Effect of Adding Hemp Fiber on Some Properties of Concrete
أثير إضافة ألياف القنب على بعض خواص الخرسانة

محمد مجيد حميد / ماجستير هندسة مواد البناء/ الجامعة التكنولوجية 2003
مصلح عامر صالح / ماجستير هندسة مواد البناء/ التكنولوجية 2003

المستخلص:
يهدف هذا البحث الى دراسة تحسين مقاومة الخرسانة بالنسبة لأحمال الصدم باستعمال ألياف القنب للتسليح بنسب حجميه (1%,1.5%,2%) من حجم السمنت, كذلك تم إضافة أطيان البوكسايت المعالجة العراقي كمادة بوزولانية بنسبة 10% كتعويض جزئي من وزن الاسمنت.تم إجراء فحص مقاومة الانضغاط ومقاومة شد الانشطار وسرعة الذبذبات فوق الصوتية ومقاومة الصدم.
بينت نتائج الفحوصات ان الخرسانة المسلحة بألياف القنب والحاوية على بوزولانا البوكسايت أظهرت زيادة في مقاومة أحمال الصدم الواطئ السرعة بنسبة زيادة قدرها 506% بعمر 90 يوم.

Abstract:
This paper aim to study the improve the impact resistance of concrete by using hemp fiber with (1%,1.5%, 2%) as volumetric percentage of cement volume and also by adding 10% of the Iraqi Bauxite as a pozzolanic material as partial replacement by weight of cement. The tests that included in this study had Compressive strength, flexural strength, ultrasonic pulse velocity test and Impact Resistance.

Test results showed that concrete reinforced with hemp fiber and containing bauxite as a pozzolanic material showed increase in low velocity impact resistance with increase around 506% with in age of 90 days.

المقدمة:
ان البحوث والدراسات الحديثة التي اجريت على الخرسانة المسلحة بالألياف الطبيعية جميعها كانت تهدف الى استغلال الالياف النباتية المتوفرة بشكل كبير وبكلفة اقتصادية قليلة, واذا ما تم الوصول الى طريقة يمكن من خلالها انتاج خرسانة مسلحة بألياف نباتية ذات خواص جيدة في مجال امتصاص الطاقة ومقاومتها لأحمال الصدم فأنه يمكن القول أنه تم الحصول على مصدر طبيعي يستمد منه مواد بناء جديدة. ان الغرض الاساسي من اضافة الالياف الى الاسمنت أو الخرسانة بصورة عامة هو لتحسين الخواص الميكانيكية للمادة لذا من الضروري القاء نظرة على النظرية التي أدت الى فهم الاسلوب الذي به يتحقق تطوير خواص المادة المركبة. ان مصطلح (المواد المركبة) يشير الى المواد التي تتكون من اندماج مادتين أو أكثر ذات خصائص مختلفة للحصول على مادة جديدة ذات خصائص مميزة غير متوفرة في أي من المادتين لوحدها لكي تلائم اغراضا معينة [2,1].

الخرسانة المسلحة بالألياف مادة مركبة متكونة من الاسمنت الهيدروليكي والركام الناعم والخشن وألياف قصيرة موزعة خلال الكتلة الخرسانية, ومن المحتمل أن تحتوي على مواد بوزولانية ومضافات اخرى شاع استخدامها في الخرسانة الاعتيادية [3]. ان احتواء الخرسانة على العديد من الشقوق المجهرية (Microcracks) والتي تتوسع سريعا تحت تأثير الاجهادات المسلطة, هي المسؤولة عن كون الخرسانة ضعيفة نسبيا في مقاومة الشد. يمكن زيادة مقاومة الشد وكذلك مقاومة الانثناء عندما يتم استخدام الياف موزعة بمسافات متقاربة وبشكل عشوائي خلال المادة الرابطة, اذ تعمل الألياف على إعاقة انتشار الشقوق المجهرية بتوليد قوى تضييق عند راس الشق وبذلك تؤخر بدء الشقوق وتزداد مقاومة الشد عند تسليط الحمل على المادة المركبة [2,3]. ان معرفة خواص الالياف مهمة جدا لأغراض التصميم وتعتبر مقاومة الشد العالية لليف ضرورية لدورها الاساسي في التسليح. كذلك فأن النسبة العالية امعامل المرونة لليف الى معامل مرونة المادة الرابطة يسهل انتقال الإجهاد من المادة الرابطة لليف, كما ان القيمة العالية لأنفعال الفشل يجعل المادة المركبة ذات تمددية عالية (Extensibility) ويمكن التغلب على مشاكل الترابط (Debonding) بين الليف والمادة الرابطة عند السطح البيني بامتلاكها نسبة بواسن واطئة [4].تم الاستناد في هذا البحث على النتائج المستحصلة من قبل الباحث محمد مجيد [5].

المواد المستعملة:
الاسمنت:
استعمل الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي من إنتاج معمل كبيسة في جميع الخلطات. تم تخزين الكمية في حاويات بلاستيكية محكمة الغلق للمحافظة عليه من الرطوبة والتغيرات الجوية وقد أجريت عليه الفحوصات الكيميائية والفيزيائية بموجب المواصفة العراقية رقم 5 لسنة 1984.

الركام الناعم:

استعملت رمال منطقة الاخيضر بعد غربلته على منخل مقاس 4.75 ملم. أجريت عليه الفحوصات الخاصة بالرمل وحسب متطلبات المواصفة العراقية رقم 45 لسنة 1984 وكان تدرجه ضمن (المنطقة الثالثة).

الركام الخشن:

استخدم حصى منطقة النباعي النهري وبمقاس أقصى قدره 10 ملم وغير مكسر وبتدرج مطابق للمواصفة العراقية لسنة 1984.

الماء:

استعمل ماء الإسالة الاعتيادي في عملية الخلط وكذلك في عملية معالجة النماذج الخرسانية.

الملدن المتفوق

استعمل الملدن المتفوق من نوع Sulfonated Melamine Formaldehyde والمعروف تجاريا (Melment L10) استعمل في هذه الدراسة لتحسين قابلية التشغيل فقط للحفاظ على ثبات قيمة الهطول للخرسانة المسلحة بألياف القنب مع وبدون البوكسايت. المضاف تم تجهيزه من قبل شركة بغداد لكيميائيات البناء المحدودة والجدول (1) يبين مواصفات الملدن حسب ما قدمته الشركة المنتجة [6].

الجدول (1) خواص الملدن المتفوق بموجب مواصفات الشركة المنتجة

العمل الاساسي	ملدن متفوق للخرسانة
التأثير الجانبي	معجل لتصلد الخرسانة
القوام	حليبي الى شفاف
نسبة المواد الصلبة في المحلول (التركيز)	%20
الكثافة(غم/سم3)	1.1
محتوى الكلوريدات	أقل من 0.005%
محتوى السكر	لا يوجد
الرقم الهيدروجيني(pH)	9-7
صلاحية المادة	صالح للاستعمال لمدة سنتين من تاريخ الإنتاج على أن لا يتعرض الى حرارة عالية

ألياف القنب

استعملت ألياف القنب التي تم جلبها من السوق المحلية على شكل حبال ثم قطعت الى مقاس (50)ملم طول وفرقت يدويا لغرض توزيعها عشوائيا في الخلطة الخرسانية بطريقة النثر. ويوضح الجدول (2) بعض الخصائص الفيزيائية لهذه الألياف كما جاء في أغلب المصادر [7], كونها الياف نباتية ثابتة المواصفات و لصعوبة اجراء هذه الفحوصات مختبرياً لعدم وجود الاجهزة في العراق.

