافة المالئات وبحسب ما ذكر (Harja *et al* .,2009) .
5- خلط المكونات جيدا باستخدام القضيب الزجاجي ومن ثم تصب في القالب الزجاجي

(Perspex) .تترك النماذج لمدة 72 ساعة للانضاج في درجة حرارة الغرفة .

6- توضع النماذج في الفرن عند درجة حرارة 70°م لمدة ثلاث ساعات لاكمال عملية النضج والتصلب(Joao ,2005) .

اخذت نسب وزنية ثابتة لكل من البولي استر 30 % والسليكا 20% لجميع النماذج للتخلص من تأثير تغيير نسبها على النتائج .

الفحوص والقياسات

1- فحصت السليكا بمنظومة حيود الاشعة السينية XRD نوع Shimadzu 6000 للتأكد من المادة وظهرت مطابقة .

2- حدد الحجم الحبيبي للسليكا بواسطة منظومة قياس الحجم الحبيبي بالليزر Laser Diffraction Particle size Analyszer نوع Shimadzu SALD 2101 ووجد انه 399 مايكرون .

3- فحصت النماذج بواسطة المجهر الضوئي بقوى تكبير مختلفة لمعرفة طريقة وتوزيع المواد ومقدار تجانسها واخذت عدة صور لها .

4- استخدمت منظومة الشد نوع Tinous Olsen HKT50 لاجراء اختبارات مقاومة الشد Tensile Strength ومقاومة الحني Flexural Strength ومقاومة الكبس Compression Strength ومن مخططات فحص الشد تم ايجاد قيم معامل يونك او المرونة Young's modulus وفق المعادلة التاليه (Bolton ,1998):

$$E=\frac{\sigma}{3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 1$$

حيث ان σ هو الاجهاد Stress ويمثل النسبة بين القوة اللازمة لاحداث التغير في الطول ومساحة المقطع العرضي للنموذج . اما ε فهو الانفعال او المطاوعة Strain ويمثل النسبة بين مقدار التغير في الطول الى الطول الاصلي للنموذج .

النتائج والمناقشة

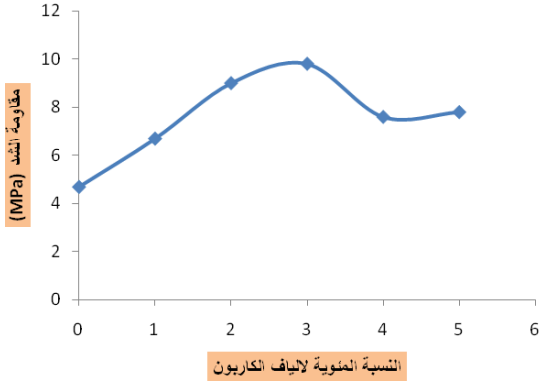
اظهرت نتائج الفحوص الميكانيكية للنماذج تحت الدراسة والمبينة في جدول (2) ازديادا ملحوظا لجميع قيم الخواص الميكانيكية المقاسه بعد اضافة الياف الكاربون .

جدول (2) نتائج الفحوص الميكانيكية و النسبة المئوية لالياف الكاربون

رقم النموذج	النسبة المئوية لالياف الكاربون	مقاومة الشد MPa	مقاومة الحني MPa	مقاومة الكبس MPa	معامل يونك MPa
1	-	4.7	13.68	15.12	200
2	1	6.7	23	22.2	1333
3	2	9	24.7	30.7	1875
4	3	9.8	29.3	38	1750
5	4	7.6	23.1	25	800
6	5	7.8	26	25.5	700

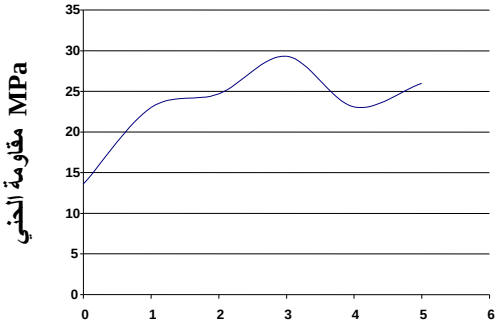
كما ونلاحظ من الجدول (2) ازدياد قيمة مقاومة الشد من (4.7MPa) للنموذج بدون الياف الى

(9.8 MPa) كقيمة عظمى بعد اضافة الياف الكاربون كما نلاحظ من مخططات فحص مقاومة الشد ازدياد قيمة انفعال الفشل (Failure strain) نتيجة اضافة الياف الكاربون وهذا يعطي للمادة قابلية تمدد اكبر قبل ان تفشل . والشكل (1) يبين تغير مقاومة الشد مع نسبة الياف الكاربون .



