

تأثير إضافة الألياف الفولاذية المستخرجة من إطارات السيارات المستهلكة على مقاومة الضغط للخرسانة*

الدكتور عفيف رحمة*

ريم حافظ**

(تاريخ الإيداع 19 / 3 / 2014. قُبِلَ للنشر في 8 / 7 / 2014)

□ ملخص □

حاليا يتم اهتلاك مئات الأطنان من الإطارات سنويا" مما يستدعي التخلص بكفاءة من هذه الكميات من الإطارات المستهلكة وتطوير وسائل لتحويلها الى مواد مفيدة. في سورية فقط تقدر كمية الأسلاك الناتجة من الإطارات سنويا بحوالي 6000 طناً.

يتناول هذا البحث تأثير اضافة الألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المستهلكة للسيارات على مقاومة الضغط للخرسانة. تم تحضير عينات لثلاثة خلطات من الخرسانة بعيارات اسمنت 300-350-400 كغ/م³ وأضيفت الألياف الفولاذية بقطر 0.8 مم بنسب حجمية تساوي 1.5% - 1% - 0.5% وبأطوال 30-40-60 مم بالاضافة الى عينات مرجعية بدون الياف .

بينت النتائج تحسنا في سلوك الخرسانة على المتانة وسلوك البيتون في مرحلة مابعد التشقق بالإضافة الى زيادة في مقاومتها على الضغط مما يمكن من استعمالها في تطبيقات هندسية عديدة مثل رصف المهابط في المطارات وأرضيات المعامل والمنشآت المائية نظرا لمقاومة هذه الخرسانة للتآكل بسبب جريان الماء وغير ها من التطبيقات.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ، الألياف الفولاذية المستخرجة من اطارات السيارات، مقاومة الضغط، المتانة

* أستاذ - قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق - سورية.

** طالب دراسات عليا(دكتوراه) - عضو الهيئة التعليمية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق - سورية .

Effect of addition steel fiber abstracted from recycled tires upon the concrete compressive strength

Dr. Afif Rahma*
Reem Hafez**

(Received 19 / 3 / 2014. Accepted 8 / 7 / 2014)

□ ABSTRACT □

Recently, worldwide researches have been devoted to the use of steel fibers recovered from used tires in concrete. In Syria the amount of recovered steel from used tires is estimated about 6000 tons/year.

For this purpose a bead wire having a diameter of 0.8 mm from burnt tires was extracted and used. Three mixes with cement content 300- 350 -400kg/m³ were produced incorporating three different volumes of fiber 0.5%, 1.0%, and 1.5% and three different length 30-40-60 mm . The concrete obtained by adding these fibers evidenced a satisfactory improvement of the fragile matrix, mostly in terms of toughness and post cracking behavior. On the other hand it was improvements in compressive strength by steel fiber inclusion. The interesting results confirm the promising application of concrete reinforced with steel fibers extracted from used tires in aircraft pavement, hydraulic structures and ground slab in fabrics.

Key words: steel fibers recovered from used tires, Steel Fiber Reinforce Concrete, compressive strength, toughness

*Professor , Faculty of Civil Engineering–Department Structural Eng.- Damascus University, Syria.

**Postgraduate Student, Member of Educational Teaching - Faculty of Civil Engineering- Damascus University, Syria.

مقدمة:

يعتبر استخدام الألياف في مواد البناء لتحسين سلوكها مفهوما قديما ومعروفا. وقد تم إضافة ألياف القش إلى الطين في بناء جدران صوامع الحبوب لتخزينها. تستخدم في العصر الحديث مجموعة واسعة من الألياف لتحسين خصائص المواد الهندسية مثل قوة الشد وقوة الضغط ومعامل المرونة ومقاومة التشقق والتحكم بالتشققات والديمومة ومقاومة الصدم والاهتزاز وتحسين الخصائص الحرارية ومقاومة الحريق.

أهمية البحث وأهدافه:

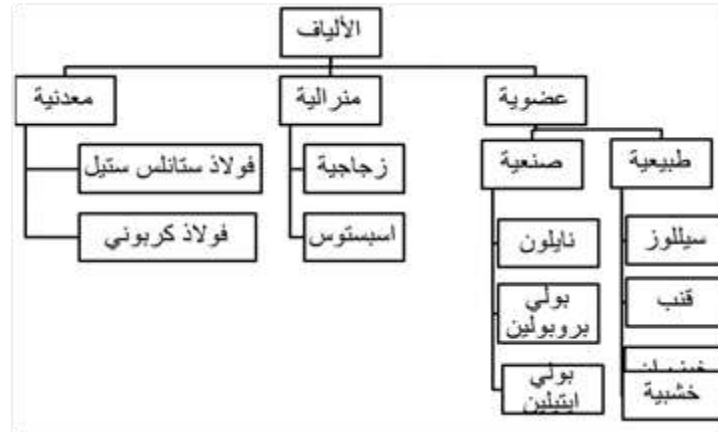
منذ عدة عقود مضت أصبحت الإطارات المستهلكة (used tires) مشكلة بيئية عالمية وذلك بالنسبة لإدارة التحكم بالنفايات في العالم كله. في سورية فقط يتم اهتلاك مئات الأطنان من الإطارات سنويا مما يستدعي التخلص بكفاءة من هذه الكميات من الإطارات المستهلكة وتطوير وسائل لتحويلها الى مواد مفيدة. تحرت بعض الأبحاث حديثا عن استخدام المطاط والألياف الفولاذية المستخلصة من الدواليب المهلكة (steel fibers recovered from used tires) في الخرسانة وأظهرت هذه الأبحاث أن استخدام الألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المهلكة في الخرسانة يطور سلوك الإنكسار لاسيما فيما يتعلق بالمتانة وسلوك الخرسانة بعد التشقق. وهكذا فإن استخدام الألياف الفولاذية المستخلصة من الإطارات المهلكة يؤمن فوائد إضافية مثل الكلفة المنخفضة للمواد الخام والإستفادة منها، مما يمكن من استعمالها في تطبيقات هندسية عديدة مثل رصف المهابط في المطارات وأرضيات المعامل والمنشآت المائية نظرا لمقاومة هذه الخرسانة للتآكل بسبب جريان الماء وغيرها من التطبيقات بالإضافة إلى التخلص من النفايات الصلبة. يتناول هذا البحث تأثير اضافة الألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المستهلكة على مقاومة الضغط للخرسانة (compressive strength).

منهجية البحث:

تم تحضير عينات لثلاثة خلطات من الخرسانة بعيارات اسمنت 300-350-400 كغ/م³ وأضيفت الألياف الفولاذية (steel fiber) بقطر 0.8 مم بنسب حجمية تساوي 1.5% - 1% - 0.5% وبأطوال 30-40-60 مم بالإضافة الى عينات مرجعية بدون الياف للمقارنة. اجريت التجارب في مخابر كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق في العام 2013 وبينت النتائج تحسنا في المتانة (toughness) وسلوك الخرسانة في مرحلة ما بعد التشقق (post cracking behavior) بالإضافة الى زيادة في مقاومتها على الضغط.

أنواع الألياف المستخدمة في الخرسانة

الليف عبارة عن قطعة تسليح صغيرة لها خصائص وأبعاد معينة. تصنف الألياف المستعملة في الخرسانة وفقا لمصدر الألياف كما في الشكل (1). (ACI Committee 544, LÖFGREN2005).