جدول (2) الخواص النموذجية لألياف القنب [7]

الكثافة (غم/سم3)	مقاومة الشد (نت/م2)	معامل المرونة (GPa)	نسبة (E/الكثافة)	الاستطالة عند الفشل (%)	الامتصاص (%)
1.48	900-500	70	47	1.6	8

المادة البوزولانية

البوكسايت:

تم جلب البوكسايت غير المحروق والمطحون بصورة ناعمة بطواحين كروية في الشركة العامة للصناعات الحرارية في مدينة الفلوجة ثم بعد ذلك تم حرقه بافران خاصة وبدرجات حرارة مختلفة ولمدة ساعتين لحين التوصل الى الدرجة المناسبة للحرق والتي قيمتها (950°م) من خلال اجراء الفحص على المادة الناتجة و هو فحص التركيب المعدني بجهاز حيود الاشعة السينية (XRD) وكما موضح في الشكل (1) وكذلك اجريت الفحوصات الكيميائية والفيزيائية وقورنت بما جاء في المواصفة القياسية ASTM C618 [8] وكما مبين في الجدولين (3) و(4) على التوالي.

المادة الناتجة تم طحنها في طاحونة كروية بورسيلينية لمدة 10 ساعات وحددت النعومة بعدها بايجاد النسبة المئوية المتبقية على غربال رقم 325 (45 مايكرون) باستخدام الطريقة الرطبة.

جدول (3) المتطلبات الكيميائية للبوكسايت بموجب المواصفة (ASTM C618-89)

الاوكسيد	البوكسايت (%)	حدود المواصفة القياسية ASTM C618-89
SiO2	14.62	الحد الأدنى 70
Al2O3	65.6	
Fe2O3	1.43	
Na2O	0.17	الحد الأعلى 1.5
K2O	0.53	
SO3	0.45	الحد الأعلى 4
Moisture Content	0.24	الحد الأعلى 3
L.O.I	1.29	الحد الأعلى 10

الجدول (4) المتطلبات الفيزيائية للبوكسايت بموجب المواصفة (ASTM C618-89)

الخواص الفيزيائية	البوكسايت	حدود المواصفة القياسية ASTM C618-89
النعومة(%) (النسبة المتبقية على غربال رقم 325, 45مايكرون)	18.6	الحد الاعلى 34
الوزن النوعي	2.85	
دليل الفعالية البوزولانية	104	الحد الادنى 75
الانسياب (%)	115	الحد الاعلى 115

أطيان البوكسايت

يعرف البوكسايت بأنه خليط من مواد خام معدنية ويتكون بشكل نسبي من اوكسيد الالمنيوم المرتبط بجزيئة أو أكثر من الماء مع كمية واطئة من السيليكا وبعض الشوائب (SiO2, Na2O, MgO, CaO, TiO2, Fe2O3, K2O) وان اوكسيد الالمنيوم المائي هو عبارة عن الجبسايت (Al2O3.H2O) والبوهمايت (Al2O3.H2O) والدسبور (Al2O3.H2O). في عام 1821 تمكن العالم الفرنسي Bertheir من بدأ ابحاثه حول نوع معين من أنواع الصخور الحاوية على نسبة من الالمنيوم الحديدي والمتواجد أصلا بالقرب من قرية لس بوكس (Les Baux) الواقعة جنوب فرنسا حيث لاحظ من خلال التحليل الكيميائي بأن الالومينا ترتبط بجزيئتي ماء [9]. وفي العراق اكتشفت صخور البوكسايت خلال نيسان من عام 1990 أثناء الأعمال الاستطلاعية التي قام بها مصطفى [10] ضمن مشاريع الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين, ويقع منجم البوكسايت العراقي في شمال وادي الحسينيات في الصحراء الغربية على بعد 240 كم غرب مدينة الرمادي في محافظة الانبار.

الشكل (1) فحص حيود الاشعة السينية لمادة البوكسايت

ملاحظة: اجري الفحص في مقر الشركة العامة للمسح الجيولوجي و التعدين /بغداد/ساحة الاندلس

دليل الفعالية البوزولانية (P.A.I)

لأيجاد دليل الفعالية البوزولانية لمادة البوكسايت المحروق (calcined bauxite) تم اعتماد المواصفة الامريكية (ASTM C311-89) [11] حيث اجري الفحص بتحضير نوعين من الخلطات لملاط السمنت, الخلطة المرجعية (B) بنسب (1 سمنت: 2.75 رمل) والخلطة التجريبية (A) عوض فيها عن جزء من وزن الاسمنت بنسب (10%, 20%, 30%, 40%) من مسحوق البوكسايت المحروق. تم خلط جميع أنواع الملاط يدويا ولفترة كافية للحصول على التجانس المطلوب. أما نسب (الماء/الاسمنت) أخرجت لتحقق انسياب مقداره (110%-115) للخلطة المرجعية وكما موضح في الجدول رقم (5)مع بيان قيم دليل الفعالية البوزولانية.

تم استخدام ثلاث قوالب مكعبة (50)ملم لصب النماذج وبعد عملية الصب تم حفظ القوالب بدرجة حرارة (23±2) ورطوبة نسبية لا تقل عن (90%) ولمدة 24 ساعة ثم اخرجت النماذج من القوالب ووضعت في حاويات معدنية رقيقة سعة الواحدة منها ثلاث نماذج ثم اغلقت وخزنت في الفرن بدرجة حرارة (38) ولمدة 27 يوم وبعد المدة المذكورة اخرجت النماذج من الفرن

وتركت لتبرد الى درجة حرارة 23 وبعد ذلك فحصت مقاومة انضغاطها واخذ المعدل الحسابي لثلاث نماذج لكل نوع من أنواع الملاط الخمسة ولآيجاد دليل الفعالية البوزولانية استخدمت العلاقة التالية:

P.A.I=An/B*100 ----------(1)[11]

An: معدل مقاومة الانضغاط لكل من خلطات الملاط التجريبية.
B: معدل مقاومة الانضغاط لخلطة الملاط المرجعية.

الجدول (5) قيم دليل الفعالية البوزولانية

نوع الخلطة	الملدن(%)	نسبة(w/c)	الانسياب (%)	دليل الفعالية البوزولانية
R	0	0.55	115	-
B10	1.8	0.55	115	104
B20	3	0.55	114	101.85
B30	4	0.55	114	97.67
B40	5.5	0.55	113	94.59

تصميم الخلطة الخرسانية

استخدمت الطريقة البريطانية (Building Research Establishment Method) في تصميم الخلطة الخرسانية وقد صممت الخلطة للحصول على مقاومة انضغاط 40 نيوتن/مم2 كحد أدنى بعمر 28 يوم باستخدام الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي بمحتوى513 كغم/م3 وركام خشن غير مكسر بمقاس أقصى 10 ملم وهطول مقداره (70±5) مم ونسبة (ماء/اسمنت) 0.4 ونسب الخلط كانت (1 سمنت:1.156 رمل:2.001 حصى) حجمياً.

