



جامعة دمشق
كلية الهندسة المدنية
قسم الهندسة الإنشائية

دراسة السلوك الميكانيكي للبيتون المقوى بالإضافات
(الألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المستهلكة بالسيارات)

أعدت هذه الأطروحة استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الدكتوراه
في الهندسة المدنية – قسم الهندسة الإنشائية

اعداد

المهندسة ريم حافظ

اشراف

الأستاذ الدكتور المهندس عفيف رحمة

دمشق 2015

دراسة السلوك الميكانيكي للبيتون المقوى بالإضافات
(الألياف الفولاذية المستخرجة من إطارات المستهلكة بالسيارات)

أعدت هذه الأطروحة استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الدكتوراه
في الهندسة المدنية – قسم الهندسة الإنشائية

اعداد

المهندسة ريم حافظ

لجنة الحكم

تتألف لجنة الحكم من السادة الأساتذة

عضوا	أ.د. رياض العيسى
عضوا	أ.د. محمد غريب
مشرفا وعضوا	أ.د. عفيف رحمة
عضوا	د.م. محمد درويش
عضوا	د.م. هيثم زرزور

كلمة شكر

كل الشكر والتقدير والعرفان بالجميل للأستاذ الدكتور المهندس عفيف رحمة الذي أشرف على هذا العمل ولم يبخل بجهد أو نصيحة.

والشكر موصول للسادة الأساتذة أعضاء لجنة الحكم على تفضلهم بقبول مناقشة الأطروحة وتقييمهم لها.

والشكر أيضا لكل من ساعد في انجاز هذا العمل المتواضع من الزملاء في كلية الهندسة المدنية وفي هيئة الطاقة الذرية ومؤسسة الإسكان العسكرية وشركة R.M.C لإنتاج الخرسانة الجاهزة.

فهرس المحتويات	
vii	الملخص باللغة العربية
x	مسرد المصطلحات المستخدمة
xiii	جدول الرموز المستخدمة
xv	قائمة الأشكال
xx	قائمة الجداول
1	تمهيد
3	الفصل الأول: مدخل في مشروع البحث
3	1-1 مقدمة
3	2-1 مبررات مشروع البحث
4	3-1 هدف البحث
5	4-1 المشكلة العلمية في مشروع البحث
7	الفصل الثاني: استخدامات الألياف في الخرسانة
7	1-2 مقدمة
8	2-2 تصنيف الألياف
9	3-2 الألياف الزجاجية
10	4-2 الألياف الصناعية
11	5-2 الألياف الطبيعية
12	6-2 الألياف الفولاذية
13	7-2 الألياف المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة
15	1-7-2 مكونات الاطار
15	2-7-2 طرق الحصول على الالياف المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة
16	3-7-2 عملية التقطيع الميكانيكي

17	4-7-2 التحليل على البارد
17	5-7-2 التحليل الحراري
17	8-2 تقدير كميات الألياف الفولاذية المعاد تدويرها في سوريا
18	9-2 خاتمة الفصل
20	الفصل الثالث: الخرسانة بالألياف الفولاذية
20	1-3 مقدمة
20	2-3 الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية الصناعية
21	1-2-3 خواص الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية في الحالة الطازجة
21	1-1-2-3 النسبة المعيارية (عامل النحافة)
22	2-1-2-3 نسبة الألياف في الخلطة
23	3-1-2-3 نسب مجموعات الحصويات
24	4-1-2-3 طريقة المزج
25	3-3 خواص الخرسانة المتصلبة بالألياف الفولاذية
25	1-3-3 المقاومة على الضغط
29	2-3-3 المطاوعة
29	3-3-3 الشد
30	4-3-3 التماسك بين الليف والخلطة
31	5-3-3 سحب الليف
31	6-3-3 الانعطاف
32	7-3-3 القص
33	4-3 الخرسانة بالألياف المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة
35	5-3 التطبيقات الأساسية للخرسانة بالألياف الفولاذية
35	6-3 خاتمة الفصل

37	الفصل الرابع: التماسك بين الألياف والخرسانة
37	1-4 مقدمة
37	2-4 مكونات التماسك بين الألياف والخرسانة
40	3-4 طول التماسك لليف
44	4-4 ميكانيكية تجسير الشقوق في الخرسانة بالألياف
44	5-4 نموذج الشق المكافئ (الوهمي)
48	6-4 تجسير الحصىيات
49	7-4 تجسير الألياف الفولاذية
50	8-4 التجسير المشترك الحصىيات والألياف الفولاذية
51	9-4 ميكانيكية انتقال الاجهادات بين الخرسانة والليف
54	10-4 خاتمة الفصل
55	الفصل الخامس: الاختبارات على الضغط
55	1-5 مقدمة
55	2-5 تصميم الخلطات
56	3-5 خواص مكونات الخلطة
56	1-3-5 اختيار المقاس الأعظمي للحصىيات الخشنة
57	2-3-5 مواصفات الحصىيات
57	3-3-5 الاسمنت
57	4-3-5 الماء
58	5-3-5 الملدنات
58	6-3-5 تحضير الألياف الفولاذية المستعملة
59	7-3-5 اختيار طول الليف والنسبة المعيارية
60	8-3-5 مخطط الاختبارات على الضغط

61	9-3-5 ترميز العينات
62	4-5 المزج
63	5-5 صب العينات
64	6-5 قابلية التشغيل
67	7-5 المقاومة على الضغط
69	8-5 التمثيل البياني لعلاقة الضغط - التشوه للعينات المدروسة
71	9-5 تأثير عامل النحافة لليف على مقاومة الخرسانة على الضغط
72	10-5 خاتمة الفصل
73	الفصل السادس: نمذجة رياضية لسلوك الخرسانة المعززة بالألياف على الضغط
73	1-6 مقدمة
73	2-6 تمثيل الألياف المعدنية في وسط الخرسانة المستمر
74	3-6 مقاومة الخرسانة على الضغط المحوري
74	1-3-6 نموذج رياضي لمقاومة الخرسانة
76	2-3-6 تصحيح المقاومة بسبب نحافة الأسلاك الفولاذية
77	4-6 نماذج عن علاقة الاجهاد - التشوه على الضغط
81	5-6 نموذج مقترح للعلاقة بين القوة والانتقال
83	6-6 استنتاج ثوابت النموذج لعلاقة الاجهاد- التشوه على الضغط
87	7-6 تحليل النتائج وتقييم النموذج المقترح
88	8-6 خاتمة الفصل
90	الفصل السابع: متانة الخرسانة بالألياف على الضغط
90	1-7 مقدمة
90	2-7 طرق تحديد المتانة على الضغط في الخرسانة بالألياف
91	3-7 حساب المتانة على الضغط

93	4-7 المتانة الحجمية
95	5-7 المتانة العيارية
96	6-7 قرينة المتانة
97	7-7 تأثير نحافة الأسلاك الفولاذية على قرينة المتانة
98	8-7 خاتمة الفصل
99	الفصل الثامن: النمذجة الرياضية لإجهادات الشد في الخرسانة بالألياف الفولاذية المعاد تدويرها
99	1-8 مقدمة
99	2-8 مقاومة الخرسانة على الشد
100	1-2-8 اختبار الفلق
102	2-2-8 اختبار الانعطاف لجوائز موشورية
104	3-8 حساب الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة
106	4-8 حساب مساهمة مكونات التماسك
108	5-8 تأثير تغير معاملات الخلطة
111	6-8 فاعلية الألياف عند حدوث التشققات في الخرسانة
116	7-8 النموذج الرياضي للإجهادات في الليف
116	1-7-8 الفرضيات
117	2-7-8 معادلة المنحني الرياضي
118	3-7-8 استنباط بارامترات النقاط المفتاحية
119	4-7-8 إيجاد ثوابت معادلة النموذج تحليلا
120	5-7-8 التمثيل البياني للنموذج الرياضي
121	8-8 تحليل منحني الاجهاد في الليف
121	9-8 نمذجة سلوك الخرسانة على الشد

124	10-8 طاقة الانهيار
126	11-8 خاتمة الفصل
127	النتائج والتوصيات
129	قائمة المراجع المستخدمة
	الملخص باللغة الإنكليزية
	الملاحق

المخلص

تعتبر الخرسانة بطبيعتها الفيزيائية والميكانيكية من المواد المنقطعة Discontinuous غير المتجانسة Inhomogeneous، حيث تتصرف مكونات هذه المادة، والأسلاك الفولاذية ضمناً، كمجموعة من المكونات الجزئية Micro-aggregates وفق قوانينها الفيزيائية والميكانيكية الموضوعية وشروطها الحدية الخاصة.

تحتوي إطارات السيارات على 14-15% من وزنها أليافاً فولاذية. كرسيت مؤخراً بعض الأبحاث لاستخدام الألياف الفولاذية المعاد تدويرها من نفايات الإطارات في الخرسانة. تدل الخرسانة التي تم الحصول عليها بإضافة هذه الألياف على تحسن مرض لسلك الخلطة الخرسانية من خلال تحسين متانتها وسلوكها عند حدوث التشققات.

تقدر كمية الألياف الفولاذية المستخرجة من إطارات السيارات المستهلكة في جميع أنحاء العالم بأكثر من مليار إطار مستعمل سنوياً. هناك العديد من الطرق التي تستخدم لإعادة تدوير إطارات السيارات للحصول على الألياف الفولاذية مثل طريقة التقطيع الميكانيكي أو عملية التحليل على البارد كما يمكن استرداد الألياف الفولاذية بطريقة التحليل الحراري اللاهوائية.

أما في سوريا وبالاستناد الى احصائيات وزارة النقل للأعوام من 2006 الى 2010 فان عدد المركبات العاملة بجميع أنواعها يتجاوز مليوني مركبة. ووفقاً لمكونات الاطار من الفولاذ وبفرض أن المركبة الواحدة تستهلك اطارا واحدا سنويا فان كمية الاسلاك الناتجة سنويا تقارب 6000 طنا.

ان امكانيات استخدام الألياف الفولاذية من الإطارات المستهلكة للسيارات في سوريا هو موضوع لم يدخل حيز الدراسات أو التطبيق العملي لذلك فان الدراسات حول هذا الموضوع مازالت واعدة وفي مراحل مبكرة مما شكل حافزا لإجراء البحث وفي سبيل اعطاء قيمة مضافة للأبحاث الجارية لاسيما استخدام الاضافات للخرسانة.

تنتمي الخرسانة بالألياف الفولاذية المعاد تدويرها من إطارات السيارات المستهلكة RTSFRC الى عائلة الألياف الفولاذية وبالتالي فانها سوف تتشارك معها في المبادئ العامة عند تصميم الخلطة وتتمايز عنها في خصائص أخرى كما يمكننا ذلك من إمكانية المقارنة بها.

تم تحضير الألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المطاطية المستهلكة للسيارات حيث استخرجت الحلقة الداخلية من الإطار (Bead wire) بنقشير (سلخ) الكاوتشوك عن حزمة الألياف ثم تعريضه للحرق ثم التقطيع الى الطول المطلوب حيث تم الحصول على الأسلاك الفولاذية. وللتخلص من هباب الفحم المتبقي على الألياف وضعت الأسلاك في جهاز لوس انجلوس وأضيف اليها رمل المزار للتخلص ميكانيكياً منه عن طريق الاحتكاك

مع الرمل. في دراستنا استخدمت ألياف بأطوال 30 - 40 - 60 مم وبقطر 0,8 مم ونسبة معيارية 37.5-50 - 75.

في المرحلة الأولى حضرت عينات خرسانة عيار 350 كغ/م³ وخلطات مع ألياف فولاذية يطول 40 مم ونسب حجمية 0.5 - 1 - 1.5% أي ما يعادل وزناً 40 - 80 - 120 كغ/م³ على الترتيب بالإضافة الى عينات مرجعية بدون ألياف. تبين أن هبوط المخروط للخرسانة الطازجة المحضرة وفق النسب السابقة كان صغيراً جداً مما قاد الى استخدام الملدنات في المرحلة اللاحقة من الاختبارات. تم تحضير ثلاثة خلطات بعيارات اسمنت 300-350-400 كغ/م³ وحصويات مقاس أعظمي 19 مم وأضيفت الألياف بنسب حجمية 0.5 - 1 - 1.5% بالإضافة الى عينات مرجعية بدون ألياف. تم ترميز العينات حسب عيار الاسمنت ونسبة الألياف وعمر العينة عند الكسر.

بشكل عام لوحظ تناقص هبوط المخروط بتزايد نسب المزج بالألياف وتم التوصل الى علاقة رياضية تربط بين هبوط المخروط ونسب المزج بالألياف.

إختبرت العينات المحضرة على الضغط ضمن مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية. بينت النتائج تزايد المقاومة على الضغط بزيادة نسب المزج بالألياف وذلك من اجل الخلطات الثلاثة حيث وصلت حتى 18.37% من أجل عيار اسمنت 400 ونسبة ألياف 1.5% بالمقارنة مع الخلطات الخرسانية المرجعية بدون ألياف.

بينت النتائج وجود علاقة خطية بين المقاومة ونسبة الألياف وان معدل الزيادة للخلطات 350 و 450 هو متقارب (5.01% و 5.33% على الترتيب) وأعلى منه في الخلطة عيار 300 (1.7%) ويمكن تفسير ذلك أن السطح النوعي الإضافي المتولد بسبب إضافة الألياف في الخلطات بالألياف في الخلطات ذات عيارات الاسمنت المنخفضة أدى الى انخفاض معدل الزيادة في المقاومة لذلك ينصح برفع عيار الاسمنت. كما تم التوصل الى العلاقة بين كمية الإسمنت ومقاومة الخرسانة.

اقترح نموذج رياضي لإستقراء سلوك الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة RTSFRC على الضغط حيث بُني النموذج إنطلاقاً من النتائج التجريبية وسلسلة من المعالجات الرياضية. يتوافق النموذج المقترح لإستقراء سلوك الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة RTSFRC مع ما قدمته الدراسات والأبحاث من نماذج رياضية، في استقراء سلوك الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية في الجزء الصاعد من المنحني، كما تتباين في تقدير سلوك المادة في المرحلة اللدنة بعد ظهور التشقق في الخرسانة (الجزء الهابط من المنحني).

تم التطرق الى موضوع المتانة وهي ميزة تتمتع بها الخرسانة بالألياف عن الخرسانة العادية. وتم التوصل الى علاقة تربط بين قرينة المتانة ونسبة الالياف. سمح تحليل مؤشر المتانة بالوصول الى نتيجة مفادها أن استخدام نسبة ألياف أعلى من 1% لا يؤدي الى زيادة ملحوظة في متانة الخرسانة. لذلك نوصي استخدام نسبة ألياف حجمية تساوي 1% أي ما يعادل وزنا 80 كغ/م³.

تم دراسة التماسك بين الألياف والخلطة وبينت النتائج أن هذه الألياف تؤمن تماسكا جيدا مع الخلطة وأن طبقة الكربون المتبقية عليها لم تؤثر بشكل كبير على التماسك. يمكن القول بأن الألياف المستخدمة في هذه الدراسة قد أعطت نتائج جيدة.

تم اختبار عينات من الخرسانة بالألياف على الشد غير المباشر باختبار الفلق لعينات اسطوانية واختبار الانعطاف لجوائز موشورية. ازدادت مقاومة الخرسانة على الشد في اختبار الفلق البرازيلي 14.5% وفي اختبار الانعطاف للجوائز 9.5%.

اقترح نموذج لسلوك الألياف ضمن الخرسانة على الشد وتبين وجود توافق مع التحليل المقدم لمراحل عمل الليف ومع الدراسات المرجعية لاختبارات سحب الليف.

تضاعفت طاقة الانهيار عند اختبار الجوائز على الانعطاف لخرسانة بالألياف بنسبة 1% وعيار اسمنت 350 كغ/م³ عدة مرات مقارنة مع الطاقة في الخرسانة العادية.

ان وجود طبقة رقيقة متبقية من الفحم تغلف سطوح الألياف والمحتمل أنه كان لها تأثير إيجابي على الالتصاق الكيميائي بين الخلطة والألياف. ولكن هذا يحتاج الى اثبات ويمكن أن يكون موضوع بحث مستقبلي.

مسرد المصطلحات المستخدمة

Discontinuous	المواد المنقطعة
Synthetic Fibers SNF	الألياف الصناعية
Glass fiber GF	الألياف الزجاجية
gravity Specific	الوزن النوعي
strength Tensile	مقاومة الشد
Modulus Elastic	معامل المرونة
Fiber length	طول الليف
Fiber diameter	قطر الليف
Recycled Tires Steel Fiber	الألياف المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة
Metallic Fiber	ألياف معدنية
Natural organic Fiber	ألياف طبيعية عضوية
Natural inorganic	طبيعية غير عضوية
Shredding process	عملية التقطيع الميكانيكي
Cryogenic process	التحليل على البارد
Pyrolysis process	التحليل الحراري
freshly-mixed concrete	الخرسانة في الحالة الطازجة
aspect ratio (Slenderness)	النسبة المعيارية (عامل النحافة)
Fiber Volume	نسبة الألياف في الخلطة
Volume fractions	نسب مجموعات الحصىوات
micro cracks	الشقوق الميكروية
toughness	المطاوعة
strain softening	التشوه الطري
strain hardening	التشوه الصلب
Bond	التماسك
Pullout	سحب الليف
Flexural	الانعطاف

Shear	القص
RTSFRC	الخرسانة المقواة بالألياف من اطارات السيارات المستهلكة
GFRC	الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية
NFRC	الخرسانة المسلحة بالألياف الطبيعية
SFRC	الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية
CFRC	الخرسانة المسلحة بالألياف الكربونية
SNFRC	الخرسانة المسلحة بالألياف الصناعية
NSSFRC	الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية عادية المقاومة
HSSFRC	الخرسانة المسلحة بالألياف عالية المقاومة
RTSFRC	الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية المعاد تدويرها من اطارات السيارات
embedded Length	الطول المغموس للليف
Fiber orientation factor	معامل توجيه الألياف
FCM fictitious crack model	نموذج الشق الوهمي
Aggregate Bridging	تجسير الحصىات
Fiber Bridging	تجسير الألياف
elastic stress transfer	نقل الاجهادات المرنة
Adhesional shear bond strength	بمقاومة القص على الالتصاق
frictional shear strength	مقاومة القص على الاحتكاك
Shear-lag Theory	نظرية التماسك
Mixture design	تصميم الخلطات
Cement	الاسمنت
Admixture	الملدنات
Sample coding	ترميز العينات
Mixing	الخلط
Casting	صب العينات
Workability	قابلية التشغيل
compressive strength	المقاومة على الضغط

Compression toughness	المتانة على الضغط
volumetric Toughness	المتانة الحجمية
Toughness related cement content (Tc)	المتانة العيارية
Toughness Index TI	قرينة المتانة
micro level	مستوى التركيب الجزيئي
macro level	المستوى الكتلي
meso level	المستوى الوسطي
Split test	اختبار الفلق
Flexural test	اختبار الانعطاف
Fracture energie	طاقة الانهيار
Inhomogeneous	غير المتجانس
Micro-aggregates	المكونات الجزيئية
Slump	هبوط المخروط

جدول الرموز المستخدمة

Ac	مساحة مقطع الخرسانة	α	معامل التصحيح
c	عيار الاسمنت (كغ/م ³)	β	ثابت يتعلق بمواصفات المادة، معامل تصحيح β قربينة المتانة
Df	القطر الاسمي للليف	γ_m	معامل بواسون للخلطة
Ec	عامل مرونة الخرسانة	∞	التشوه النسبي
Eeq	عامل مرونة الوسط المكافئ	$\eta\Phi1D$	معامل توجيه الألياف في الفراغ أحادي البعد
Ef	عامل مرونة الليف	$\eta\Phi2D$	معامل توجيه الألياف في الفراغ ثنائي البعد
Em	معامل المرونة للخلطة	$\eta\Phi3D$	معامل توجيه الألياف في الفراغ ثلاثي البعد
ϵ_{norm}	لتشوه النسبي الاعتباري	$\sigma(w)$	الاجهاد في الخرسانة كتابع لعرض الشق
ϵ_{pf}	تشوه الذروة الموافق للمقاومة على الضغط	$\sigma(x)$	الاجهاد في الليف كتابع للطول المغموس
fb	مقاومة الانعطاف	σ_{adh}	الاجهاد في الليف الناتج عن الالتصاق
f'c	المقاومة المميزة للخرسانة	σ_{eq}	الاجهاد في الخلطة المكافئ للاجهاد في الليف
fsp	مقاومة الفلق	σ_f	الاجهاد في الليف
ft	مقاومة الخرسانة على الشد	$\sigma_f(w)$	مساهمة تجسير الألياف
fy	المقاومة المميزة للفولاذ	σ_{fnorm}	الاجهاد الاعتباري النسبي في الليف
Gf	طاقة الانهيار للخرسانة بالألياف	σ_{fri}	الاجهاد في الليف الناتج عن الاحتكاك
Gf0	طاقة الانهيار للخرسانة بدون ألياف	σ_m	الاجهاد في الخلطة الخرسانية
Le	الطول المغموس	σ_{norm}	الاجهاد النسبي الاعتباري
Leq	الطول المكافئ للليف	σ_{mix}	مساهمة الخلطة الخرسانية على الشد
Lf	طول الليف الفولاذي	$\tau(x)$	القص في الليف كتابع للطول المغموس
Nf	عدد الألياف في المقطع العرضي	τ_{adh}	اجهاد القص على الالتصاق
r	نصف قطر الليف	τ_{exp}	اجهاد القص تجريبيا
Rm	التباعد بين الألياف	τ_{fri}	اجهاد القص على الاحتكاك

T	المتانة	Φ	زاوية ميل الليف على المقطع العمودي على محور التحميل
Tc	المتانة العيارية		
Tl	قرينة المتانة		
Tv	المتانة الحجمية		
Vf	نسبة الألياف الحجمية (%)		
w	عرض الشق		

قائمة الأشكال

الشكل 1-1: الترابط الموضوعي بين الوسط المنقطع والوسط المستمر
الشكل 1-2: تصنيف الألياف وفق James Patrick Maina Mwangi, 1985
الشكل 2-2: صورة لألياف زجاجية
الشكل 2-3: صورة لألياف بلاستيكية
الشكل 2-4: الأشكال المعتادة للألياف الفولاذية
الشكل 2-5: مقاطع عرضية للألياف الفولاذية
الشكل 2-6: المكونات الرئيسية لاطار السيارة
الشكل 3-1: تأثير النسبة المعيارية على قابلية التشغيل معبرا عنها بمعامل الرص
الشكل 3-2: تأثير نسبة الألياف في الخلطة على زمن V-B من أجل مقاسات أعظمية مختلفة للحصويات
الشكل 3-3: تأثير نسبة الألياف في الخلطة على زمن V-B من أجل نسب معيارية مختلفة
الشكل 3-4: تأثير حجم الحصويات على توزع الألياف
الشكل 3-5: تشكل شقوق طولية نتيجة الضغط
الشكل 3-6: تفسير آلية انهيار الخرسانة المسلحة بالألياف
الشكل 3-7: منحنيات الاجهاد - التشوه لنسب الياف مختلفة وفق ACI 544 1.R-96
الشكل 3-8: تأثير الألياف الفولاذية على الخرسانة
الشكل 3-9: منحنيات الاجهاد - الانفعال وفق (Kutzig, 1999 & Konig)
الشكل 3-10: منحنيات الاجهاد - الانفعال انسب الياف مختلفة وفق Schnutgen, 1981
الشكل 3-11: تأثير نسبة الألياف ونوعها على المطاوعة
الشكل 3-12: سلوك الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة بالألياف على الشد
الشكل 3-13: سلوك الخرسانة العادية والخرسانة بالألياف على الشد
الشكل 3-14: مقارنة لاستجابة أنواع مختلفة من الألياف عند السحب
الشكل 3-15: تأثير اضافة الالياف على مقاومة الشد على الانعطاف لأنواع مختلفة من الألياف

الشكل 3-16: إعادة توزيع الإجهادات في الخرسانة بالألياف عند انتشار الشق
الشكل 3-17: موقع الخرسانة بالألياف المعاد تدويرها من إطارات السيارات بين أنواع الخرسانة بالألياف
الشكل 3-18: نتائج الاختبار على الانعطاف للجوائز بنسبة وزنية 6%
الشكل 3-19: التطبيقات الأساسية للخرسانة بالألياف الفولاذية
الشكل 4-1: مخطط توضيحي يبين مكونات التماسك بين الليف والخلطة
الشكل 4-2: صورة مكبرة 1000 مرة لسطح ليف فولاذي امس يظهر الخشونة الميكروية
الشكل 4-3: مساهمة مكونات التماسك بين الليف والخلطة
الشكل 4-4: (على اليمين) مقارنة لأبعاد مكونات الخرسانة ، (على اليسار) مقارنة نسبية لأبعاد الألياف
الشكل 4-5: صورة بجوار سطح ليف فولاذي مأخوذة بميكروسكوب الكتروني مع مخطط توضيحي
الشكل 4-6: الحالات الممكنة لتوزيع الألياف
الشكل 4-7: الحالة العامة لتوضع الليف على جانبي سطح الشق في الفراغ أحادي البعد
الشكل 4-8: الحالة العامة لتوضع الليف على جانبي سطح الشق في الفراغ ثنائي البعد
الشكل 4-9: الحالة العامة لتوضع الليف على جانبي سطح الشق في الفراغ ثلاثي البعد
الشكل 4-10: ميكانيكيات مختلفة مؤثرة على طبيعة الشق
الشكل 4-11: نموذج الشق المكافئ (تجسير الحصىات فقط)
الشكل 4-12: نموذج الشق المكافئ (تجسير مشترك الحصىات والألياف)
الشكل 4-13: نماذج لعلاقة المنحني $\sigma-w$
الشكل 4-14: وصف تخطيطي لعملية التجسير للحصىات على الشد
الشكل 4-15: مخطط توضيحي لتسلسل انهيار الخرسانة المسلحة بالألياف
الشكل 4-16: منحنى القوة - الانتقال (السحب) من أجل ليف مستقيم
الشكل 4-17: التأثير المشترك لتجسير الحصىات والألياف
الشكل 4-18: الألياف محاطة بالخلطة من جميع الجهات بشكل تام مشكلة معها جسما موشوريا
الشكل 4-19: صورة شعاعية تظهر التوزيع العشوائي للألياف ضمن الخلطة

الشكل 4-20: انتقال اجهادات الشد والقص الى الليف
الشكل 5-1: منحنى التدرج الحبي للحصويات للخلطة عيار اسمنت 350 مع/م ³
الشكل 5-2: تحضير الاسلاك من الإطارات
الشكل 5-3: مخطط اجراء الاختبارات على الضغط
الشكل 5-4: تحضير القوالب وصب العينات
الشكل 5-5: هبوط المخروط لخلطات بدون ملدن
الشكل 5-6: تأثير نسب المزج بالألياف على هبوط المخروط Slump (بدون ملدن)
الشكل 5-7: هبوط المخروط لخلطات مع ملدن
الشكل 5-8: العلاقة بين هبوط المخروط ونسب المزج بالألياف مع ملدن
الشكل 5-9: انهيار عينة بألياف C400-1%-28d
الشكل 5-10: شكل الإنهيار لعينة خرسانية عادية وعينة بألياف
الشكل 5-11: منحنى القوة - الانتقال (الضغط - التشوه) لعينات عيار اسمنت 300 ونسب ألياف مختلفة
الشكل 5-12: منحنى القوة - الانتقال (الضغط - التشوه) لعينات عيار اسمنت 350 بنسب ألياف مختلفة
الشكل 5-13: منحنى القوة - الانتقال (الضغط - التشوه) لعينات عيار اسمنت 400 بنسب ألياف مختلفة
الشكل 5-14: منحنى القوة - الانتقال (الضغط - التشوه) لعينات عيار اسمنت 350 بأطوال ألياف مختلفة
الشكل 6-1: العلاقة بين مقاومة الخرسانة بالألياف الفولاذية الابرية مع نسبة الالياف
الشكل 6-2: نماذج رياضية للعلاقة بين مقاومة الخرسانة وعيار الاسمنت
الشكل 6-3: معامل التصحيح α
الشكل 6-4: نموذج الاجهاد - التشوه وفق Lee & Soroushian (1989)
الشكل 6-5: نموذج الاجهاد - التشوه وفق Popovics 73
الشكل 6-6: نموذج الاجهاد - التشوه وفق Ezeldine and Balaguru
الشكل 6-7: نموذج الاجهاد - التشوه وفق Figueiras & Barros
الشكل 6-8: مقارنة النتائج التجريبية مع دراسات مرجعية

الشكل 6-9: النتائج التجريبية للعينات من الخرسانة بألياف فولاذية والمنحني المناسب
الشكل 6-10: النموذج الرياضي للخرسانة بالألياف المستخرجة من الاطارات المستهلكة للسيارات على الضغط عيار اسمنت C300
الشكل 6-11: النموذج الرياضي للخرسانة بالألياف المستخرجة من الاطارات المستهلكة للسيارات على الضغط عيار اسمنت C350
الشكل 6-12: النموذج الرياضي للخرسانة بالألياف المستخرجة من الاطارات المستهلكة للسيارات على الضغط عيار اسمنت C400
الشكل 6-13: النموذج العام للخلطات الخرسانية بالألياف المستخرجة من الاطارات المستهلكة للسيارات على الضغط
الشكل 6-14: مقارنة بين نماذج مرجعية والنماذج الرياضية الخاصة بالخرسانة بالألياف الفولاذية المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة RTSFRC
الشكل 7-1: طريقة حساب قرينة المتانة على الضغط
الشكل 7-2: المتانة الحجمية
الشكل 7-3: المتانة الحجمية كتابع لنسبة الألياف وعيار الاسمنت
الشكل 7-4: المتانة العيارية
الشكل 7-5: قرينة المتانة مع نسبة الالياف
الشكل 7-6: معامل التصحيح β
الشكل 8-1: اختبار عينة اسطوانية على الفلق
الشكل 8-2: صور تبين تماسك عينة بالألياف مختبرة على الفلق وعينة مرجعية بدون الياف
الشكل 8-3: طريقة اختبار الجوائز
الشكل 8-4: صورة لجائز من خرسانة بدون ألياف بعد الاختبار
الشكل 8-5: جائز من خرسانة بألياف بعد الاختبار
الشكل 8-6: الألياف في الجائز (تم فصل شطري الجائز لتوضيح توضع الألياف)
الشكل 8-7: الاجهاد في الليف في المجال المرن
الشكل 8-8: الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة في المجال المرن

الشكل 8-9: حساب وسطي الاجهاد المماسي
الشكل 8-10-أ: تأثير تغير معامل المرونة للخلطة على الاجهاد في الليف
الشكل 8-10-ب: تأثير تغير معامل المرونة للخلطة على الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة
الشكل 8-11-أ: تأثير تغير معامل المرونة لليف على الاجهاد في الليف
الشكل 8-11-ب: تأثير تغير معامل المرونة لليف على الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة
الشكل 8-12-أ: تأثير تغير معامل النحافة لليف على الاجهاد في الليف
الشكل 8-12-ب: تأثير تغير معامل النحافة لليف على الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة
الشكل 8-13: مراحل انسحاب الليف
الشكل 8-14-أ: الاجهاد في الليف في نهاية المرحلة الأولى وبداية الثانية
الشكل 8-14-ب: الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة في نهاية المرحلة الأولى وبداية الثانية
الشكل 8-15-أ: الاجهاد في الليف في نهاية المرحلة الثانية وبداية الثالثة
الشكل 8-15-ب: الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة في نهاية المرحلة الثانية وبداية الثالثة
الشكل 8-16: أ- التوضع الفعلي للألياف ب- التوضع الافتراضي في النموذج
الشكل 8-17: النقاط المفتاحية المتوافقة مع مراحل عمل الليف
الشكل 8-18: النموذج المقترح لمخطط الاجهاد في الليف
الشكل 8-19: منحنيات الاجهاد في الليف وفق مراحل فاعلية الألياف
الشكل 8-20: الاجهادات في الليف بالاتجاه الشاقولي على ارتفاع الشق والأفقي على كامل الليف
الشكل 8-21: تحليل منحنى الاجهاد في الليف
الشكل 8-22: اجهاد الشد في الخرسانة بالألياف بعد حدوث التشقق
الشكل 8-23: منحنى طاقة الانهيار مع عرض الشق

قائمة الجداول
الجدول 2-1: أهم الخواص الفيزيائية للألياف الزجاجية
الجدول 2-3: أهم الخواص الفيزيائية للألياف الصناعية
الجدول 2-4: أهم الخواص الفيزيائية للألياف الطبيعية
الجدول 2-5: خواص الألياف المستخدمة في الخرسانة
الجدول 2-6: التركيب النموذجي للإطارات
الجدول 2-7: تقدير كميات الألياف الفولاذية المعاد تدويرها في سوريا
الجدول 3-1: التدرج الحبي الموصى به للخرسانة المقواة بالألياف الفولاذية
الجدول 3-2: مكونات خلطات خرسانية بالألياف الفولاذية
الجدول 5-1: نتائج اختبار الألياف على الشد ومقارنتها مع بدراسات مرجعية
الجدول 5-2: ترميز العينات (بدون ملدن)
الجدول 5-3: ترميز العينات (مع ملدن والياف بطول 40 مم)
الجدول 5-4: ترميز العينات (مع ملدن والياف بطول 30 و 60 مم)
الجدول 5-5: مكونات الخلطة عيار 300
الجدول 5-6: مكونات الخلطة عيار 350
الجدول 5-7: مكونات الخلطة عيار 400
الجدول 5-8: قيم هبوط المخروط لخلطات مختلفة مع ملدن
الجدول 5-9: مقاومة الخرسانة على الكسر لخلطة عيار اسمنت 300 كغ/م ³ بعمر 28 يوما
الجدول 5-10: مقاومة الخرسانة على الكسر لخلطة عيار اسمنت 350 كغ/م ³ بعمر 28 يوما
الجدول 5-11: مقاومة الخرسانة على الكسر لخلطة عيار اسمنت 400 كغ/م ³ بعمر 28 يوما
الجدول 5-12: نتائج اختبار عينات مكعبية على الضغط بألياف ذات معاملات نحافة مختلفة
الجدول 6-1: نتائج مقاومة الخرسانة على الضغط
الجدول 6-2: معامل تصحيح المقاومة α بسبب معامل النحافة لليف

الجدول 3-6: قيم الثابت c
الجدول 1-7: المتانة / عينة مكعبية
الجدول 2-7: المتانة الحجمية
الجدول 3-7: المتانة العيارية
الجدول 4-7: قرينة المتانة
الجدول 5-7: معامل تصحيح قرينة المتانة β بسبب نحافة الليف
الجدول 1-8: نتائج اختبار الخرسانة على الفلق
الجدول 2-8: نتائج اختبار الانعطاف للجوائز
الجدول 3-8: حساب الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة
الجدول 4-8: بارامترات النقاط المفتاحية في النموذج الرياضي للإجهادات في الليف
الجدول 5-8: ثوابت المعادلة الرياضية للنموذج المقترح للاجهاد في الليف
الجدول 6-8: طاقة الانهيار للخرسانة بالألياف على الشد

STUDY MECHANICAL BEHAVIOR OF CONCRETE ENHANCED WITH ADDITIVES (STEEL FIBER EXTRACTED FROM WASTE TIRE)

ABSTRACT

Concrete is a physical and mechanical nature of discontinuous Inhomogeneous material, where components including steel fiber behave, as a set of Micro-aggregates according to the physical and mechanical topical laws and boundary conditions.