الشكل 1: تصنيف الألياف المستعملة في الخرسانة

4- الألياف من الإطارات المستهلكة (steel fibers recovered from used tires)

تشتمل مواد إطارات السيارات على المطاط الطبيعي ومركبات المطاط الاصطناعية والألياف فولاذية وألياف بوليميرية ومنسوجات قماشية (تكستيل). تعرف عملية خلط المطاط بمواد كيميائية أخرى لتشكل مادة الإطارات بالنقسية وهذا يجعل الإطارات مستقرة جيداً ويصبح من الصعب أن تتحلل في الشروط البيئية المحيطة. تتعلق نسب المواد المستخدمة في إطارات السيارات بنوع المركبات التي ستستخدمها مثل الشاحنات أو السيارة السياحية. ونجد في الجدول (1) التركيب النموذجي للإطارات (California Integrated Waste Management Board 2003)

الجدول 1: مكونات الاطار

النسبة المئوية للمكونات في الإطار		المواد
سيارات شاحنة Truck	سيارات سياحية Passenger car	
27	14	مطاط طبيعي Nature rubber
14	27	مطاط اصطناعي Synthetic rubber
28	28	فحم اسود Black carbon
15-14	15-14	فولاذ Steel
17-16	17-16	مواد مالئة وغيرها Filler
متوسط الوزن كغ		
54.43	11.34	إطار جديد New tyre
45.36	9.07	إطار مستهلك Used tyre

تتم استعادة المواد من الإطارات المستهلكة بعدة طرق أهمها: (Tlemat et al 2006, End of life recycling) التحليل الميكانيكي shredded fibres SRSF: يتم تقطيع الألياف الفولاذية وتحويل الكاوتشوك الى حبيبات. التحليل الحراري pyrolysis process PRSF: حيث تتحول الإطارات الى فولاذ وفحم وسوائل وغازات.

كما ورد في المقدمة فان التخلص من الإطارات المستهلكة يستدعي التخلص بكفاءة من هذه الكميات من الإطارات المستهلكة وتطوير وسائل لتحويلها إلى مواد مفيدة لاسيما بعد الزيادة الكبيرة في أعداد السيارات في سورية خلال العقد الاخير. بالاستناد الى إحصائيات وزارة النقل في سوريا للأعوام من 2006 الى 2010 المتوفرة على موقعها على الانترنت www.mot.gov.sy فان عدد المركبات العاملة بجميع أنواعها يتجاوز مليوني مركبة. ووفقا لمكونات الإطار تتراوح نسبة الفولاذ فيه من 14 الى 15% من وزنه ويفرض أن المركبة الواحدة تستهلك إطارا واحدا سنويا فإن كمية الأسلاك الناتجة سنويا تقارب 6000 طن الجدول (2).

الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية Steel Fibers Reinforced Concrete

الخرسانة المسلحة بالألياف هي مركب من الإسمنت البورتلاندي والحصى الناعمة والخشنة وألياف فولاذية صغيرة مبعثرة وغير مستمرة. كما يمكن أن تحتوي البوزالين والإضافات المتعارف عليها التي تضاف للبيتون العادي. وفقا لتقرير معهد الاسمنت الامريكي 96-Report ACI Commite 544.3 R يتراوح طول الليف بين 12.7-63.5 مم وقطر الليف بين 0.45-1 مم . تتراوح نسب المزج الحجمية بالألياف من 0.25% الى 2% أي مايعادل 20 كغ/متر مكعب حتى 157 كغ في المتر المكعب.

تتأثر خصائص الخرسانة المقواة بالألياف الفولاذية بـ

- النسبة المعيارية للليف أو عامل النحافة وهو نسبة الطول الى القطر aspect ratio
- الشكل الهندسي للليف geometric shap
- نسبة الألياف في الخلطة Fiber Volume
- نسب المزج للحصويات volume fractions
- التماسك بين الألياف والخلطة Bond

يجب تحقيق قابلية تشغيل (Workability) مناسبة في الخرسانة المقواة بالالياف الفولاذية وذلك من أجل تأمين عملية الصب (casting) و التصلب (curing) وأعمال الإنهاء (finishing) بحيث يكون الجهد المبذول في الحد الأدنى وتأمين التوزيع المنتظم للألياف وحد أدنى من الانفصال والنزف.

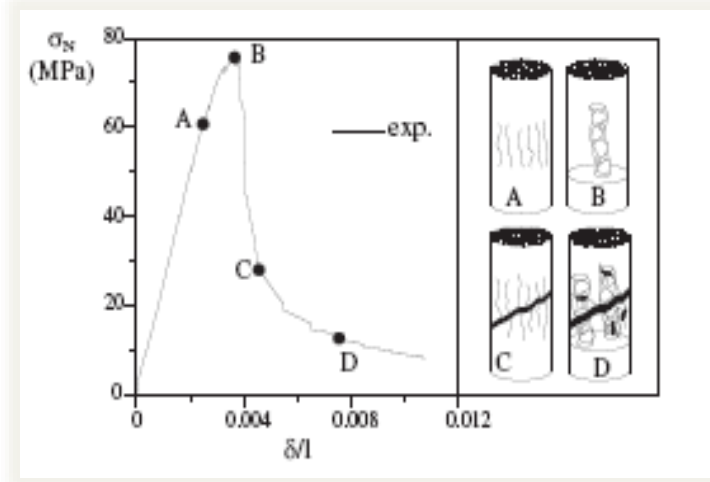
تقود الشقوق الميكروية (micro cracks) الموجودة أصلا" في بنية الخرسانة بالإضافة إلى مقاومة الشد المنخفضة والناتجة عن إنتشار هذه الشقوق الميكروية بالنهاية إلى الإنكسار الهش للخرسانة. تساهم إضافة الألياف للخرسانة في تحسين الكثير من الخصائص الهندسية لها مثل المتانة والمطاوعة على الرغم من الزيادة المتواضعة في مقاومة الضغط.

قدم (Colombo, 2006) كولومبو تفسيراً لآلية انهيار الخرسانة المسلحة بالألياف حيث يمكن تمييز أربعة نقاط على منحنى الضغط- الانفعال . النقطة A تبين نهاية العلاقة الخطية لمنحنى الضغط- الانفعال حيث تنتشر الشقوق الميكروية شاقولياً في العينة. مع استمرار التحميل والوصول الى الذروة عند النقطة B تشكل الحصى المتوضعة فوق بعضها عدة أعمدة في المنطقة الحرجة. بعدها يحدث هبوط مفاجئ في المنحنى وصولاً الى النقطة

الجدول 2: تقدير كمية الفولاذ الناتج من الإطارات المستهلكة سنويا في سوريا

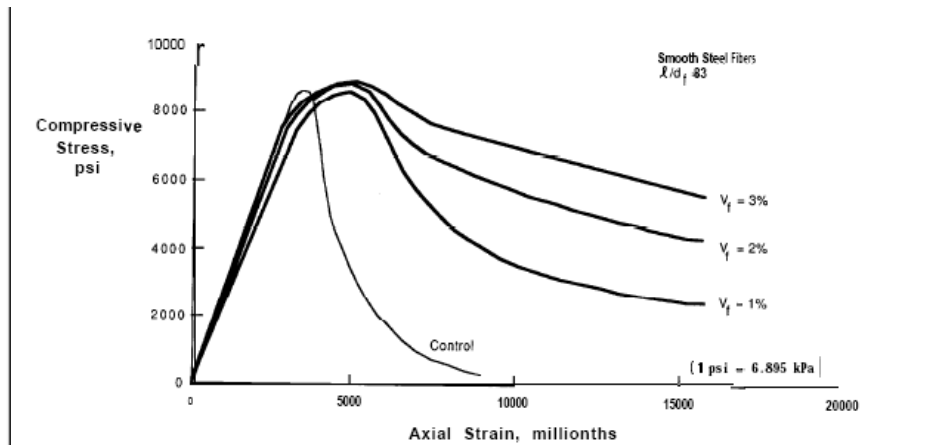
وزن الفولاذ (كغ)	وزن الفولاذ/اطار (كغ)	وزن الاطار المستهلكه (كغ)	نسبة الاياف/الاطار %	السنة					نوع المركبة
				2010	2009	2008	2007	2006	
933987.6	1.26	9	14	741260	637604	551858	446132	358032	سيارات سلعية
47161.8	6.3	45	14	7486	6611	6201	5154	5179	سيارات باص
70376.04	1.26	9	14	55854	50861	48890	45655	45923	سيارات ميكروباص
1695355.2	6.3	45	14	269104	257838	217378	196490	183848	سيارات شاحن
522650.52	1.26	9	14	414802	365521	335463	319677	292227	سيارات بولك آب
47974.5	6.3	45	14	7615	7062	6682	6547	5731	سيارات نقل وركوب
41050.8	6.3	45	14	6516	5895	5672	5616	5432	سيارات سهاروج
2399367.6	6.3	45	14	380852	242090	205518	186945	165281	درجات نارية
6622.56	1.26	9	14	5256	5342	5301	5259	6433	إحصال مؤقت
205672.32	1.26	9	14	163232	160009	154243	150292	144948	الآلات متنوعة أخرى
5970218.94				2051977	1738833	1537206	1367767	1213034	المجموع