الخلطات التجريبية:

استخدمت نسبة الخلط المذكورة آنفا في جميع الخلطات مع نسب حجمية مختلفة من ألياف القنب (1.0%, 1.5%, 2.0%) من حجم السمنت, وباضافة10% من البوكسايت كتعويض جزئي من الاسمنت ولجميع الفحوصات ما عدا فحص مقاومة الانضغاط فقد عوضت نسب (10%, 20%, 30%, 40%) للحصول على النسبة المثلى والتي تبين لاحقا انها 10% من وزن الاسمنت.

تحضير النماذج وصبها ومعالجتها:

جميع النماذج تم صبها في قوالب حديدية بعد تنظيفها وتزييت أوجهها الداخلية لمنع التصاق النماذج. ملئت القوالب بالخرسانة على عدة طبقات حسب المواصفات ورصت باستخدام المنضدة الهزازة لمدة (10-15)ثانية للخرسانة المرجعية,و(30-45) ثانية للخرسانة الحاوية على الالياف القنب للحصول على أفضل تجانس. بعدها يتم تسوية سطح الخرسانة وترك في وسط ذو رطوبة نسبية عالية وبدرجة حرارة (24±2)م لمنع تبخر الماء من الخرسانة. بعد مرور 24 ساعة تفتح القوالب وتغمر النماذج كليا في أحواض معالجة تحتوي على ماء الشرب الاعتيادي لحين موعد فحصها.

الفحوصات ومناقشة النتائج

قابلية التشغيل (Workability)

تعرف قابلية التشغيل على انها مقدار أو كمية الشغل الداخلي النافع اللازم للحصول على رص متكامل للخرسانة الطرية. وقابلية التشغيل المطلوبة تعتمد بدرجة كبيرة على طرق الرص (Compaction) المتوفرة, فقد تستعمل طريقة الرج (Vibration) أو الدك اليدوي (Ramming) في عملة الرص لطرد الهواء من الخرسانة الطرية [12, 13].لقد اعتمد في هذه الدراسة فحص الهطول (Slump test) وهذا الفحص لايقيس قابلية التشغيل للخرسانة كما هو معروف ولكنه مفيد جدا في الكشف عن التغيرات الحاصلة في المواد الداخلة في تكوين الخرسانة بين فترة وأخرى أوعند تغيير أي عنصر من عناصر الخلطة.

ان استعمال المواد البوزولانية أو إضافة الألياف الى الخرسانة يؤثر بشكل كبير في قابلية التشغيل مما يجعل الخلطة صعبة الرص وهذا يتوافق مع ما وجده سرمد [14], وللتغلب على هذه المشكلة فقد تم استخدام الملدن المتفوق في هذه الدراسة للحصول على خرسانة انسيابية وتوزيع متجانس للألياف في الخلطة الخرسانية,ويشير الجدول (6) الى نتائج فحص الهطول للخرسانة الاعتيادية وللخرسانة الحاوية على نسب مختلفة من البوكسايت (10%, 20%, 30%, 40%) كتعويض جزئي عن وزن الاسمنت والخرسانة المسلحة بألياف القنب بنسب حجمية (1%, 1.5%, 2%) مع استخدام جرعات مختلفة من الملدن المتفوق كنسبة مئوية من وزن الاسمنت لجعل الخرسانة بانسيابية كافية للحصول على هطول ثابت مقداره (5±70)مم.

جدول (6) نتائج فحص الهطول

الخلطة	محتوى الالياف(%)	محتوى البوكسايت(%)	الهطول (ملم)	الملدن المتفوق (%)
R	0	0	75	0.0
B10	0	10	72	2.9
F1	1.0	0	73	0.45
F1.5	1.5	0	71	1.0
F2	2.0	0	69	1.3
BF1	1.0	10	70	3.9

مقاومة الانضغاط (Compressive Strength)

اجري هذا الفحص وفقا للمواصفة البريطانية (B.S. 1881 part 116-1983) والمعدلة لسنة 1989 باستخدام قوالب مكعبة (100) ملم, استخدمت ماكنة الفحص القياسية ذات سعة (2000) كيلو نيوتن من نوع (ELE Digital 2000) وبمعدل تحميل (15 نيوتن/مم^2/دقيقة) وتم فحص النماذج بثلاث أعمار (7, 28, 90) يوم وأخذ المعدل الحسابي لمقاومة الانضغاط لثلاث نماذج لكل عمر.

تعتبر مقاومة الانضغاط المعيار في تحديد نوعية الخرسانة وتعطي صورة شاملة ودليل جيد لمعظم خواصها الاخرى ذات الاهمية العملية لأن مقاومة الخرسانة تتعلق بصورة مباشرة بهيكل وبنية عجينة الاسمنت المتصلبة. تعتمد مقاومة الانضغاط بصورة رئيسية في عمر معين وفي درجة حرارة محددة على عاملين مهمين هما نسبة(الماء/الاسمنت) ودرجة الرص ويمكن أن يعبر عنهما بنسبة (الهلام/الفراغ). تتأثر مقاومة الانضغاط بالعديد من العوامل الأخرى كنسب الخلط ونوع الركام ونوع الاسمنت وغيرها من العوامل المعروفة.

جدول رقم (7) يبين نتائج فحص مقاومة الانضغاط بأعمار مختلفة (7, 28, 90) للخرسانة المرجعية والخرسانة المسلحة بنسب مختلفة من ألياف القنب (1.0%, 1.5%, 2.0%)

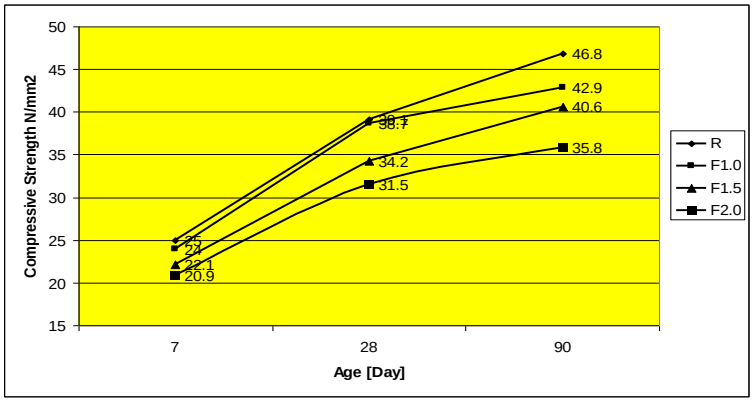
جدول (7) نتائج فحص مقاومة الانضغاط

الخلطة	مقاومة الانضغاط نت/مم2 العمر (يوم)		
	7	28	90
R	25	39.1	46.8
B10	23.8	36.9	48.3
F1.0	24	38.7	42.9
F1.5	22.1	34.2	40.6
F2.0	20.9	31.5	35.8
BF1.0	23.7	32.7	43.6
BF1.5	21.3	30.3	42.1
BF2.0	20.2	28	36.6