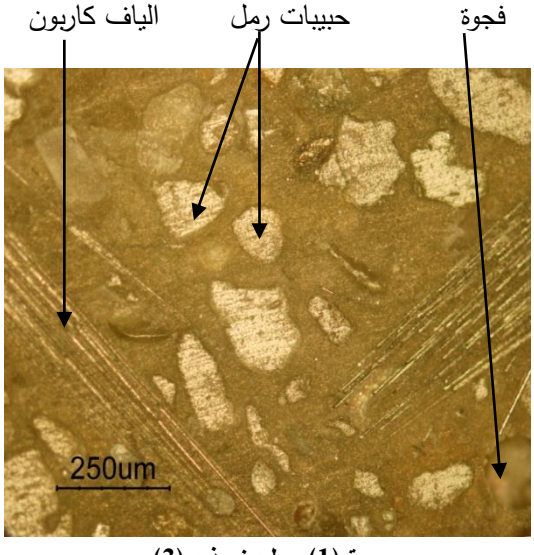
شكل (1) تغير مقاومة الشد مع نسبة الياف الكاربون

وازدادت قيمة مقاومة الحني من (13.68 MPa) الى (29.3 MPa) كأعظم قيمة لها بعد اضافة الالياف وهذا ما نلاحظه في من الشكل (2) .



شكل (2) تغير مقاومة الحني مع نسبة الالياف

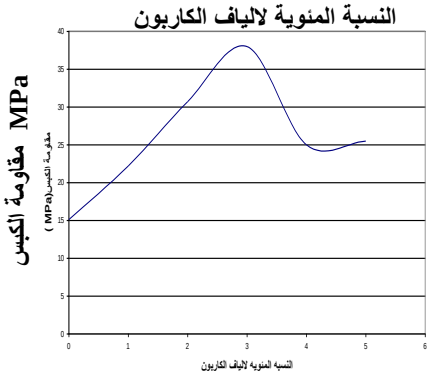
اما قيمة مقاومة الكبس او الانضغاط فقد ارتفعت من (15.12 Mpa) الى (38 MPa) كقيمة عظمى وكما واضح من الشكل (3) الذي يبين تغير مقاومة الكبس مع نسبة الياف الكاربون ومن خلال الاشكال الثلاثة اعلاه يمكن ملاحظة ان الزيادة ليست منتظمة بل متفاوتة ويعود السبب في ذلك الى عدم تجانس المواد جيدا اثناء التحضير حيث ان عملية الخلط جرت بصورة يدوية وهذا يؤدي الى عدم حصول التجانس التام للمواد بالاضافة الى وجود الفجوات الهوائية ، كما لوحظ بالمجهر المركب (صورة 1)



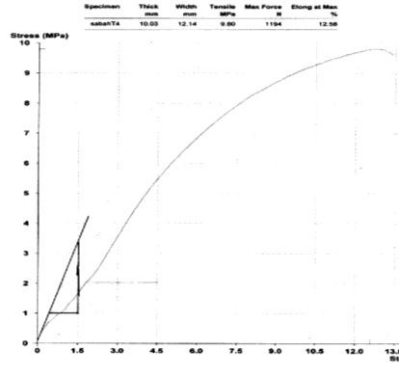
صورة (1) سطح نموذج (3)