C ويفسر ذلك بحدوث التحنيب لأعمدة الحصويات. بعدها تبدأ حزم من الشقوق الماكروية بالظهور وتعمل الألياف على منع الشقوق من التوسع (النقطة D) كما في الشكل(2).



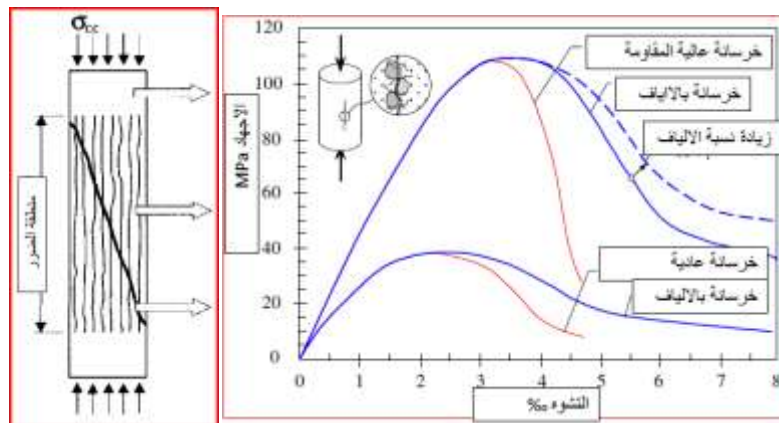
الشكل 2: تفسير آلية انهيار الخرسانة المسلحة بالألياف (Colombo, 2006)

يعتبر معهد الإسمنت الأمريكي ACI 544 1.R88 و ACI 544 1.R-96 أن وجود الألياف الفولاذية يزيد من مقاومة الضغط الأعظمية حتى 15% من أجل نسبة ألياف حجمية تبلغ 1.5% وحتى 23% لنسبة ألياف 2%. وفي جميع الأحوال يؤمن مطاوعة للخرسانة كما يوضحه الشكل حيث يقل ميل الجزء الهابط من المنحني مقارنة مع مثيله في الخرسانة العادية (الشكل 3)



الشكل 3: منحنيات الاجهاد - الانفعال وفق ACI 544 1.R-96

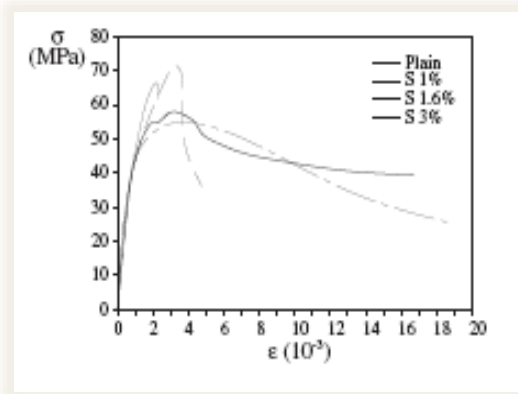
قام (LÖFGREN,2005) بتوصيف سلوك الخرسانة المسلحة بالألياف العادية وعالية المقاومة على الضغط (الشكل 4)



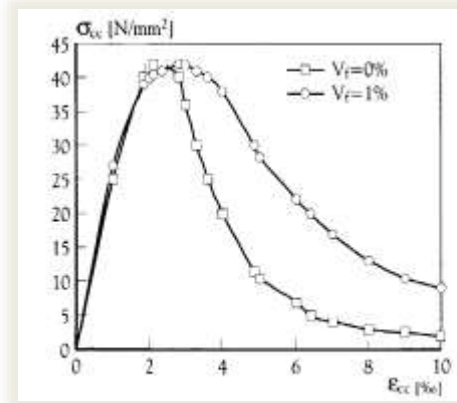
الشكل 4: تأثير الألياف الفولاذية على الخرسانة LÖFGREN 2005

قام (Konig & Kutzig,1999) برسم المنحني الذي يوضح العلاقة بين الاجهاد والانفعال من أجل نسبة ألياف 1% ومقارنتها مع عينات مرجعية كما في الشكل (5).

قام (Bencardino et al., 2006 & 2007) باختبار الضغط على عينات مكعبية 150مم وعينات اسطوانية 150×300 مم والألياف فولاذية معكوفة بطول 22 مم ومقاومة شد 350-400 ميغاباسكال ونسبة نحافة 40 وينسب مزج حجمية 1-1.6-3% بالإضافة الى عينات مرجعية. بينت النتائج الموضحة في الشكل (6) إن إضافة الألياف بنسبة 1% تزيد المقاومة بشكل واضح للعينات المكعبية ويشكل طفيف للعينات الأسطوانية. ومن أجل نسب مزج للألياف 1.6 و 3% كانت الزيادة في المقاومة قليلة للعينات المكعبية. بينما كان هناك هبوط للمقاومة للعينات الاسطوانية بمقدار 12%.



الشكل 6: منحنيات الاجهاد - الانفعال وفق
(Bencardino et al., 2006 & 2007)



الشكل 5: منحنيات الاجهاد - الانفعال وفق
(Konig & Kutzig, 1999)

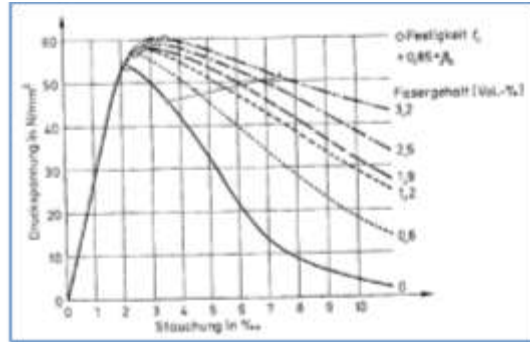
قام (Tlemat et al., 2006) في جامعة شيفيلد البريطانية باختبار عينات مكعبية مسلحة بألياف فولاذية وفقا للمواصفة البريطانية BS 12(1996) حيث استخدمت خمس أنواع من الألياف الفولاذية منها مستخرج من إطارات السيارات المستهلكة وألياف فولاذية تقليدية بنسب ألياف وزنية تتراوح من 0.5 - 6% بينت النتائج زيادة في المقاومة للعينات المسلحة بها، كما أدى إضافة الألياف الى نقصان هبوط المخروط من 200 مم للعينات المرجعية الى 140 مم لنسبة ألياف 6% وزنا.

كما قام (Aiello et al., 2011) بتجارب على عينات خرسانية بنسبة اسمنت 350 كغ/م³ ومسلحة بألياف من إطارات السيارات المستهلكة بالطريقة الحرارية وازدادت المقاومة من 31.63 الى 39.68 ميغاباسكال أي بمقدار 21% لنسبة ألياف 0.46% حجما. أما هبوط المخروط فقد انخفض من 215 الى 210 مم (الاختبارات وفقا للمواصفة الأوروبية UNI EN 206-1, 2006)

بالمقابل فإن البحوث التي قام بها كل من (Buratti et al., 2011; Olitivo and Zuccarello, 2010) فقد بينت أن إضافة الألياف له تأثير محدود على مقاومة الخرسانة. أما (Mahammadi et al., 2008) فقد قام بتحليل تأثير نسبة الألياف وأطوالها وتوصل الى أن كلاهما يزيدان مقاومة الخرسانة.