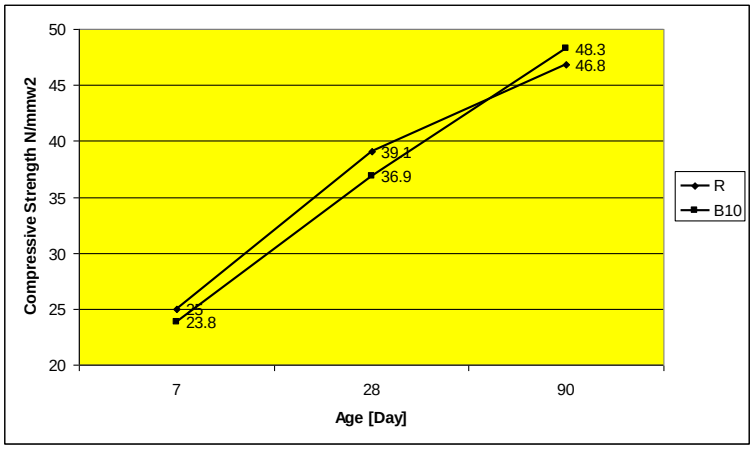
في النماذج الخرسانية المسلحة بنسب حجمية مختلفة من ألياف القنب (1%, 1.5%, 2%) هناك انخفاض ملحوظ في مقاومة الانضغاط بالمقارنة مع الخرسانة غير المسلحة, وان هذا الانخفاض يزداد بزيادة نسبة الألياف في الخلطة. ان أدنى نسبة انخفاض كانت 1% بعمر 28 يوم وأقصى نسبة انخفاض كانت 23.5% بعمر 90 سوم. وهذا يتفق مع ما حصل عليه الباحثون [15, 16, 17] لكنه لا يتفق مع السلوك الذي لاحظه النعيمي [14] ويعزى هذا الانخفاض الى ان الخلطات الخرسانية المسلحة بألالياف تصبح صعبة الخلط والرص وبالتالي سوف يؤدي ذلك الى التوزيع الغير متجانس للألياف داخل الخلطة مما يؤدي الى زيادة الهواء الداخل أي زيادة في المسامية لهيكل عجينة الاسمنت المتصلبة, ان هذا التوزيع غير المتجانس يؤدي الى اصطفاف بعض الألياف بشكل مواز لاتجاه تسليط الحمل مما يخلق مناطق ضعيفة وبذلك تقل المقاومة.

في النماذج الخرسانية المسلحة بنسب حجمية مختلفة من الياف القنب (1%, 1.5%, 2%) والحاوية على البوكسايت كتعويض جزئي من وزن الاسمنت لوحظ انخفاض مقاومة الانضغاط بالمقارنة مع الخرسانة الاعتيادية وهذا الانخفاض الحاصل هو نتيجة التأثير المزدوج لوجود الألياف والبوزولانا.في حين كانت هناك زيادة في مقاومة الانضغاط للخرسانة بعمر 90 يوم عند مقارنتها مع الخرسانة المسلحة والغير حاوية على البوكسايت ويرجع ذلك الى نشاط الفعالية البوزولانية في هذا العمر.

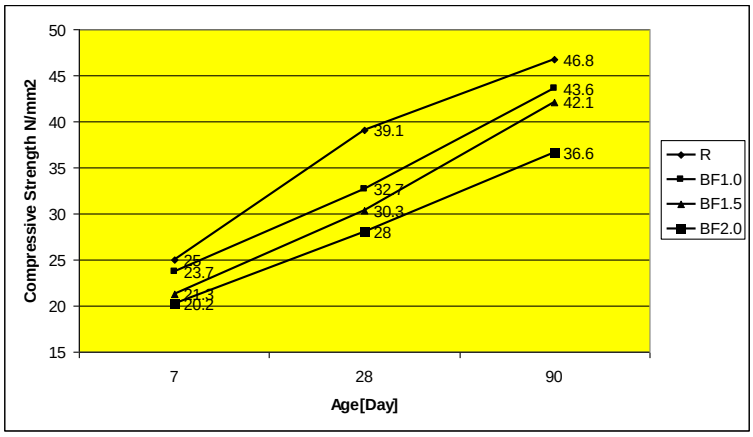
ان حدوث زيادة أو انخفاض في مقاومة الانضغاط للخرسانة المسلحة بالألياف يعتمد على خصائص الخلطة الخرسانية من حيث قابلية تشغيلها, مقدار الفجوات الهوائية وطريقة الخلط والصب والمقاس الأقصى للركام الخشن وحجم الألياف ونوعها والنسبة الباعية وتوزيعها. تقل مقاومة الانضغاط عندما تقل الكثافة نتيجة لأضافة الياف القنب ويزداد هذا الانخفاض بزيادة النسبة الحجمية للألياف ويوضح كل من الشكلين (2) و(3) هذا السلوك. ان انخفاض كثافة الخرسانة المسلحة بالياف القنب بالمقارنة مع الخرسانة الاعتيادية يرجع الى الكثافة الواطئة لهذه الألياف إضافة الى تكون الفجوات الهوائية المرافقة لألياف القنب.



الشكل (2) مقاومة الانضغاط لخلطات الخرسانة المسلحة بنسب مختلفة من ألياف القنب



الشكل (3) تأثير إضافة 10% من أطيان البوكسايت على مقاومة الانضغاط للخرسانة



الشكل (4) مقاومة الانضغاط للخرسانة المسلحة بنسب مختلفة من ألياف القنب والحاوية على 10% من أطيان ابوكسايت

مقاومة شد الانشطار(Flexural Strength)

في فحص شد الانشطار غير المباشر اعتمدت المواصفة القياسية البريطانية (B.S. 1881: part 117: 1983) والمعدلة لسنة 1989, استخدم للفحص نموذج الاسطوانة (100*200) ملم ولأجل التغلب على الاحتكاك وضعت صفيحتين من الخشب الملطف بالزيت بابعاد (b=152, t=4±1 مم, L>D) بين سطحي النموذج الملامسين لفكي ماكنة الفحص حيث تستعمل لمرة واحدة فقط, وتحسب مقاومة الشد من العلاقة التالية:

$$\delta = 2P/\pi dL \text{ ----------(3)}$$

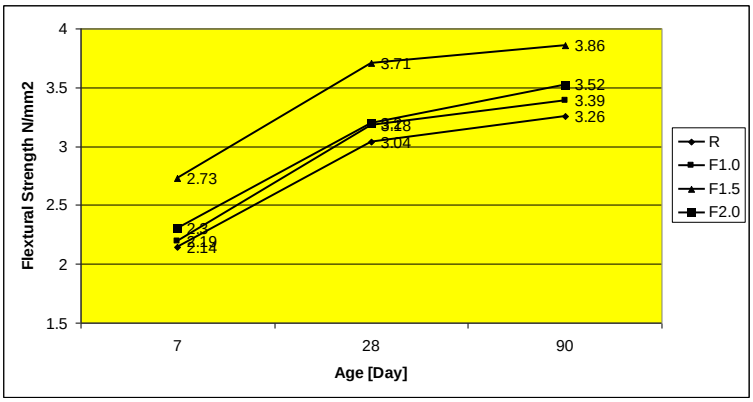
P: أقصى حمل عند الفشل (نت)
d: قطر الاسطوانة (مم)
L: طول الاسطوانة (مم)