اضافة الى ان الياف الكاربون تعتبر من المواد المتباينة الخواص Anisotropic حيث تختلف خواصها بالاتجاه الطولي عنها في الاتجاه العمودي. وبما ان الياف الكاربون وضعت بشكل عشوائي الاتجاه فمن الطبيعي ان يظهر هذا التفاوت في القيم . كما يمكن ان نلاحظ من جدول(2) ان اعلى القيم لمقاومة الشد ومقاومة الحني ومقاومة الكبس ظهرت عند نسبة الياف الكاربون 3% ولم نتمكن من زيادة نسبة الالياف

عن 5% لصعوبة الخلط والقولبه لان حجم الالياف يصبح كبيرا بالنسبة للنماذج .اما بالنسبة لمعامل يونك او معامل المرونه فقد تم حسابه من مخططات فحص مقاومة الشد حيث يحسب من ميل المماس للمنحني عند المنطقة المستقيمة والشكل (5) يوضح ذلك

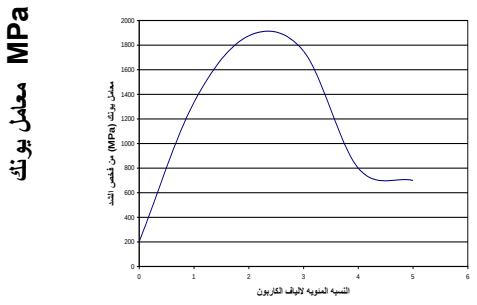


الشكل (3) تغير مقاومة الكبس مع نسبة الياف الكاربون



الشكل (5) مخطط فحص مقاومة الشد المستخدم لحسلب معامل يونك

وقد كانت اعلى قيمة مقاسه له بهذه الطريقه 1875 Mpaعند نسبة الياف الكاربون 2% بينما كان مقداره 200 MPa للنموذج بدون الياف.الشكل (6) يوضح تغيرقيم معامل يونك المقاسه.



الشكل (6) تغير قيم معامل يونك بطريقة فحص الشد مع نسب الياف الكاربون

References

Barbuta , M . and Harja, M . ,(2008) "Properties of Fiber Reinforced Polymer Concrete" .Bul. Inst. Polit .Iasi,t.LIV (LVIII) , f,3.

Blaga , A. ,(1974) Thermosetting Plastics , National Research council Canada , Canadian Building Digest CBD-159 , 1-6.

Blaga , A. ,(1979) Glass Fiber-Reinforced Polyester Composites. Canadian Building Digest CBD–205 pp1 – 7.

Bolton , W. ,(1998) Engineering Materials Technology , 3rd Edition pp7 Publisher. Newnes.

Banjamin , T. ,(1997) Fiber Reinforced Polymer Composites Applications in USA , Published in the First Korea / Road Workshop Proceeding , January. 1-8.

Ding, L.; Rizkalla, S .and Wu,G.(2010). Bond Mechanism of Carbon Fiber Reinforced Polymer Grid to Concrete" The 5th International

Conference of FRP Composite in Civil Engineering .Sep 27-29, 2010,Beijing, China.

Ferjani , M.; Abdulsamad,A. and Kasem,B.,(2013) Use of Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminate for Strengthening Reinforced Concrete Beams in Shear ".International Refreed Journal of Engineering and Science ,2(2) 45-53.

Harja , M.; Barbuta , M. and Rusu, L. (2009)." Obtaining and Characterization of the Polymer Concrete with Flyash. Journal of Applied Sciences ,9(1) 88-96.

Hulatt , L.C and Thorne, A. ,(2004) A novel Advanced Polymer Copmosites Concrets. Structure and Building 157 Issue SBI , 9-17.

Joao , Marciano . (2005). Mechanical Characterization of Fiber Reinforced Polymer Concrete . At. Res.8(3) 2-9

Mantrala, S.K and Vipulanandan , C . (1993)." Nondestractive Evaluation of Polymer Concrete . ACI Material Journal , 92(6) 660-668.

Muszynski ,(1983) Polyester Polymer Concrete Composites. United State Patent 4371639.

Ohama , Y . ,(1997) Recent Progress in Concrete – Polymer Composites Advanced Cement Based Materials . 5(2) 31-40.

Vipulanandan , C .and Pharmar, J. N. , (1988). Mechanical Behavior of Polymer Concrete Systems . Material and Structure Research and Testing , 21(24), 268-277