قام (Nasir Bedawi, 2009) باختبارات على ألياف فولاذية من إطارات السيارات المستهلكة بطريقة الحرق بأطوال 20 - 40 - 60 مم وعينات مكعبية بنسب اسمنت 340-430-550 كغ/م³. تراوح هبوط المخروط من 0 - 91 مم على الرغم من استخدام ملدن SP430 بنسبة 1% من الاسمنت. ازدادت مقاومة الخرسانة بنسب مختلفة وفقا لنسب مزج الألياف وطولها وبعضها أعطى مقاومات اقل من العينات المرجعية حوالي 1% ووصلت أكبر زيادة في المقاومة الى 11.77% من أجل الخلطة بنسبة اسمنت 340 وألياف بنسبة 1.5% وبطول 40مم.

قام (Schnutgen, 1981) بوضع منحنيات تعطي العلاقة بين الاجهاد والانفعال ونسب المزج للألياف الفولاذية كما في الشكل (7).



الشكل 7: منحنيات الاجهاد - الانفعال وفق Schnutgen, 1981.

إن التشوه الناتج عن تشقق الشد للخلطة الإسمنتية أصغر بكثير من التشوه الحرج والحدي للألياف الفولاذية وكنتيجة عند تحميل الخلطة المسلحة بالألياف فإنها سوف تتشقق لفترة طويلة قبل أن تتكسر. من الضروري أن نؤكد أن التسليح بالألياف ليس بديلاً للتسليح التقليدي حيث أن كلاهما يلعب دوراً مختلفاً في الخرسانة فقضبان التسليح تساهم في زيادة طاقة تحمل العنصر الخرساني للحمولات بينما تكون الألياف أكثر فعالية للتحكم بالشقوق.

خواص المواد المستخدمة في الدراسة التجريبية

1 - اختيار المقاس الأعظمي للحصويات الخشنة

في هذا البحث استخدمنا حصويات بقطر أعظمي 19 مم والجدول (3) يبين دراسة مرجعية لاختيار المقاس الأعظمي للحصويات.

الجدول 3 : المقاس الأعظمي للحصويات وفق بعض الدراسات المرجعية

مقاس الحصويات	الباحث	مقاس الحصويات مم	الباحث
20 مم	(Aiello,2009)	38 – 19 – 9,5	ACI 544.3R-93 reapproved
10 مم	(Banthia and Trottier ,1995)	19 مم	(Zerbino, 2003)
18	(Löfgren,2005)	20 مم	(Tlemat &Pilakoutas,2006)
16مم	(Kooiman AG ,2000)	بمقاس أعظمي لايزيد عن ثلث طول الليف	(Thienel ;Kustermann,2010)
20 و 12 مم	(Dozio,2008)	16 مم	(Mohamed &Bencheikh,2009)
3/2 طول الليف	(Japan Society of Civil Engineers 1994)		

2- تحضير الألياف الفولاذية من الإطارات المستهلكة Preparing Steel fiber from used tiers

تم استخراج الحلقة الداخلية من الإطار (Bead wire) وذلك بطريقة تقشير (سلخ) الكاوتشوك عن حزمة الألياف ثم التقطيع الى الطول المطلوب ثم تعريضه للحرق حيث تم الحصول على الأسلاك الفولاذية وللتخلص من بقايا هباب

الفحم وضعت الأسلاك في جهاز لوس انجلوس وأضيف إليها رمل المزار للتخلص ميكانيكيا منه عن طريق الاحتكاك مع الرمل (الشكل 8).



الشكل 8: تحضير الاسلاك من الإطارات (من اليمين إلى اليسار)

كما إختبرت الأسلاك المستخرجة من الإطارات المستهلكة في هيئة الطاقة الذرية في دمشق على عينات عشوائية حيث توضح النتائج التي تم الحصول عليها أن الألياف المستخرجة بالحرق تحقق المواصفات المطلوبة وذلك نظرا لكون الألياف قد تم حرقها ضمن درجات حرارة منخفضة نسبيا. لاتقل مقاومة الشد الدنيا المطلوبة للأسلاك الفولاذية عن 350Mpa حسب ASTM 820

الجدول 3: نتائج اختبار الألياف على الشد ومقارنتها مع دراسات مرجعية

Test speed=10mm/min		Sample Length 100mm			مقاومة الشد للألياف الفولاذية (نيوتن/سم ²)	المرجع
Stress N/mm ²	Area mm ²	Diameter mm	Long. Peal mm	Force Peak N	Test No.	
2798.368	0.5024	0.8	3.339	1405.900	1	>345 ASTM A 820
2601.314	0.5024	0.8	2.166	1306.900	2	>525 The JSCE Specification requirement
2668.79	0.5024	0.8	2.385	1340.800	3	
2529.26	0.5024	0.8	1.808	1270.700	4	
2777.269	0.5024	0.8	2.635	1395.300	5	1250-2000 Tlemat(2006) Pilakoutas&
2675.000	0.502	0.800	2.467	1343.920	Mean	1192-2300 Dozio (2008)
114.441	0.000	0.000	0.575	57.495	SD	1100-2500 Zerbino (2003)

3 - اختيار طول الليف والنسبة المعيارية (عامل النحافة للليف)

في دراستنا استخدمنا ألياف بأطوال 30- 40 - 60 مم وبقطر 0,8 مم ونسبة معيارية 37.5- 50 - 75. ونورد بعض الدراسات المرجعية حول اختيار طول الليف و عامل النحافة.

نسب المزج	عامل النحافة L/d	أطوال الليف ونوعها	الباحث
>2% نسبة حجمية	100 - 30	ألياف فولاذية 12,7- 63,5 مم	ACI 544.3R-93 reapproved
3م/كغ 80-40-20	80 و 60	ألياف فولاذية وبطول 60مم	(Zerbino,2003)
0.5 - 6% وزنا 0.3 - 2% حجما	65-30	ألياف مستخرجة من إطارات السيارات المستهلكة 50 مم	(Tlemat &Pilakoutas,2006)

0-3.2% حجما		50-30	(Thienel ;Kustermann,2010)
0.5-3% حجما	مقاطع عرضية مختلفة	ألياف مختلفة من مواد صناعية تم تدويرها 60-30 مم	(Mohamed&Bencheikh,2009)
0,46%	131	بألياف مستخرجة من إطارات السيارات المستهلكة 3 الى 170 مم	(Aiello,2009)
0.25 - 1% حجمية	130	الألياف الفولاذية 30مم	(Löfgren,2005)
0.51-0.71 حجمية	80-60	بألياف فولاذية 60-30 مم	(Kooiman,2000)
3م/كغ/50-25	50	30 و 60 مم	(Dozio,2008)

4- الإسمنت cement

استعملنا الإسمنت البورتلاندي العادي ماركة 42.5 N/mm^2 إنتاج شركة البادية (الجمال) والإسمنت مطابق للمواصفة القياسية السورية 2008/3411 والمواصفة القياسية الاوربية 2004-1:EN197

5- تحضير الخلطات الخرسانية المستخدمة في التجارب Preparing concrete mixes

ان تصميم الخلطة الخرسانية المسلحة بألياف فولاذية مستخرجة من الإطارات المستهلكة للسيارات يعتمد على نفس المبادئ العامة لتصميم الخلطة الخرسانية المسلحة بالألياف الفولاذية.