بصورة عامة لا يتوقع من الخرسانة مقاومتها للشد المباشر بسبب ضعف مقاومة شدها النسبية وطبيعتها القصيفة (Brittle) ولكن معرفة مقاومة شدها تكون ذات أهمية لتقدير الحمل الذي تحصل عنده التشققات في الخرسانة.
يبين الجدول (8) نتائج فحص مقاومة شد الانشطار للخرسانة الاعتيادية والخرسانة المسلحة بنسب مختلفة من الياف القنب (1%, 1.5%, 2%) وبأعمار مختلفة (7, 28, 90) يوم والممثلة بالاشكال (5) و(6).
وفيما يلي عرض ومناقشة النتائج:
تزداد مقاومة شد الانشطار مع تقدم عمر الاماهة وكما مبين في الجدول (8) والاشكال (5) و (6) وان مقدار الزيادة يقل مع تقدم العمر حيث كانت الزيادة عند عمر 28 يوم (432%, 35.9%) للخلطات (R, $F_{1.5}$)على التوالي بالمقارنة مع عمر 7 يوم وكانت الزيادة عند عمر 90 يوم (7.2%, 4%) للخلطات (R, F1.5) على التوالي بالمقارنة مع عمر 28 يوم.
تزداد مقاومة شد الانشطار للخرسانة المسلحة بالياف القنب طرديا مع زيادة النسبة الحجمية للألياف لحين الوصول الى النسبة القصوى (1.5%) بعدها تتناقص المقاومة, وقد لوحظ سلوك مشابه من قبل عدة باحثين [14, 15, 16, 17, 18] ويعزى السبب في نقصان

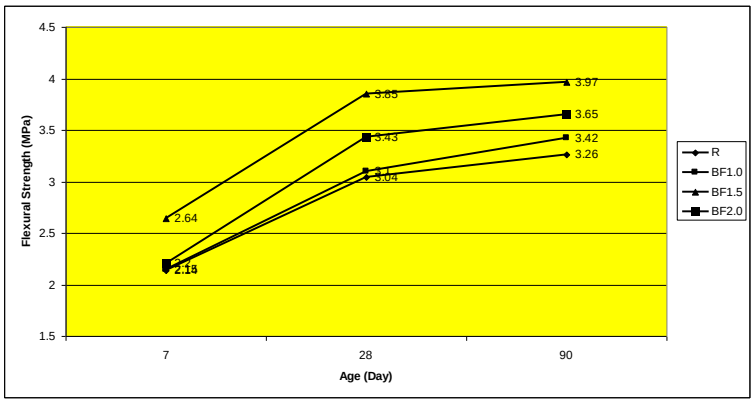
مقاومة الشد الى حدوث ظاهرة (التكور) مما يؤدي الى التوزيع غير المتجانس للألياف فعندها تقل نسبة الألياف الموجودة في منطقة الشد للنموذج فتقل المقاومة علما ان أعلى زيادة في المقاومة بلغت (18.4%) للنسبة القصوى.
لقد لوحظ عند فحص النماذج للخرسانة الاعتيادية إن النموذج ينفصل على طول الخط المحوري وينفصل إلى قطعتين متناظرتين, أما بالنسبة للخرسانة المسلحة بألياف القنب فأن النماذج تبقى قطعة واحدة, ولا تنفصل حتى عند تجاوز الحمل الأقصى للفشل مع ظهور شق رفيع على طول الخط المحوري للنموذج.
نلاحظ من خلال النتائج ان النماذج الخرسانية المسلحة بألياف القنب والحاوية على بوزولانا البوكسايت وجود تحسن في مقاومة شد الانشطارمع زيادة النسبة الحجمية للألياف وصولا الى النسبة القصوى (1.5%) ثم عاودت لتنخفض عند النسبة (2%) ويعزى ذلك الى حدوث ظاهرة التكور, كما نجد ان أعلى نسبة للزيادة في المقاومة كانت 21% بالمقارنة مع الخرسانة الاعتيادية. يظهر دور بوزولانا البوكسايت من خلال النتائج التي تم الحصول عليها ونجد ان نسبة الزيادة في النماذج الحاوية على البوكسايت أعلى من منها في النماذج الخالية من هذه الالياف. ويعزى ذلك الى ان البوزولانا تعمل على تحسين التلاصق بين عجينة الاسمنت والألياف.

جدول (8) نتائج فحص مقاومة شد الانشطار

الخلطة	مقاومة شد الانشطار نت/ملم2		
	العمر (يوم)		
	7	28	90
R	2.14	3.04	3.26
$F_{1.0}$	2.19	3.18	3.39
$F_{1.5}$	2.73	3.71	3.86
$F_{2.0}$	2.30	3.2	3.52
$BF_{1.0}$	2.15	3.10	3.42
$BF_{1.5}$	2.64	3.85	3.97
$BF_{2.0}$	2.20	3.43	3.65



الشكل(5) مقاومة شد الانشطار للخرسانة المسلحة بنسب مختلفة من الياف القنب



الشكل(6)مقاومة شد الانشطار للخرسانة المسلحة بنسب حجمية مختلفة من الياف القنب والحاوية على أطيان البوكسايت

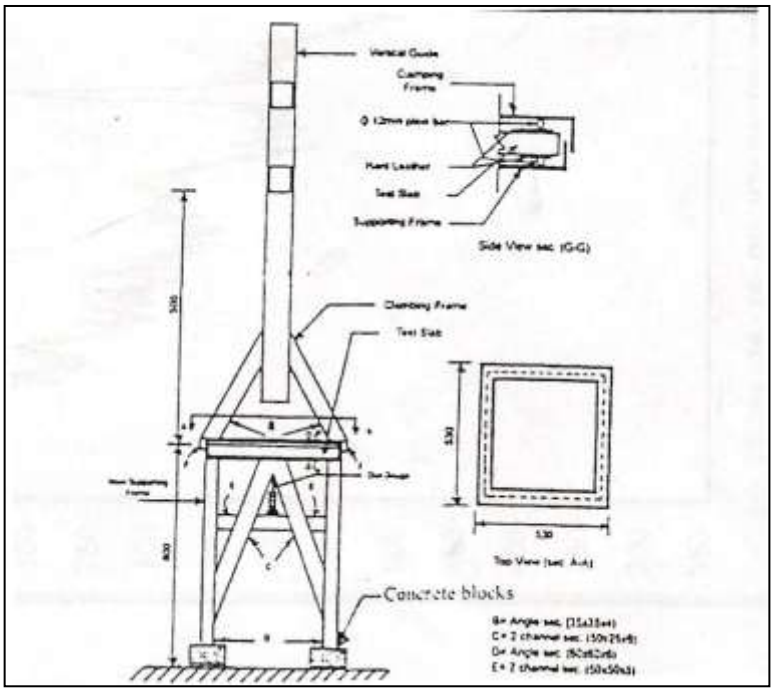
مقاومة الصدم (Impact Resistance)

هنالك فحوصات عديدة تم اتخاذها لقياس مقاومة الصدم للخرسانة المسلحة بالألياف, وقد تم في هذا البحث إجراء فحص الصدم واطئ السرعة بالوزن الساقط المتكرر (Low velocity impact by repeated dropping weight test) وبحسب ما جاء في تقرير لجنة المعهد الأمريكي (ACI Committee 544), تم تهيئة ثلاث نماذج لبلاطة خرسا نية (50 × 50 × 500)مم لغرض الفحص.