Tires contain 14-15% by weight of steel fibers. Some research has recently been devoted to the use of steel fiber from recycled waste tires in concrete. Concrete obtained by adding these fibers shows improvement the behavior of the concrete by improving the toughness and behavior at the occurrence of cracks.

The quantity of recycled steel fiber extracted from the tires (RTSF) estimated worldwide by more than a billion used tire annually. There are many methods are used to recycle tires for steel fibers, such as the Shredding process, Cryogenic process, Pyrolysis process.

In Syria, based on the statistics of the Ministry of Transport for the years from 2006 to 2010, the number all types of vehicles is more than two million vehicles. According to the components of the tire and assuming that each vehicle consumes one tire per year, the amount of steel fiber resulting convergence of 6,000 tons annually..

The possibilities of the use of steel fiber extracted from the tire did not come into the studies or the practical application in Syria. The studies on this topic are still promising in the early stages, which form an motivation to research in order to give added value to ongoing research, particularly the use of additives for concrete.

To access the general mathematical relationships represent the behavior of concrete enhanced with fiber was necessary to implement the experiments cover a wider area of the possibilities of change in the proportion of cement or a change in the proportion of fibers in the concrete mix..

Concrete with steel fiber from recycled tires RTSFRC belong to steel fiber family, therefore it will share with the general design principles of the mixture and differentiate in other properties as we can so the possibility of the comparison.

The preparation of steel fiber extracted from recycled tires where extracted the inner ring of the frame (Bead wire) skinning rubber for fiber bundle and then subjected to burn and then cutting to the desired length. To get rid of the remaining coal on fiber fiber placed in Los Angeles apparatus and added sand to get rid of it mechanically by friction with sand.

In this work were used fiber lengths of 30-40 - 60 mm and a diameter of 0.8 mm and the aspect ratio 37.5- 50-75, max aggregate size 19 mm in size in accordance with the references studies.

In the first phase were prepared concrete samples with cement content 350 kg / m³ and steel fibers 40 mm long and volumetric percentage of 0.5-1-1.5%, equivalent weight 40- 80-120 kg/m³, respectively, in addition to the reference samples without fiber. The slump test for the prepared fresh concrete show that decline according to the previous percentages was too small, which led to the use of plasticizers in the next phase of testing. Three mixtures were prepared with cement content 300-350-400 kg/m³ and added fiber volumetric percentage of 0.5-1-1.5%, additionally to the reference samples without fiber. The samples were coded according to the cement content, fiber percentage and the age of the sample at testing.

Generally were observed decrease in slump with increasing fiber mixing percentage. It was reached to mathematical relationship between slump and fiber mixing percentage.

Prepared samples were tested under the compression in the concrete laboratory at the Faculty of Civil Engineering in Damascus. The results showed increase compression strength with increase fiber percentage for the three mixtures. Reaching up to 18.37% for 400 cement content and 1.5% fiber percentage compared with the reference sample without fiber.

The results showed a linear relationship between the compression strength and the fiber percentage. The rate of increase for the mixtures 350 and 450 is tight (5.01% and 5.33%, respectively) and higher than for the mixture 300 (1.7%). That can be explained by the fact that the specific surface generated by addition the fiber needs more cement. It has also been reached to the relationship between the cement content and compression strength.

Mathematical model was proposed to extrapolate the behavior of RTSFRC under the compression. Model was built from experimental results and a series of mathematical treatments. The proposed model of RTSFRC agrees with the studies and research in ascending branch, but vary clearly in descending branch.

Toughness is an advantage enjoyed by fiber concrete from ordinary concrete. It was reached to relationship between toughness index and the fiber volume. Analysis of toughness index allowed to the conclusion, that the use of fiber is higher than 1% does not lead to a significant increase in the toughness of concrete. Therefore, we recommend the use of fiber volumetric ratio equal to 1% equivalent weight of 80 kg / m³.

The bond between the RTSF and the mixture was studied, and the results showed that the RTSF provide a good adhesion with the mixture and the remaining carbon layer did not greatly affect upon the adhesion. It can be said that the fibers used in this study has given good results.

Samples of concrete enhanced with RTSF were tested indirect tensile, split test (Brazilian split test) for cylindrical samples and flexural test for prismatic samples. Tensile strength increased for split test 14.5% and flexural test 9.5%.

Model was proposed for the fiber behavior within the concrete under tensile. It was showed an agreement with the analysis presented to the stages of the activity of the fiber and with reference studies.

Fracture energy was doubled for beams flexure test several times compared with the energy in ordinary concrete.

The presence of a thin layer remaining coal-jacketed fiber surfaces has positive impact on the chemical adhesion between mixture and fiber. But this needs to prove, it can be the subject for future research.

تأتي هذه الرسالة ضمن منظور توظيف البحث العلمي ونتائجه التطبيقية في عملية تنمية المجتمع، حيث تسلط الرسالة الضوء على مدخل لإستثمار أحد مواد النفايات، الألياف الفولاذية المعاد تدويرها من الإطارات المطاطية المستهلكة، في إنتاج خرسانة نوعية.

من الناحية الصناعية هي خرسانة معززة بالألياف المعدنية تحمل من المواصفات الميكانيكية ما يسمح بإستخدامها في تطبيقات هندسية متعددة، حيث سلامتها الإنشائية مشروطة بمطابقتها العالية نسبياً.

من الناحية الإقتصادية هي مدخل لإنتاج خرسانة تلبى في بنائها وتشكيلها معيار التوفير في كلفة الإنتاج على مستوى الإنفاق الخاص والإنفاق العام.

تتضمن الرسالة ثمانية فصول نخلص بها إلى فصل نعرض به ما توصلنا إليه من نتائج وتوصيات.

يشمل الفصل الأول تعريفاً بهدف البحث والمشكلة العلمية ومنهجية البحث المستندة الى مجموعة من الاختبارات والتحليل الرياضي وصولاً الى استنتاجات يتم مقارنتها مع الدراسات المرجعية الأكثر قرباً الى طبيعة المادة التي يتناولها هذا البحث بالدراسة والتحليل.

في الفصل الثاني تم استعراض مكثف لأكثر أنواع الألياف استخداماً في الخرسانة بالإضافة الى طرق الحصول على الألياف المعاد تدويرها من الإطارات المطاطية وتقدير كميتها في سوريا.

في الفصل الثالث يجد القارئ دراسة مرجعية للخرسانة بالألياف الفولاذية وخواصها في الحالة الطازجة وفي الحالة المتصلبة، ودراسة عن الخرسانة المعززة بالألياف المستخرجة من إطارات السيارات باعتبارها أحد أنواع الألياف الفولاذية.

في الفصل الرابع تمت دراسة ظاهرة التماسك بين الليف الفولاذية ومكونات الخلطة الخرسانية، وتوضيح أسباب سيطرة هذه الميكانيكية على سلوك الخرسانة المعززة بالألياف، حيث نوضح فعل مختلف الميكانيكيات المساهمة بتوازن واستقرار المادة حتى إنهيارها من فعل إنسحاب الألياف والتجسير لنقل القوى بين الشقوق، كما نوضح تأثير طول الليف المغموس وقطره في هذه الميكانيكيات، ومعادلات حساب اجهادات الشد في الليف واجهاد التلاصق (القص المباشر) بين الليف والخلطة.

أما الفصل الخامس فيشمل خواص المواد الداخلة في الخلطة مثل الحصىات الخشنة والناعمة والرمل والاسمنت وألياف فولاذية معاد تدويرها، كما يشمل تصميم الخلطة وتحضير العينات وترميزها ونتائج اختبارات كسرها على الضغط المحوري والكسر بالفلق.

في الفصل السادس تم تحليل نتائج الاختبارات حيث نجد تحليلاً لدور إضافة الألياف على سلوك الخرسانة على الضغط وشكل معالجتها رياضياً وصولاً إلى اقتراح نموذج لعلاقة الضغط - التشوه ومقارنته مع دراسات مرجعية استخدمت فيها خلطات مشابهة وألياف فولاذية صناعية مشابهة للألياف المستخدمة في هذه الدراسة من حيث الأبعاد الجيومترية.

أما الفصل السابع فقد خصص لدراسة تأثير إضافة الألياف على مطاوعة الخرسانة وتحليل ذلك من خلال مؤشر المتانة على الضغط وإيجاد علاقات رياضية تعبر عن المتانة منسوبة إلى الحجم أو إلى عيار الاسمنت أو بشكل نسبي منسوبة إلى متانة عينة مرجعية بدون ألياف.

في الفصل الثامن تمت دراسة فاعلية الليف أثناء الشد ومراحل عمل الليف والاجهادات المتولدة في الليف في المراحل المختلفة ابتداءً من ظهور الشقوق في الخرسانة وصولاً إلى انهيارها، واقتراح نموذج رياضي يمثل لعلاقة بين قيمة الاجهاد في الليف وعرض الشق، وتطبيق هذا النموذج للحصول على نموذج رياضي لإستقرار قيمة إجهاد الشد في الخرسانة المعززة بالألياف.

أغني هذا البحث بعدد من الملاحق وجداول المصطلحات والرموز المستخدمة، مع قائمة بما اعتمد عليه البحث من مراجع.

وللربط والتكامل بين فصول الرسالة تم تضمين كل فصل من الفصول بخلاصة تتضمن النتائج الجزئية المستخلصة كتمهيد للدخول في الفصل اللاحق، لننتهي بخلاصة نتائج هذا العمل المتواضع.

مدخل في مشروع البحث

1-1 مقدمة

تعتبر الخرسانة مادة غير متجانسة تحتوي على حصويات خشنة وناعمة موزعة عشوائياً ضمن العجينة الاسمنتية مما يجعل سلوكها يختلف كثيراً عن سلوك المواد المتجانسة كالمعادن. تصنف الخرسانة كمادة هشة ذات مقاومة ضعيفة على الشد ولها سعة تشوهات قليلة وذات متانة منخفضة، وهذا يشكل ضعفاً في خصائص الخرسانة يتم تلافيه من خلال تسليح الخرسانة. يتشكل التسليح التقليدي للخرسانة من قضبان تسليح مستمرة وأساور متوضعة في أماكن محددة لمقاومة تأثيرات الشد والقص.

منذ العام 1960 بدأت الأبحاث لاستخدام الألياف كنوع آخر من التسليح في الخرسانة. والألياف هي عناصر منقطعة غير مستمرة موزعة عشوائياً ضمن الخلطة الخرسانية. تستخدم في الخرسانة العديد من أنواع الألياف منها الطبيعي والصنعي والمعدني.

1-2 مبررات مشروع البحث

منذ عدة عقود مضت أصبحت الإطارات المستهلكة مشكلة بيئية عالمية ومحلية وذلك بالنسبة لإدارة التحكم بالنفايات في العالم كله. في سورية فقط يتم اهتلاك مئات الأطنان من الإطارات سنوياً مما يستدعي التخلص بكفاءة من هذه الكميات من الإطارات المستهلكة وتطوير وسائل لتحويلها إلى مواد مفيدة.

تحتوي إطارات السيارات على 14-15% من وزنها أليافاً فولاذية (California Integrated Waste Management Board 2003). كرسست مؤخراً بعض الأبحاث لاستخدام الألياف الفولاذية المعاد تدويرها من نفايات الإطارات في الخرسانة. تدل الخرسانة التي تم الحصول عليها بإضافة هذه الألياف على تحسن مرض لسلوك الخلطة الخرسانية من خلال تحسين متانتها وسلوكها عند حدوث التشققات. وهكذا فإن استخدام هذه الألياف يؤمن فوائد إضافية مثل الكلفة المنخفضة للمواد الخام والإستفادة منها بالإضافة إلى التخلص من النفايات الصلبة.

إن إمكانيات استخدام الألياف الفولاذية من الإطارات المستهلكة للسيارات في سوريا هو موضوع لم يدخل حيز الدراسات أو التطبيق العملي ولا توجد دراسات تدل على إمكانية استخدامه بشكل اقتصادي على الرغم من وجود بعض الاستثناءات المحدودة للاستفادة من مركباتها من قبل بعض الحرفيين.

أظهرت مقارنة الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المطاطية المستهلكة للسيارات مع الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية التقليدية أنها مرشحة للاستخدام في التطبيقات الهندسية.

لذلك فان الدراسات حول هذا الموضوع مازالت واعدة وفي مراحل مبكرة مما شكل حافزا لإجراء البحث وفي سبيل اعطاء قيمة مضافة للأبحاث الجارية لاسيما استخدام الاضافات للخرسانة.

ولا تتحصر هذه الإضافة على الجانب العلمي بل هي مساهمة في تحصيل جدوى إقتصادية في تخفيض كلفة الإنتاج، و خطوة هامة في التخلص من النفايات الصلبة بطرق مجدية تخفض من التلوث البيئي. وجوه عدة من الإستفادة منها لا بد أن تدفع نحوها المعنيين في صناعة البناء والتشييد والمهتمين بالبيئة نحو مشروع إعادة تدوير الإطارات المهلكة.

3-1 هدف البحث

تحررت بعض الأبحاث حديثا" عن إستخدام المطاط والألياف الفولاذية المستخلصة من الدواليب المهلكة في الخرسانة حيث تم إنجاز العديد من التطبيقات مثل استخدام المطاط من الدواليب المهلكة كأحد المحسنات في الإضافات للإسمنت وفي تجهيزات الألعاب الرياضية ولأرضيات الملاعب.

كما أظهرت الأبحاث أن إستخدام الألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المهلكة في الخرسانة يطور سلوك الإنكسار لاسيما فيما يتعلق بالمتانة وسلوك الخرسانة بعد التشقق.

وهكذا فإن استخدام هذه الألياف يؤمن فوائد إضافية مثل الكلفة المنخفضة للمواد الخام والإستفادة منها، بالإضافة إلى التخلص من النفايات الصلبة.

أما أهم تطبيقات الخرسانة المعززة بالألياف المعدنية المعاد تدويرها فأظهرت الدراسات إمكانية استخدامها في مجالات: (Aiello et al., 2009; Tlemat et al., 2006a; 2006b)

- في أرضيات المعامل للحد من الأضرار الناجمة عن الاهتراء والصدم.
- في أساسات الآلات للحد من الأضرار الناجمة عن الاهتزازات والأحمال الديناميكية.
- في انشاء الطرق ومهابط المطارات كطبقة تغطية للحد من التشققات.

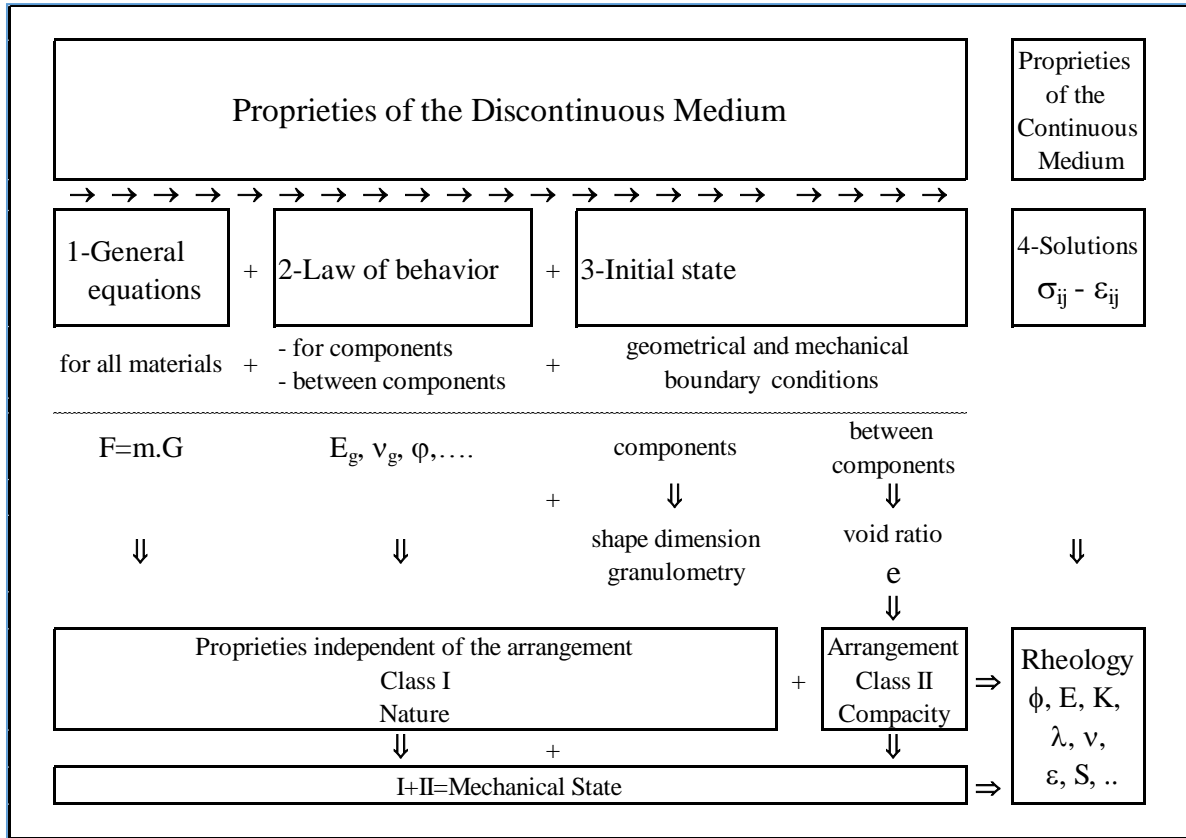
من الواضح أن جميع أصحاب المهتمين في صناعة البناء والتشييد يمكن أن تستفيد من هذه الدراسة. ويشجع أيضا على التفكير في الجانب التجاري لإعادة تدوير الإطارات. كما أنها ستوفر أسواق مستدامة لإعادة تدوير الألياف وستشجع على استعادة كميات كبيرة من المواد الداخلة في تركيب الإطارات.

ان دراسة أثر استخدام الألياف الفولاذية المستخرجة من إطارات السيارات على السلوك الميكانيكي للخرسانة من أجل نسب مختلفة للألياف يمكن أن يجيب على بعض التساؤلات عن مدى صلاحية هذه المادة ومجالات تطبيقها في الأعمال الهندسية.

4-1 المشكلة العلمية في مشروع البحث

تعتبر الخرسانة بطبيعتها الفيزيائية والميكانيكية من المواد المنقطعة Discontinuous غير المتجانسة Inhomogeneous، حيث تتصرف مكونات هذه المادة، والأسلاك الفولاذية ضمناً، كمجموعة من المكونات الجزئية Micro-aggregates وفق قوانينها الفيزيائية والميكانيكية الموضعية وشروطها الحدية الخاصة.

وفق هذه العلاقة بين وسط العناصر المنقطعة غير المتجانسة والوسط المكافئ بوصفه وسطاً متجانساً ومستمرًا، في إطار شروطهما المحيطة يتحدد تأثير الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمواد المنقطعة غير المتجانسة من حصويات ومونة إسمنتية وفولاذ في تحديد الخصائص الميكانيكية للوسط المكافئ المتجانس والمستمر (الشكل 1-1) (Biarez, & Favre, 1977, HICHER and RAHMA A., 1994).



الشكل 1-1: الترابط الموضوعي بين الوسط المنقطع والوسط المستمر، Biarez, & Favre, 1977, HICHER and RAHMA A., 1994

وبفهم علاقة الترابط بين سلوك العناصر المنقطعة غير المتجانسة وسلوك الوسط المكافئ، يمكن تحديد دور الألياف المعدنية في تحسين خواص الخرسانة كوسط مستمر من حيث المقاومة على الضغط والشد وتطور مطاوعة الخرسانة، وآليات التجسير في نقل القوى عند حدوث تشققات في الخرسانة.

لتحديد دور الألياف الفولاذية وكمية الإسمنت المستخدم في الخلطات الخرسانية تمت مقارنة نتائج الإختبارات على الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية المعاد تدويرها مع نتائج الإختبار على خلطات مرجعية دون هذه الألياف الفولاذية.

وللوصول إلى علاقات رياضية عامة تمثل سلوك الخرسانة المعززة بالألياف المعدنية الإبرية كان من الملزم تنفيذ تجارب تغطي مساحة واسعة من الإحتمالات الممكنة من تغير في نسبة الأسمنت أو تغير في نسبة الألياف في الخلطة الخرسانية، وانطلاقاً من هذه التجارب الشاملة تم تحليل النتائج ووضع نماذج رياضية تسمح بدرجة عالية باستقراء سلوك الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية الابرية تحت تأثير مختلف الحالات الممكنة.

أما عملية النمذجة الرياضية ومن أجل الوصول إلى علاقات رياضية عامة فاقتضت البحث عن عوامل ومحتولات نسبية تسمح بالانتقال من الحالة الخاصة إلى الحالة العامة، مما يسمح بكتابة صيغ رياضية عامة قابلة للتطبيق لعيارات إسمنت مختلفة أو لنسبة الياف مختلفة أيضاً.

استخدامات الألياف في الخرسانة

1-2 مقدمة

يعتبر استخدام الألياف في مواد البناء لتحسين سلوكها مفهوما قديما ومعروفا، ويعود استخدامها لعهود غابرة حيث استخدمت الخرسانة الترابية المعززة بألياف القش في بناء برج بابل كما شاع استخدام هذا النوع من الخرسانة في بناء جدران القصور والمنازل وفي تنفيذ الصوامع لتخزين الحبوب.

أما الخرسانة الأسمنتية فاستطاعت أن تلبى مجموعة كبيرة من التصاميم المعمارية والإنشائية المبتكرة لما تملكه من خصائص تميزها عن مواد بناء أخرى. فالخرسانة الإسمنتية تملك إستطاعة جيدة لمقاومة إجهادات الضغط، وتملك درجة عالية من الصلابة وناقلية منخفضة للحرارية والكهرباء، إلا أنها تتسم بسلبيات ثلاث: السلوك الهش والمطاوعة المحدودة والمقاومة الضعيفة على الشد والتشقق مما يحد من استخدامها في عدد من التطبيقات الهندسية.

هذا وتستخدم في العصر الحديث مجموعة واسعة من الألياف لتحسين خصائص الخرسانة الإسمنتية مثل مقاومة الشد والضغط وزيادة المطاوعة والديمومة والمقاومة على التشقق والصدم والاهتراء وتحسين الخصائص الحرارية ومقاومة الحريق. إجراء سمح بإنتاج خرسانة أسمنتية قادرة على تلبية مجموعة متنوعة من التصاميم المعمارية والإنشائية المبتكرة، خصائص تشكل هاجساً بالنسبة للمهندس يحد من قدرته على استخدام الخرسانة الإسمنتية في كثير من التصاميم الخاصة.

وإذا كان استخدام القضبان الفولاذية كحل لمعالجة عيوب الخرسانة في مقاومة القوى الشادة والقاصة، فإن هذا الإجراء لم يستطع تجاوز عيوب الخرسانة في تأمين المتانة والصلابة ومقاومة التشققات.

ضمن هذا المنظور جاء استخدام انواع مختلفة من الألياف إلى جسم الخرسانة الإسمنتية كإجراء للوصول إلى وسط مركب يحقق سمات الإستمرارية بهدف معالجة عيوب الخرسانة الإسمنتية وتحسين سلوكها.

تسمى هذه المادة الجديدة الخرسانة المسلحة بالألياف FRC وقد عرّفها معهد الخرسانة الأمريكي ACI في لجنته 544 على انها الخرسانة المصنوعة من الاسمنت المائي والتي تحتوي على حصويات خشنة وناعمة وألياف منفصلة غير مستمرة (ACI committee 544)

في السنوات الأخيرة استخدمت الخرسانة المسلحة بالألياف في جميع أنحاء العالم بزيادة مطردة. اعتباراً من عام 2001 تم إنتاج ما يزيد على 76 مليون متر مكعب سنويا منها 60% لبلاطات الأرضيات و 25% خرسانة مقذوفة و 5% عناصر مسبقة الصنع والباقي توزع على إنتاج عناصر خاصة (Sidney Mindess2003)

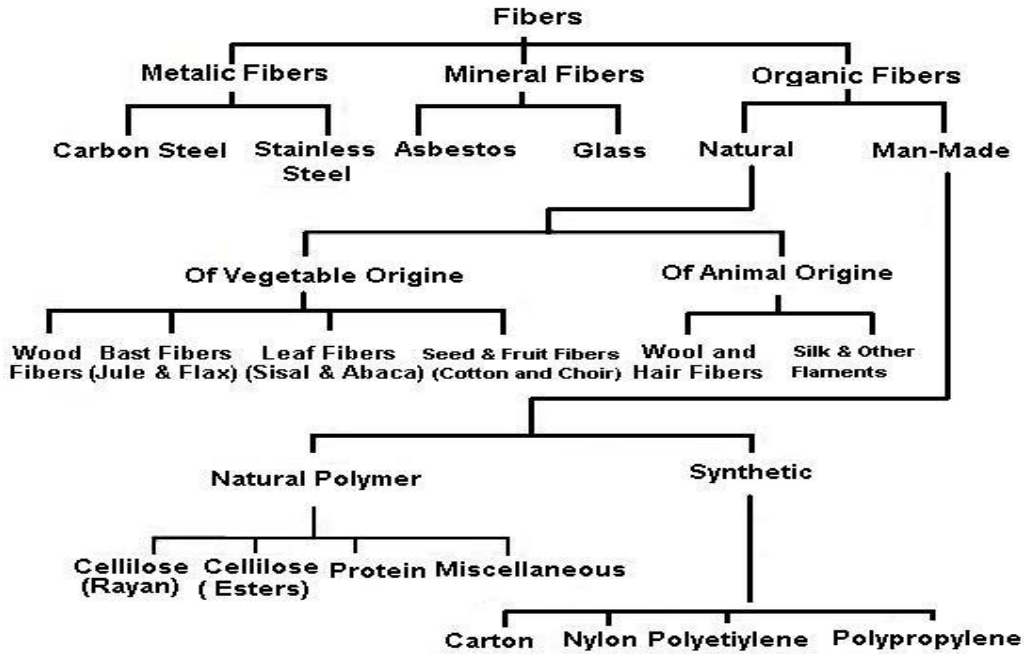
2-2 تصنيف الألياف

الليف عبارة عن عناصر تسليح صغيرة الطول ذات خصائص محددة ومصنفة. هناك العديد من أنواع الألياف متوفرة للاستخدامات التجارية لكل منها خواصه المميزة ومجالات استخدامه. ان توفر عدد من المواصفات الأساسية في الألياف يساعد على تحقيق فاعلية لها عند اضافتها الى الخرسانة.

من أهم هذه المواصفات (Naaman, 2003)

- مقاومة على الشد أعلى من مقاومة الخلطة الخرسانية بضعفين أو ثلاثة أضعاف
- يفضل أن تكون مقاومة التماسك لا تقل عن مقاومة الخلطة على الشد
- معامل مرونة أعلى من معامل مرونة الخلطة بمقدار ثلاثة اضعاف
- مطاوعة كافية لليف بحيث لا ينقطع الليف بسبب انحناءه.

تصنف الألياف المستعملة في الخرسانة بعدة طرق كما يبين الشكل (1-2)



الشكل 1-2: تصنيف الألياف وفق James Patrick Maina Mwangi, 1985

- أ- حسب منشأ الألياف
- عضوية طبيعية (سيللوز، القنب، سيسال، خيزران...)
- منزالية (الاسبستوس، زجاجية، الصوف الصخري)
- صناعية (فولاذية، تيتانيوم، كربونية، بوليميرية، مركبة)

ب-وفقا للخواص الفيزيائية والكيميائية

الكثافة وخشونة السطح والثبات الكيميائي والتفاعل مع مكونات الاسمنت، مقاومة الحريق.

ت-وفقا للخواص الميكانيكية

قوة الشد ومعامل المرونة والقساوة والمطاوعة والانهييار على التناول والتماسك السطحي.

ث-الخواص الجيومترية للألياف

حسب شكل المقطع العرضي (دائري، مستطيل، معين، مربع، مثلث، مسطح أو شكل متعدد الأضلع) والطول والقطر المكافئ، وتتم أحيانا معالجة سطحية للألياف لتحسين تماسكها. (ACI 5441.R-96 reapproved 2002)

2-3 الألياف الزجاجية GF Glass fiber

تتكون الألياف الزجاجية من السيليكا مع مركبات تحتوي أكاسيد معدنية وتنتج بعملية سحب الزجاج المصهور الى ألياف شعرية وبعد تصلبها تجمع في جداول أو حزم (الشكل 2-2). تمزج الألياف الزجاجية بنسب لاتزيد عن 2% وبطول 25 مم. أهم ميزة تكتسبها الخرسانة عند إضافة هذه الألياف اليها هي التحسن في مقاومة الانعطاف وزيادة المقاومة على الحريق.

وجد أن الألياف الزجاجية التقليدية تفقد مقاومتها بسرعة في الخلطات الإسمنتية ذات التأثير القلوي $ph > 12.5$. من وجهة نظر ديمومة المنشأة فان النوع الأكثر رغبة هو الألياف الزجاجية المصنوعة من الزجاج المقاوم للقلويات (AR-GFRC—Alkali resistant-glass fiber reinforced concrete). يختلف المركب الكيميائي لهذا النوع من الألياف عن الألياف التقليدية بشكل رئيسي في احتوائه على السيليكات borosilicate glass (E-glass) أو السيلكا الكلسية (A-glass) soda-lime-silica glass حسب ما هو موضح في الجدول (1-2).