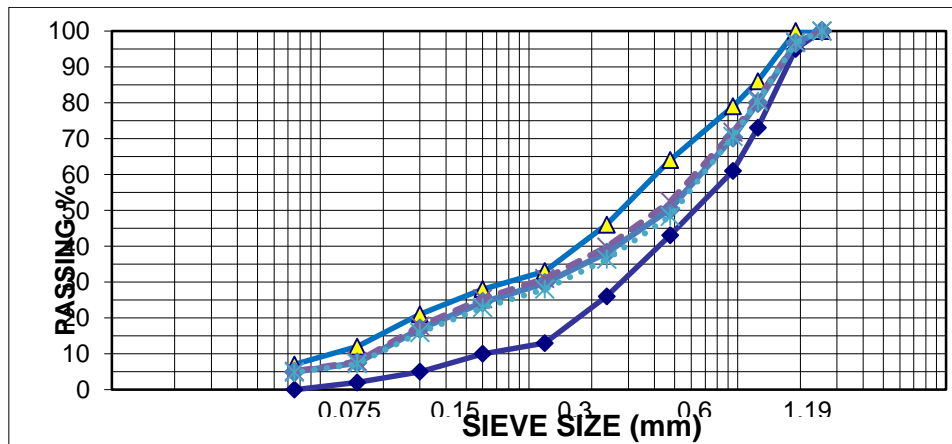
تم تحضير الخلطة ثلاث عينات بيتونية مرجعية وثلاث عينات مسلحة بالألياف لكل نوع من الخرسانة ولكل نسبة من نسب المزج.

من أجل اختيار الحصويات تمت زيارة العديد من مجايل الخرسانة في مدينة دمشق ومحيطها. في المرحلة الأولى حضرنا عينات خرسانة عيار 350 كغ/م³ وخلطات مع ألياف فولاذية بطول 40 مم وبنسب حجمية 0.5 - 1 - 1.5% أي ما يعادل وزناً 40 - 80 - 120 كغ/م³ على الترتيب. تبين أن هبوط المخروط للخرسانة الطازجة المحضرة وفق النسب السابقة كان صغيراً جداً مما قاد تفكيرنا الى استخدام الملدنات في المرحلة اللاحقة من الاختبارات.

في المرحلة الثانية استخدمنا الحصويات من مقلع عاتكة في النبك. صممنا ثلاثة خلطات بعيارات اسمنت 300-350-400 كغ/م³ والشكل 10 يبين منحنى التحليل الحبي للحصويات الموافقة لها كما يبين (الجدول 4) مكونات الخلطات الخرسانية. والشكل 6 يبين مخطط اجراء التجارب وترميز العينات عيار 350 كغ/م³ وبشكل مماثل تم ترميز العينات لعيار 300 و 400 كغ/م³.



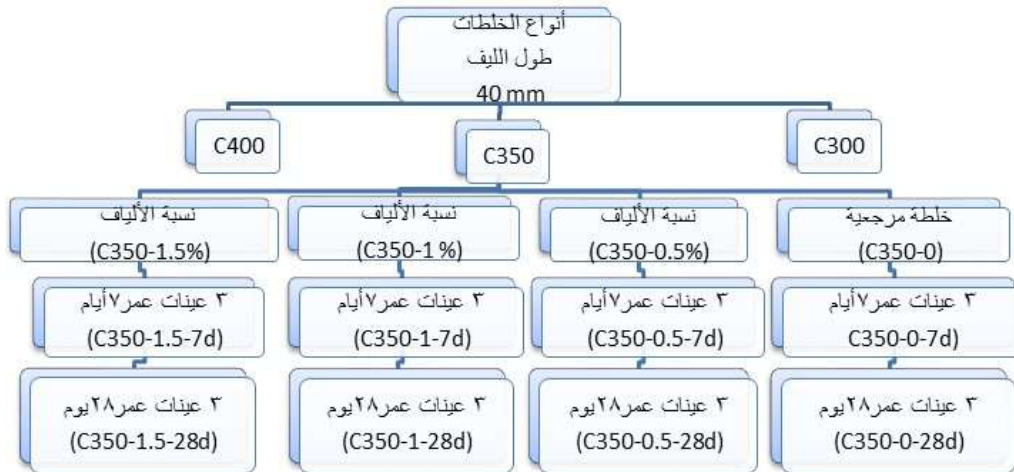
الشكل 9: هبوط المخروط من أجل نسبة مزج 1.5% (خلطة بدون ملدن وخلطة مع ملدن)



الشكل 10: منحنى التحليل الحبيبي للحصويات

الجدول 4: مكونات الخلطات الخرسانية

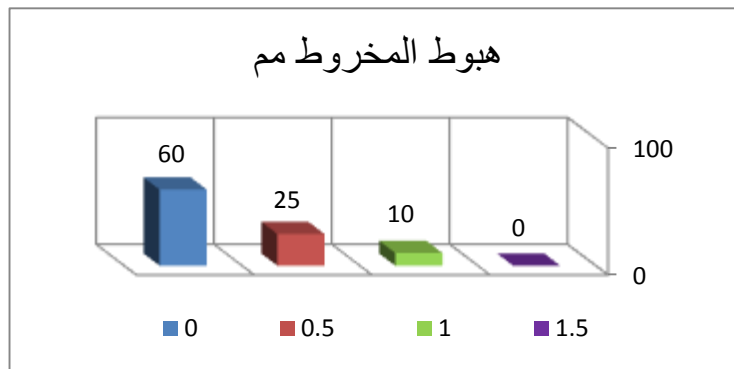
C400	C350	C300	Material(kg/m3)	
400	350	300	Cement	
190	180	182	Water	
524	555	536	Coarse 19	Coarse Agg.
380	340	329	Mid 9.5	
665	705	748	Crushed Sand	Fine Agg.
250	284	301	N. Sand	
48%	51%	61%	w/c	
5	4.5	3.84	Admixture	



الشكل 10 : مخطط اجراء التجارب وترميز العينات عيار 300كغ/م³

النتائج والمناقشة:

1 قابلية التشغيل **Workability** : من اجل تقييم أثر تغير نسب المزج بالألياف على الخرسانة الطازجة تم إختبار هبوط المخروط لكل خلطة. تناقص هبوط المخروط للخلطات بدون ملدن بزيادة نسب المزج حيث بلغ 60mm في الخلطة المرجعية و 25م من أجل خلطة بنسبة مزج 0.5% بينما كان يساوي 10mm من أجل نسب المزج 1% وبلغ الصفر من أجل نسبة مزج 1.5% ويمكن تفسير السبب أن الألياف عند مزجها بالخرسانة تشكل بنية شبكية تمنع المزيج من التدفق ويسبب المحتوى العالي للألياف فإن الألياف سوف تتكثف حولها كمية أكبر من العجينة الإسمنتية وتقلل من لزوجة الخلطة وتقلل الهبوط مما يستوجب استخدام الملدن لجميع الخلطات لتحسين قابلية التشغيل.

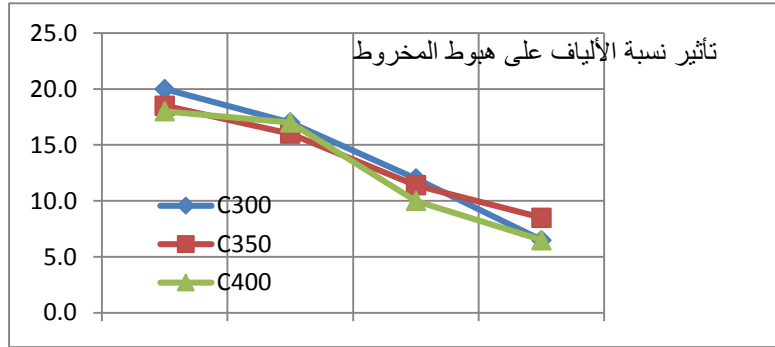


الشكل 11: تأثير نسب المزج بالألياف على هبوط المخروط Slump (بدون ملدن)

عند استخدام الملدن تحسنت قابلية التشغيل لخرسانة حيث تراوح هبوط المخروط للخلطات المسلحة بالألياف بين 65 مم من أجل C400-1.5% وبلغت 170 مم وذلك من أجل C300-0.5% كما لوحظ الإستجابة الجيدة لجميع الخلطات المسلحة بالألياف للرج الميكانيكي بحيث توضعت دون بذل جهد يذكر. وبشكل عام تم ملاحظة تناقص هبوط المخروط بتزايد نسب المزج بالألياف كما يوضح الجدول (5) والشكل (8).