يتكون جهاز الفحص من ثلاث أجزاء رئيسية وكما موضح في الشكل (7).

والمبينة تفاصيله كما يأتي:

1. هيكل الإسناد الخارجي: مصنع من حديد الفولاذ ليتحمل الصدمات أثناء الاختبار, يتكون من قاعدة مربعة الشكل مصنعة من حديد الزاوية يستقر فيها النموذج محمولة على أربعة أعمدة, وتوفر هذه القاعدة إسنادا بسيطا لحافات البلاطة الأربع. أسفل الحافات يوضع شريط من المطاط بسمك 4مم وعرض 50 مم لتوفير إسناد منتظم على طول الحافات.
2. نظام إسقاط الوزن: يتكون من أنبوب ذو مقطع دائري قطره 105مم مثبت إلى هيكل يستند الى القاعدة العلوية للبلاطة بحيث تقابل فتحته مركز البلاطة ويستعمل هذا الأنبوب لإسقاط الكتلة خلاله من على ارتفاع 2500مم, أي من خلال الفتحة الأخيرة له.
3. الصادم: عبارة عن كرة فولاذية ذات كتلة مقدارها (1) كغم يتم إسقاطها من الارتفاع المطلوب سقوطا حرا على مركز البلاطة وبشكل متكرر لحين حدوث الفشل.



شكل (7) جهاز فحص مقاومة الصدم الواطئ السرعة

تعد دراسة خصائص مقاومة الصدمات من المتغيرات التطبيقية ذات الأهمية العلمية في معرفة مدى صلاحية المركب كمادة انشائية لأغراض صناعية خاصة, منها على سبيل المثال لا الحصر الركائز الخرسانية والمنشآت الهيدروليكية وارصفة المطارات واكساء الارضيات والجدران المحصنة لمقاومة قوى الصدم والعصف. في هذه الدراسة استخدم فحص (الوزن الساقط المتكرر) المقترح من قبل لجنة (ACI)[19] لتقييم مقاومة الصدم للخرسانة الاعتيادية وللخرسانة المسلحة بالألياف بشكل غير مباشر من خلال حساب عدد الضربات المسببة لكل من الشق الاول (First Crack) والفشل الاقصى (Ultimate Failure) للنموذج وهو فحص بسيط وعملي.

يبين الجدول (9) معدل عدد الضربات اللازمة لحصول الشق الاول والفشل الأقصى لنماذج الخرسانة الاعتيادية والخرسانة المسلحة بألياف القنب (1%, 1.5%, 2.0%) الحاوية على البوكسايت بعمر 90 يوم والممثلة بالاشكال [9, 10, 11, 12].

من خلال قراءة النتائج نلاحظ زيادة في عدد الضربات مع زيادة النسبة الحجمية للألياف حيث كانت الزيادة قليلة لمقاومة الشق الاول للخلطات(F1,F2) بنسبة زيادة (14.2%, 28.6%) على التوالي في حين كانت الزيادة أكبر للخلطة الحاوية على (2%) من الياف القنب حيث ان نسبة الزيادة كانت (300%).

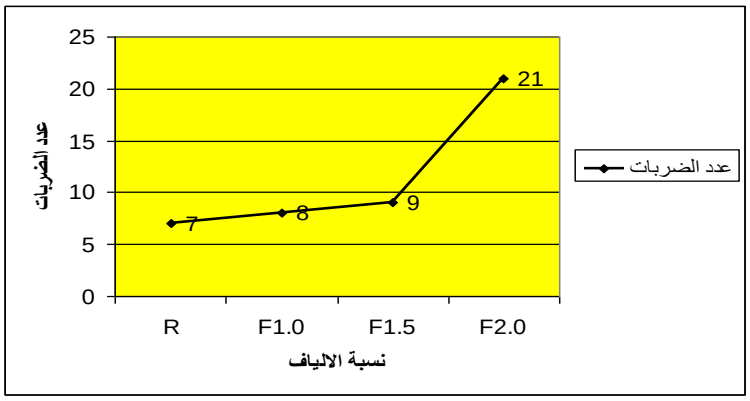
يعتمد شكل الفشل على مقاومة الركام والمادة الرابطة ومقاومة التلاصق بين الركام والمادة الرابطة ومع الالياف وعلى مقاومة التلاصق بين الليف والمادة الرابطة [4]. ان الشكل الرئيسي لتصدع الخرسانة الاعتيادية هو فشل من النوع القصيف (Brittle Failure) ويحصل خلال الركام وعلى شكل فشل شد (Tensile Failure) بالرغم من حصول سحق موقعي وقص في

منطقة صدم الكتلة. كما لوحظ تكون شقوق شعاعية تبدا من المنتصف وتنتهي عند حافات النموذج, كذلك لوحظ عدم انفصال قطع النموذج حيث بقيت محافظة على تماسكها ما عدا حدوث فجوة في منطقة صدم الكتلة فقط.

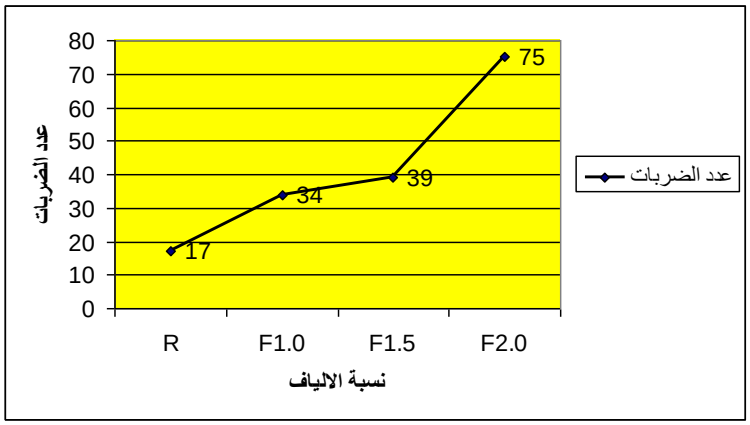
ان التحسين في مقاومة الصدم للخرسانة المسلحة بالياف القنب قد لوحظ تصرف مماثل له من قبل عدة باحثين [20]. تتصرف الخرسانة المسلحة بالالياف الطبيعية كمادة متجانسة ضمن حدود معينة, فالتوزيع العشوائي والنسبة العالية للسطح الى الحجم (السطح النوعي) للياف ينتجان ميكانيكية أحسن لكبح التشقق [20], ومع استعمال محتوى قليل للألياف والذي هو عادة ما يستعمل في المركبات الاسمنتية من 2% الى 4% فان الانفعال عد حصول التشقق في المادة لا يختلف كثيرا عن ذلك الملاحظ في عجينة السمنت الاعتيادية أو المونة أو الخرسانة. كما تمتص كمية مهمة من الطاقة اذا هي سحبت من المادة الإسمنتية بدون ان تنكسر, وعلى أي حال فان اضافة الياف طبيعية قصيرة في مركبات المواد ذات الاساس الاسمنتي يزيد من مقاومة الشق.