لقد طورت مركبات الاسمنت المسلح بألياف زجاجية لإنتاج مركبات لوحية رقيقة لاستخدامها في واجهات الأبنية مع الملاط أو المونة وتوجد العديد من الاستخدامات للخرسانة بالألياف الزجاجية في الهندسة المدنية مثل استخدامها في واجهات الأبنية وفي إعادة تأهيل الأبنية واستبدال الجدران القائمة بجدران أخف وزنا وكذلك في المناور وفتحات التمديدات الكهربائية والصحية والتدفئة والجدران المقاومة للحريق.

الجدول 1-2 أهم الخواص الفيزيائية للألياف الزجاجية (ACI 5441.R-96 reapproved 2002)

Property	A-Glass	E-Glass	AR-Glass
Specific gravityالوزن النوعي	2.46	2.54	2.7
Tensile strength, MPaمقاومة الشد	3030	3450	2480
Modulus of Elasticity, MPaمعامل المرونة	64.800	71.700	80.000
Strain at break, %التشوه عند الانهييار	4.7	4.8	3.6

4-2 الألياف الصناعية SNF Synthetic Fibers

جاءت الألياف الصناعية كمنتج من منتجات أبحاث التطوير في الصناعة البتروكيميائية والنسجية وأصبحت مستخدمة بشكل مميز في المنتجات الإسمنتية المسلحة بالألياف، وهي متوفرة بأشكال مناسبة لتسليح الملاط والخرسانة (الشكل 2-3). تستعمل الألياف الصناعية في الخلطات الإسمنتية الخرسانية وتتضمن الاكليرك والاراميد والكربون والنايلون والبوليستر والبوليتيلين والبوليبروبيلين. هذا وتتباين خواص الألياف الصناعية بشكل كبير من حيث مقاومة الشد والمرونة كما يبين الجدول (2-3).

تستخدم الخرسانة المقواة بالألياف الصناعية في الخرسانة المصبوبة بالمكان مثل البلاطات في الميول أو الرصف الطرقي أو تبطين جدران الانفاق وفي تصنيع بعض العناصر لتغطية السقوف والقبة.

الجدول 2-3: أهم الخواص الفيزيائية للألياف الصناعية (ACI 5441.R-96 reapproved 2002)

Fiber Type	Equivalent diameter, [mm x 10 ⁻³]	Specific gravity	Tensile strength, [MPa]	Elastic Modulus, [MPa]	Ultimate Elongation, [%]
نوع الليف	القطر المكافئ	الوزن النوعي	مقاومة الشد	معامل المرونة	الاستطالة الحدية
Acrylic	12.7-104.1	1.16-1.18	269-1000	13,800-19,300	7.5-50
Aramid I	11.9	1.44	2930	62,100	4.4
Carbon, PAN High Modulus	7.6	1.6-1.7	2480-3033	379,900	0.5-0.7
Carbon, PAN High Tensile strength	8.9	1.6-1.7	3450-4000	230,293	1.0-1.5
Nylon	22.9	1.14	965	5,170	20
Polyester	19.8	1.34-1.39	228-1100	17,238	12-150
Polyethylene	25.4-1,016	0.92-0.96	76-586	5,000	3-80
Polypropylene	-	0.90-0.91	138-690	3,448-4,827	15



الشكلا 2-2: صورة لألياف زجاجية



الشكلا 2-3: صورة لألياف بلاستيكية

5-2 الألياف الطبيعية Natural fibers

لقد دفعت التكلفة المنخفضة للألياف الطبيعية وكذلك توافرها العديد من الباحثين إلى إجراء بحوث لاستخدامها في المركبات الإسمنتية. فمثلا الألياف الخشبية التي نحصل عليها من الخيزران يمكن أن تستخدم في المركبات الإسمنتية المنخفضة التكاليف. تتميز الألياف الطبيعية بحساسيتها للرطوبة وللوسط القلوي ولعملية الإماهة للإسمنت وبالتالي فان المشكلة الرئيسية فيها هي ديمومتها. ويبين الجدول (2-4) أهم الخواص الفيزيائية للألياف الطبيعية.

الجدول 2-4: أهم الخواص الفيزيائية للألياف الطبيعية (ACI 5441.R-96 reapproved 2002)

Fiber type	Coconut	Sisal	Sugarcane Bagasse	Bamboo	Jute	Elephant grass	Wood Fiber
length, (mm) Fiber	51-52	N/A	N/A	N/A	7-12	N/A	2.5-5.1
Fiber diameter, (mm)	0.10-0.41	N/A	0.2-0.41	0.05-0.41	0.1-0.2	N/A	0.03-0.08
Specific gravity	1.12-1.15	N/A	1.2-1.3	1.5	1.02-1.04	N/A	1.5
Modulus of elasticity, (MPa)	19-26	13-26	15-19	33-40	26-32	4.9	N/A
Ultimate tensile strength, (MPa)	120-200	276-568	184-290	350-500	250-350	178	700
Elongation at break, (%)	10-25	3-5	N/A	N/A	1.5-1.9	3.6	N/A
Water absorption, (%)	130-180	60-70	70-75	40-45	N/A	N/A	N/A

2-6 الألياف الفولاذية

تكون الألياف الفولاذية المستخدمة في الخرسانة قصيرة وغير مستمرة وذات معامل نحافة يتراوح من 20 - 100 وبطول من 6.4 الى 76 مم (ACI 5441.R-96 reapproved 2002) ولها مقاطع عرضية مختلفة بحيث تتوزع عشوائيا ضمن الخلطة الخرسانية عند تحضيرها بطرق الخلط المعتادة. تصنف الألياف الفولاذية حسب طريقة تحضيرها وفق ASTM A 820 الى أربعة أنواع.

النوع الأول: أسلاك مسحوبة على البارد

النوع الثاني: شرائح مقطعة

النوع الثالث: مستخلصة بالصهر

النوع الرابع: ألياف أخرى

ووفق الجمعية اليابانية للمهندسين المدنيين JSCI تصنف الألياف الفولاذية حسب شكل مقطعها العرضي الى ثلاثة أنواع:

النوع الأول: ألياف مربعة المقطع Square section

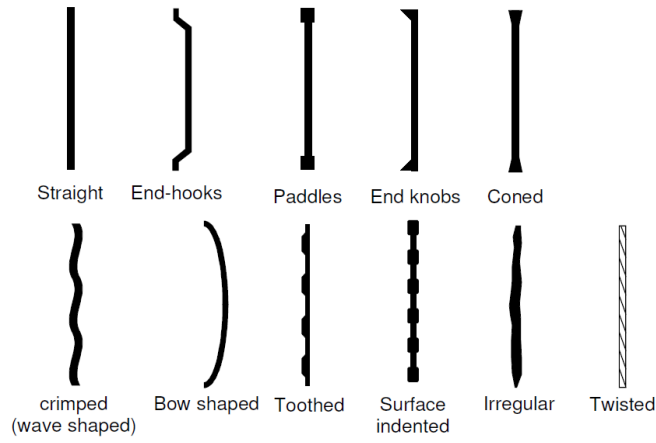
النوع الثاني: ألياف دائرية المقطع Circular section

النوع الثالث: ألياف هلالية المقطع Crescent section

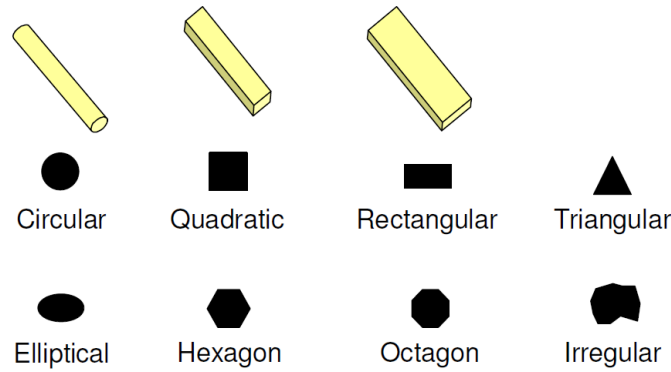
تنتج الألياف الفولاذية الدائرية المستقيمة بتقطيع الاسلاك الفولاذية وتكزن بقطر يتراوح من 0.25 الى 1 مم. أما الألياف على شكل شرائح فتكون بسماكة 0.15-0.64 مم ويعرض 0.25-2.03 مم وتنتج بتقطيع الشرائح الفولاذية ويبين الشكلان (2-4 و 2-5) الأشكال المعتادة للألياف الفولاذية ومقاطعها العرضية.

تصنع هذه الألياف عادة من الفولاذ الكربوني أو فولاذ الستانلس ستيل حيث يستعمل الأخير في المنشآت التي تتطلب ألياف مقاومة للصدأ. تتميز بمقاومتها العالية على الشد وبمعامل مرونة كبير وقد حددت المواصفة ASTM A820 الحد الأدنى لمقاومتها على الشد 345 ميغاباسكال وفي JSCI لاتقل عن 552 ميغاباسكال.

منذ العام 1910 اجريت التجارب لاستخدام عناصر فولاذية على شكل شرائح او أسلاك أو رقائق لتحسين خصائص محددة وفي أوائل الستينات بدأت في الولايات المتحدة بحوث لتقييم استخدام الألياف الفولاذية كتسليح للخرسانة [ACI committee 544, 1993]. ومنذ ذلك الحين حدث قدر كبير من البحث والتطوير والتجريب والتطبيق الصناعي للخرسانة المسلحة الألياف الفولاذية. وندرج جدولاً بأهم الخواص الميكانيكية للألياف المستخدمة في الخرسانة.



الشكل 2-4: الأشكال المعتادة للألياف الفولاذية Löfgren, 2005



الشكل 2-5: مقاطع عرضية للألياف الفولاذية Löfgren, 2005

7-2 الألياف المستخرجة من إطارات السيارات المستهلكة RTSF

كما ذكر في مقدمة الرسالة فإن التخلص من الإطارات المستهلكة أصبح مشكلة بيئية عالمية ومحلية لاسيما بعد الزيادة الكبيرة في أعداد السيارات في سورية خلال العقد الأخير مما يستدعي التخلص بكفاءة من هذه الكميات من الإطارات المستهلكة وتطوير وسائل لتحويلها الى مواد مفيدة حيث تحوي على 14-15% من وزنها أليافاً فولاذية (California Integrated Waste Management Board 2003). وهكذا فإن استخدام الألياف الفولاذية المستخلصة من الإطارات المهلكة يؤمن فوائد إضافية مثل الكلفة المنخفضة للمواد الخام والإستفادة منها بالإضافة إلى التخلص من النفايات الصلبة.

هناك العديد من التطبيقات لإعادة تدوير إطارات السيارات المستعملة مثل الاستفادة منها كوقود في الأفران لإنتاج الأسمنت أو استخدامها في ردميات الطرق وكحواجز لامتصاص الصدمات بالإضافة الى الاستفادة من الألياف الموجودة فيها للاستخدام في الخرسانة.

كرست مؤخراً بعض الأبحاث لاستخدام الألياف الفولاذية المستردة من نفايات الإطارات في الخرسانة. تدل الخرسانة التي تم الحصول عليها بإضافة هذه الألياف على تحسن مُرضٍ لسلوك الخلطة الخرسانية من خلال تحسين متانتها وسلوكها عند حدوث التشققات.

ونورد فيما يلي جدولاً يبين أهم خواص الألياف المستخدمة في الخرسانة.

الجدول 2-5: خواص الألياف المستخدمة في الخرسانة Löfgren, 2005

نوع الليف		قطر الليف µm	الوزن النوعي g/cm ³	مقاومة الشد Mpa	معامل المرونة Gpa	التشوه على الشد	
						%	
ألياف معدنية Metallic	فولاذ	Steel	5-1 000	7.85	200-2 600	195-210	0.5-5
ألياف زجاجية Glass	E زجاجية	E glass	8.0-15.0	2.45	2000-4000	72	3-4.8
	AR زجاجية	AR glass	8.0-20.0	2.7	1500-3700	80	2.5-3.6
صناعية Synthetic	اكريليك	Acrylic (PAN)	5.0-17	1.18	200-1000	14.6- 19.6	7.5-50
	اراميد	Aramid (e.g. Kevlar)	10.0-12	1.4-1.5	2000-3500	62-130	2-4.6
	الكربون (معامل مرونة عالي)	Carbon (low modulus)	7.0-18	1.6-1.7	800-1100	38-43	2.1-2.5
	الكربون (معامل مرونة منخفض)	Carbon (high modulus)	7.0-18	1.7-1.9	1500-4000	200-800	1.3-1.8
	نايلون	Nylon (polyamide)	20-25	1.16	965	5.17	20
	بوليستر	Polyester (e.g. PET)	10.0-8	1.34- 1.39	280-1200	10.0- 18.0	10...50
	بولي إيثيلين PE	Polyethylene (PE)	25-1000	0.96	80-600	5	12-100
	بولي إيثيلين HPPE	Polyethylene (HPPE)	-	0.97	4100-3000	80-150	2.9-4.1
	بولي بروبيلين	Polypropylene (PP)	10-200	0.9-0.91	310-760	3.5-4.9	6.0- 15.0
	بوليفينيل الكحولي	Polyvinyl acetate(PVA)	3.0-8	12-2.5	800-3600	20-80	4...12
طبيعية عضوية	السيلولوز	Cellulose (wood)	15-125	1.5	300-2000	10...50	20
Natural - organic	جوز الهند	Coconut	100-400	1.12- 1.15	120-200	19-25	10.0- 25.0
	بامبو	Bamboo	50-400	1.5	350-50	33-40	-
	القنب	Jute	100-200	1.02- 1.04	250-350	25-32	1.5-1.9
طبيعية غير عضوية	اسبستوس	Asbestos	0.02-25	2.55	200-1800	164	2.0-3.0
Natural - inorganic	الصوف الزجاجي	Wollastonite	25-40	2.87- 3.09	2700-4100	303-530	-

2-7-1 مكونات الاطار

تشتمل مواد إطارات السيارات على المطاط الطبيعي ومركبات المطاط الاصطناعية والياف فولاذية وألياف بوليميرية ومنسوجات قماشية (تكستيل).

تعرف عملية خلط المطاط بمواد كيميائية أخرى لتشكل مادة الاطارات بالتقسية وهذا يجعل الإطارات مستقرة جداً ويصعب من الصعب أن تتحلل في الشروط البيئية المحيطة.

تتعلق كمية المواد والنسب المستخدمة في إطارات السيارات بنوع المركبات التي ستستخدمها مثل الشاحنات او السيارة السياحية. ويبين الجدول (2-6) التركيب النموذجي للإطارات.

الجدول 2-6: التركيب النموذجي للإطارات

(California Integrated Waste Management Board 2003)

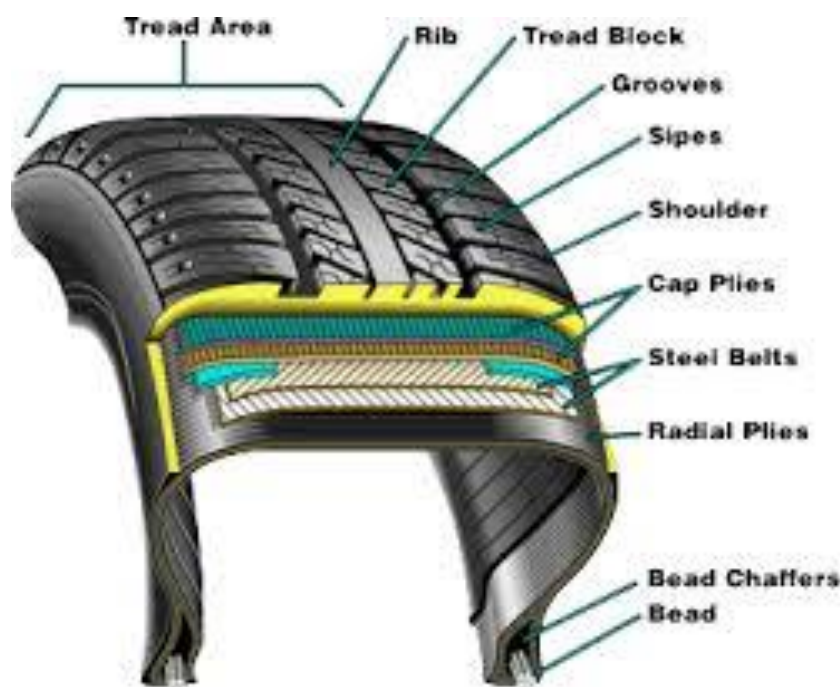
النسبة المئوية للمكونات في الاطار		المواد
سيارات شاحنة Truck	سيارات سياحية Passenger car	
27	14	مطاط طبيعي Naturale rubber
14	27	مطاط اصطناعي Synthetic rubber
28	28	فحم اسود Black carbon
15-14	15-14	فولاذ Steel
17-16	17-16	مواد مالئة وغيرها Filler
متوسط الوزن كغ		
54.43	11.34	اطار جديد New tyre
45.36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

ان الوظيفة الرئيسية للألياف النسيجية في إطارات السيارات هو المساعدة في توفير أداء مستقر للسيارة في ظروف التشغيل التصميمية. يمتلك الفولاذ المستخدم في الإطارات ميزتين رئيسيتين هما العمل كحزام فولاذي (مثل تلك التي تستند إليها الاسلاك القريبة من القطر الخارجي للإطارات) في بعض الإطارات، والمكون المعدني الدائري وهو المغطى بالمطاط في القطر الداخلي من الاطار ويساعد في احاطة القطر الداخلي بالاطار المعدني للدولاب (الجنط) كما يبينه الشكل (2-6).

2-7-2 طرق الحصول على الالياف المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة

تقدر كمية الألياف الفولاذية المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة في جميع أنحاء العالم بأكثر من مليار إطار مستعمل سنوياً. هناك العديد من الطرق التي تستخدم لإعادة تدوير إطارات السيارات للحصول على الألياف الفولاذية مثل طريقة التقطيع الميكانيكي أو عملية التحليل على البارد كما يمكن استرداد الألياف الفولاذية بطريقة التحليل الحراري اللاهوائية. كما توجد طرق أخرى مثل استخدام التحليل الحراري بواسطة الأمواج القصيرة (المايكرويف). في عملية التقطيع الميكانيكي نحصل على الألياف الفولاذية

وحبيبات مطاطية (الكاوتشوك) بينما في التحليل الحراري نحصل على الألياف الفولاذية وهباب الفحم وسوائل وغازات.



الشكل 2-6: المكونات الرئيسية لاطار السيارة [Maxxis tires]

3-7-2 عملية التقطيع الميكانيكي

يتم الحصول على الألياف الفولاذية والمطاط. ثم يتم تلقيح القطع المطاطية التي لاتزال تحتوي على الألياف في آلة تقطيع ثانية للحصول على قطع أصغر وفي نهاية هذه المرحلة يتم استخدام المغناطيس لفصل الألياف عن المطاط. أما المطاط فيرسل الى مطحنة حيث يطحن الى قطع بأبعاد من 1-10 مم ويتعلق عدد الدورات للمطحنة بالحجم المطلوب من حبيبات المطاط ويرافق عملية الطحن استخدام المغناطيس لإزالة الألياف المتبقية.

يختلف الفولاذ المستخرج بعد المرحلة الثانية من التقطيع عنه في المرحلة النهائية من حيث النوعية. بعد المرحلة الثانية يحتوي على قطع كبيرة من المطاط فضلا عن الكثير من الأسلاك المتشابكة وبأطوال كبيرة. تكون الأسلاك أحيانا غير تالفة لكن الكثير منها يتبعثر الى ألياف شعرية منفردة.

في المرحلة النهائية تكون معظم الألياف شعرية ومنفردة ولكن لاتزال تحتوي على حوالي 10% من المطاط والزغب. يعتبر التقطيع الميكانيكي عملية ناجحة تجارياً وتكنولوجياً يمكن الاعتماد عليها. بيد أنه يمكن أن يكون مكلفاً جداً حيث تحتاج شفرات التقطيع إلى صيانة مستمرة. يكون معدل اهتلاك شفرات التقطيع مرتفعاً لأن الاطارات تحتوي على ألياف عالية المتانة وتكون عادة في بكرات بأقطار كبيرة.

2-7-4 التحليل على البارد

تعتمد عملية التبريد على تقطيع الاطارات المستهلكة للسيارات في درجة حرارة الغرفة وتنقل بعد ذلك إلى نفق بدرجة تجمد منخفضة جدا. حيث تبرد الإطارات المجزأة داخل القسم الأول من النفق بتيار معاكس من غاز النتروجين إلى درجة -120 مئوية ثم تنقل إلى نفق التبريد الرئيسي ونتيجة ذلك تصبح أكثر هشاشة. في المرحلة اللاحقة تطحن قطع الاطارات من خلال سلسلة من المطاحن للحصول على المطاط والألياف الفولاذية ثم تجفف حبيبات المطاط وتممر على وحدة استخلاص الفولاذ وأخيرا يتم نخلها. تكون الألياف الفولاذية المستخرجة نظيفة إلى حد ما لكنها قد تفقد مطاوعتها إذا بردت إلى مادون درجة الهشاشة. تعتبر هذه الطريقة كفوءة في استخدام الطاقة لأنها تتطلب طاقة أقل لفصل المطاط عن الفولاذ. وتبقى تكلفة النتروجين السائل هي العائق الرئيسي لهذه العملية.

2-7-5 التحليل الحراري

في هذه الطريقة يتم تحليل الاطارات المستهلكة حراريا في غياب الاكسجين أي تحليل لاهوائي إلى مكوناتها العضوية واللاعضوية. بنتيجة عملية التحليل اللاهوائي تنطلق غازات الهيدروجين والميثان وأكسيد الكربون بالإضافة إلى زيت وبقايا صلبة من الفولاذ وهباب الفحم الأسود. في وحدة التحليل الحراري يتم تلقيم الإطارات المستعملة في مفاعل للتحليل الحراري حيث يتم تسخينها إلى درجة الحرارة المطلوبة. ثم تفصل إلى مكوناتها العضوية واللاعضوية من غازات وسوائل وألياف فولاذية. يحتوي الفولاذ المستخرج من هذه العملية على بقايا هباب الفحم على سطحه. على سبيل المثال فقد بينت الابحاث في بريطانيا أن مايزيد على 100 ألف طن من الفولاذ و 17,000 طن من الألياف يمكن استرجاعها من إطارات السيارات المستهلكة سنويا [Waste Management]. نتيجة لذلك فإن إعادة تدوير الإطارات قد أصبح أكثر ضرورة حيث أنها واحدة من الطرق الصديقة للبيئة ومجدية اقتصاديا لإدارة نفايات إطارات السيارات.

2-8 تقدير كميات الألياف الفولاذية المعاد تدويرها في سوريا

وضعت العديد من الدول خطاً استراتيجياً لإدارة النفايات ومنها الاطارات المستهلكة نظرا لما تمثله من مشكلة بيئية ملحة في ظل الاعتماد المتزايد على النقل بواسطة السيارات. ففي دول الاتحاد الاوربي ظهرت تشريعات بعد العام 2003 حظرت بموجبها التخلص من الاطارات المستهلكة بطريقة الطمر Landfill حيث كانت تطمر بشكلها الكامل واستعيض عنها بتقطيعها قبل الطمر وفي العام 2006 حظرت هذه الطريقة نهائياً. كذلك بادرت العديد من الدول النامية إلى التخلص منها بطرق صديقة للبيئة.

تقدر كمية الاطارات المستهلكة في العالم نحو مليار إطار سنويا ربعها في دول الاتحاد الاوربي ويتم إعادة تدوير ما نسبته 4,5% فقط في أعمال الهندسة المدنية. أما كمية الألياف الفولاذية عالية الجودة المتوقع استخراجها منها فقد تصل إلى 500,000 طناً. (ETRA, 2006)

أما في سوريا وبالاستناد الى احصائيات وزارة النقل للأعوام من 2006 الى 2010 المتوفرة على موقع الوزارة في شبكة الانترنت (www.mot.gov.sy) فان عدد المركبات العاملة بجميع أنواعها يتجاوز مليوني مركبة. ووفقا لمكونات الاطار من الفولاذ والتي تتراوح من 14 الى 15% من وزنه وبفرض أن المركبة الواحدة تستهلك اطارا واحدا سنويا فان كمية الاسلاك الناتجة سنويا تقارب 6000 طنا كما موضح في الجدول (2-7).

بدأت المراحل الفعلية الأولى للبدء بتنفيذ مشروع "تدوير الإطارات التالفة" في سورية للاستفادة منها في مجال الطاقة وفق التقنية الألمانية كذلك البدء بالإضبارة التنفيذية للمشروع لصالح المبادرة الخضراء للتنمية صاحبة المشروع، وقد أوضحت المبادرة الخضراء للتنمية أنه بناء على الترخيص لمشروع تدوير الإطارات التالفة من قبل هيئة الاستثمار السورية لصالح المبادرة الخضراء للتنمية وفق التقنية الألمانية من شركة أنتك، فقد بدأت المراحل العملية للمشروع من خلال الترخيص لشركة أنتك الألمانية بافتتاح فرع لها في سوريا والبدء بالإضبارة التنفيذية للمشروع. يبلغ رأسمال المشروع يبلغ 104 مليون يورو ستقدم للشركة المنفذة وفق آلية التمويل الأخضر بموجب صندوق التكنولوجيا النظيفة والطاقة الخضراء وصندوق إدارة الكربون وهذه الصناديق التمويلية تتبع لجنة هيئة المناخ UNFCCC إحدى هيئات الأمم المتحدة، تتولى هذه الصناديق إدارة التمويل للمشاريع الخضراء عبر العالم وفق آلية تمويل مباشر للشركات صاحبة المشروع حيث يصل التمويل للمشروع مباشرة بمعرفة الحكومات وبموجب خطط ترسل للحكومات المعنية.

2-9 خاتمة الفصل

في هذا الفصل تم استعراض أنواع الألياف المستخدمة في الخرسانة وطرق تصنيفها ومواصفاتها الأساسية كما تم عرض لنوع خاص من الألياف وهو الألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المطاطية المستهلكة وسنقدم في الفصل التالي عرضا لخواص الخرسانة بالألياف الفولاذية SFRC بشكل عام وللخرسانة بالألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المطاطية المستهلكة RTSFRC بشكل خاص.

الجدول 2-7: تقدير كميات الألياف الفولاذية المعاد تدويرها في سوريا

وزن الألياف (كغ)	وزن الألياف/الاطار(كغ)	وزن الاطار (كغ)	نسبة الألياف%	السنة					نوع المركبة
				2010	2009	2008	2007	2006	
933987.6	1.26	9	14	741260	637604	551858	446132	358032	سيارات سياحية
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 شحن
522650.52	1.26	9	14	414802	365521	335463	319677	292227	سيارات بيك 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 صهاريج
2399367.6	6.3	45	14	380852	242090	205518	186945	165281	درجات نارية
6622.56	1.26	9	14	5256	5342	5301	5259	6433	إدخال مؤقت
205672.32	1.26	9	14	163232	160009	154243	150292	144948	آليات متنوعة أخرى
5970218.94				2051977	1738833	1537206	1367767	1213034	المجموع

الخرسانة بالألياف الفولاذية

1-3 مقدمة

منذ أواخر خمسينيات القرن الماضي تحرت جمعية الاسمنت البورتلاندي PCA عن تسليح الخرسانة بالألياف الفولاذية وأستخدمت في تطبيقات هندسية مثل رصف الطرق وبلاطات الأرضيات. أما الاستخدام التجاري لها فقد تم في عام 1971 في محطة وزن الشاحنات في ولاية أوهايو في الولايات المتحدة. [ACI committee 544, 1993]

وعلى مدار العقود الأخيرة تغيرت تكنولوجيا الخرسانة كثيرا من حيث المواد المستخدمة وتصميم الخلطات بالتزامن مع فهم أكبر للعمليات الكيميائية والفيزيائية التي تتحكم بسلوك المادة. أدى هذا الى فتح آفاق جديدة في التطبيقات الانشائية للخرسانة بالألياف الفولاذية. ونظرا لكون الخرسانة تتحمل الضغط بشكل استثنائي ويمكن تشكيلها في عدد كبير من الاشكال وبتكلفة رخيصة نسبيا فانه يمكن استخدامها في الأبنية السكنية وفي طبقات الرصف للطرق ومهابط الطائرات وفي السدود حتى في منشآت المفاعلات النووية.

تؤدي اجهادات الشد الداخلية الناتجة عن الأحمال الخارجية الى ظهور الشقوق مبدئيا ثم يقود الى انتشار الشقوق لاحقا وقد يؤدي الى انهيار العنصر. لذلك يستخدم التسليح في الخرسانة للعناصر المتوقع تعرضها للشد المباشر أو الانعطاف لتحسين أداء في الخرسانة.

ان تقليل كميات الفولاذ المستخدم في التسليح هو المفتاح لتقليل التكلفة خصوصا مع ارتفاع أسعار الفولاذ وتم في العقود الأخيرة تطوير حلول بإضافة الألياف إلى الخلطات الخرسانية حيث يمكن استخدام مواد عديدة متنوعة في صناعة الالياف. تؤمن الالياف مقاومة لتشكل الشقوق وانتشارها كما تزيد من مطاوعة الخرسانة بعد حدوث الشق وتزيد من مقاومة الشد بسبب الانعطاف.

2-3 الخرسانة بالألياف الفولاذية الصناعية

الخرسانة المسلحة بالألياف FRC هي خرسانة عادية تحتوي على ألياف منقطعة ومبعثرة وتتميز عن الخرسانة المسلحة التقليدية بأن الألياف موزعة ضمن المقطع العرضي عشوائيا بينما في الخرسانة المسلحة التقليدية توضع حسب الحاجة. كما أن الألياف تكون قصيرة والفراغات بينها متقاربة بينما في النوع التقليدي تكون قضبان

التسليح مستمرة على كامل العنصر الانشائي ومتباعدة بمسافات محددة. وفقا لتقرير معهد الاسمنت الأمريكي ACI Commite 544.3 R Report-96 تتراوح نسب المزج الحجمية بالألياف من 0.25% الى 2% أي ما يعادل 20 حتى 157 كغ في المتر المكعب. بشكل عام فإن إضافة الألياف لا يؤمن نفس مساحة التسليح التي تؤمنها قضبان التسليح التقليدية.

قدر Li 2002 كمية الألياف المستعملة عالميا بنحو 300 ألف طنا سنويا ويتوقع معدل الزيادة في أمريكا الشمالية 20% سنويا.

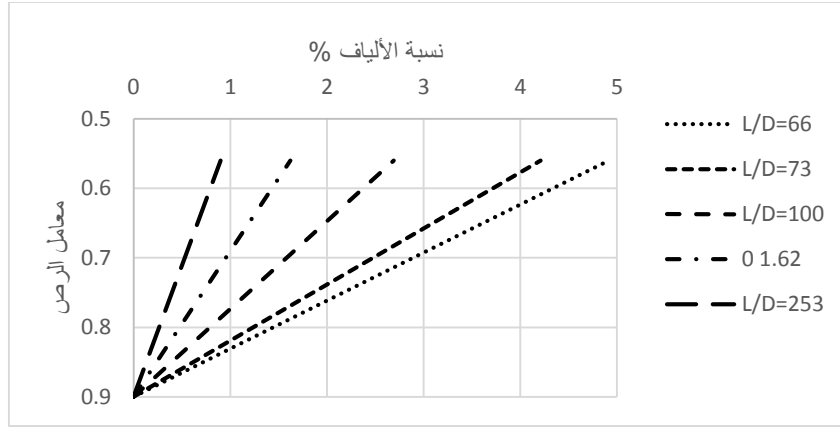
3-2-1 خواص الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية في الحالة الطازجة

تعتبر قابلية التشغيل Workability للخلطة الخرسانية هي المعيار الرئيسي لتحديد خواص الخلطة في الحالة الطازجة. يؤدي إضافة الألياف الى تأثير سلبي على قابلية التشغيل حيث يؤثر على تدفق الخلطة flow وعلى توافقها compatibility (Kooiman, 2000). يمكن أن تتكثف الألياف بسبب اضافتها بسرعة الى الخلطة أو بسبب الخلط غير الفعال. بشكل عام تتأثر خصائص الخرسانة بالألياف الفولاذية في الحالة الطرية بـ

- النسبة المعيارية لليف aspect ratio
- نسبة الألياف في الخلطة Fiber Volume
- نسب مجموعات الحصىات volume fractions
- طريقة المزج mixing

3-2-1-1 النسبة المعيارية (عامل النحافة)

تُعرف النسبة المعيارية لليف (وتعرف أيضا باسم معامل النحافة Slenderness) بانها نسبة طول الليف إلى القطر للألياف ذات المقطع العرضي الدائري وعندما يكون المقطع غير دائري (مربعا أو مضلعا) يستخدم القطر المكافئ. يؤدي استخدام ألياف فولاذية ذات نسبة معيارية أكبر من 100 لتشابك الألياف وتشكل كتلة أو حصيرة يصعب فصلها بواسطة الرج لوحده. بينما لا تتشابك الألياف الفولاذية القصيرة ذات النسبة المعيارية الأقل من 50 وبالتالي يمكن فصلها بسهولة بواسطة الرج. من أجل تحسين الخواص الميكانيكية للخرسانة بالألياف في الحالة المتصلبة ينصح باستخدام نسبة معيارية عالية. يبين الشكل (3-1) تأثير النسبة المعيارية على معامل الرص لألياف ملساء مقارنة مع الخرسانة العادية.