الجدول 5: قيم هبوط المخروط لخلطات مختلفة Slump values

C400		C350		C300	
هبوط المخروط	مواصفات الخلطة	هبوط المخروط	مواصفات الخلطة	هبوط المخروط	مواصفات الخلطة
cm	طول الليف ٤٠ مم	cm	طول الليف ٤٠ مم	cm	طول الليف ٤٠ مم
18	C400-0%	18.5	C350-0%	20.0	C300-0%
17	C400-0.5%	16	C350-0.5%	17.00	C300-0.5%
10	C400-1%	11.4	C350-1%	12.00	C300-1%
6.5	C400-1.5%	8.5	C350-1.5%	6.50	C300-1.5%



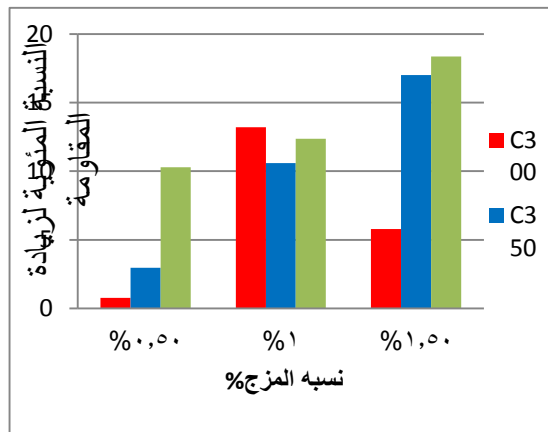
الشكل 12: العلاقة بين هبوط المخروط ونسب المزج بالألياف

2- المقاومة على الضغط compressive strength

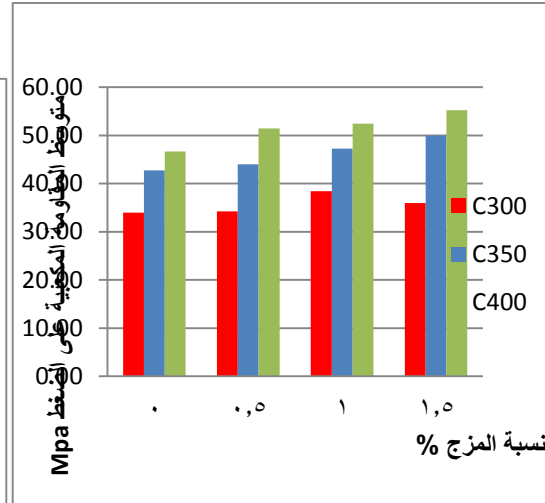
تم إختبار المقاومة على الضغط للعينات المحضرة (72 عينة) ضمن مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية حيث تم قياس أبعاد العينات ووزنها قبل كسرها من أجل حساب الوزن الحجمي . بلغت سرعة تحميل الجهاز 30 MPa/min وأخذ متوسط المقاومة المكعبية ويبين الجدول (6) نتائج كسر العينات.

الجدول 6: نتائج إختبارات المقاومة على الضغط للبيتون المسلح بالألياف

C400			C350			C300		
النسبة المئوية للزيادة	المقاومة المكعبية	مواصفات الخلطة	النسبة المئوية للزيادة	المقاومة المكعبية	مواصفات الخلطة	النسبة المئوية للزيادة	المقاومة المكعبية	مواصفات الخلطة
%	MPa	طول الليف ٤٠ مم	%	MPa	طول الليف ٤٠ مم	%	MPa	طول الليف ٤٠ مم
	46.65	C400-0%		42.73	C350-0%		33.96	C300-0%
10.28	51.44	C400-0.5%	2.97	44.00	C350-0.5%	0.76	34.22	C300-0.5%
12.37	52.42	C400-1%	10.59	47.26	C350-1%	13.19	38.44	C300-1%
18.37	55.22	C400-1.5%	17.01	50.00	C350-1.5%	5.78	35.93	C300-1.5%



الشكل 14: النسبة المئوية لزيادة مقاومة الضغط



الشكل 13: تأثير نسب المزج بالألياف على مقاومة الضغط

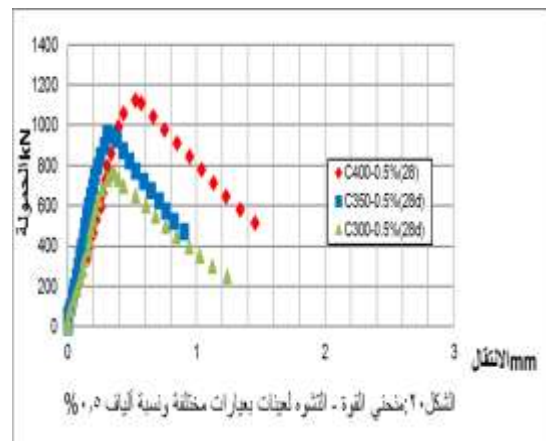
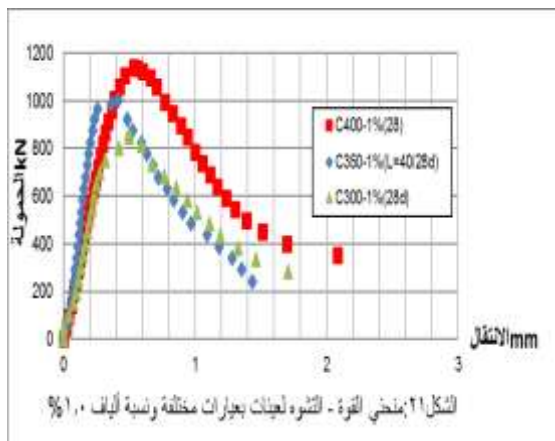
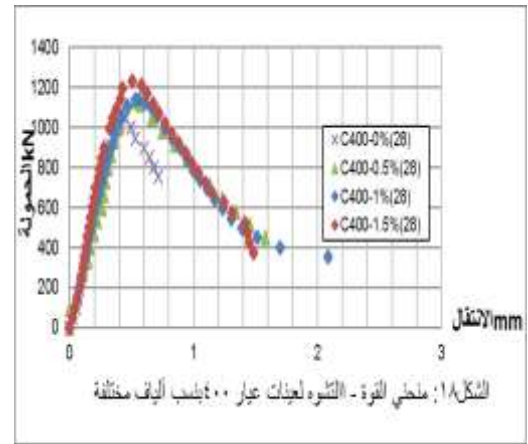
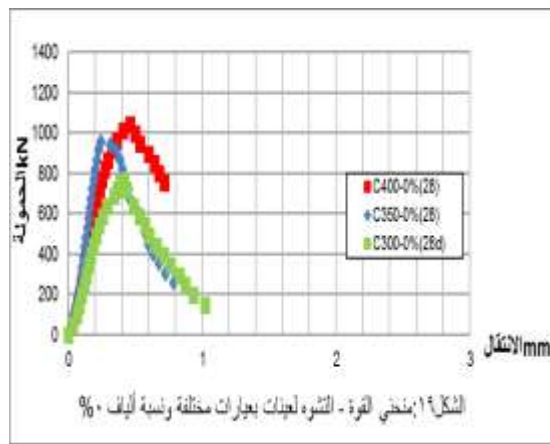
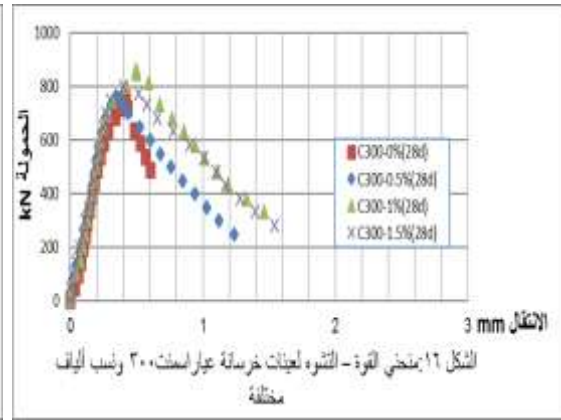
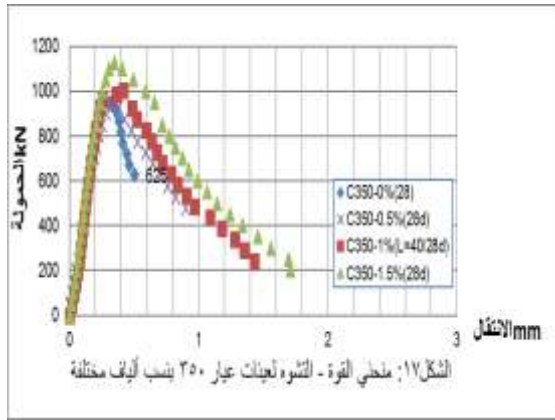
-تزداد المقاومة على الضغط بزيادة نسب المزج الحجمية بالألياف وذلك من أجل الخلطات الثلاثة . ويعود ذلك لتناقص الفراغات بين الألياف بزيادة نسب المزج بالألياف مما يسمح بنقل أسرع للحمولة ودعم من قبل الألياف المتجاورة. حيث تراوحت هذه الزيادة بين 0.76% من أجل C300-0.5% ووصلت حتى 18.37% من أجل C400-1.5% وذلك بالنسبة للخلطات الخرسانية المرجعية بدون ألياف.