جدول (9) مقاومة الصدم واطئ السرعة

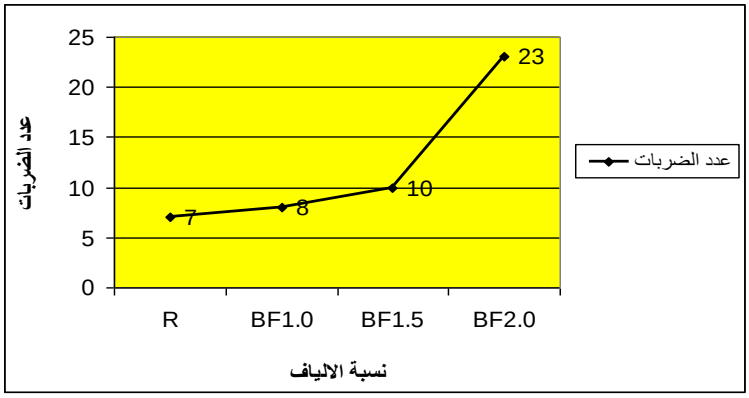
الخلطة	النسبة الحجمية للألياف (%)	عدد الضربات المسببة للشق الاول (ضربة)	نسبة الزيادة في عدد الضربات المسببة للشق الاول (%)	عدد الضربات المسببة للفشل (ضربة)	نسبة الزيادة في عدد الضربات المسببة للفشل (%)
R	0	7	-	17	-
RF1.0	1	8	14.2	34	200
RF1.5	1.5	9	28.6	39	229
RF2.0	2	21	300	75	441
BF1.0	1	8	14.2	37	218
BF1.5	1.5	10	142.8	44	259
BF2.0	2	23	328.6	86	506



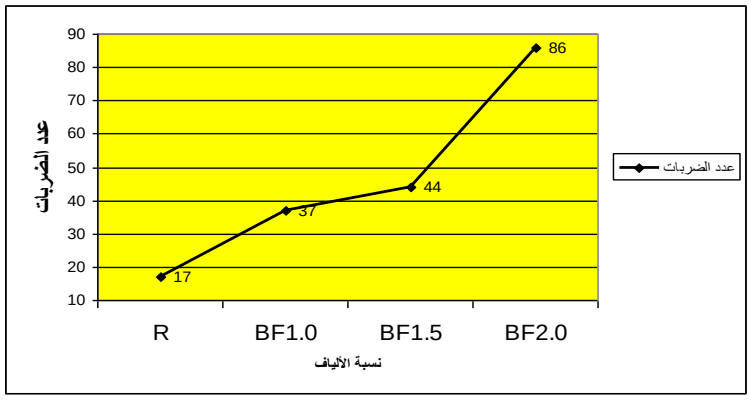
الشكل (8) مقاومة الصدم ممثلة بعدد الضربات المسببة للشق الأول في بلاطات الخرسانة المسلحة بألياف القنب



الشكل (9) مقاومة الصدم ممثلة بعدد الضربات المسببة للفشل في بلاطات الخرسانة المسلحة بألياف القنب



الشكل (10) مقاومة الصدم ممثلة بعدد الضربات المسببة للشق الاول في بلاطات الخرسانة المسلحة بنسب مختلفة من ألياف القنب وحاوية على 10% من أطيان البوكسايت



الشكل (11) مقاومة الصدم ممثلة بعدد الضربات المسببة للفشل في بلاطات الخرسانة المسلحة بنسب مختلفة من ألياف القنب والحاوية على 10% من أطيان البوكسايت

فحص سرعة الموجات فوق الصوتية (Ultra Sonic Pulse Velocity Test)

ان فحص سرعة الذبذبات فوق الصوتية هو أحد أنواع الفحوص الغير إتلافية التي يتم بواسطتها تعيين بعض الخواص الفيزيائية للخرسانة كمقاومة الانضغاط ومعامل المرونة.

من الضروري استعراض الظروف التي تم فيها إجراء الفحوص فالنماذج فحصت وهي مشبعة بالماء وهذا يزيد من سرعة الذبذبات فوق الصوتية ودرجة الحرارة عند الفحص تراوحت بين (25-40) درجة مئوية أي ضمن المدى غير المؤثر على سرعة الذبذبات والمشار إليه في المواصفة القياسية (BS: 1881 :Part 203-1986).

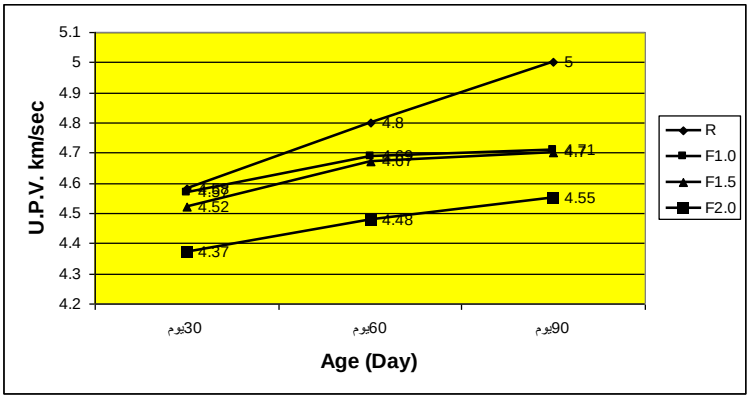
من خلال النتائج المثبتة في الجدول (10) والموضحة في الأشكال (12 و13) نستنتج الأتي:

أ. تزداد سرعة الذبذبات فوق الصوتية لنماذج الخرسانة الاعتيادية والخرسانة المسلحة بالألياف الحاوية على البوكسايت وبدونه, وترتبط هذه الزيادة بهيكل بنية الخرسانة لأن سرعة الذبذبات فوق الصوتية تعتبر انعكاسا لنوعية الخرسانة.

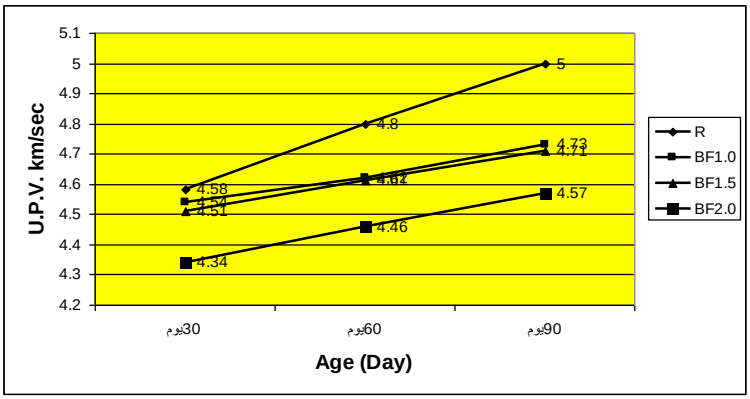
ب. حدوث انخفاض في سرعة الذبذبات فوق الصوتية عند إضافة ألياف القنب الى الخرسانة ويزداد هذا الانخفاض طرديا مع زيادة محتوى الألياف حتى يصل الى نسبة انخفاض (9%) عند نسبة حجميه (2%) للألياف و (8.5%) للخرسانة الحاوية على الألياف و البوكسايت. ان سبب هذا الانخفاض يعود الى التأثير الناتج من إضافة الألياف على بنية الخرسانة بسبب تشكيل قوام متجانس كذلك تعمل الألياف على توفير مسار داخلي لأنتقال الذبذبات بحيث لا تكون سرعة الانتقال ممثلة لنوعية الخرسانة المنتقلة خلالها. ومن تحليل قيم النتائج في فحص الموجات فوق الصوتية تعتبر الخرسانة ذات نوعية ممتازة الى جيدة بحسب ماوضعه [21] من أرقام لتقييم نوعية الخرسانة عند مقارنتها مع سرعة انتقال الموجات خلالها.