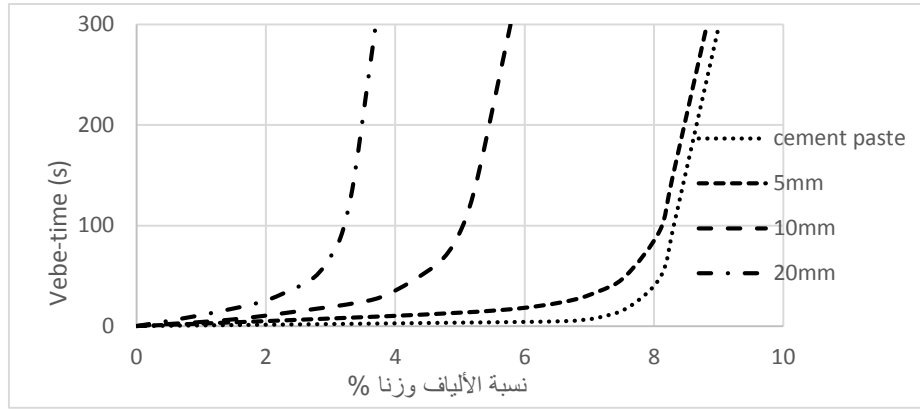


الشكل 3-1: تأثير النسبة المعيارية على قابلية التشغيل معبرا عنها بمعامل الرص
(Endginton, 1974)

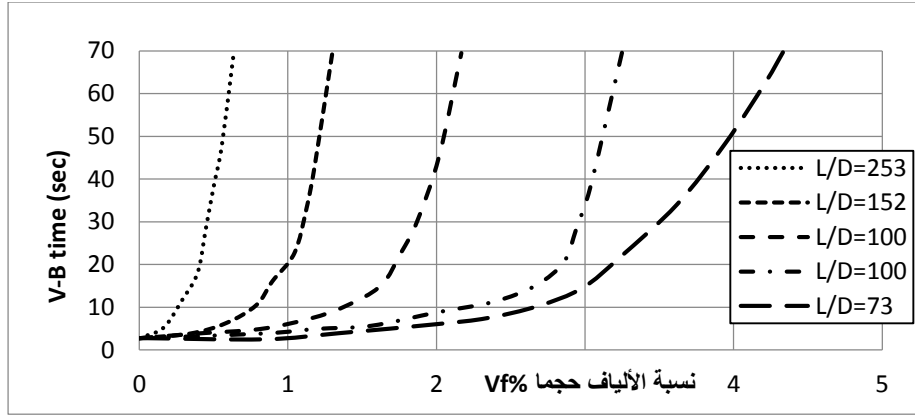
3-2-1-2-3 نسبة الألياف في الخلطة

تتراوح نسبة المزج بالألياف Fiber Volume من 0.25% - 2% من حجم الخلطة حيث تؤدي إضافة الألياف لنقصان هبوط المخروط بالمقارنة مع الخرسانة العادية بدون ألياف وذلك بحدود من 25-100 ملم.

تكون الخرسانة بالألياف الفولاذية في الحالة الطرية جامدة جدا ولكنها تستجيب بشكل جيد للرج (Chanh, 2007). لذلك فإن إضافة الملدنات يحسن من قابلية التشغيل. كما يلاحظ من الشكل (3-2) تأثير النسبة المعيارية على قابلية التشغيل من أجل مقاسات أعظمية مختلفة للحصويات وفي الشكل (3-3) تأثير نسبة الألياف في الخلطة على قابلية التشغيل من أجل نسب معيارية مختلفة للألياف.



الشكل 3-2: تأثير نسبة الألياف في الخلطة على زمن V-B من أجل مقاسات أعظمية مختلفة للحصويات
ونسبة معيارية L/D=100 (Endginton, 1974)



الشكل 3-3: تأثير نسبة الألياف في الخلطة على زمن V-B من أجل نسب معيارية مختلفة (Hannant, 1987)

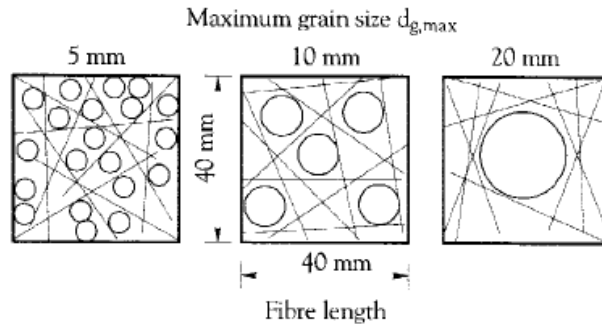
3-1-2-3 نسب مجموعات الحصى

تتعلق نزع الألياف لتشكيل كتل من الألياف في الحالة الطرية بالمقاس الأعظمي للحصويات والتدرج الكلي للحصويات المستخدمة ونسبها Volume fractions في الخلطة والنسبة المعيارية ونسب المزج الحجمية وشكل الليف وطريقة المزج للألياف في الخلطة. من المهم الحصول على توزيع منتظم للألياف أثناء المزج وذلك لمنع الانفصال أو التكتل للألياف.

أظهرت الخبرة العملية أنه بتحقيق تدرج حبي للحصويات ضمن مغلف التدرج للحصويات الخشنة والناعمة الموصى به في ACI يقلل من الميل لتكتل الألياف ويزيد قابلية التشغيل كما هو مبين في الجدول (3-1).

وبالمقابل يمكن استخدام الخلطات المبينة في الجدول 2-3 [ACI544] كخلطات تجريبية موصى بها.

من وجهة نظر قابلية التشغيل يوصي (Johnson, 1996) أن لا يزيد مقاس الحصويات عن نصف طول الليف لأنه يساعد على منع تكتل الألياف. كذلك فإن تخفيض المقاس الأعظمي للحصويات يسبب توزيع عشوائي أكبر للألياف (الشكل 3-4).



الشكل 3-4: تأثير حجم الحصويات على توزيع الألياف (Johnson, 1996)

الجدول 3-1: التدرج الحبي الموصى به للخرسانة المقواة بالألياف الفولاذية

ACI 5441.R-96 reapproved 2002

فتحة المهزة	النسبة المنوية للمار من أجل أكبر قياس للحصويات				
	10mm	13mm	19mm	25mm	38mm
51	100	100	100	100	100
38	100	100	100	100	85-100
25	100	100	100	94-100	65-85
19	100	100	94-100	76-82	58-77
13	100	93-100	70-88	65-76	50-68
10	96-100	85-96	61-73	56-66	46-58
#4	72-84	58-78	48-56	45-53	38-50
#8	46-57	41-53	40-47	36-44	29-43
#16	34-44	32-42	32-40	29-38	21-34
#30	22-33	19-30	20-32	19-28	13-27
#50	10..18	8..15	10..20	8..20	7..19
#100	2..7	1..5	3..9	2..8	2..8
#200	0-2	0-2	0-2	0-2	0-2

الجدول 3-2: مكونات خلطات خرسانية بالألياف الفولاذية (ACI committee 544, 1993)

معايير الخلطة	المقاس الأعظمي للحصويات		
	10 mm	19 mm	38 mm
الاسمنت (كغ/م ³)	360-600	300-540	280-420
w/c	0.35-0.45	0.35-0.50	0.35-0.55
نسبة الحصويات الناعمة/الخشنة%	45-60	45-55	40-55
الفراغات الهوائية%	4..8	4..6	4..5
نسبة الألياف الحجمية%			
ألياف متموجة أو معكوفة	0.4-1	0.3-0.8	0.2-0.7
ألياف ملساء	0.8-2	0.6-1.6	0.4-1.4

3-2-1-4 طريقة المزج

تساهم طريقة المزج في تكتل الألياف من خلال : (Kooiman, 2000) and (Chanh, 2007)

- إضافة الألياف بشكل سريع
- تشابك الألياف قبل اضافتها
- في حال استخدام جباله ذات استطاعة منخفضة
- إضافة الألياف قبل بقية مكونات الخلطة.

3-3 خواص الخرسانة المتصلبة بالألياف الفولاذية

تقود الشقوق الميكروية (micro cracks) الموجودة أصلاً في بنية الخرسانة بالإضافة إلى مقاومة الشد المنخفضة والناجمة 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 القليلة في مقاومة الضغط.

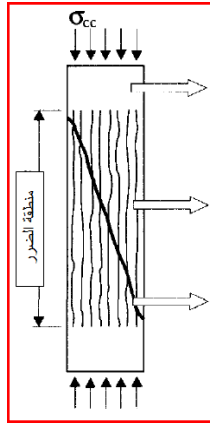
إن التشوه الناتج عن تشقق الشد للخلطة الإسمنتية أصغر بكثير من التشوه الحرج والحدي للألياف الفولاذية وكنتيجة عند تحميل الخلطة المسلحة بالألياف فإنها سوف تتشقق لفترة طويلة قبل أن تتكسر. من الضروري أن نؤكد أن التسليح بالألياف ليس بديلاً للتسليح التقليدي حيث أن كلاهما يلعب دوراً مختلفاً في الخرسانة فقضبان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

3-3-1 المقاومة على الضغط

تعمل الخرسانة على الضغط بشكل جيد ولكنها مادة هشة ولها خصائص ضعيفة على الشد. يكون تأثير الألياف الفولاذية على الخرسانة متفاوتاً حيث تشير بعض الدراسات المرجعية الى زيادة في مقاومة الضغط تصل الى 23% عند استخدام ألياف بنسبة 2% وحصويات 19مم ونسبة معيارية (L/d) تساوي ACI 544.4R-100 [88].

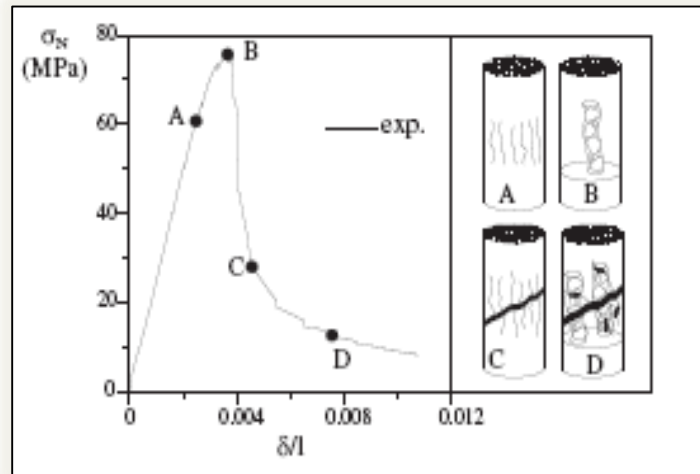
تُظهر الخرسانة في الحالة النموذجية عند تعرضها للضغط سلوكاً مرناً حتى 30% من مقاومة الضغط الكلية) بعدها تحدث الشقوق طولية عند اجهادات مقدارها 75% من الاجهادات الأعظمية (الذروة) في منطقة معزولة تسمى منطقة الضرر على الضغط (Löfgren 2005.Compressive Damage Zone (CDZ) .

تكون الشقوق على طول السطح الفاصل بين العجينة الاسمنتية والحصويات وتكون بشكل موازي لاتجاه قوة الضغط وتبدأ عند سطوح التماس وتنتشر في الخلطة مع زيادة الاجهادات بشكل مشابه لشقوق الشد ومع زيادة قوة الضغط تصبح الخرسانة أكثر هشاشة ويحدث الانهيار.



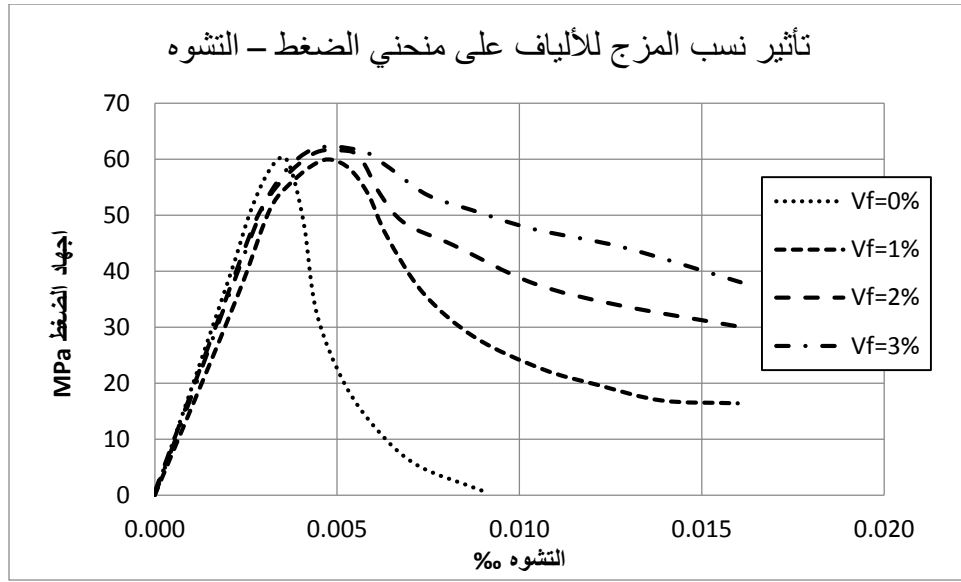
الشكل 3-5: تشكل شقوق طولية نتيجة الضغط (Markeset, 1993)

فسر (Colombo, 2006) كولومبو آلية 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 إلى الذروة عند النقطة B تشكل الحصى المتوضعة فوق بعضها عدة أعمدة في المنطقة الحرجة. بعدها يحدث في المنحنى هبوطاً حاداً وصولاً إلى النقطة C ويفسر ذلك بحدوث التحنيط لأعمدة الحصى. بعدها تبدأ حزم من الشقوق الماكروية بالظهور وتعمل الألياف على منع الشقوق من التوسع (النقطة D) كما في الشكل (3-6).



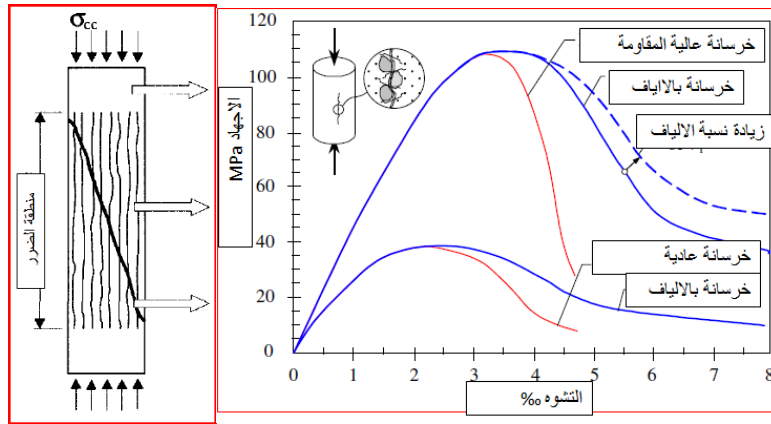
الشكل 3-6: تفسير آلية انهيار الخرسانة المسلحة بالألياف (Colombo, 2006)

يعتبر معهد الاسمنت 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%.



الشكل 3-7: منحنيات الاجهاد - التشوه لنسب الياف مختلفة وفق ACI 544 1.R-96

عمل (Löfgren,2005) على توصيف سلوك الخرسانة المسلحة بالألياف العادية وعالية المقاومة على الضغط (الشكل 3-8).

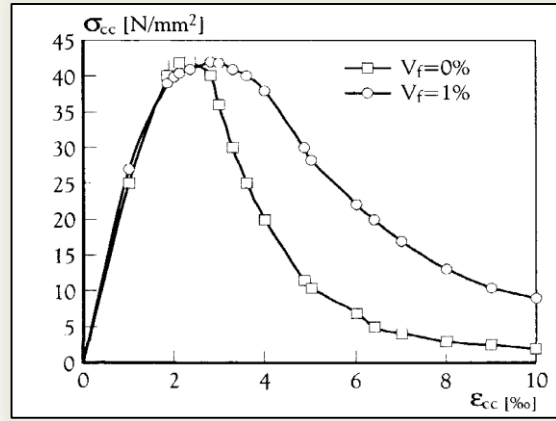


الشكل 3-8: تأثير الألياف الفولاذية على الخرسانة Löfgren 2005

كما عمل (Konig & Kutzig,1999) على رسم المنحني الذي يوضح العلاقة بين الاجهاد والانفعال من أجل نسبة ألياف 1% ومقارنتها مع عينات مرجعية كما في الشكل (3-9).

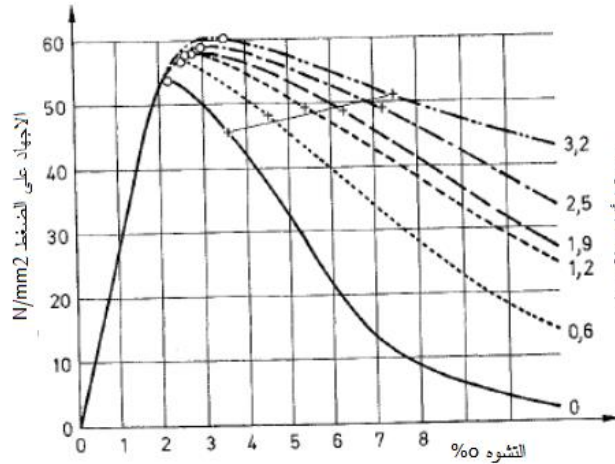
اجرى (Bencardino et al., 2006 & 2007) اختبار الضغط على عينات مكعبية 150مم وعينات اسطوانية 150×300 مم والياف فولاذية معكوفة بطول 22 مم ومقاومة شد 350-400 ميغاباسكال ونسبة نحافة 40 وينسب مزج حجمية 1-1.6-3% بالإضافة الى عينات مرجعية. بينت النتائج الموضحة في الشكل (3-10)

أن اضافة الألياف بنسبة 1% تزيد المقاومة بشكل واضح للعينات المكعبية ويشكل طفيف للعينات الاسطوانية. 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 3-9: منحنيات الاجهاد - الانفعال وفق (Konig & Kutzig, 1999)

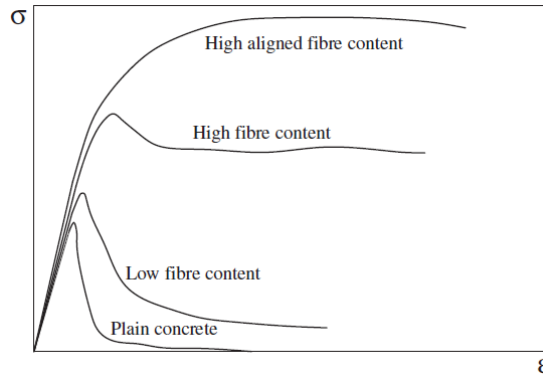
قام (Schnutgen, 1981) بوضع منحنيات تعطي العلاقة بين الاجهاد والانفعال ونسب المزج للألياف الفولاذية كما في الشكل (3-10).



الشكل 3-10: منحنيات الاجهاد - الانفعال انسب الياف مختلفة وفق Schnutgen, 1981

3-3-2 المطاوعة

تعتبر المتانة مؤشرا على قابلية الخرسانة لامتصاص الطاقة خلال التحطم و توصف المتانة على انها المساحة تحت منحنى الحمولة - الانتقال حيث تعمل الألياف كعنصر ماص للطاقة وتنقل الإجهادات الداخلية بسبب قابليتها للشد (ACI 544 1.R-96) وفي جميع الأحوال يؤمن منحنى الحمولة - الانتقال مطاوعة للخرسانة كما يوضحه الشكل حيث يقل ميل الجزء الهابط من المنحنى مقارنة مع مثيله في الخرسانة العادية. كما تتأثر مطاوعة الخرسانة بنسبة الألياف وتوضعها ضمن الخلطة بعد حدوث التشقق كما يبين الشكل (Van Mier 2007)



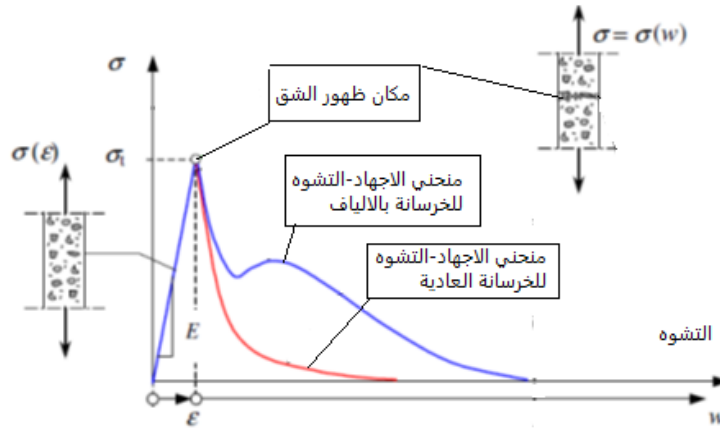
الشكل 3-11: تأثير نسبة الألياف ونوعها على المطاوعة (Van Mier 2007)

ان زيادة المطاوعة بعد التشقق يقلل من انتشار الشقوق الطولية وهذا يعني أن الألياف تمنع بشكل رئيسي التشوهات الجانبية وبالتالي تتحسن مقاومة الضغط للخرسانة.

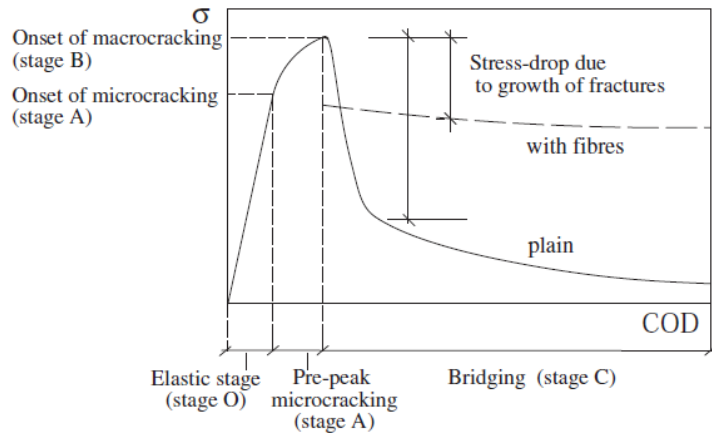
3-3-3 الشد

تلعب الألياف دورا في المرحلة بعد التشقق وتكون مشاركتها الاساسية بزيادة المتانة على الانكسار fracture toughness ويتعلق مقدار مساهمة الالياف بطول الالياف والنسبة المعيارية وتوضع الالياف وتوزعها ضمن الخلطة. حسب (Löfgren, 2005) يتم توضيح سلوك الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة بالألياف على الشد في الشكل (3-12) كما يلي:

يكون سلوك الخرسانة المضاف اليها ألياف فولاذية على الشد ما يعرف بالتشوه الطري *strain softening* ويظهر شق وحيد وهو الذي يحدد نقطة الذروة وبعدها تبدأ الاجهادات بالتناقص ويكون ميل المنحنى الهابط كبيرا ثم يقل مما يؤشر على أن الألياف تقوم بالتجسير بين طرفي الشق بينما يكون ميل الجزء الهابط كبيرا في الخرسانة العادية. وهناك التشوه الصلب *strain hardening* حيث تظهر شقوق متعددة في الخرسانة في حالة استخدام ألياف عالية الأداء وتكون نقطة الذروة أكبر من مقاومة التشقق.



الشكل 3-12: سلوك الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة بالألياف على الشد (Löfgren, 2005) وفق الموديل الذي قدمه Van Mier توجد أربعة مراحل لسلوك الخرسانة بالألياف. في المرحلة O لا يوجد أي فرق بين الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة بالألياف وهي مرحلة المرونة (الشكل 3-13). المرحلة A وفيها تبدأ التشققات الميكروية المستقرة بالتشكل وتستمر حتى الوصول إلى اجهادات التشقق الأعظمية. مع زيادة اجهادات الشد تصل إلى المرحلة B حيث تحدث شقوق ميكروية غير مستقرة.



الشكل 3-13: سلوك الخرسانة العادية والخرسانة بالألياف على الشد [Van Mier 2007]

يحدث فقدان التماسك بداية في الألياف ذات أطوال تماسك دنيا ويستمر حتى فقدان التماسك كاملاً. عند النقطة B يتم الوصول لطاقة التحمل القصوى وبعدها يتم سلوك ما بعد التشقق حيث تبدأ مرحلة التجسير bridging وتتعلق بمقاومة الاحتكاك وتوزع الألياف وتوضعها. لقد بين Löfgren 2005 أن إضافة الألياف يحسن سلوك الانهيار على الشد وقد أكد ذلك أيضا Grunewald 2004.

3-3-4 التماسك بين الليف والخلطة

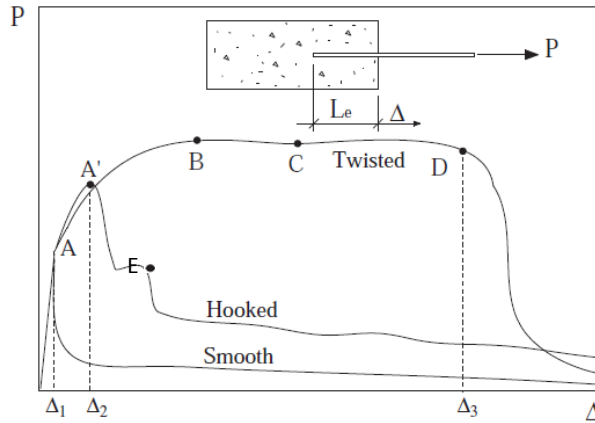
بين (Naaman 2003) أنه في معظم الحالات فان التماسك Bond بين الخلطة والليف هو العامل الأكثر أهمية وليس مقاومة الشد للليف وتوجد علاقة مباشرة بين مقاومة التماسك والمقاومة عند الشق الأولي. يتكون

التماسك بين الليف والخلطة من عدة مركبات هي الالتصاق الكيميائي والاحتكاك بين الليف والخلطة بسبب خشونة سطح الليف والضغط الجانبي للخلطة على الليف.

3-3-5 سحب الليف

يخضع سلوك الليف عندما يخضع للسحب Pullout r لعوامل مختلفة مثل خواص الليف ذاته مثل الشكل الهندسي وطوله والنسبة المعيارية، والى مقاومة التماسك بين الليف والخلطة وتوضع الليف بالنسبة الى اتجاه القوة. (Kooiman, 2000)

ويبين الشكل (3-14) العلاقة بين قوة السحب ومقدار انسحاب الليف من أجل أنواع مختلفة لشكل الليف. تكون استجابة الألياف على السحب متماثلة حتى النقطة A بعدها يزداد قليلا للألياف المعكوفة (النقطة A') ثم يهبط المنحني بسبب انسحاب الليف حتى النقطة E حيث تظهر عتبة صغيرة ناتجة عن العكفات. أما الألياف المجدولة فانها تحافظ على عتبة كبيرة بعد النقطة B وحتى النقطة D. يكون سلوك الألياف من إطارات السيارات مشابها لسلوك الألياف الملساء.

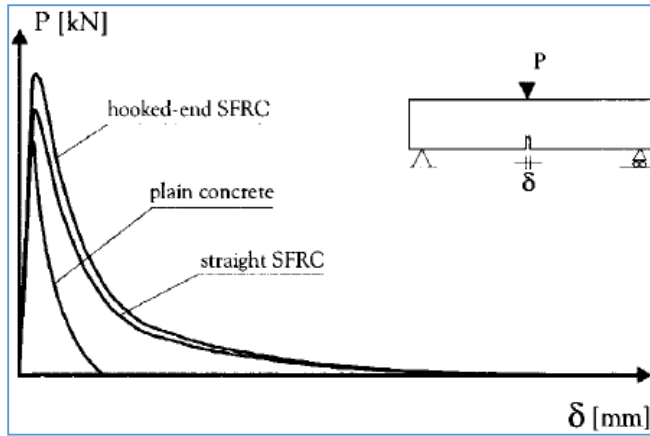


الشكل 3-14: مقارنة لاستجابة أنواع مختلفة من الألياف عند السحب

(ليف مستقيم، ليف معكوف، ليف مجدول (Naaman, 2003)

3-3-6 الانعطاف

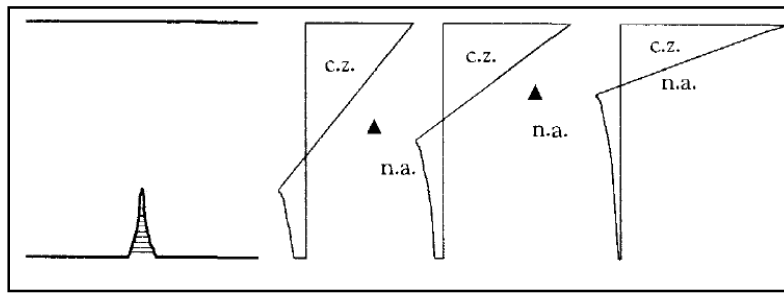
ان اضافة الألياف يحسن مقاومة الشد على الانعطاف Flexural للخرسانة وقد وجد أن هذا التحسن هو أكبر من ذلك بحالة تحميل العينة على الشد أحادي المحور. كما أن متانة الخرسانة المسلحة بالألياف تعتمد على نسبة الألياف والتماسك مع الخرسانة والنسبة المعيارية للألياف. في الشكل (3-15) تم توضيح التحسن على مقاومة الشد على الانعطاف عند اضافة الاليف وذلك لأنواع مختلفة من الألياف (Kooiman 2000)



الشكل 3-15: تأثير اضافة الالياف على مقاومة الشد على الانعطاف لأنواع مختلفة من الألياف (Kooiman 2000)

نلاحظ ان الالياف المستقيمة تزيد من المقاومة الاعظمية وتعطي حد تشوه أكبر وبالنسبة للألياف المعكوفة فهي تزيد من المقاومة الاعظمية لكنها لا تحسن كثيرا من المتانة بالمقارنة مع الالياف الملساء وهذا يُفسر بأن العكفات تؤمن تماسكا ميكانيكيا أكبر قبل الانهيار الناتج عن المفاصل اللدنة التي تشكلها العكفات ولكن بعد الانهيار تتصرف مثل الملساء.