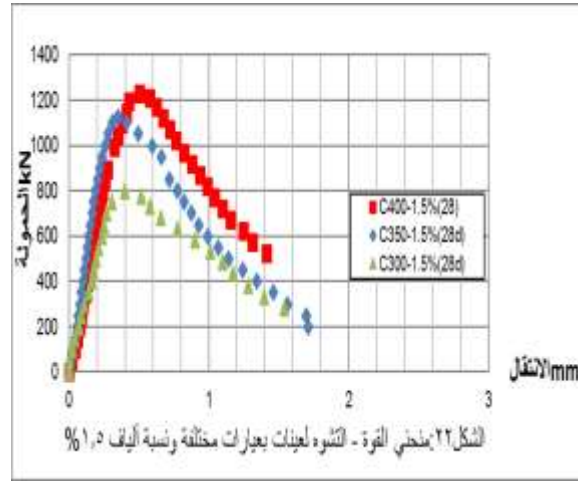


الشكل 15: شكل الإنهيار لعينة خرسانية عادية وعينة مسلحة بالألياف من الإطارات

3- التمثيل البياني لعلاقة القوة - التشوه للعينات المدروسة Relation Load vs deformation

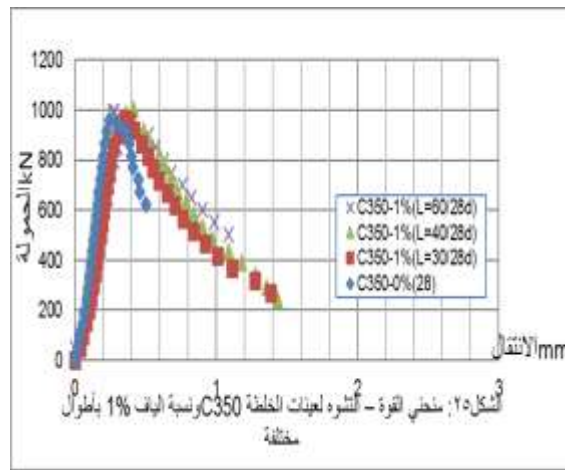
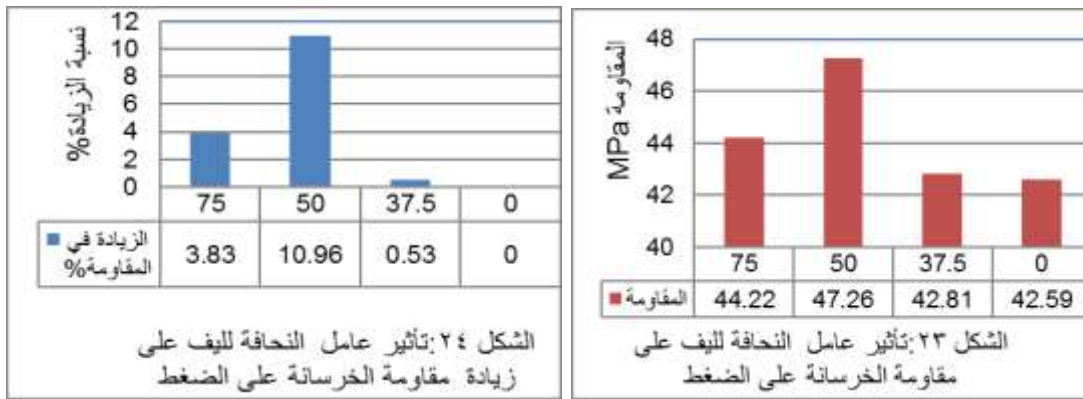
ليبين العلاقة بين القوة المطبقة والتشوه الناتج عنها قمنا بتمثيلها بيانيا كما في الاشكال (من 16-22)





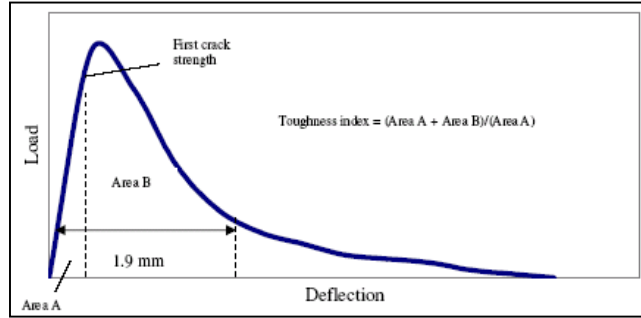
4 - تأثير عامل النخافة للليف على مقاومة الخرسانة على الضغط

يعبر عامل النخافة عن نسبة طول الليف إلى قطره. ولبيان تأثيره على مقاومة الضغط تم إستخدام ألياف بأطوال 30-40-60 مم وبقطر 0.8 مم بما يكافئ عامل نخافة 37.5-50-75 على الترتيب وذلك في خرسانة C350 بنسبة مزج حجمية 1%. بينت النتائج أن أكبر زيادة في المقاومة على الضغط بلغت 10.96% من اجل ألياف بطول 40 مم.