جدول (10) نتائج فحص سرعة الموجات فوق الصوتية

الخلطة	سرعة الموجات فوق الصوتية km/sec		
	العمر (يوم)		
	30	60	90
R	4.58	4.8	5.0
F1.0	4.57	4.69	4.71
F1.5	4.52	4.67	4.7
F2.0	4.37	4.48	4.55
BF1.0	4.54	4.62	4.73
BF1.5	4.51	4.61	4.71
BF2.0	4.34	4.46	4.57



شكل (12) سرعة الموجات فوق الصوتية للخرسانة المسلحة بنسب مختلفة من ألياف القنب



شكل (13) سرعة الموجات فوق الصوتية للخرسانة الحاوية على 10% أطيان البوكسايت والمسلحة بنسب مختلفة من ألياف القنب

الاستنتاجات (Conclusions)

ان الخرسانة المسلحة بالألياف النباتية هي مادة إنشائية جديدة, ولبعض الوقت كانت معظم تطبيقاتها تعتمد على فكرة تحسين خاصية المقاومة. وفي الحقيقة فقد تبين ان دور هذه المادة الإنشائية الجديدة ليس فقط تحسين المقاومة الساكنة فحسب ولكن لتعزيز المقاومة للتشققات وتحسين المرونة لغرض امتصاص أفضل للطاقة وتحسين مقاومة الصدم والأحمال الاهتزازية كذلك.

اعتمادا على تحليل ومناقشة النتائج المختبرية التي تم الحصول عليها ضمن متغيرات ومحددات البحث, تم التوصل الى الاستنتاجات التالية:-

1. ان إضافة ألياف القنب كنسب حجميه مختلفة من حجم الخرسانة إلى الحد الأقصى (2%) أدى إلى صعوبة في قابلية التشغيل وعملية الرص.
2. تؤثر الألياف سلبا على مقاومة الانضغاط للخرسانة وقد يصل مقدار الانخفاض في مقاومة الانضغاط إلى 23.5% بعمر 90 يوم.

3. تزداد مقاومة شد الانشطار للخرسانة المسلحة بالألياف وعموما فان جميع النسب قد أعطت زيادة ولكن أعلى نسبة زيادة كانت عند النسبة الحجمية (1.5%) بمقدار (21.7%).
4. أثبتت الخلطات الخرسانية المسلحة بالألياف تحسن مقاومتها للصدم حيث كانت نسبة الزيادة في عدد الضربات المسببة للشق الأول (329%) وفي عدد الضربات المسببة للفشل (506%).

المصادر(References)

1. Raouf,Z.A.,"Structural Concrete with Wooden or other Vegetable Fibers",RILEM symposium on the use of vegetable plants and fibers as building materials,section C,PP.117-127, 7-9 October 1986.
2. William, D., Calliste, J., "Materials Science and Engineering", John Wiley and Sons Ltd, Published Simultaneously in Canada, 5th and final Edition, 2000.
3. Mehta, P.K., "Concrete: Structure, Properties and Materials", Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey, 438pp, 1986.
4. Ramachandran, V.S., Feldman, R.F. and Beaudoin, J.J., " Concrete Science ", Mansell BookBinders, Heyden and Son Ltd, 1981.
5. Al-Kohly, Mohammed Majeed, "Improving the Impact Resistance of Hemp Fiber Reinforced Concrete by Adding Bauxite", M.Sc. Thesis, University of Technology, Building & Construction Department, June 2003.
6. Melment L10, Manual Product, Canbar Agha& Dickens Co. (W.L.L.).
7. Recent Projects,"Natural Fiber Composites from Upholstery to in Structural Components".Web source
8. ASTM C618-89, "Standared Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.
9. Hill, W.B., Sheffield, U.K., " Refractory Grade Calcined Bauxite from China", Interceram, 23 [3], pp.314-315, 1979.
10. مصطفى مازن محمد, "تقرير عن نتائج أعمال الاستكشافات لخام البوكسايت في شمال الحسينيات الجزء الأول", المنشأة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين, بغداد, رقم التقرير 957, 1991.
11. ASTM C311-89, " Standared Test Method for Sampling and Testing Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.
12. Neville, A.M., "Properties of Concrete", 4th and Final Edition, 2000, 844pp.
13. الدكتور مؤيد نوري الخلف, هناء عبد يوسف, "تكنولوجيا الخرسانة", الجامعة التكنولوجية قسم هندسة البناء والانشاءات, مركز التعريب والنشر, بغداد 1984.
14. Al Noaimy, S.F., "Durability of Date-Palm Fiber Reinforced Concrete", M.Sc. Thesis, University of Technology, Building & Construction Department, April 2001.
15. Jorillo, P. and Shimizu, G., " Coir Fiber Reinforced Cement Based Composite. Part 2: Fresh and Mechanical Properties of Fibre Concrete", RILEM Symposium on Fiber Reinforced Cement and Concrete, pp. 1096-1109, 1992.
16. د.صبيح هاشم مهودر, "سلوك الخرسانة المسلحة بألياف القصب المائي" , جامعة البصرة-كلية الهندسة,مجلة الهندسة والتكنولوجيا المجلد 15, 1996.
17. د.بيان النعمان و د.ابراهيم الجميلي,"بعض خواص الخرسانة الحاوية على أنواع من مخلفات النخيل",مجلة الهندسة والتنمية (المجلد2),العدد الأول,ص 15- 29 لسنة 1985.
18. Lin, Wei-Ling, "Toughness Behavior of Fiber Reinforced Concrete", RILEM Symposium on Fibre Reinforced Cement and Concrete, pp.299-315, 1992.
19. ACI Committee 544-2R-89 "Measurement of Properties of Fibre Reinforced Concrete", ACI Manual of Concrete Practice, Part5, 1990.
20. سوامي, آر. أن "خرسانة مسلحة جديدة", ترجمة الدكتور محمد عبد الرزاق الأوسي وباسل طه ناجي العلي, وزارة التعليم العالي والبحث العلمي-الجامعة المستنصرية-كلية الهندسة-مطبعة التعليم العالي في الموصل, 1989.
21. Jones, R."Non-Destructive Testing of Concrete", Published by Syndics of the Cambridge, University Press, 1962, (pp.50-68)