تكون المقاطع العرضية التي تتعرض لعزوم الانحناء قادرة على اعادة توزيع الاجهادات في مرحلة ما بعد التشقق حيث ينتقل المحور السليم فور حدوث الشق باتجاه منطقة الضغط مما يؤدي الى توازن جديد وهذا هو السبب الذي يجعل الخرسانة المسلحة بالالياف قادرة على مقاومة العزوم حتى بوجود منطقة شد متشقة كما يفسر لماذا تكون اجهادات الانحناء العظمى أكبر منها في الخرسانة العادية وهذا موضح في الشكل (3-16) (Kooiman 2000)



الشكل 3-16: إعادة توزيع الإجهادات في الخرسانة بالألياف عند انتشار الشق (Kooiman 2000)

3-3-7 القص

يتم مقاومة القص بالخرسانة المسلحة بالألياف بواسطة التشابك بين الحصىات والاحتكاك بين الخرسانة والألياف عند سطوح التماس (Löfgren, 2005). ان الكميات المنخفضة من الالياف يمكن أن تحسن بشكل

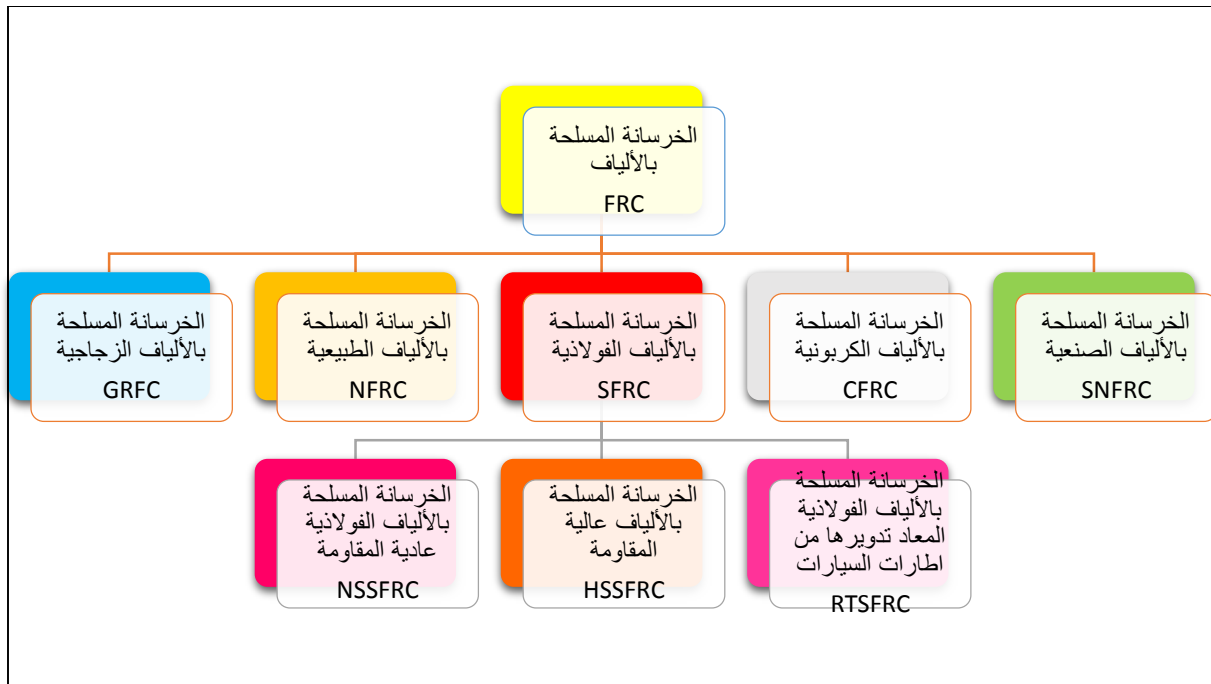
كبير مقاومة ما بعد التشقق للقص للخرسانة والنسب الاكبر لها تأثير أكبر. وجد Barragan 2002 أن اضافة الالياف يمكن أن تحسن مقاومة القص 100% .

3-4 الخرسانة المقواة بالالياف المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة

يمكن تصنيف أنواع الخرسانة بالالياف تبعا لنوع الألياف المضافة اليها:

- الخرسانة بالالياف الطبيعية NFRC
- الخرسانة بالالياف الزجاجية GFRC
- الخرسانة بالالياف الصناعية SFRC
- الخرسانة بالالياف الكربونية CFRC
- الخرسانة بالالياف الفولاذية SFRC

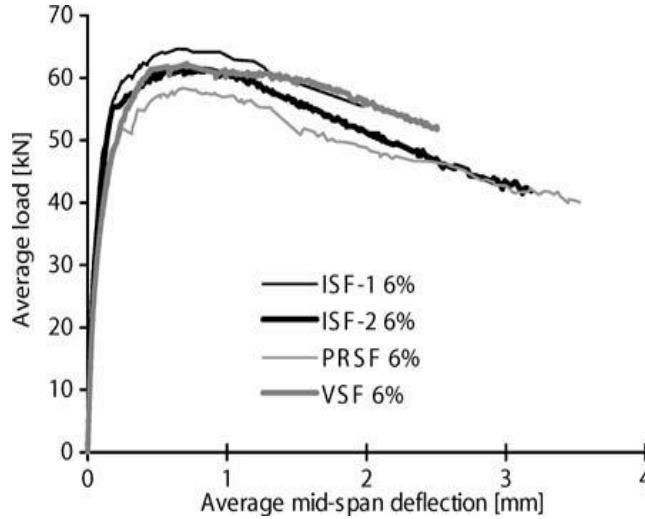
تنتمي الخرسانة بالالياف الفولاذية المعاد تدويرها من إطارات السيارات المستهلكة RTSFRC الى عائلة الألياف الفولاذية (الشكل 3-17) وبالتالي فانها سوف تتشارك معها في المبادئ العامة عند تصميم الخلطة وتتميز عنها في خصائص أخرى كما يمكننا ذلك من إمكانية المقارنة بها.



الشكل 3-17: موقع الخرسانة بالالياف المعاد تدويرها من إطارات السيارات بين أنواع الخرسانة بالالياف

قام H. Tlemat · K. Pilakoutas · K. Neocleous 2006 من جامعة شيفلدا في بريطانيا باختبار عينات خرسانية بالالياف مكعبية على الضغط وفق المواصفة BS12. استخدموا ألياف فولاذية مقطعة مستخرجة

من إطارات السيارات المستهلكة بطول 50 مم وبقطر من 0,80 الى 1,55 مم ونسب ألياف وزنية مختلفة (1,5 - 3 - 6%). بلغت المقاومة المكعبية للعينات المرجعية من 44 الى 50 ميغاباسكال أظهرت نتائج القياس أن زيادة نسبة الألياف تزيد المقاومة. كذلك بينت أن إضافة الألياف تخفض قابلية التشغيل في اختبار هبوط المخروط. وبمقارنة نتائج الاختبارات للخرسانة بالألياف معاد تدويرها مع ألياف صناعية فولاذية تبين أنها متقاربة في اختبار الانعطاف للجوائز (الشكل 3-18).



الشكل 3-18: نتائج الاختبار على الانعطاف للجوائز بنسبة وزنية 6% (Tlemat, 2006)

ألياف صناعية

PRSF ألياف معاد تدويرها من إطارات السيارات محضرة بالتحليل الحراري

VSF ألياف جديدة من إطارات السيارات

أجرى (Aiello et al, 2011) تجارب على عينات خرسانية بنسبة اسمنت 350 كغ/م³ ومسلحة بألياف من إطارات السيارات المستهلكة بالطريقة الحرارية وازدادت المقاومة على الضغط 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 الأوربية 2006-1, UNI EN 206).

بالمقابل فان البحوث التي قام بها كل من (Olitivo and Zuccarello, 2010) بينت أن إضافة الألياف له تأثير محدود على مقاومة الخرسانة على الضغط. 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 وزن 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.

3-5 التطبيقات الأساسية للخرسانة بالألياف الفولاذية

يمكن تحديد مجالات التطبيقات الممكنة للدراسة كما يلي (الشكل 3-19)

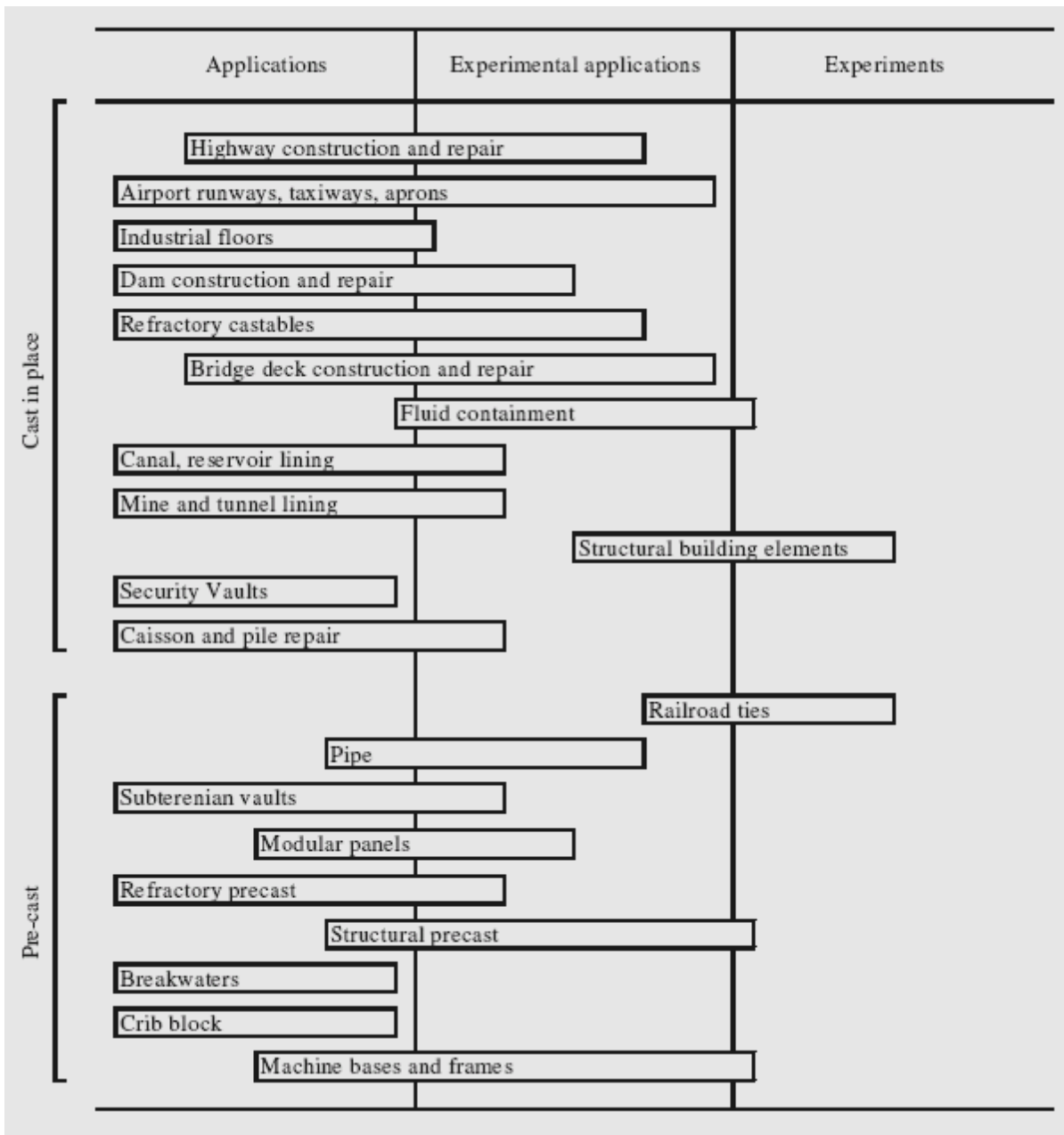
- استخدامها في أرضيات المعامل للحد من الأضرار الناجمة عن الاهتراء والصدم.
- امكانية استخدامها في أساسات الآلات للحد من الأضرار الناجمة عن الاهتزازات والأحمال الديناميكية.
- امكانية استخدامها في طبقات الرصف للطرق ومهابط المطارات كطبقة تغطية للحد من التشققات.

3-6 خاتمة الفصل

في هذا الفصل تم استعراض خواص الخرسانة بالألياف الفولاذية في الحالة الطازجة والمتصلبة كما تم عرض بعض الدراسات المرجعية عن خواص الخرسانة بالألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المطاطية المستهلكة.

كما تم التوضيح فان الخرسانة بالألياف الفولاذية المعاد تدويرها من إطارات السيارات المستهلكة RTSFRC تنتمي الى عائلة الألياف الفولاذية مما يمكننا ذلك من تطبيق عليها ذات مبادئ التصميم للخلطة بالألياف الفولاذية الصناعية وجراء الاختبارات القياسية عليها مع إمكانية المقارنة بها.

وسنعرض في الفصل اللاحق تصميم هذه الخلطة الخرسانية الخاصة بالدراسة التجريبية.



الشكل 3-19: التطبيقات الأساسية للخرسانة بالألياف الفولاذية Alp Eren Yurtseven 2004

التماسك بين الألياف والخرسانة

1-4 مقدمة

ان قدرة الخرسانة المعززة بالألياف على ممانعة تشكل الشقوق الميكروية التي تتشكل في مرحلة مبكرة من تاريخ التحميل، تعتمد بشكل كبير على طبيعة التماس للسطوح الفاصلة بين الألياف ومكونات الخرسانة. في معظم الحالات لا تعتبر مقاومة الشد للألياف العامل الحاسم عند تقييم مقاومة الخرسانة المعززة بالألياف بل التماسك بين الالياف والمواد الرابطة في الخلطة وبالتالي فانه علاقة مباشرة قائمة بين هذا التماسك وسلوك الخرسانة ما بعد التشقق.

سنتعرف في هذا الفصل على مكونات التماسك بين الألياف والخرسانة والعوامل المؤثرة عليها، كما سنتعرف على كيفية الانتقال من حالة التوزيع العشوائي للألياف إلى حالة مكافئة وفق منظور الانتقال من الوسط المنقطع بخصائصه العشوائية إلى الوسط المستمر ذات الصفة التقريبية، خطوة تساعد في تحديد الطول المكافئ الذي سيسمح بحساب مساحة التماسك مع المادة الرابطة ومنه لتحديد دور الألياف في مقاومة الضغط والشد.

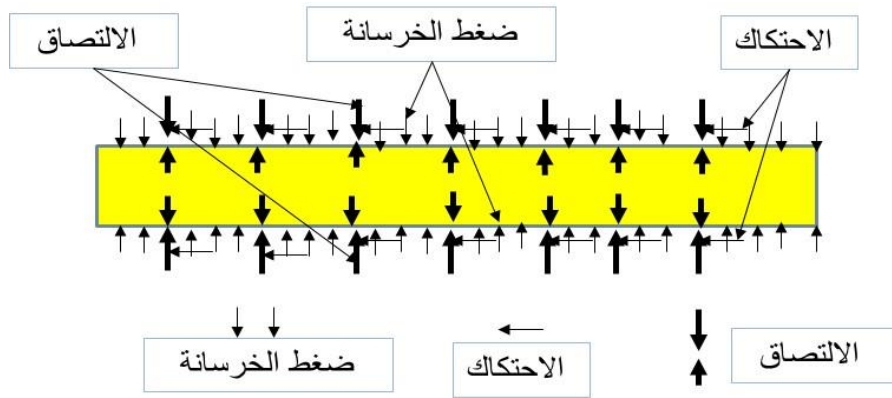
2-4 مكونات التماسك بين الألياف والخرسانة

تعمل الألياف على نقل وتوزيع الإجهادات ضمن جسم الخرسانة كغيرها من مكونات الخلطة الخرسانية، إلا أنها من حيث آلية النقل تمتاز عن غيرها حيث يسيطر على أدائها مقاومتها للإجهادات المماسية، بينما تحل مقاومتها على الشد في درجة لاحقة حيث لوحظ انهيار الخرسانة قبل انقطاع الألياف الفولاذية.

يمكن فهم ظاهرة المقاومة على السحب من حالة الخرسانة قبل الانهيار حيث يبرز دور الألياف في آلية "التجسير" bridging effect المتلازمة مع تطور الشقوق في الخرسانة، حيث تعمل الألياف على نقل القوى الداخلية بين طرفي الشق، وهنا تبرز أهمية التلاصق والتماسك بين الألياف ومكونات الخلطة وتحديدًا المادة الرابطة (Dozio 2008).

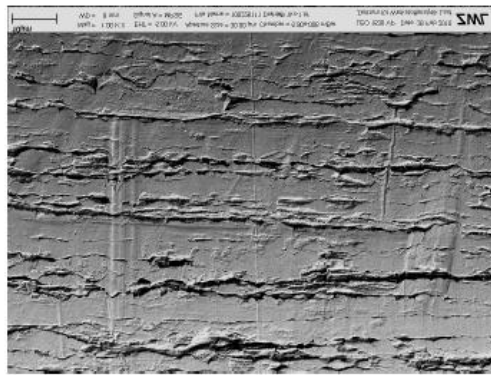
تؤثر خصائص الاليف وبشكل خاص شكلها الهندسي على التماسك حيث تزيد الألياف ذات النهايات المعكوفة التماسك بالمقارنة مع الاليف العادية. كذلك تؤثر على مقاومة التماسك امور عدة مثل خشونة السطح والمقطع العرضي وغيرها في تحديد التشابك و السلوك الميكانيكي (Naaman 2003).
يتكون التماسك بين الليف والخلطة من المركبات التالية: (الشكل 1-4)

- الالتصاق الكيميائي والفيزيائي.
- الاحتكاك بسبب التسنن أو الخشونة الميكروية لسطح الليف.
- الضغط على سطح الليف.

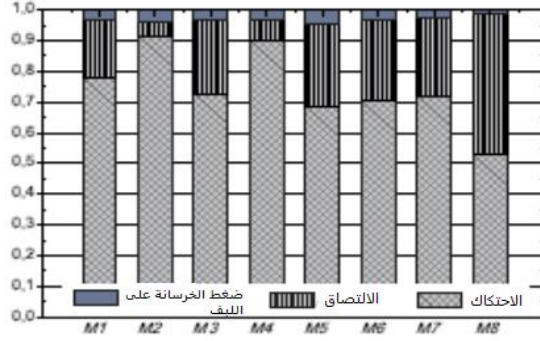


الشكل 1-4: مخطط توضيحي يبين مكونات التماسك بين الليف والخلطة

تكون نسبة مساهمة التماسك بسبب خشونة سطح الليف هي الأكبر وتبين الصور المأخوذة للليف أملس ظاهريا وجود خشونة ميكروية (الشكل 2-4) وبينت نتائج تجارب على ليف فولاذي بقطر 0.48 مم أنها قد تصل الى أكثر من 90% من التماسك الكلي Stengel 2013 (الشكل 3-4) هذا وقد أظهر (Naaman 2003) إمكانية زيادة قيمة التلاصق بالمعالجة الكيميائية بإضافة الراتنج الايبوكسي لزيادة التماسك.

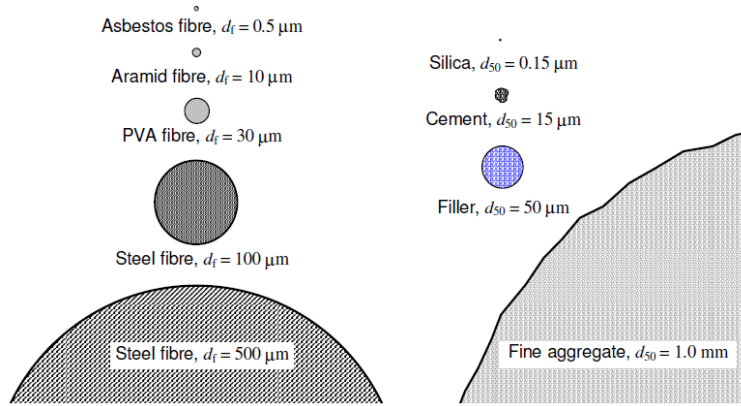


الشكل 2-4: صورة مكبرة 1000 مرة لسطح ليف فولاذي املس يظهر الخشونة الميكروية
Stengel 2013



الشكل 4-3: مساهمة مكونات التماسك بين الليف والخطة 2013 Stengel

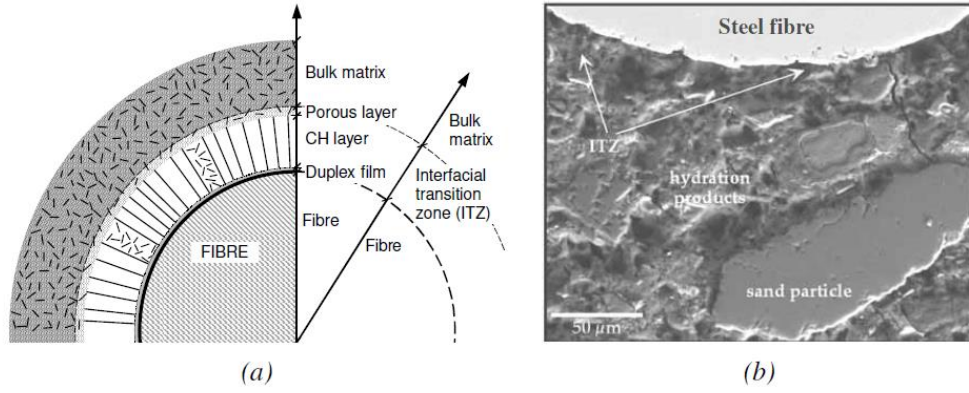
تعتمد مقاومة الخرسانة على تشكل الشقوق الشعرية وتطورها وعلى عملية الاماهة لحبيبات الاسمنت والتفاعلات المصاحبة لها. تشغل الحصى حوالي 75% من الحجم الكلي للخرسانة وتراوح أقطارها من $0.1\mu\text{m}$ - 30mm أما الألياف فتراوح أقطارها من $1\mu\text{m}$ - 1mm وبأطوال من 100mm - 4mm (الشكل 4-4).



الشكل 4-4: (على اليمين) مقارنة لأبعاد مكونات الخرسانة ، (على اليسار) مقارنة نسبية لأبعاد الألياف

Löfgren, 2005

تتشكل خلال الاماهة مكونات مختلفة وتؤثر نسب هذه المكونات على سلوك الخرسانة حيث تتشكل طبقة بجوار سطح الليف تسمى المنطقة الانتقالية السطحية (ITZ) interfacial transition zone و تلعب البنية الميكروية دورا مهما في تشكل التماسك بين الليف والخرسانة (الشكل 4-5) وتظهر في الصورة طبقة ITZ بلون فاتح بجوار الليف.



الشكل 4-5: على اليمين: صورة بجوار سطح ليف فولاذي مأخوذة بميكروسكوب الكتروني. على

اليسار: مخطط توضيحي (Löfgren (2005)

أوضحت الصور المأخوذة بالميكروسكوب أن سماكة هذه الطبقة تبلغ من 30 إلى 60 ميكرومتر وأن هذه الطبقة ذات مقاومة ضعيفة مما يؤدي إلى فقدان التماسك في هذه الطبقة وليس مباشرة على سطح الليف. ويعزى السبب في تشكل هذه الطبقة إلى بداية عملية الأماهة حيث تتجمع المياه الموجودة على السطوح الخارجية لمكونات الخلطة على الليف وتكون حول الليف طبقة كثيفة من بلورات هيدروكسيد الكالسيوم محاطة بمسامات وبلورات ابرية وقليل من حبيبات الاسمنت.

كما يتعلق التماسك بشكل أساسي بكثافة الخلطة في منطقة التماس مع سطح الليف وهذا يتعلق بحجم الألياف مقارنة مع حجم بقية مكونات الخلطة ومع مسامية الخلطة وخشونة سطح الليف ونوع الليف.

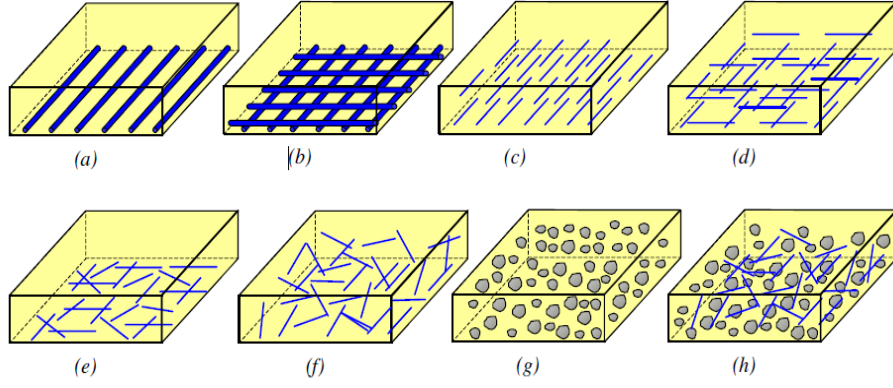
تتولد حول الليف اجهادات ضغط ناظمية حيث يؤدي إضافة الألياف إلى ملئ الفراغات بين مكونات الخلطة وبالتالي تقليل حجمها. ويعزى السبب في ظهور هذه الاجهادات إلى

- التغيرات الحجمية للخرسانة عند تصلبها.
- الاجهادات الناظمية على سطح الليف بسبب الحمولات الخارجية.

3-4 طول التماسك لليف

يؤثر عدد الألياف وتوضعها بالنسبة لاتجاه تطبيق الحمولة على سلوك الخرسانة المسلحة بالألياف وتوجد العديد من الدراسات منها يستند إلى دراسات نظرية أو تجريبية أو بواسطة التصوير الشعاعي.

وضع Löfgren, 2005 تصورا للحالات الممكنة لتوزيع الألياف وتجانس الخلطة كما في الشكل (4-6)



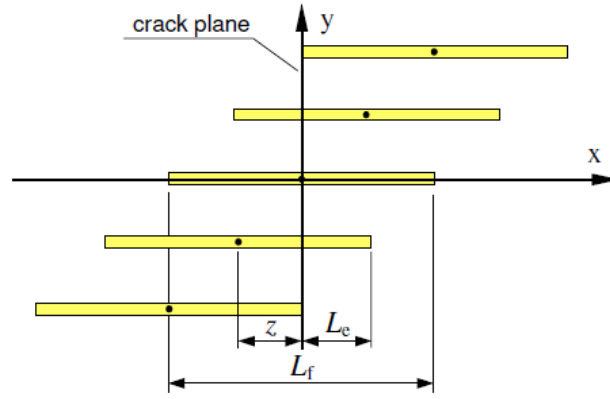
الشكل 4-6: الحالات الممكنة لتوزيع الألياف (Löfgren, 2005)

- أ- ألياف مستمرة باتجاه واحد
- ب- ألياف مستمرة باتجاهين
- ت- ألياف غير مستمرة باتجاه واحد
- ث- ألياف غير مستمرة باتجاهين
- ج- ألياف غير مستمرة موزعة عشوائيا في المستوي
- ح- ألياف غير مستمرة موزعة عشوائيا في الفراغ
- خ- توزيع الحصىيات
- د- توزيع الألياف مع الحصىيات

وفي محاولة للبحث عن فاعلية تجسير الألياف وقيمة الاجهادات المطبقة عليها، كقيم تابعة لعدد الألياف والطول المغموس وزاوية توضعها بالنسبة لمستوي الشق، أستخدم عامل توجيه الألياف (*Fiber orientation factor*)، كعامل للحصول على تقييم كمي لتوزيع الألياف في الخرسانة وطولها المكافئ.

ميكانيكياً، في الحالة المثالية يعتبر الليف اثناء التجسير مقسوما على طرفي الشق الى جزأين طول الجزء l_e بحيث يكون $l_e \leq \frac{l_f}{2}$ ، حيث يحدث الإنسحاب وإنهيار التلاصق في الطول الأصغر (الشكل 4-7). نظريا نحصل على عامل توجيه الألياف في ثلاثة حالات (Löfgren 2005, Laranjera 2010):

- الحالة الأولى وهي الحالة الخطية: وتأخذ بعين الاعتبار توجيه الألياف في الفراغ أحادي البعد (*Dimension*) ويكون الليف متعامدا مع مستوي الشق أي أن معمل التوجيه التابع لزاوية ميل الليف عن مستوي الشق (*OY*) يكون مساويا الواحد، ووفقا لقوانين التوزيع العشوائي فان الاحتمال الأكثر حدوثا لوقوع مركز ثقل الليف Z بالنسبة الى مستوي الشق (*OY*) هو $1/2$ أي يكون الطول المغموس يساوي نصف طول الليف (الشكل 4-7).



الشكل 4-7: الحالة العامة لتوضع الليف على جانبي الشق في الفراغ أحادي البعد

$$\eta_{\phi 1D} = 1$$

$$l_{embedded} = l_e = \eta_{\phi 1D} \frac{L_f}{2} = \frac{L_f}{2} \quad (4-1)$$

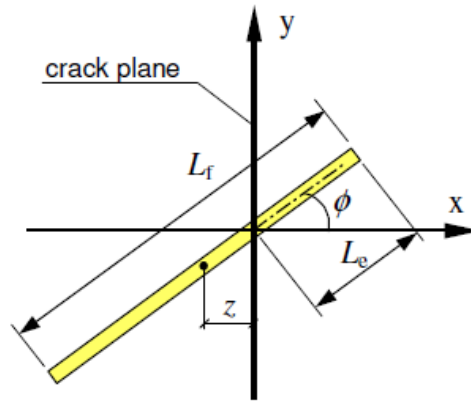
افترض *Li et 2001* أن احداثيات مركز ثقل الليف z وزاوية توضع الليف Φ هي متحولات عشوائية وبالتالي فان عامل توجيه الألياف (*Fiber orientation factor*) $\Phi\eta$ يحسب من تكامل توابع الكثافة الاحتمالية $p(z), p(\Phi)$ كما يلي:

$$\eta_{\phi 2D} = \int_{\phi=0}^{\pi} \int_{z=0}^{\frac{L_f}{2} \cos \phi} p(\phi) \cdot p(z) \cdot dz \cdot d\phi \quad (4-2)$$

$$p(\phi) = \frac{1}{\pi} \quad (4-3)$$

$$p(z) = \frac{2}{L_f} \quad (4-4)$$

• الحالة الثانية: وهي حالة توضع في الفراغ ثنائي البعد (*2 Dimension*) (الشكل 4-8)



الشكل 4-8: الحالة العامة لتوضع الليف على جانبي الشق في الفراغ ثنائي البعد

$$\eta_{\phi 2D} = \frac{2}{\pi} = 0.637 \quad (4-5)$$

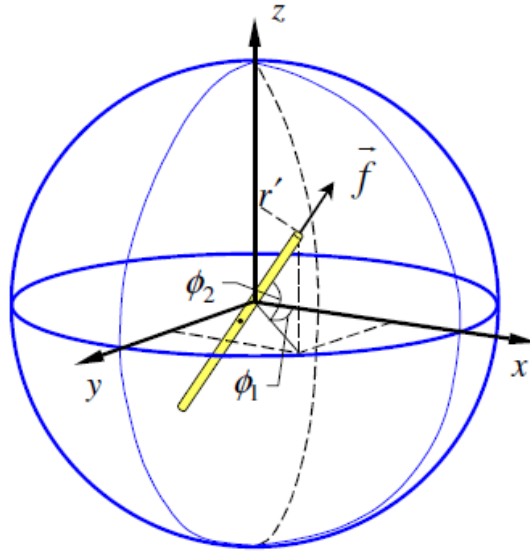
ويكون الطول المغموس

$$l_e = \eta_{\phi 2D} \frac{l_f}{2} = 0.32l_f \quad (4-6)$$

- الحالة الثالثة حالة توضع الليف في الفراغ ثلاثي البعد وهي الحالة العامة للتوزيع العشوائي للألياف
يكون توضع الليف كما في الشكل (4-9)

$$\eta_{\phi 3D} = \int_{\phi=0}^{\frac{\pi}{2}} \int_{z=0}^{\frac{l_f}{2} \cos \phi} p(\phi) \cdot p(z) \cdot dz \cdot d\phi \quad (4-7)$$

$$\eta_{\phi 3D} = \frac{1}{2} \quad (4-8)$$



الشكل 4-9: الحالة العامة لتوضع الليف على جانبي سطح الشق في الفراغ ثلاثي البعد

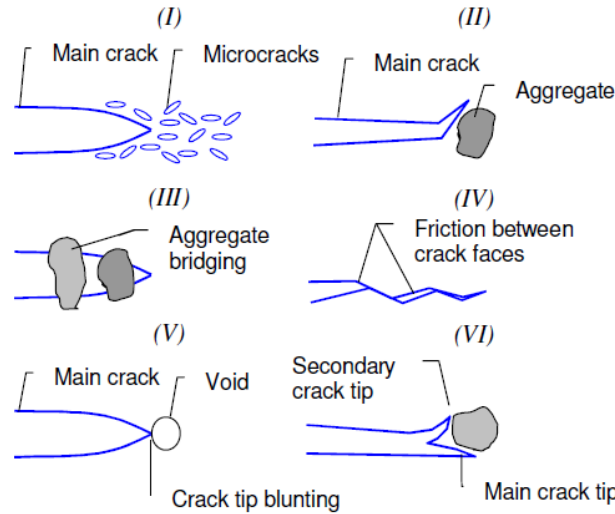
يمثل الحد الأدنى في التكاملات السابقة الحالة المثالية لتجسير الألياف حيث يكون الليف متعامدا مع مستوي الشق وموازيا لاتجاه القوة أما الحد الأعلى فيمثل الحالة التي لا تساهم فيها الألياف في التجسير ويكون الليف موازيا لمستوي الشق ومتعامدا مع اتجاه القوة.
ويكون الطول المغموس

$$l_e = \eta_{\phi 3D} \frac{l_f}{2} = \frac{l_f}{4} \quad (4-9)$$

4-4 ميكانيكية تجسير الشقوق في الخرسانة بالألياف

توجد في الخرسانة شقوق ميكروية ناتجة عن التقلص والانكماش قبل تطبيق القوة الشادة حتى وصول الاجهاد حوالي 10 إلى 15% من القيمة القصوى ومع وصول الإجهاد إلى 25-30% تبدأ الشقوق الميكروية ضمن الخلطة بالانتشار. تلاحظ العديد من الميكانيكيات المختلفة المؤثرة على طبيعة الشق مثل: (الشكل 4-10) (Shah et al., 1995)

- I. تجمع الكثير من الشقوق الميكروية قرب مقدمة الشق وهذا يؤثر على انتشار الشق الرئيسي.
- II. انحراف الشق عند السطح الفاصل بين المواد غير المتماثلة حيث يمكن توقف الشق أو انحرافه عندما يخترق السطح الفاصل بين مكونات الخلطة.
- III. اقفال الشق بسبب تجسير الحصىيات.
- IV. احتكاك بين وجهي الشق.
- V. تتلم الشق بسبب وجود الفراغات.
- VI. تشعب الشق الى شق رئيسي وشق ثانوي.