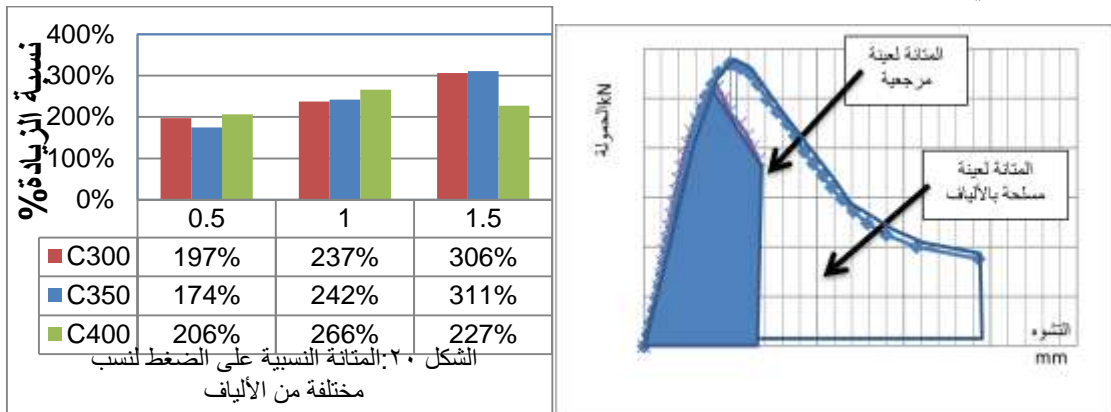
المتانة النسبية Relative toughness

تعتبر المتانة مؤشرا على قابلية الخرسانة لامتصاص الطاقة خلال التحطم و توصف المتانة على انها المساحة تحت منحنى الحمولة - التشوه حيث تعمل الألياف كعنصر ماص للطاقة وتنقل الإجهادات الداخلية بسبب قابليتها للشد [ACI 544 1.R-96] (الشكل 26). تعرف هذه الظاهرة بتجسير الشق وتعمل على تحسين المتانة والديمومة.



الشكل 26: حساب المتانة وفق منحنى الحمولة - الإنتقال ACI committee 544

من أجل إعطاء تقييم كمي لتوضيح تأثير الألياف على الخرسانة سوف نستخدم المتانة الناتجة عن اختبارات الضغط وهي تمثل المساحة تحت منحنى الحمولة - التشوه أما المتانة النسبية فهي المتانة للعينات المسلحة بالألياف منسوبة إلى المتانة في العينات المرجعية (الشكل 27) بإعتبار أن المتانة هي قياس لقدرة المادة على إمتصاص الطاقة أثناء التشوه. تم حساب المتانة النسبية لجميع الخلطات ولجميع نسب المزج بالألياف والشكل التالي مقدار الزيادة بالطاقة أو المتانة النسبية حيث وصل حتى 311% وذلك من أجل الخلطة C 350-1.5% عنها في الخرسانة بدون ألياف إن الخرسانة المسلح بالاللياف لم ينهار بشكل هش عند تشكل الشق ويعود الفضل للألياف المتوضعة بعرض الشق التي قاومت زيادة فتحة الشق وهذا مايسمى *crack closing or crack bridging effect*.



الشكل 27: حساب المتانة النسبية

الاستنتاجات والتوصيات:

- بالنسبة للخرسانة الطازجة فقد تناقص هبوط المخروط بتزايد نسب المزج بالألياف لذلك ينصح باستخدام الملدنات لتحسين قابلية التشغيل.
- ان سلوك الخرسانة المسلحة بالألياف المستخرجة من إطارات السيارات المستهلكة يماثل سلوك الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية الجديدة من حيث تحسن في المقاومة على الضغط وفي زيادة المطاوعة والمتانة مما يبرر اضافة هذه الألياف للخرسانة.
- ازدادت المقاومة على الضغط بزيادة نسب المزج الحجمية بالألياف ووصلت الى 18.37 % من أجل نسبة مزج بالألياف 1,5% للخلطة عيار اسمنت 350 كغ/م³.
- تؤثر نسبة النحافة على مقاومه الضغط للخرسانة المسلحة بالألياف حيث بين البحث أنه من أجل نسبة نحافة 50 والخلطة 1%-C350 أعطت مقاومة عالية.
- ازدادت متانة الخرسانة المسلحة بالألياف على الضغط الى ثلاثة اضعافها مقارنة مع الخرسانة العادية.

المراجع:

- 1 - ACI Committee 544, *Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete*, ACI 544.4R-88.
- 2 - ACI Committee 544, *State-of-The-Art Report on Fiber Reinforced Concrete*, ACI 544 1.R-96
- 3 - AIELLO; LEONE :*steel fibers from waste tires as reinforcement in concrete:a mechanical characterization. department of innovation engineering, university ofsalento, via monteroni, 73100, lecce, italy*
- 4 - BANTHIA & TROTTIER. *Test Methods for Flexural Toughness Characterization of Fiber Reinforced Concrete: Some Concerns and a Proposition* no. *ACI Materials Journal*, V. 92 No. 1, January-February 1995.p.1-10
- 5 - BENCARDINO, F., RIZZUTI, L., SPADEA, G. Experimental tests vs. theoretical modeling for FRC in compression. In Proc. 6th Int. Conf. on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures - FraMCoS-6, Catania, Italy, 2007.
- 6 - BURATTI N., MAZZOTTI C., SAVOIA M. (2011), "Post-cracking behaviour of steel and macrosynthetic fibre-reinforced concretes", *Construction and Building Materials*, 25 Issue 5,2713-2722;
- 7 - California Integrated Waste Management Board, *Assessment of Markets for Fiber and Steel Produced From Recycling Waste Tyres*, Sacramento, 2003.
- 8 - COLOMBO, M. *FRC Bending Behaviour: A Damage Model for High Temperatures*. PhD thesis, Politecnico di Milano, 2006.
- 9 - DOZIO.: *sfrc structures: Identification of the uniaxial tension Characteristic constitutive law* Phd thesis ;Politecnico di Milano Department of structural engineering Doctoral school in structural, earthquake and geotechnical Engineering Academical year 2007-2008
- 10 - End of life recycling-the concrete centre, <<http://www.sustainableconcrete.org.uk/main>>
- 11 -Thiene,I. K.-Ch, Kustermann A. *Sonderbetone Faserbeton*. Institut für Werkstoffe des Bauwesens Fakultät für Bauingenieur- und Frühlingstrimester 2010

- 12 - Japan Society of Civil Engineers (1994) *Recommendation for design and construction of steel fibre reinforced concrete*, Concrete Library of JSCE VI
- 13 - KONIG & KUTZING, *Modelling the increase of ductility of HPC under compressive forces, a fracture mechanical approach*, Proceeding of the International RILEM Workshop "High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites, Mainz 1999, pp. 251-260
- 14 - KOOIMAN, 2000. *Modelling Steel Fibre Reinforced Concrete for Structural Design*, Delft: Technische Universiteit Delft.
- 15 - LÖFGREN, I. *Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction - a fracture mechanics approach to material testing and structural analysis*, Ph. Thesis Göteborg, Sweden: chalmers university of technology. 2005.
- 16 - MOHAMMADI Y., SINGH S. P., KAUSHIK S.K., *Properties of steel fibrous concrete containing mixed fibres in fresh and hardened state*, Construction and Building Materials, (2008), 22 Issue 5, 956-965;
- 17 - MOHAMMED; BENCHEIKH *Properties of concrete reinforced with different kinds of industrial waste fibre materials*. Construction and Building Materials 23 (2009) 3196–3205
- 18 - NASIR BEDEWI; *steel fiber reinforced concrete made with fibers extracted from used tyres*. addis ababa university. Master . 2009
- 19 - OLIVITO R.S., ZUCCARELLO F.A., , "An experimental study on the tensile strength of steel fiber reinforced concrete", *Composites Part B: Engineering*, (2010) 41 Issue 3, 246-255;
- 20 - SCHNÜTGEN, B.: *Bemessung von Stahlfaserbeton und ihre Problematik, konstruktiver Ingenieurbau - berichte Heft 37*, S. 9/13. Aus dem Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr-Universität Bochum. Vulkan-Verlag, Essen 1981
- 21 - TLEMAT, H., PILAKOUTAS, K., NEOCLEOUS, K. (2006) *Stress-strain characteristic of SFRC using recycled fibres*, Materials and Structures, 39 (3), pp. 365-377
- 22 - <www.mot.gov.sy>
- 23 - ZERBINO, R.,. *On the orientation of fibres in structural members fabricated with self compacting concrete*. *Cement and Concrete Composites*. 2012, Volume 34, pp. 191-200.