الشكل 4-10: ميكانيكيات مختلفة مؤثرة على طبيعة الشق (Shah et al., 1995)

5-4 نموذج الشق المكافئ (الوهمي) FCM

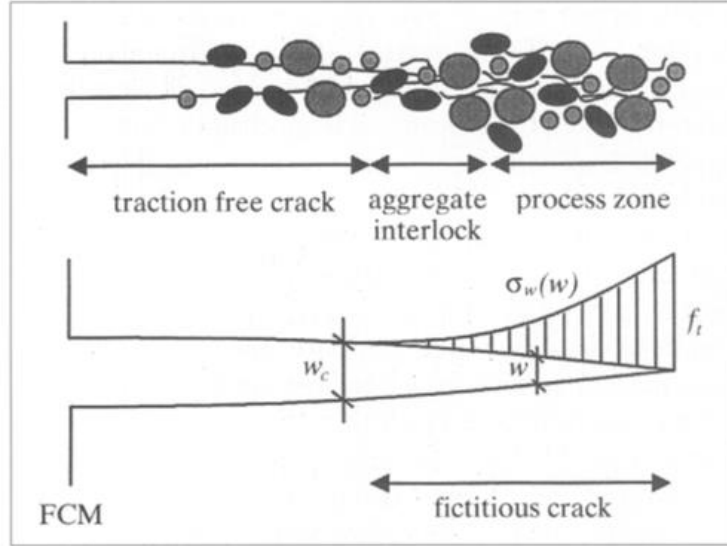
من اجل دراسة سلوك الخرسانة على الشد اقترح (1980) Hillerborg نموذج الشق المكافئ FCM fictitious crack model وهو يستند على ميكانيك الانهيار للمادة وعلى العلاقة بين الاجهادات وعرض الشق. تظهر في العينة الخرسانية عند تعرضها للشد ثلاثة مناطق: منطقة متشققة، ومنطقة الشق المكافئ ومنطقة غير متشققة. أي أن الشق المكافئ هو منطقة انتقالية بين الجزء المتشق والجزء غير المتشق. نفترض ان السلوك

يكون مرنا خطيا عندما لا يكون هناك شقوق. عندما يزيد الاجهاد عن مقاومة الخرسانة على الشد تعتبر منطقة متشققة وتبدأ الشقوق بالظهور ويتم نمذجة منطقة الانهيار على أنها منطقة الشق المكافئ. يوصف السلوك خارج منطقة التشقق بالعلاقة $\sigma-E$ ، وضمن منطقة التشقق بالعلاقة $\sigma-W$ حيث W عرض الشق وهي قيمة بعدية بينما E التشوه النسبي قيمة لا بعدية.

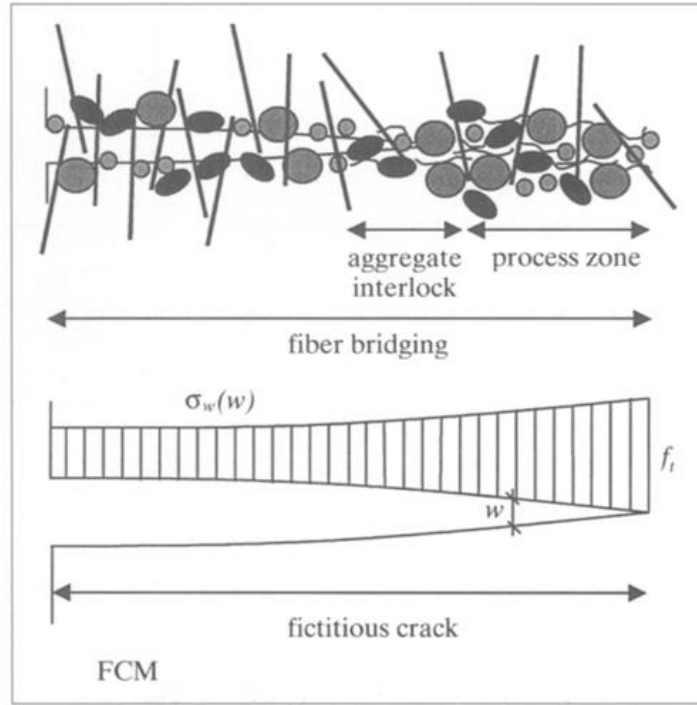
يتأثر سلوك الخرسانة ما بعد التشقق بميكانيكيتين مختلفتين هما:

- تجسير الحصى Aggregate Bridging والذي يظهر في الخرسانة العادية.
- تجسير الألياف Fiber Bridging في الخرسانة المسلحة بالألياف.

في حالة تجسير الحصى فقط فان الشق المكافئ يمتد على طول منطقة تجسير الحصى ومنطقة تشكل الشقوق (الشكل 4-11). أما في حالة التجسير المشترك للحصى والألياف فان منطقة الشق المكافئ تغطي منطقة تجسير الحصى ومنطقة تشكل الشقوق (الشكل 4-12). نميز بين الشق الحقيقي والشق المكافئ، ففي حالة الشق الحقيقي لا تنتقل الاجهادات بين وجهي الشق أما في الشق المكافئ فتنتقل الاجهادات.



الشكل 4-11: نموذج الشق المكافئ (تجسير الحصى فقط)

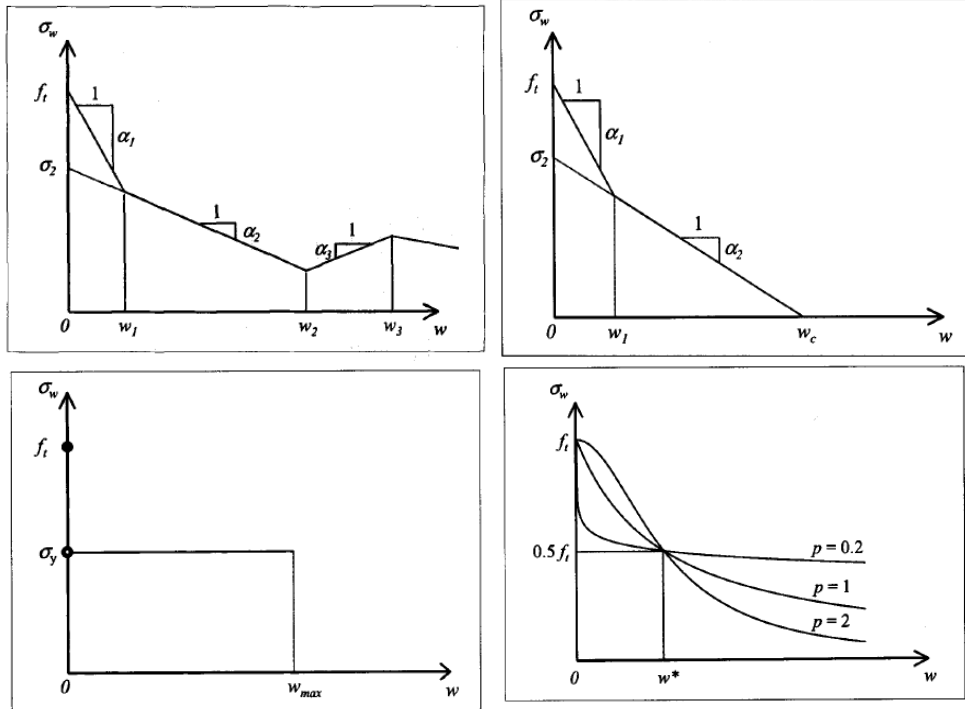


الشكل 4-12: نموذج الشق المكافئ (تجسير مشترك الحصىيات والألياف)

فرضيات نموذج الشق المكافئ وفق RILEM TC 162-TDF (2002)

- يؤخذ عمل التجسير ناظميا على سطح الشق بالاعتبار فقط.
 - تعتبر منطقة تشكل الشقوق عند النمذجة كشق وحيد (سلوك التشقق هو السلوك الطري (softening)
 - العلاقة في منطقة التشقق هي $\sigma(w)$ و يتناقص الاجهاد مع زيادة عرض الشق $\sigma_{(w=w_c)} = 0$
 - يبدأ الشق بالتشكل عند وصول الاجهادات في الخرسانة الى مقاومتها على الشد $\sigma_{(w=0)} = f_t$
- في الخرسانة بالألياف تقسم العلاقة بين الاجهاد - عرض الشق $\sigma-w$ الى مساهمة الخرسانة ومساهمة الألياف. توجد العديد من البحوث لتحديد شكل المنحني $\sigma-w$ (الشكل 4-13) مثل

- متعدد الخطوط multi-linear
- ثنائي الخط bi-linear
- ثابت drop-constant
- الشكل الحر يتم الحصول عليه من نتائج تجريبية مثل المنحني الأسّي.



الشكل 4-13: نماذج لعلاقة المنحني $\sigma-w$

RILEM TC 162- TDF(2002)

- متعدد الخطوط

$$\sigma(w) = \sigma_i - \alpha_i w$$

for $w_{i-1} \leq w \leq w_i = \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_i}{\alpha_{i+1} - \alpha_i}$; $\alpha_i > 0$; $w_0 = 0$; $\sigma_1 = f_t$ (4-10a)

- ثنائي الخط

$$\sigma(w) = \begin{cases} \sigma_1 - \alpha_1 w & \text{for } 0 \leq w \leq w_1 = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\alpha_2 - \alpha_1}; \alpha_1 > 0; \sigma_1 = f_t \\ \sigma_2 - \alpha_2 w & \text{for } w_1 \leq w \leq w_c = \frac{\sigma_2}{\alpha_2}; \alpha_2 > 0 \end{cases} \quad (4-10b)$$

- ثابت

$$\sigma(w) \begin{cases} = f_t & \text{for } w = 0 \\ = \sigma_y & \text{for } w < w_{max} \end{cases} \quad (4-10c)$$

- الشكل الحر

$$\sigma(w) = \frac{f_t}{1 + \left(\frac{w}{w^*}\right)^p} \quad (4-11)$$

- معاملات تجريبية. w^*, p

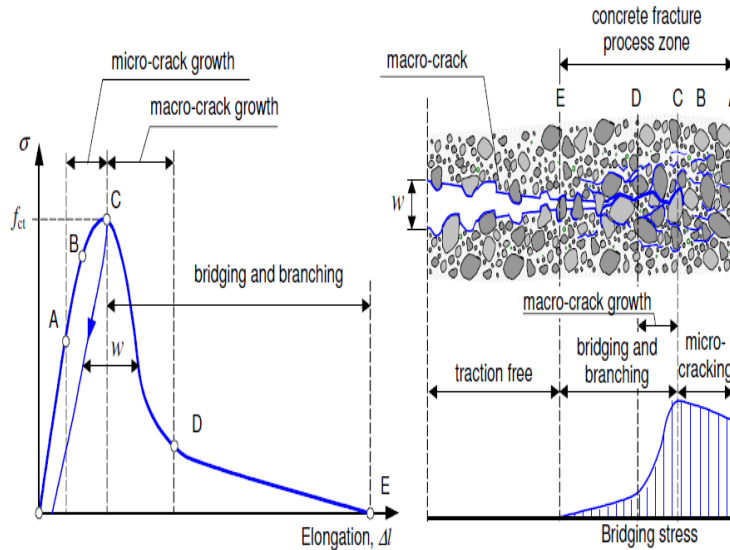
6-4 تجسير الحصىات

يعتبر تجسير الحصىات Aggregate Bridging هو الميكانيكية الرئيسية على الانهيار في الخرسانة العادية. تعمل الحصىات على تجسير الشقوق بعرض من 0,3-0 مم غالبا بنفس الطريقة التي تعمل بها الألياف (Löfgren (2005). ان تجسير الحصىات هو التحام الشقوق الميكروية المتشكلة بين الحصىات والخلطة والناجمة عن التماسك بينهما أو عن الاحتكاك عند سحب الحصىات من الخلطة.

تنتج المتانة للخرسانة العادية من تجسير الحصىات وتوجد الكثير من الدراسات التجريبية والمراقبات العددية التي تدعم هذا الرأي. كما اجريت العديد من الدراسات للتحري عن طبيعة العلاقة بين الاجهاد وعرض الشق حيث تم تغيير مواصفات العناصر المؤثرة على الشق مثل الحصىات حيث اجريت العديد من التجارب والدراسات حيث تم تغيير مواصفات العناصر المؤثرة على الشق مثل الشكل والابعاد والنوع والتركييب الحبي.

[Tasderi and Karihaloo 2001; van Mier 1991, 1997; Giaccio and Zerbinò 1997]

اعتمادا على تلك الدراسات ونتائجها يمكن وصف عملية التجسير للحصىات كما يلي: (الشكل 4-14)



الشكل 4-14: وصف تخطيطي لعملية التجسير للحصىات على الشد Löfgren 2005

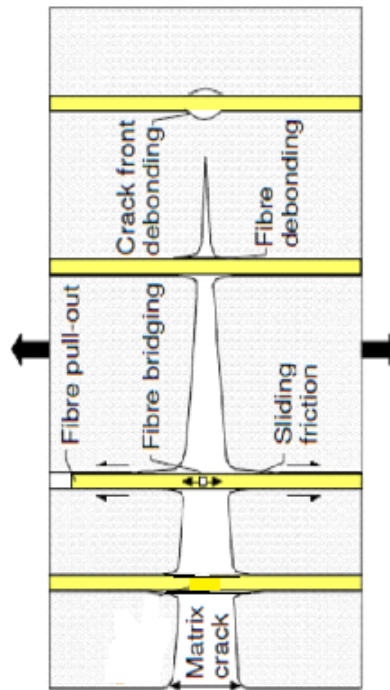
حيث افترض وجود شقوق ميكروية في الخرسانة حتى قبل تطبيق أي اجهادات ناتجة عن الانكماش والتشوهات الحرارية. عند زيادة الاجهادات الخارجية تبدأ الشقوق الميكروية بالازدياد في البداية بين الملاط الاسمنتي والحصىات (النقطة A) ثم لاحقا ضمن الملاط (النقطة B) وبعد وصول الاجهادات الى القيمة العظمى (النقطة C) تنتشر الشقوق الشعيرية (الميكروية) بطريقة غير محددة ويظهر شق كبير ضمن الخلطة مع انخفاض واضح

في قيمة الاجهادات (النقطة D) بعدها يظهر تلين بسبب تجسير الحصىيات (المجال D-E) والمنطقة بعد E هي منطقة تشقق حرة.

7-4 تجسير الألياف الفولاذية

ان عملية انهيار الخرسانة المسلحة بالألياف هي ظاهرة معقدة تعتمد على العديد من العوامل كما الحال بالنسبة لتجسير الحصىيات. وللتبسيط يتم التحري عن سلوك ليف معزول على كامل الشق. يمكن ملاحظة الآليات التالية لتسلسل انهيار الخرسانة المسلحة بالألياف (الشكل 4-15)

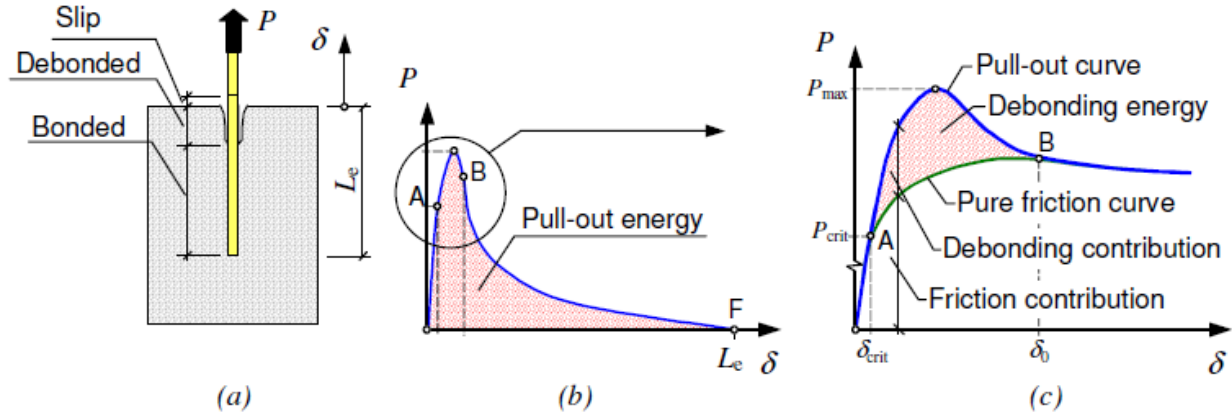
- 1- ظهور موضعي لمنطقة يبدأ فيها الليف فقدان التماسك مع الخلطة.
- 2- توسع هذه المنطقة وزيادة طول الليف الفائق للتماسك.
- 3- اتساع الشق وبدأ عملية التجسير لليف ناتجة عن الاحتكاك بين الليف والخلطة.
- 4- تشظي الخلطة وانسحاب الليف.



الشكل 4-15: مخطط توضيحي لتسلسل انهيار الخرسانة المسلحة بالألياف (Löfgren, 2008)

يعتمد السلوك الميكانيكي للخرسانة بالألياف على نسبة الاليف التي تتراوح من 1% الى 1.5% وعلى اتجاه توضع الاليف وبشكل أكبر على سلوك السحب لليف المنفرد. ان مقدرة الليف على السحب تعتمد على الخواص الميكانيكية والهندسية له وعلى زاوية الميل بالنسبة لاتجاه التحميل كما يعتمد على خواص الخلطة.

ان المنحني الذي يمثل سلوك الليف المستقيم على السحب مبينة في الشكل (4-16) Benture et al 1995. يمثل الجزء الصاعد من المنحني OA المجال المرن والنتاج عن الالتصاق، بعدها يبدأ الليف بفقدان التماسك حتى يفقده بشكل تام (النقطة B)، يليها سحب الليف من الخلطة ويبقى مركب الاحتكاك هو الفعال حتى النقطة F ويظهر تناقص قوة السحب مع زيادة الانتقال (السحب). ان مقدار الانتقال الموافق للحمولة الأعظمية يكون صغيرا (عادة أقل من 0.1 مم). تمثل المساحة تحت منحنى الحمولة - الانتقال الطاقة المبددة الناتجة عن السحب.



الشكل 4-16: منحنى القوة - الانتقال (السحب) من أجل ليف مستقيم Benture et al 1995

يعتمد سحب الليف على زاوية ميله عن مستوي الشق وهنا تلعب مقاومة الخلطة دورا مهما فعندما تكون مقاومتها ضعيفة فإنها ستنتفتت وتتضرر موضعيا عند منطقة خروج الليف من الخلطة وسيحدث تركيز إضافي للإجهادات.

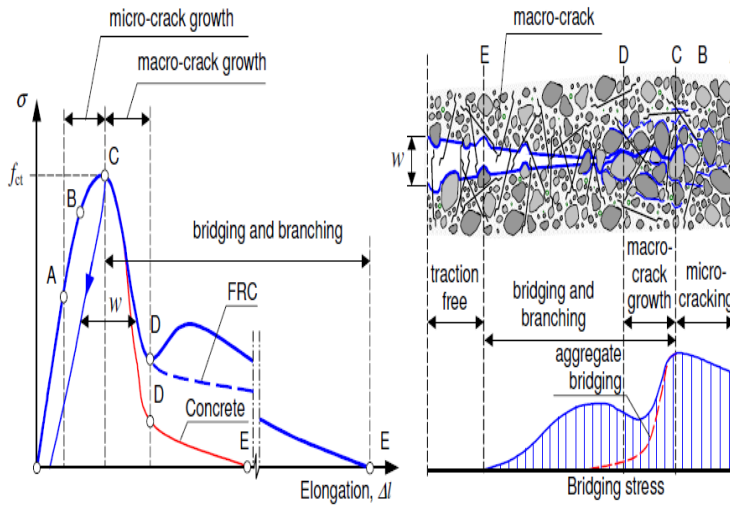
4-8 التجسير المشترك الحصىات والألياف الفولاذية

ان سلوك الخرسانة المسلحة بالألياف يتعلق بالتأثير المشترك لكل من تجسير الحصىات وتجسير الألياف Fiber bridging حيث يلعب تجسير الحصىات دورا صغيرا نسبيا بالمقارنة مع تجسير الاليف. تساهم كل من الحصىات والاليف معا في عملية التجسير وذلك في مرحلة نشوء الشقوق وتلعب الألياف دورا إضافيا في التجسير.

يبين الشكل (4-17) تأثير الألياف على عمليات الانهيار بحالة الشد حيث يلاحظ وجود ثلاثة مناطق منفصلة (Löfgren, 2005)

- I. منطقة السحب الحرة حيث يكون عرض الشق كبير نسبيا ويكون التجسير من قبل الألياف فقط.
- II. منطقة التجسير المشترك للحصىات والألياف وضمنها تجسير الحصىات منطقة الشقوق الماكروية.
- III. منطقة الشقوق الميكروية.

ان مشاركة الألياف بالتجسير لا يكون لها أي دور قبل وصول عرض الشق الى 0,05 مم وبعدها تبدأ الألياف تدريجيا بالتجسير ويبين الشكل (7-17) علاقة الاجهاد - عرض الشق حيث يحدث هبوط حاد في المنحني (الجزء C-D) عند عرض الشق $w < 0.1$ mm. بعد النقطة D يتناقص ميل المنحني وفقا لخواص الليف ويزداد عرض الشق ويزداد مقدار انسحاب الليف حتى الوصول الى الصفر (النقطة E) عندما يبلغ عرض الشق الطول المغموس لليف. من أجل ألياف معكوفة أو متموجة فانه يلاحظ صعود جزئي للمنحني (النقطة D) ناتج عن وجود العكفات أو التموجات في شكل الليف حتى تتم ازلتها عند انسحاب الليف ثم يعود المنحني فيأخذ سلوكا مشابها للألياف المستقيمة.



الشكل 4-17: التأثير المشترك لتجسير الحصويات والألياف 2005 Löfgren

9-4 ميكانيكية انتقال الاجهادات بين الخرسانة والليف

يكون انتقال الاجهادات قبل ظهور الشقوق مرنا elastic stress transfer وتكون الانتقالات متوافقة بين الليف والخلطة. أما الاجهادات عند سطوح التماس فهي اجهادات مماسية. تتوزع الأحمال الخارجية على الخلطة وعلى الليف وفقا لعوامل مرونتهما بينما التشوهات هي نفسها للخلطة والليف لذلك فان اجهادات القص هي العامل الرئيسي في التنبؤ بالإجهادات عند حدوث الشق الأولي.

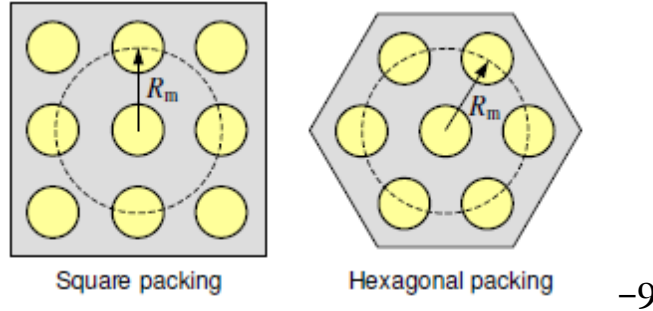
مع استمرار التحميل يفقد التماسك بين الليف والخلطة وتصبح الاجهادات بسبب الاحتكاك هي الحاكمة وتحدث انزياحات نسبية بين الليف والخلطة. يحدث الانتقال من مرحلة الاجهادات المرنة حيث التماسك بسبب الالتصاق هو الحاكم الى مرحلة اجهادات الاحتكاك عندما تزيد الاجهادات المماسية عند السطوح الفاصلة بين الليف

والخطة عن اجهادات القص المماسي الحدية، وتعرف هذه المقاومة بمقاومة التماسك على الالتصاق
.Adhesional shear bond strength

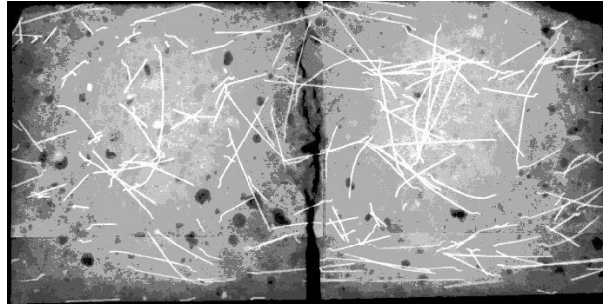
عند زيادة الاجهادات عن هذه القيمة يحدث فقدان التماسك بين الليف والخطة ويظهر تأثير الاجهادات بسبب
الاحتكاك وتسمى مقاومة القص على الاحتكاك frictional shear strength.

وضع Cox 1952 نموذجا لانتقال الاجهادات في المجال المرن وترتكز على نظرية Shear-lag Theory
المعادلة التفاضلية للتماسك مع الفرضيات التالية:

- 1- الألياف محاطة بالخطة من جميع الجهات بشكل تام مشكلة معها جسما موشوريا (الشكل 4-18).
- 2- تنتقل الاجهادات من الخطة الى الليف.
- 3- يوجد تماسك كامل بين الليف والخطة.
- 4- لا تنتقل الاجهادات عند نهاية الليف.
- 5- تتوزع الألياف غير المستمرة ضمن الخطة بشكل عشوائي (الشكل 4-19).
- 6- الخطة والليف مواد مرنة.
- 7- السطوح الفاصلة بين الليف والخطة رقيقة جدا.
- 8- لا يوجد تأثير لحقل الاجهادات حول ليف على ليف مجاور.

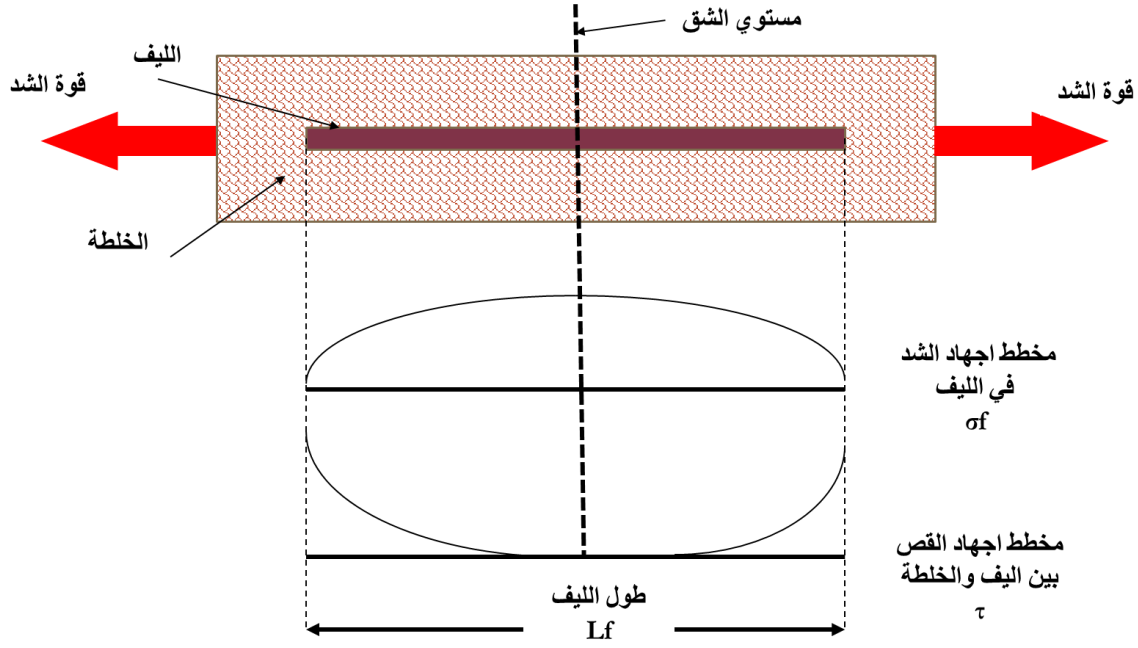


الشكل 4-18: الألياف محاطة بالخطة من جميع الجهات بشكل تام مشكلة معها جسما موشوريا
(توزيع الألياف أ-توزيع مربعي ب- سداسي) Cox 1952



الشكل 4-19: صورة شعاعية تظهر التوزيع العشوائي للألياف ضمن الخطة
(Vandewalle et al., 2008)

عند تطبيق حمولة على الخلطة فإن الاجهادات سوف تنتقل الى الليف عبر توليد اجهادات قص مماسية على سطح التماس مع الليف ويحصل التوازن بين الاجهاد في الليف σ_f والاجهاد على سطحه τ (الشكل 4-20).



الشكل 4-20: انتقال اجهادات الشد والقص الى الليف

يعطى اجهاد الشد في الليف

$$\sigma(x) = \frac{E_f}{E_m} \sigma_m \left[1 - \frac{\cosh \beta \left(\frac{l}{2} - x \right)}{\cosh \frac{\beta l}{2}} \right] \quad (4-12)$$

واجهاد القص المماسي على طول سطح التماس بين الليف والخلطة

$$\tau(x) = \frac{\beta E_f}{2 E_m} \sigma_m \left[\frac{\sinh \beta \left(\frac{l}{2} - x \right)}{\sinh \frac{\beta l}{2}} \right] \quad (4-13)$$

X المسافة من نهاية الليف

σ_m الاجهاد للخلطة

L طول الليف

β معامل يأخذ بعين الاعتبار مكونات الخلطة

$$\beta = \frac{1}{r} \left[\frac{E_m}{(1-\nu_m)(E_f - E_m) \ln \left(\frac{R_m}{r} \right)} \right]^{0.5} \quad (4-14a)$$

حيث: E_m , E_f معامل المرونة للخلطة وللألياف

R_m نصف قطر الخليطة المحيطة بالليف

r نصف قطر الليف

يكون اجهاد الشد أعظمية في منتصف الليف عندما $x=L/2$ (أي عند سطح الشق)، ويكون التماسك أعظمية في نهايتي الليف أي $x=0$, $x=L$ (نفرض أن التشقق في الخرسانة يبدأ من منتصف الليف).

تتعلق قيمة R/r بشكل توزيع الألياف (توزيع مربعي أو سداسي) وبنسبة الألياف

$$\ln \frac{R}{r} = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\pi}{V_f} \right) \quad (4-14b) \quad \text{للتوزيع المربعي}$$

$$\ln \frac{R}{r} = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{2\pi}{(3V_f)^{1/2}} \right) \quad (4-14c) \quad \text{للتوزيع السداسي}$$

10-4 خاتمة الفصل

تم التعرف على مكونات التماسك وعلى فرضيات الشق الوهمي وميكانيكية انتقال الاجهادات بين الخلطة والليف. لتحديد مكونات التماسك وتأثير خواص الخلطة تم تنفيذ اختبارات على الشد غير المباشر لعينات اسطوانية وجوائز موشورية وسنعرض لنتائج الاختبارات في الفصل الثامن من هذا العمل.

الاختبارات على الضغط

1-5 مقدمة

ان الهدف من هذه الدراسة هو التحري عن خواص الخرسانة المعززة بالألياف المعاد تدويرها من الإطارات المطاطية للسيارات لاسيما للخرسانة المتصلبة. تتأثر الخرسانة المحضرة بخواص المواد الداخلة فيها أي مكونات الخلطة وخواص الألياف المضافة اليها والتماسك بينهما. يشمل هذا الفصل مواصفات مكونات الخلطة وتحضير العينات واختبارها.

2-5 تصميم الخلطات

ان تصميم الخلطة الخرسانية المسلحة بألياف فولاذية مستخرجة من الاطارات المستهلكة للسيارات يعتمد على نفس المبادئ العامة لتصميم الخلطة الخرسانية المسلحة بالألياف الفولاذية وفق طريقة الحجم المطلقة المستخدمة في تصميم الخرسانة العادية.

نكتب معادلة الحجم المطلقة عند تصميم الخلطة بالألياف

$$\frac{CA}{w_{CA}} + \frac{MA}{w_{MA}} + \frac{CS}{w_{CS}} + \frac{NS}{w_{NS}} + \frac{C}{w_C} + \frac{AD}{w_{Ad}} + \frac{F}{w_F} + \frac{W}{w_W} + V_a = 1 \quad (5-1)$$

تمثل القيمة في بسط الكسر وزن أحد مكونات الخلطة والقيمة في مقام الكسر الوزن النوعي له. وهذه المكونات هي حسب ورودها في المعادلة من اليسار الى اليمين

CA (Coarse Agg) الحصويات الخشنة

MA (Mid. Agg) الحصويات المتوسطة

CS (Crushed Sand) الرمل المكسر

NS (Natural Sand) الرمل الطبيعي (رمل المزار)

C (Cement) الاسمنت

AD (Admixture) الإضافات

F (Fiber) الألياف

الماء W (Water)

Va حجم الفراغات

من أجل اختيار الحصويات تمت زيارة العديد من مجايل الخرسانة في مدينة دمشق ومحيطها واستخدمت الحصويات من مقلع عاتكة في النبك.

3-5 خواص مكونات الخلطة

1-3-5 اختيار المقاس الأعظمي للحصويات الخشنة

تستخدم الحصويات من مقاسات أعظمية 9,5 - 19 - 38 مم وفق طريقة ACI 544.3R-93 reapproved 1998 في الخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية. ونورد فيما يلي ملخصاً لعدد من الأبحاث والمقاس الأعظمي المستخدم فيها.

استخدم Zerbino (2003) حصويات بمقاس 19 مم عند دراسته لايجاد بارامترات تصميمية للخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية. كما استخدم Pilakoutas & Tlemat .حصويات بقياس اعظمي 20 مم عند دراسة خصائص العلاقة بين التشوه والاجهاد للخرسانة المسلحة بألياف مستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة.

تتصح بعض المراجع الالمانية باستخدام حصويات بمقاس أعظمي لايزيد عن ثلث طول الليف في الخرسانة المسلحة بالألياف وذلك لسهولة التشغيل والوصول الى تباعد اصغري بين الألياف وفي حالات لا يزيد عن 8 مم.

استخدم Mohamed Bencheikh & Seddik Meddah حصويات بقياس 16 مم عند دراسة خواص الخرسانة المسلحة بألياف مختلفة من مواد صناعية يتم تدويرها. واستخدم Aiello 2009 حصويات بمقاس 20 مم عند دراسة خواص الخرسانة المسلحة بألياف مستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة.

وعند دراسة تطوير طرق اختبار لتحديد المتانة على الانعطاف للخرسانة المسلحة بالألياف استخدم Banthia and Trottier (1995) حصويات بمقاس 10 مم. أما Löfgren فقد استخدم حصويات بمقاس أعظمي 18 مم عند تحريه عن السلوك الانشائي لعناصر انشائية مسلحة بأشكال مختلفة من الألياف الفولاذية. واستخدم Kooiman AG (2000) حصويات بمقاس أعظمي 16مم عند دراسته استخدام النمذجة في تصميم الخرسانة المسلحة بألياف فولاذية. بينما استخدم Dozio D (2008) حصويات بمقاسات 20 و 12 مم عند دراسته خواص الخرسانة المسلحة بالألياف على الشد الاحادي المحور.

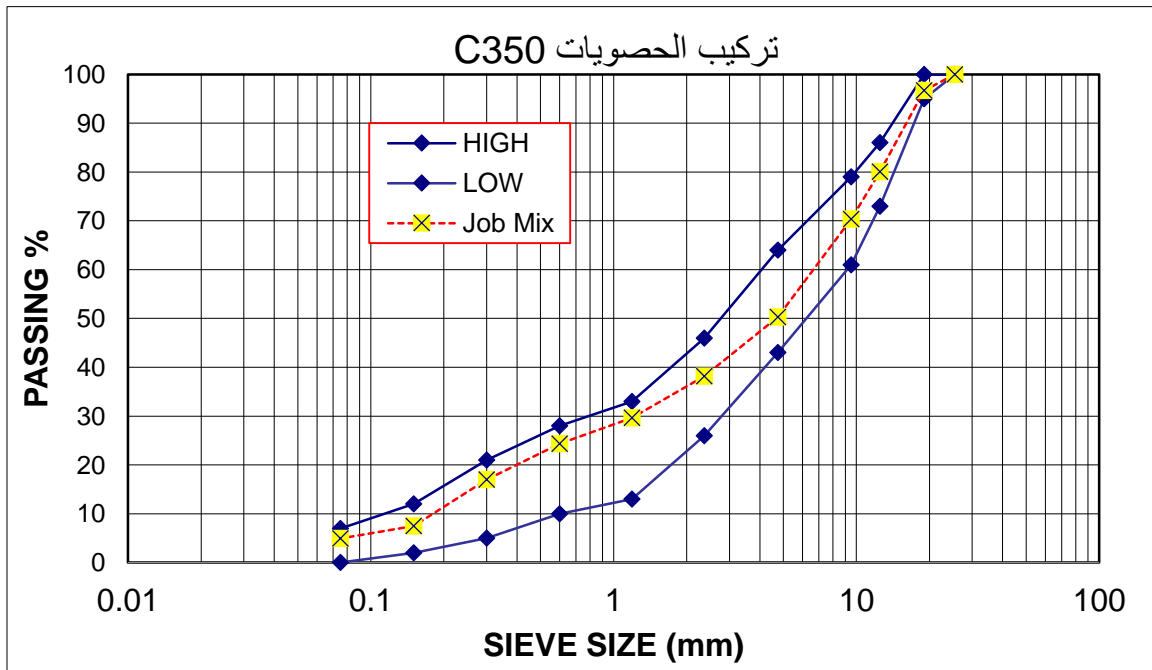
توصي الجمعية اليابانية للمهندسين اليابانيين بمقاس أعظمي للحصويات الخشنة لايزيد عن 3/2 طول الليف الفولاذي ولايتجاوز 5/1 للبعد الأصغري للعينة.

وفق هذه التوصيات والنصائح عند تنفيذ الخلطة الخرسانية اعتمدت حصويات بمقاس أعظمي 19ملم بما يتوافق مع الخلطات المستخدمة في التطبيقات الأساسية للخرسانة بالألياف.

2-3-5 مواصفات الحصويات

(انظر الملحق 1 التدرج الحبي للحصويات وخواصها الفيزيائي) يوضح الشكل (1-5) مثلاً عن منحنى

التدرج الحبي للحصويات للخلطة عيار اسمنت 350 مع/م³



الشكل 1-5: منحنى التدرج الحبي للحصويات للخلطة عيار اسمنت 350 مع/م³

3-3-5 الاسمنت

تم استعمال الاسمنت البورتلاندي العادي ماركة 42.5 N/mm² انتاج شركة البادية (الجمل) والاسمنت مطابق للمواصفة القياسية السورية 2008/3411 والمواصفة القياسية الاوربية EN197-1:2004 (الملحق 2)

4-3-5 الماء

نظراً لأن متطلبات نوعية الماء في الخرسانة بالألياف لا تختلف عنها في الخرسانة العادية فقد استعملنا الماء العادي الصالح للشرب.

5-3-5 الملدنات

كما هو معلوم فإن الملدنات تعمل على تحسين قابلية التشغيل للخلطة وتخفض نسبة الاسمنت/الماء مما يسمح بإنتاج خرسانة بمقاومة أعلى دون الحاجة الى زيادة في كمية الاسمنت. اضيف الملدن نوع G الى الخلطة واسمه التجاري Flocrete SP100. بناء على مواصفات الملدن فان نسبته تتراوح بين 1 - 2.8 ليتر/100 كغ اسمنت أما خواصه فهي موجودة في الملحق 3.

5-3-6 تحضير الألياف الفولاذية المستعملة

تم تحضير الألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المطاطية المستهلكة للسيارات حيث استخرجت الحلقة الداخلية من الإطار (Bead wire) بتقشير (سلخ) الكاوتشوك عن حزمة الألياف ثم تعريضه للحرق ثم التقطيع الى الطول المطلوب حيث تم الحصول على الأسلاك الفولاذية. للتخلص من هباب الفحم المتبقي على الألياف وضعت الأسلاك في جهاز لوس انجلوس وأضيف اليها رمل المزارر للتخلص ميكانيكيا منه عن طريق الاحتكاك مع الرمل (الشكل 5-2).

للتحقق من سلامة الألياف المستخدمة، أجري على عدد من العينات العشوائية تجربة الشد في هيئة الطاقة الذرية في دمشق، حيث أوضحت النتائج التي تم الحصول عليها أن الألياف المستخرجة بالحرق تحقق المواصفات المطلوبة وذلك نظرا لكون الألياف قد تم حرقها ضمن درجات حرارة منخفضة نسبيا حيث تنص المواصفة ASTM 820 على أن مقاومة الشد الدنيا المطلوبة للأسلاك الفولاذية لا تقل عن 350MPa (الجدول 5-1).

الجدول 5-1: نتائج اختبار الألياف على الشد ومقارنتها بدراسات مرجعية

Test speed=10mm/min		Sample Length 100mm			Test No.	المرجع	مقاومة الشد للألياف الفولاذية (نيوتن/سم ²)
Stress	Area	Diameter	Long. Peal	Force Peak			
N/mm ²	mm ²	mm	mm	N			
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)



ب- الألياف بعد حرقها



أ- استخراج الحلقة الداخلية من الإطار



د- ألياف بأطوال مختلفة



ج- الألياف بعد تقطيعها

الشكل 5-2: تحضير الاسلاك من الإطارات

5-3-7 اختيار طول الليف والنسبة المعيارية (عامل النحافة لليف)

يتراوح طول الليف عموماً وفق ACI من 6.4 - 76 مم والنسبة المعيارية بين 30 - 100.

استخدم Aiello 2009 ألياف مستخرجة من الاطارات المستهلكة بأطوال من 3 الى 170 مم وبأقطار مختلفة من 0,1 الى 2 مم حيث كان المتوسط للقطر 0,24 مم وللطول 31,4 مم والنسبة المعيارية Aspect ratio في هذا الحالة 131.

استخدم Pilakoutas & Tlemat. ألياف مستخرجة من الاطارات المستهلكة بطريقة التحليل الحراري بطول 50 مم وبقطر من 0,8 الى 1,55 مم وألياف مستخرجة بطريقة التقطيع الميكانيكي بطول 0,20 مم وبقطر 0,23 مم والياف فولاذية صناعية بطول 50 مم وبقطر 1 مم.

استخدم (2008) Dozio D ألياف فولاذية بأطوال 30 و 60 مم وبقطر 0,6 و 0,8 مم على الترتيب وعينات مكعبية 150×150×150 مم

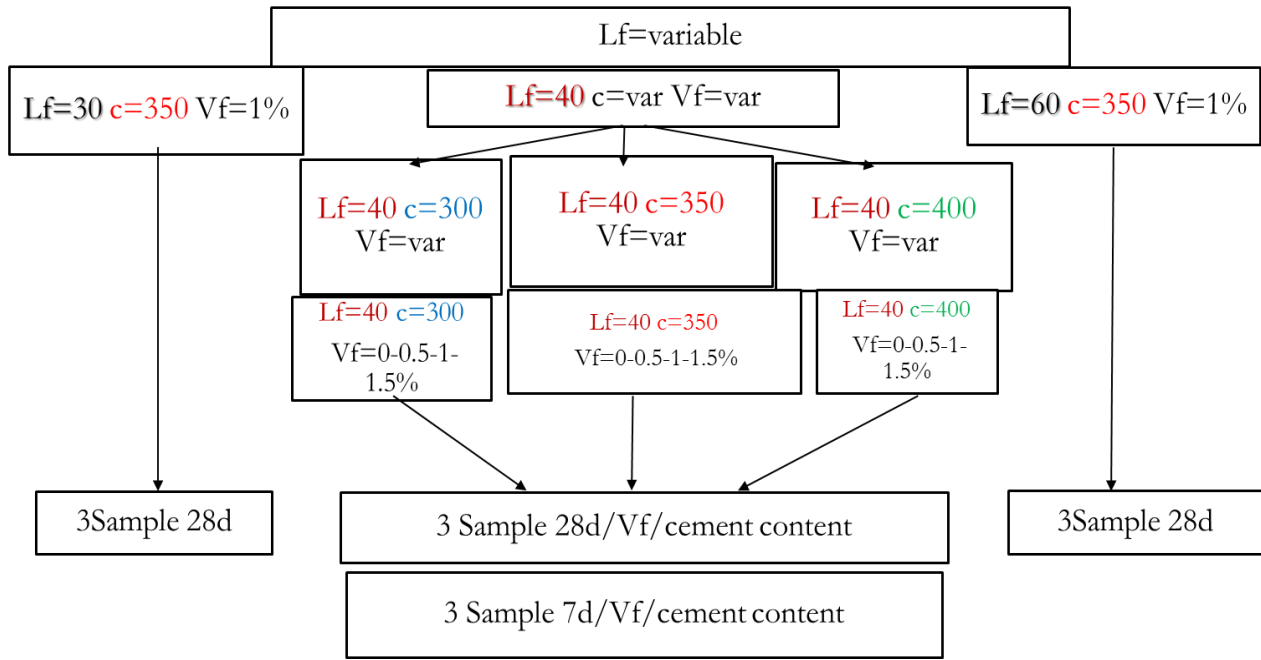
استخدم Zerbinò 2008 . ألياف فولاذية بأطوال 30 و 60 مم وبنسب معيارية 60 و 80 على الترتيب عند دراسته لايجاد بارامترات تصميمية للخرسانة المسلحة بالألياف الفولاذية.

في دراستنا استخدمت ألياف بأطوال 30-40-60 مم وبقطر 0,8 مم ما يعادل نسب معيارية 37.5-50 - 75 على الترتيب.

5-3-8 مخطط الاختبارات على الضغط

تم وضع مخطط لتحضير العينات بحيث تغطي مساحة واسعة من الإحتمالات الممكنة من حيث تغير كمية الإسمنت في الخلطة وتغير في نسبة الألياف، من أجل تحضير خلطات خرسانية مناسبة تتفق وسياق الاختبارات المطلوبة أجريت إختبارات أولية (المرحلة الأولى) على عينات مرجعية من الخرسانة عيار الإسمنت 350 كغ/م³ تبعتها بناء خلطات للخرسانة مع ألياف فولاذية بطول 40 ملم وبنسب حجمية 0.5-1-1.5%، ما يعادل وزناً 40-80-120 كغ/م³ على الترتيب. تبين أن هبوط المخروط للخرسانة الطازجة المحضرة مع ألياف معدنية وفق النسب السابقة كان صغيراً جداً حيث بلغ الهبوط 60mm في الخلطة المرجعية و 25 مم من أجل خلطة بنسبة مزج 0.5% بينما كان يساوي 10mm من أجل نسب المزج 1% وبلغ الصفر من أجل نسبة مزج 1.5% مما قاد تفكيرنا الى استخدام الملدنات في المرحلة اللاحقة من الاختبارات.

إضافة الى العينات المرجعية مع ملدنات بدون ألياف تم تحضير ثلاثة خلطات بعيارات اسمنت 300-350-400 كغ/م³ مع إضافة الألياف بنسب حجمية 0.5-1-1.5% (الشكل 5-3). وتبين الجداول (5-5، 5-6، 5-7) مكونات كل خلطة حيث تتوافق عيارات الاسمنت مع الخلطات المستخدمة في الخرسانة المسلحة وفق الكود السوري.



الشكل 5-3: مخطط اجراء الاختبارات على الضغط

C = عيار الاسمنت (كغ/م³)، Vf = نسبة الألياف الحجمية (%) ، Lf = طول الليف (مم) ، عمر العينة (يوم) = 28d, 7d

5-3-9 ترميز العينات

لسهولة قراءة نتائج الإختبار تم ترميز العينات **Sample coding** وفق الترتب التالي: عيار الاسمنت، نسبة الألياف الحجمية وعمر العينة عند الكسر. مثلا العينة ذات الرمز C350-1-28d تعني عينة محضرة من خلطة عيار الاسمنت 350 كغ/م³ ونسبة الياف حجمية 1% وبعمر 28 يوما، ويذكر طول الليف في العينة اذا كان 30 أو 60 مم وعند اغفاله يعني طول الليف هو 40 مم.

الجدول 5-2: ترميز العينات (بدون ملدن)

Lf (mm)	C(kg/m ³)	Vf%	Sample age	Sample No.	Sample code
* = without Addmixture					
40	350	0	7	3	C350-0-7d*
			28	3	C350-0-28d*
		0.5	7	3	C350-0.5-7d*
			28	3	C350-0.5-28d*
		1	7	3	C350-1-7d*
			28	3	C350-1-28d*
		1.5	7	3	C350-1.5-7d*
			28	3	C350-1.5-28d*

الجدول 3-5: ترميز العينات (مع ملدن والياف بطول 40 مم)

Lf (mm)	C(kg/m ³)	Vf%	Sample age	Sample No.	Sample code
with Admixture					
40	300	0	7	3	C300-0-7d
			28	3	C300-0-28d
		0.5	7	3	C300-0.5-7d
			28	3	C300-0.5-28d
		1	7	3	C300-1-7d
			28	3	C300-1-28d
		1.5	7	3	C300-1.5-7d
			28	3	C300-1.5-28d
40	350	0	7	3	C350-0-7d
			28	3	C350-0-28d
		0.5	7	3	C350-0.5-7d
			28	3	C350-0.5-28d
		1	7	3	C350-1-7d
			28	3	C350-1-28d
		1.5	7	3	C350-1.5-7d
			28	3	C350-1.5-28d
40	400	0	7	3	C400-0-7d
			28	3	C400-0-28d
		0.5	7	3	C400-0.5-7d
			28	3	C400-0.5-28d
		1	7	3	C400-1-7d
			28	3	C400-1-28d
		1.5	7	3	C400-1.5-7d
			28	3	C400-1.5-28d

الجدول 4-5: ترميز العينات (مع ملدن والياف بطول 30 و 60 مم)

Lf (mm)	C(kg/m ³)	Vf%	Sample age	Sample No.	Sample code
30	350	1	28	3	C350-1-28d(30mm)
60	350	1	28	3	C350-1-28d(60mm)

4-5 المزج

لضمان توزيع منتظم للألياف ضمن الخلطة الخرسانية تمت عملية المزج حسب الخطوات التالية:

- يوضع البحص والرمل في الجبالة وتدار حتى يتم الخلط بشكل جيد.

- يضاف الاسمنت إلى الجبالة ويخلط مع البحص والرمل.
- تضاف الالياف على دفعات إلى الجبالة وتخلط مع البحص والرمل والاسمنت.
- يضاف الماء مع الملدن إلى الجبلة وتدار الجبالة حتى الحصول على عينة متجانسة.

5-5 صب العينات

فور إيقاف الخلط تم صب العينات وبعد تسوية سطحها توضع في مكان آمن لتتصلب وتترك مدة 24 ساعة في القوالب. في اليوم التالي فكت القوالب وأخرجت العينات منها ووضعت في حوض الماء. تركت العينات في حوض الماء لمدة 28 يوما بدرجة حرارة 25 مئوية ثم أخرجت من الماء لتجفف مدة 24 ساعة قبل كسرها.



الشكل 4-5: تحضير القوالب وصب العينات

الجدول 5-5: مكونات الخلطة عيار 300

C300				Fiber Volume %			
				0	0.5	1	1.5
Material		Sp. Gravity	Agg%	Ingredients			
				kg/m3	kg/m3	kg/m3	kg/m3
Cement		3.15		300	300	300	300
Water		1		185	185	185	185
Coarse Agg.	Coarse 19	2.78	28.0	537	534	530	526
	Mid 9.5	2.78	17.2	330	328	326	323
Fine Agg.	Crushed Sand	2.73	39.1	749	744	739	733
	N. Sand	2.62	15.7	302	300	298	295
Fiber%		7.85		0	39	79	118
Admixture		1.2		3.84	3.84	3.84	3.84
Total				2408	2433	2459	2484

الجدول 5-6: مكونات الخلطة عيار 350

C350				Fiber Volume%			
				0	0.5	1	1.5
Material		Sp. Gravity	Agg%	Ingredients			
				kg/m3	kg/m3	kg/m3	kg/m3
Cement		3.15		350	350	350	350
Water		1		180	180	180	180
Coarse Agg.	Coarse 19	2.78	29.5	557	552	548	544
	Mid 9.5	2.78	18.0	341	338	336	334
Fine Agg.	Crushed Sand	2.73	37.4	706	701	696	691
	N. Sand	2.62	15.1	285	283	281	279
Fiber%		7.85		0	39	79	118
Admixture		1.2		4.5	4.5	4.5	4.5

الجدول 5-7: مكونات الخلطة عيار 400

C400				Fiber Volume %			
				0	0.5	1	1.5
Material		Sp. Gravity	Agg%	Ingredients			
				kg/m3	kg/m3	kg/m3	kg/m3
Cement		3.15		400	400	400	400
Water		1		190	190	190	190
Coarse Agg.	Coarse 19	2.78	28.8	524	520	516	512
	Mid 9.5	2.78	20.9	380	377	374	371
Fine Agg.	Crushed Sand	2.73	36.6	665	660	655	650
	N. Sand	2.62	13.7	250	248	246	244
Fiber%		7.85		0	39	79	118
Admixture		1.2		5	5	5	5
Total				2414	2439	2465	2491

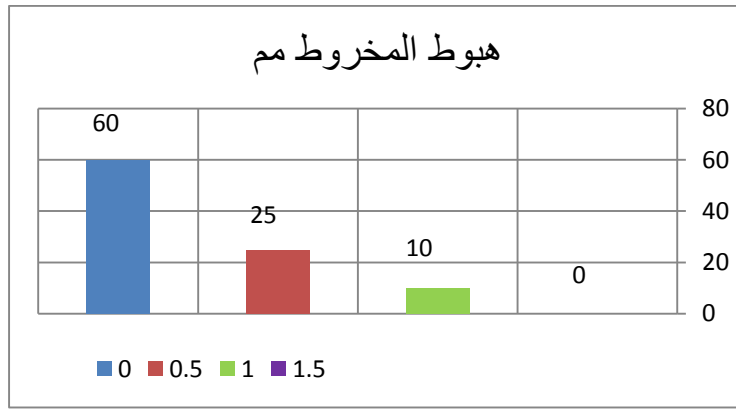
5-6 قابلية التشغيل

من اجل تقييم أثر تغير نسب المزج بالألياف على قابلية التشغيل Workability للخرسانة الطازجة تم إختبار هبوط المخروط لكل خلطة. تناقص هبوط المخروط للخلطات عيار اسمنت 350 كغ/م³ بدون ملدن بزيادة نسب المزج حيث بلغ 60mm في الخلطة المرجعية و 25 مم 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 وبسبب المحتوى العالي للألياف فإن الألياف سوف تتكثرت حولها كمية أكبر من العجينة الإسمنتية وتقلل من لزوجة الخلطة وتقلل الهبوط مما يستوجب استخدام الملدن لجميع الخلطات لتحسين قابلية التشغيل.



الشكل 5-5: هبوط المخروط لخلطات بدون ملدن

(اليمن: خلطة مرجعية، اليمين: خلطة بنسبة مزج 1.5%)



الشكل 5-6: تأثير نسب المزج بالألياف على هبوط المخروط Slump (بدون ملدن)

عند استخدام الملدن تحسنت قابلية التشغيل للخرسانة 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 الاستجابة الجيدة لجميع الخلطات المسلحة بالألياف للرج الميكانيكي بحيث توضع دون بذل جهد يذكر. وبشكل عام تم ملاحظة تناقص هبوط المخروط بتزايد نسب المزج بالألياف كما يوضح الجدول (4-8) والشكل (4-7). أما العلاقة الرياضية التي تربط بين هبوط المخروط ونسب المزج بالألياف فقد تم معالجة المعطيات الواردة في الجدول (5-8) في برنامج curve expert 4.1 وهي من الشكل التالي:

$$Slump = \frac{1}{a+b.V_f+c.V_f^2} \quad (5-2a)$$

$$Slump = \frac{1}{0.053-0.0081V_f+0.044V_f^2} \quad (5-2b)$$

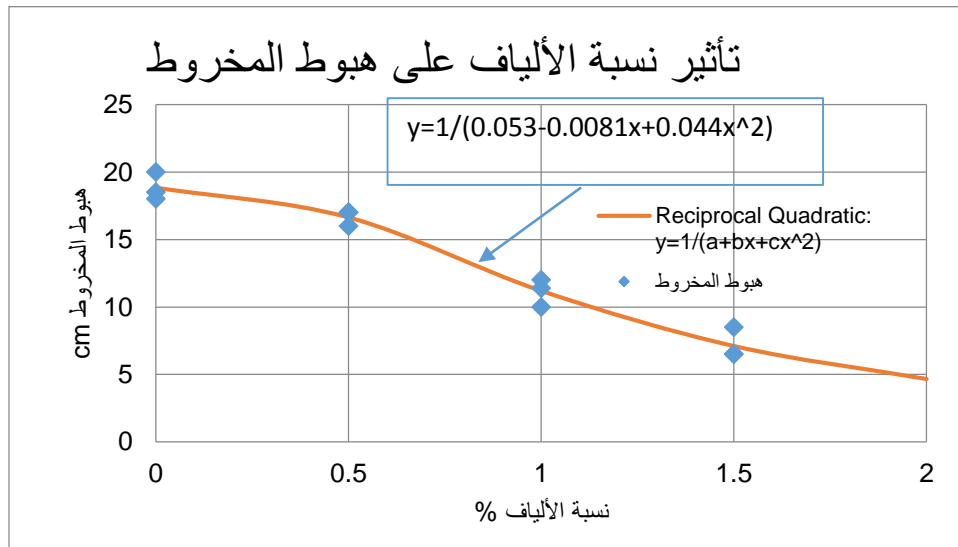
حيث R=0.985 معامل الارتباط



الشكل 5-7: هبوط المخروط لخلطات مع ملدن

الجدول 5-8: قيم هبوط المخروط لخلطات مختلفة مع ملدن 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 5-8: العلاقة بين هبوط المخروط ونسب المزج بالألياف مع ملدن

7-5 المقاومة على الضغط

تم إختبار المقاومة على الضغط compressive strength للعينات مع ملدن في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق. لحساب الوزن الحجمي قيست أبعاد العينات ووزنها قبل كسرها. تم تدوير العينات 90 درجة بالنسبة الى اتجاه الصب عند وضعها في المكبس بحيث كان وجهها العينة الملاصقين لسطوح التحميل أملسين. بلغت سرعة تحميل الجهاز 30 MPa/min وأخذ متوسط المقاومة المكعبية وتبين الجداول (9-5، 10-5، 11-5) نتائج كسر العينات. حافظت العينات بالألياف بعد كسرها على شكلها المكعبي بينما كان شكل انهيار العينات المرجعية بدون ألياف من الشكل المألوف وهو جذعي هرم متقابلين (الشكلين 9-5، 10-5).



الشكل 9-5: انهيار عينة بألياف C400-1%-28d



الشكل 10-5: شكل الإنهيار لعينة خرسانية عادية وعينة بألياف

الجدول 5-9: مقاومة الخرسانة على الكسر لخلطة عيار اسمنت 300 كغ/م³ بعمر 28 يوما

نوع العينة	العينة	أبعاد العينة mm			وزن العينة g	حجم العينة cm ³	الوزن الحجمي g/cm ³	حمولة الانكسار (kN)	الضغط (Mpa)	
		طول	عرض	ارتفاع						
C300	C300									
مرجعية	1	150.1	151	150.01	8400	3399.992	2.47	794	35.3	
	2	149.7	150.01	150.2	8416	3402.257	2.47	686	30.5	
	3	151.2	150.9	150.8	8410	3400	2.47	813	36.1	
	المتوسط				8409	3401	2.47	764	34.0	
الألياف %	0.5	1	154	150.3	150.4	8456	3481.188	2.43	820	36.4
طول الليف mm	40	2	150.75	149.93	149.15	8216	3371.08	2.44	750	33.3
		3	150	150	150	8352	3375	2.47	790	35.1
		المتوسط					3409	2.45	787	35.0
الألياف %	1	1	150.6	153	151.1	8622	3481.616	2.48	865	38.4
طول الليف mm	40	2	150.2	151	153	8525	3470.071	2.46	850	37.8
		3	150	151.4	151.1	8570	3431.481	2.50	880	39.1
		المتوسط				8572	3461	2.477	865	38.4
الألياف %	1.5	1	150.1	150.9	150.7	8513	3413.369	2.49	800	35.6
طول الليف mm	40	2	150.1	151.4	152.01	8542	3454.449	2.47	810	36.0
		3	150.3	150.8	151.9	8530	3435	2.48	800	35.6
		المتوسط				8528	3434	2.483	803	35.7

الجدول 5-10: مقاومة الخرسانة على الكسر لخلطة عيار اسمنت 350 كغ/م³ بعمر 28 يوما

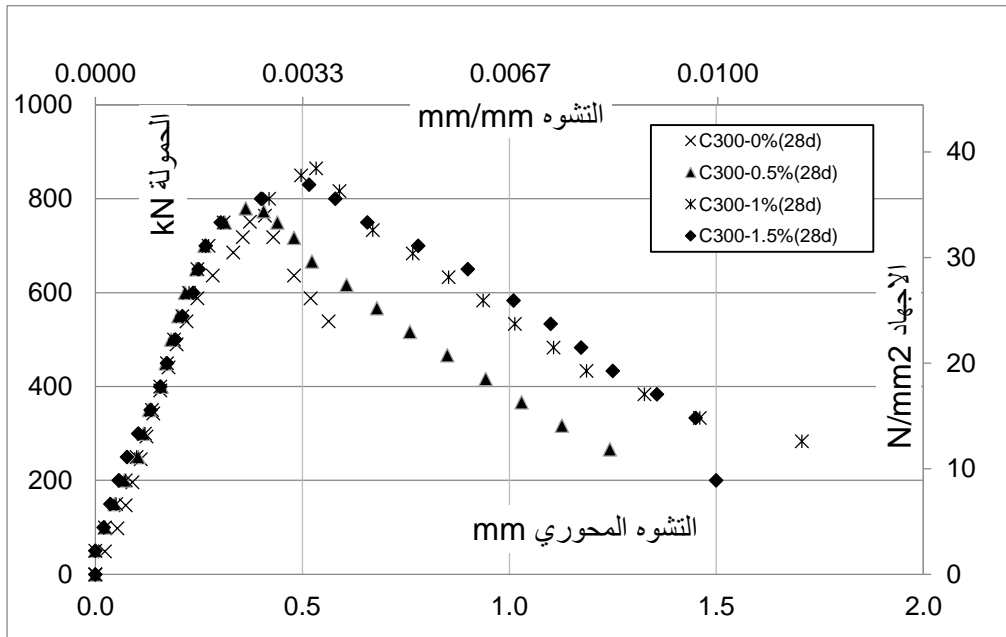
نوع العينة	العينة	أبعاد العينة mm			وزن العينة g	حجم العينة cm ³	الوزن الحجمي g/cm ³	حمولة الانكسار (kN)	الضغط (Mpa)	
		طول	عرض	ارتفاع						
C350										
مرجعية	1	150.1	150.2	150	8280	3379.498	2.45	961	42.7	
	2	150.3	150	152	8343	3426.797	2.43	971	43.2	
	3	150.5	150	150	8234	3383.993	2.43	952	42.3	
	المتوسط				8286	3397	2.44	961	42.7	
الألياف %	0.5	1	149.35	150.8	150	8292	3378.751	2.45	1010	44.9
طول الليف mm	40	2	149.35	150.8	150	8292	3378.751	2.45	970	43.1
		3	150	150	150	8292	3376.125	2.46		0.0
		المتوسط					2.45	990	44.0	
الألياف %	1	1	151.1	150.8	151	8548	3445.225	2.48	1110	49.3
طول الليف mm	40	2	151.1	149.5	150	8457	3388.418	2.50	1090	48.4
		3	149.7	151.1	151	8500	3408.784	2.49	990	44.0
		المتوسط				8502	3414	2.49	1063	47.3
الألياف %	1.5	1	150.5	151.3	150	8723	3420.152	2.55	1110	49.3
طول الليف mm	40	2	151.1	150.5	150	8650	3416.769	2.53	1140	50.7
		3	150.3	150.8	152	8700	3435	2.53		0.0
		المتوسط				8691	3424	2.54	1125	50.0

الجدول 5-11: مقاومة الخرسانة على الكسر لخلطة عيار اسمنت 400 كغ/م³ بعمر 28 يوما

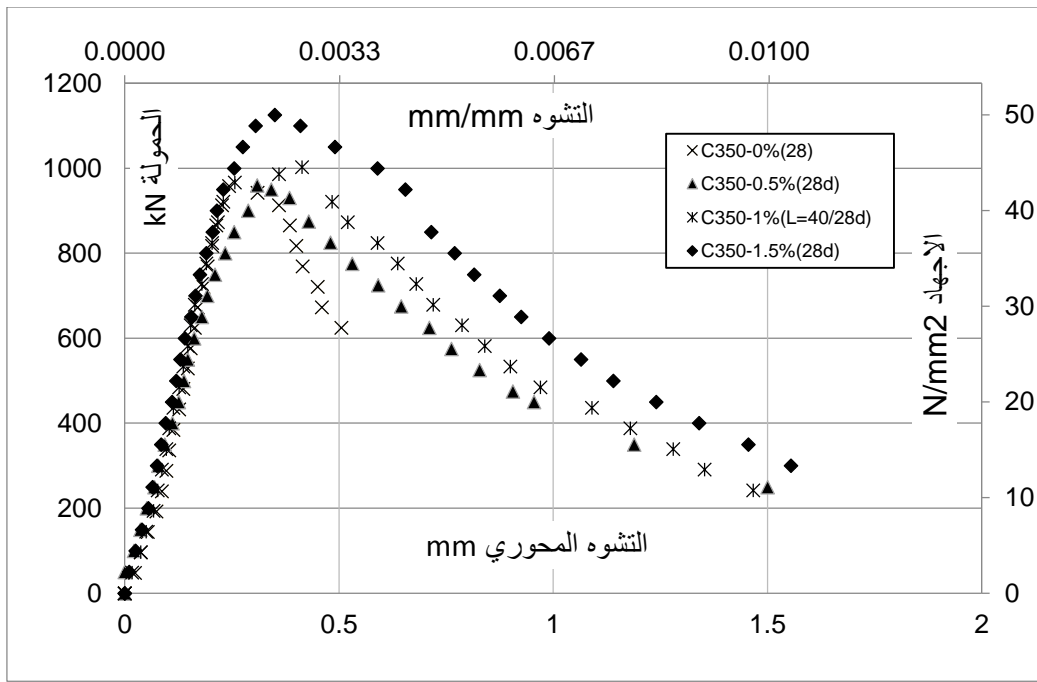
نوع العينة	العينة	أبعاد العينة mm			وزن العينة g	حجم العينة cm ³	الوزن الحجمي g/cm ³	حمولة الانكسار (kN)	الضغط (Mpa)	
		طول	عرض	ارتفاع						
C400										
مرجعية	1	149.97	150.8	151.5	8283	3426.245	2.42	1072	47.6	
	2	150.3	149.5	151.07	8255	3405.813	2.42	1058	47.0	
	3	151.2	150.9	150.8	8368	3456.636	2.42	1019	45.3	
0	المتوسط				8302	3430	2.42	1050	46.6	
الألياف %	0.5	1	151.15	151.03	149.15	8392	3404.824	2.46	1150	51.1
طول الليف mm	40	2	149.15	148.5	150.4	8183	3331.176	2.46	1210	53.8
		3	150	150	150	8300	3375	2.46	1110	49.3
		المتوسط				3370	2.46	1157	51.4	
الألياف %	1	1	149.9	151.1	151.8	8582	3438.253	2.50	1274	56.6
طول الليف mm	40	2	149.95	150.1	151	8512	3398.632	2.50	1130	50.2
		3	149.7	151.1	150.7	8626	3408.784	2.53	1135	50.4
		المتوسط			8573	3415	2.51	1179	52.4	
الألياف %	1.5	1	151.1	151.1	150	8597	3424.682	2.51	1277.5	56.8
طول الليف mm	40	2	150.3	150.8	151.9	8628	3442.85	2.51	1207.286	53.7
		3	150.3	150.8	151.9	8600	3435	2.50		0.0
		المتوسط			8608	3434	2.51	1242	55.2	

5-8 التمثيل البياني لعلاقة الضغط - التشوه للعينات المدروسة

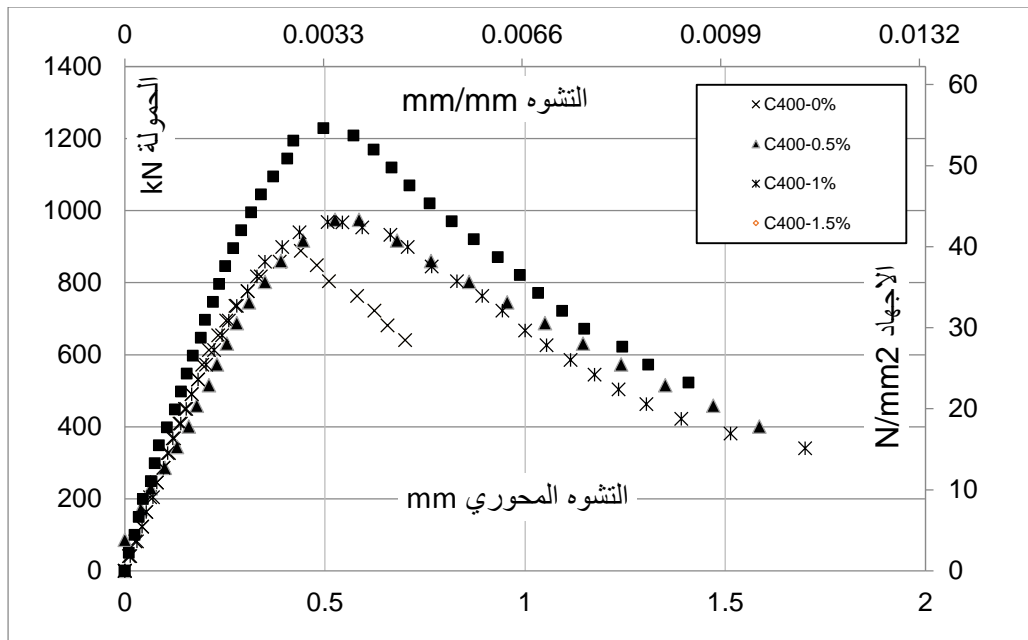
ليان العلاقة بين الضغط والتشوه للعينات المختبرة تم تمثيلها بيانيا كما في الاشكال (5-11، 5-12، 5-13) وتحتوي الملاحق 4-أ، ب، ج، د على منحنيات الضغط- التشوه للعينات بعيارات اسمنت ونسب مزج ألياف مختلفة وبعمر 7 و 28 يوما.



الشكل 5-11: منحنى القوة - الانتقال (الضغط - التشوه) لعينات عيار اسمنت 300 ونسب ألياف مختلفة



الشكل 5-12: منحنى القوة - الانتقال (الضغط - التشوه) لعينات عيار اسمنت 350 بنسب ألياف مختلفة



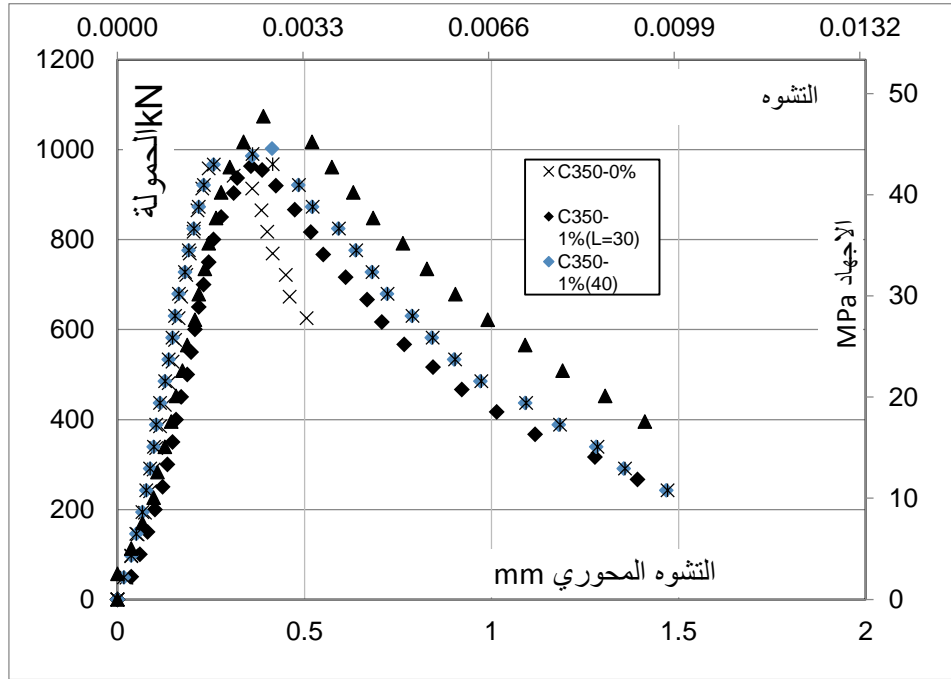
الشكل 5-13: منحنى القوة - الانتقال (الضغط - التشوه) لعينات عيار اسمنت 400 بنسب ألياف مختلفة

5-9 تأثير عامل النحافة لليف على مقاومة الخرسانة على الضغط

يعبر عامل النحافة عن نسبة طول الليف إلى قطره. ولبيان تأثيره على مقاومة الضغط تم استخدام ألياف بأطوال 30-40-60 مم وبقطر 0.8 مم بما يكافئ عامل نحافة 37.5-50-75 على الترتيب وذلك في خرسانة C350 بنسبة مزج حجمية 1% ويوضح الشكل (5-14) نتائج اختبار العينات ويبين الجدول (5-12) وسطي مقاومة الضغط للعينات المختبرة.

الجدول 5-12: نتائج اختبار عينات مكعبية على الضغط بألياف ذات معاملات نحافة مختلفة

المقاومة	طول الليف	معامل النحافة لليف
42.73	0	0
45.33	30	37.5
47.26	40	50
50.00	60	75



الشكل 5-14: منحنى القوة - الانتقال (الضغط - التشوه) لعينات عيار اسمنت 350 بأطوال ألياف مختلفة

10-5 خاتمة الفصل

يتبين من خلال قراءة أولية لنتائج الكسر للعينات وجود زيادة في مقاومة الخلطات المرجعية مع زيادة عيار الاسمنت وهذا بديهي. أما بالنسبة للعينات من الخرسانة بالألياف فقد ازدادت المقاومة بالنسبة للعينات المرجعية لكل خلطة بنسب مختلفة. فبينما بلغت 13% للخلطة عيار اسمنت 300 كغ/م³ ونسبة ألياف 1%، وصلت الى 17 و 18% في الخلطات عيار اسمنت 350 و 400 كغ/م³ على الترتيب. سيتم في الفصول القادمة تحليل أعمق لنتائج الاختبارات والبحث في العلاقة بين الاجهاد والتشوه.

نمذجة رياضية لسلوك الخرسانة المعززة بالألياف على الضغط

1-6 مقدمة

تقترح الأبحاث المختلفة نماذج رياضية لاستقرار سلوك الخرسانة تحت تأثير أحمال الضغط، مترجمة بالعلاقة بين الاجهاد والتشوه المحوري. تركز مختلف النماذج المقترحة على نتائج الاختبارات التجريبية حيث تتشابه في صيغتها العامة مع تباين في شروط تطبيقها حيث تتجلى خصائص الميكانيكية والفيزيائية لمختلف المركبات الجزئية للخرسانة.

بالمقارنة مع الدراسات التي تمت على الخرسانة مع إضافات كيميائية أو إضافات صلبة مثل الألياف الكربونية وألياف البولي بروبيلين وغيرها. يعتبر موضوع الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية المستخرجة من الإطارات المطاطية المستهلكة للسيارات من المواضيع التي لم تُعَنَّ بحثاً لأهميتها التطبيقية.

2-6 تمثيل الألياف المعدنية في وسط الخرسانة المستمر

إنطلاقاً من تأثير الألياف المعدنية كواحدة من المركبات المنقطعة، وإنطلاقاً من طبيعة التوزيع العشوائي لهذه الألياف، فإن مساهمتها في تحديد الخصائص الميكانيكية للخرسانة بوصفه وسطاً مستمراً، يحدد انطلاقاً من تابع التوزيع العشوائي $\eta\phi_{3D}$ في فراغ الأبعاد (x, y, z) [Li, V.C. and Stang, H. (2001)] الذي يعطى بالعلاقة (1-6):

$$\eta\phi_{3D} = \int_0^\pi \frac{\pi \sin\phi \cdot d\phi}{\pi} = \frac{1}{2} \quad (6-1)$$

حيث Φ زاوية الميل العشوائي للليف في فراغ الوسط المستمر.

وبناء على تابع التوزيع العشوائي يأخذ الطول المكافئ للليف الفولاذي l_{feq} حسب جهة تطبيق القوى:

$$l_{feq} = \eta\phi_{3D} l_f = \frac{l_f}{2} \quad (6-2)$$

من هذه العلاقة يمكن تحديد مساهمة الألياف في مقاومة الإجهادات المطبقة σ [Löfgren, I. (2008)]

$$\sigma = \frac{V_f}{2} f_y + \left(1 - \frac{V_f}{2}\right) f'_c \quad (6-3)$$

انطلاقاً من هذه العلاقات البنوية وتطبيقاً لمفهوم الترابط بين الوسط المنقطع والوسط المستمر يمكن تحديد قيمة عامل المرونة المكافئ للوسط المستمر من العلاقة:

$$E_{eq} = \frac{V_f}{2} E_f + \left(1 - \frac{V_f}{2}\right) E_c \quad (6-4)$$

حيث l_f : طول الليف الفولاذي، V_f النسبة الحجمية للألياف الفولاذية، ϕ زاوية ميل الليف عن المقطع العمودي على محور التحميل.

f_y, f'_c : المقاومة المميزة للخرسانة والفولاذ على الترتيب.

E_{eq}, E_c, E_f : عامل مرونة الفولاذ، الخرسانة، الوسط المكافئ على الترتيب.

3-6 مقاومة الخرسانة على الضغط المحوري

كما بينت نتائج الاختبار على الضغط المحوري للعينات المكعبية من الخرسانة بالألياف فقد ساهمت الألياف الفولاذية في تحسن لسلوك الخرسانة من خلال مؤشرين رئيسيين هما مقاومة الخرسانة والمطاوعة.

1-3-6 نموذج رياضي لمقاومة الخرسانة

يتضح من خلال نتائج الكسر أن مقاومة الخرسانة على الضغط مرتبطة بعيار الإسمنت ونسبة الألياف في الخلطة. تزداد المقاومة على الضغط بزيادة نسب المزج بالألياف وذلك من أجل الخلطات الثلاثة الموضحة في الفصل السابق كما يبينه الشكل (1-6)، حيث وصلت الزيادة حتى 18.37% من أجل 1.5%-C400 وذلك بالمقارنة مع الخلطات الخرسانية المرجعية بدون ألياف (الجدول 1-6).

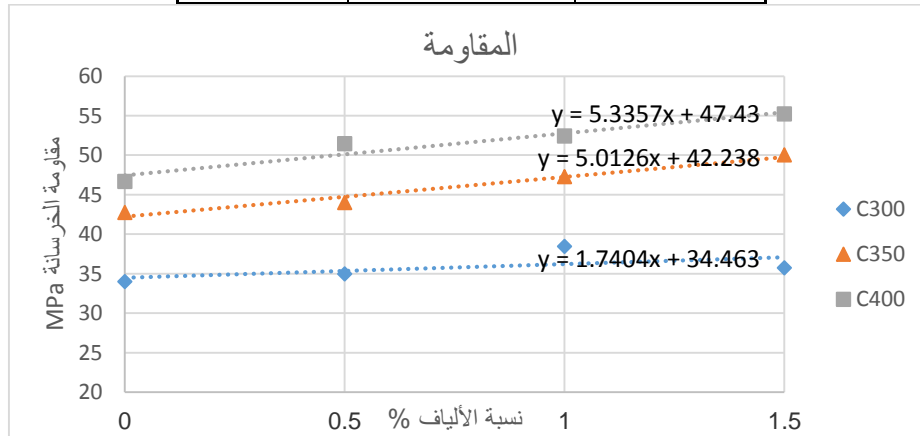
من النتائج الموضحة بالجدول (1-6) والشكل (1-6) يمكن ملاحظة التحسن في مقاومة الخرسانة على الضغط المحوري تبعاً لكمية الإسمنت ونسبة الفولاذ المستخدم. تزداد المقاومة على الضغط بزيادة نسب المزج بالألياف حيث وصلت حتى 18.37% من أجل الخلطة 1.5%-C400 وذلك بالمقارنة مع الخلطات الخرسانية المرجعية بدون ألياف. كما يظهر الشكل فإن معدل الزيادة للخلطات ذات عيارات الاسمنت 350 و 450 هو متقارب (5.01% و 5.33% على الترتيب) وأعلى منه في الخلطة عيار اسمنت 300 (1.7%).

من تحليل العلاقة (3-6) والدور الثابت للمتحول V_f يمكن أن نستنتج أن فضل الزيادة في مقاومة الخرسانة يعود لكمية الإسمنت في الخلطة ودور التماسك بين المادة الرابطة والألياف المعدنية وهذا يتفق مع تطور العلاقة اللاخطية بين كمية الإسمنت في الخلطة ومقاومة الخرسانة.

يفسر Colombo, 2006 هذا التحسن إلى تشكل أعمدة ضمن العينة المعرضة للضغط المحوري كنتيجة لوجود الألياف الفولاذية بحيث تنهار بشكل مفاجئ عند وصول هذه الأعمدة إلى قدرة تحملها الأعظمي بشكل مشابه لظاهرة العمل الأعمدة المعرضة لتحميل محوري. هذا التفسير ينطلق من فكرة عمل الألياف على تشبيك البنية الحبية بالشكل الذي يساعدها على العمل مع بعضها بشكل متكامل أكثر من حالة الخرسانة العادية. كما لوحظ انخفاض في قيمة المقاومة على الضغط لعينات عيار اسمنت 300 كغ/م³ ونسبة ألياف 1.5% مقارنة مع نسب ألياف 1% ويمكن تفسير ذلك بزيادة السطح النوعي للألياف مع ثبات عيار الاسمنت لذلك من المستحسن استخدام عيار اسمنت أعلى من أجل نسب ألياف مرتفعة (أكبر من 1.5%).

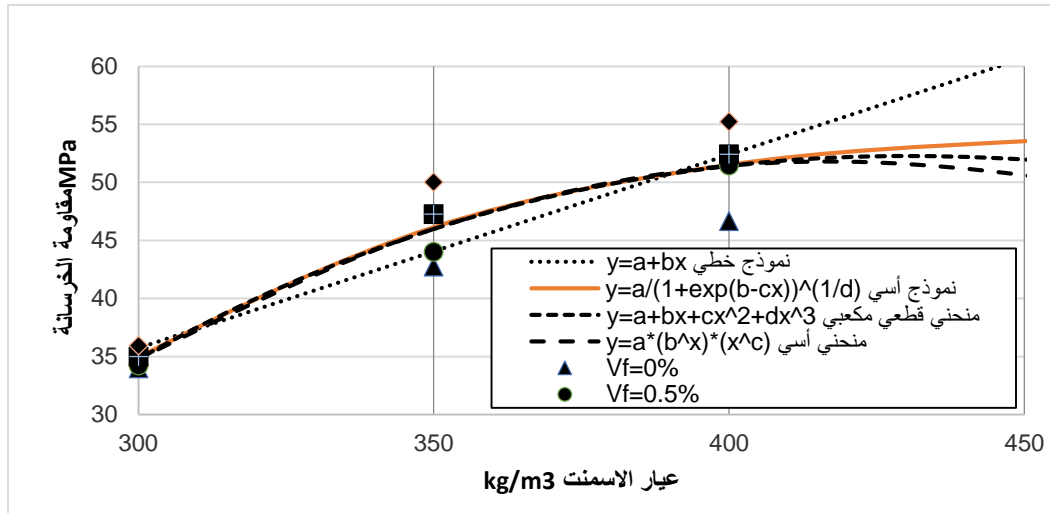
الجدول 6-1: نتائج مقاومة الخرسانة على الضغط

C300		
النسبة المئوية للألياف %	المقاومة المكعبية MPa	النسبة المئوية للزيادة %
0%	33.96	0
0.50%	34.96	3
1%	38.44	13
1.50%	35.70	5
C350		
النسبة المئوية للألياف %	المقاومة المكعبية MPa	النسبة المئوية للزيادة %
0%	42.73	0
0.50%	44.00	3
1%	47.26	11
1.50%	50.00	17
C400		
النسبة المئوية للألياف %	المقاومة المكعبية MPa	النسبة المئوية للزيادة %
0%	46.65	0
0.50%	51.44	10
1%	52.42	12
1.50%	55.22	18



الشكل 6-1: العلاقة بين مقاومة الخرسانة بالألياف الفولاذية الأبرية مع نسبة الألياف

وفق معطيات الاختبارات تم البحث عن العلاقة الرياضية الأكثر تمثيلاً للعلاقة بين مقاومة الخرسانة بالألياف وعتار الإسمنت، باستخدام برنامج معالجة المنحنيات 1.4 curve expert تم الحصول على عدد من المنحنيات الرياضية والشكل (2-6) يوضح الحلول الرياضية الأكثر ترجيحاً مع عامل الترابط R.



الشكل 2-6: نماذج رياضية للعلاقة بين مقاومة الخرسانة وعتار الاسمنت

من خلال الشكل الرياضي التمثيلي (الشكل 2-6) يتضح أن النموذج الأسّي المعرف في المعادلة (6-5a) والمعروف باسم Richards Model يمثل السلوك الأكثر واقعية للخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية الإبرية وهو الأقرب للتعبير عن العلاقة بين مقاومة الخرسانة وعتار الاسمنت من أجل نسب ألياف مختلفة، بينما تظهر النماذج الأخرى جنوباً نحو انخفاض المقاومة بعد كمية عتار محدد وهذا لا يتفق مع الواقع في حين يظهر النموذج الخطي تزايداً لا نهائياً، مثلاً صيغة كثير الحدود من الدرجة الثالثة وصيغة المنحني الأسّي من الشكل $y=a*(b^x)*(x^c)$ والمعروف باسم Hoerl Model تظهران جنوباً نحو انخفاض في المقاومة من أجل كميات إسمنت أكبر من 400 كغ/م³ وهذا يتعارض مع العلاقة بين كمية الإسمنت ومقاومة الخرسانة.

$$y = \frac{a}{(1+e^{(b-cx)})^{\frac{1}{d}}} \quad (6-5a)$$

حيث y تمثل المقاومة و x عتار الاسمنت (كغ/م³). a, b, c, d ثوابت المعادلة وبتعويض قيم الثوابت في المعادلة (5-5a) تأخذ الصيغة الشكل التالي

$$y = \frac{54.577}{(1+e^{(6.118-0.022x)})^{0.992}} \quad (6-5b)$$

6-3-2 تصحيح المقاومة بسبب نحافة الأسلاك الفولاذية

عند دراسة تأثير إضافة الألياف على المقاومة تمت المقاربة من أجل ألياف لها معامل نحافة (نسبة الطول الى القطر) يساوي 50. لتعميم العلاقات السابقة ندخل تأثير معامل النحافة للألياف من خلال تصحيح النتائج التي يتم استقرؤها لمقاومة الخرسانة بمعامل تصحيح α .

تم حساب معامل التصحيح α كما يلي:

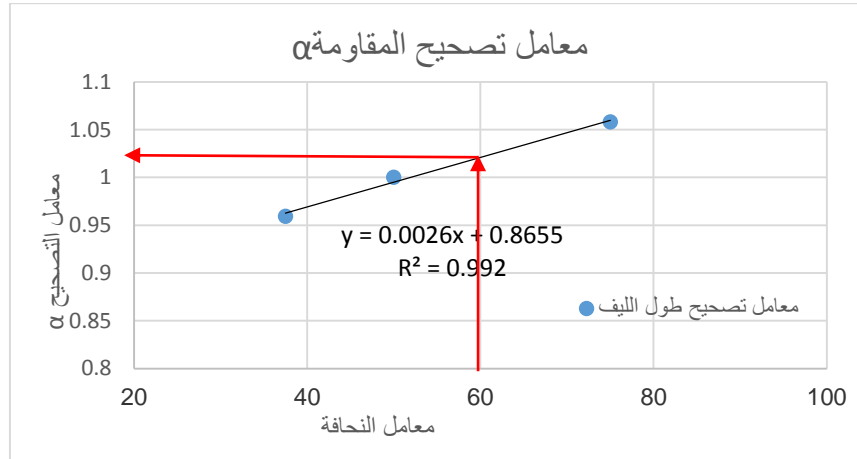
- نعتبر الخلطة عيار اسمنت 350 ونسبة الياف 1% ومعامل نحافة 50 هي الخلطة المرجعية لمعامل التصحيح.
- نحسب معامل التصحيح لمقاومة الخرسانة α كنسبة بين مقاومة العينات الى مقاومة العينة المرجعية (الجدول 6-2).
- نوجد العلاقة بين معامل التصحيح ومعامل النحافة لليف (المعادلة 6-6) والموضحة بالشكل (6-3).

$$\alpha = 0.0026.X + 0.865 \quad (6-6)$$

حيث تمثل X معامل النحافة

الجدول 6-2: معامل تصحيح المقاومة α بسبب معامل النحافة لليف

المقاومة	طول الليف	معامل النحافة لليف	α
42.73	0	0	0.9042
45.33	30	37.5	0.9592
47.26	40	50	1
50.00	60	75	1.058



الشكل 6-3: معامل التصحيح α

6-4 نماذج عن علاقة الاجهاد - التشوه على الضغط

تزرخر الدراسات والبحوث عن علاقة الاجهاد - التشوه بنماذج رياضية لتوصيف سلوك الخرسانة بالألياف على الضغط.

- صنع (Soroushian & Lee (1989) نموذجا من أجل ألياف فولاذية مستقيمة ملساء بنسبة مزج حجمية تساوي 2% ومعامل نحافة 47، 83، 100 (معامل النحافة هو نسبة طول الليف الى قطره). وقد

وضعا نموذجا رياضيا مكونا من المعادلتين (7a6-) و (6-7b)، المعادلة الاولى مقارنة للجزء الصاعد من منحنى الإجهاد-التشوه، والثانية مقارنة للجزء الهابط بعد الذروة (الشكل 6-4). المقدار Z يحدد مواصفات المادة ونسبة الألياف من خلال قرينة الألياف I_f .

$$\varepsilon \leq \varepsilon_{pf} \rightarrow \sigma = \left[2 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{pf}} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{pf}} \right)^2 \right] f_{cf} \quad (6-7a)$$

$$\varepsilon > \varepsilon_{pf} \rightarrow \sigma = [1 + Z(\varepsilon_c - \varepsilon_{pf})] f_{cf} \quad (6-7b)$$

يحسب الإجهاد σ كتابع لمقاومة الضغط f_{cf} للخرسانة المعززة بالألياف والتشوه النسبي الاعتباري $\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{pf}} \right)$ ، حيث Z عامل يرتبط بمواصفات المادة (العلاقة 6-7c) وقرينة الألياف I_f (العلاقة 6-7d) كما يلي:

$$Z = -343. f_c (1 - 0.66\sqrt{I_f}) \leq 0 \quad (6-7c)$$

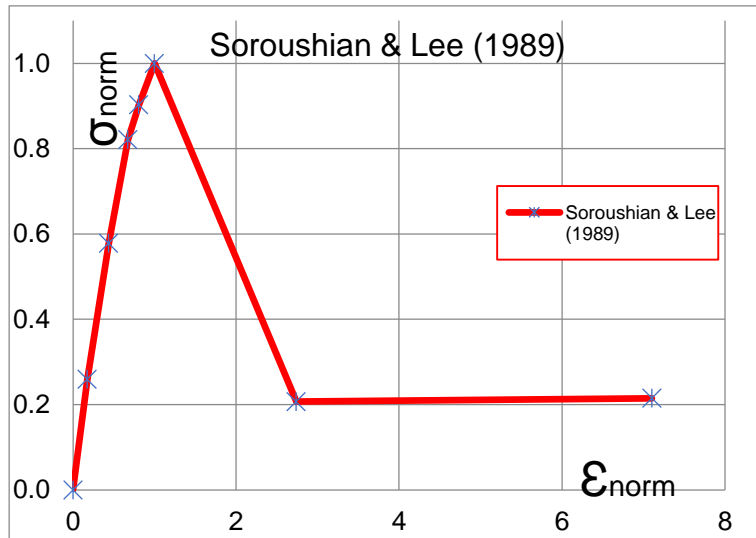
$$I_f = V_f \left(\frac{l_f}{D} \right) \quad (6-7d)$$

حيث f_c مقاومة الخرسانة العادية، ε_c التشوه النسبي المقابل لإجهاد الذروة σ_{max} للخرسانة دون ألياف.

ε_{pf} = تشوه الذروة الموافق للمقاومة على الضغط f_{cf} وتتخذ قيمته كتابع لقرينة الألياف وفق العلاقة:

$$f_{cf} = f_c + 3.6I_f \quad (6-7e)$$

$$\varepsilon_{cf} = 0.0007I_f + 0.0021 \quad (6-7f)$$



الشكل 6-4: نموذج الاجهاد - التشوه وفق Soroushian & Lee (1989)

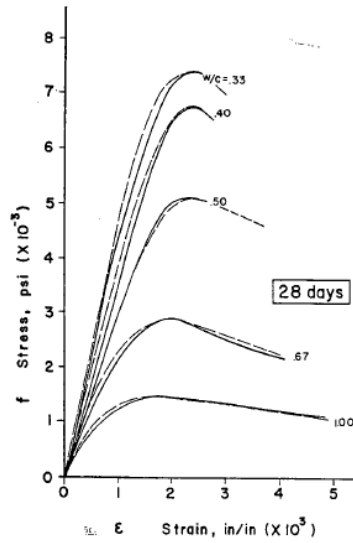
- يقترح Popovics 73 الصيغ (6-8) لوصف العلاقة بين الاجهاد و التشوه وفق الصيغة لخرسانة عادية ذات مقاومة أقل من 55 ميغاباسكال (الشكل 6-5) بحيث يحسب الإجهاد σ_c كتابع للتشوه النسبي الاعتباري $\left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{pf}}\right)$ أي:

$$\sigma_c = \frac{n \cdot \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}}}{n-1 + \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c1}}\right)^n} f_c \quad (6-8a)$$

$$n = 0.4 \cdot 10^{-3} f_c (\text{psi}) + 1 \quad (6-8b)$$

f_c مقاومة للخرسانة العادية دون الياف.

ϵ_c ، ϵ_{c1} التشوه المقابل لإجهاد الذروة σ_{max} للخرسانة دون ألياف ومع ألياف.



الشكل 6-5: نموذج الاجهاد - التشوه وفق Popovics 73

- اعتمد Ezeldine and Balaguru ، على خرسانة مع ألياف فولاذية معكوفة من الطرفين نسبتها الحجمية 0.75% وعامل نحافتها 60 و 75 و 100، واعتمدا لحساب σ على القيم الاعتبارية لكل من الإجهاد والتشوه المعدل في حدود مقاومة من 35 الى 85 ميغاباسكال (الشكل 6-6)، وفق العلاقة:

$$\frac{\sigma}{f_{cf}} = \frac{\beta \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{pf}}\right)}{\beta - 1 + \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{pf}}\right)^\beta} \quad (6-9a)$$

حيث β ثابت يتعلق بمواصفات المادة ويعبر عن ميل الجزء الهابط من منحنى الاجهاد - التشوه.

ϵ التشوه النسبي الموافق للإجهاد σ ،

f_c المقاومة الاسمية للخرسانة العادية قبل إضافة الألياف،

f_{cf} المقاومة الإسمية على الضغط وتحسب من العلاقة :

$$f_{cf} = f_c + 3.51(RI) \quad (6-9b)$$

ϵ_{pf} = التشوه الموافق لمقاومة الضغط الأعظمي σ_{max} المعطى بالمعادلة (6-9c)

$$\epsilon_{pf} = \epsilon_{c0} + 446.10^{-6}(RI) \quad (6-9c)$$

RI قرينة التسليح reinforced index وتحسب بالعلاقة (6-9d)

$$RI = V_f \cdot \left(\frac{L}{D}\right) \quad (6-9d)$$

V_f نسبة الألياف الحجمية

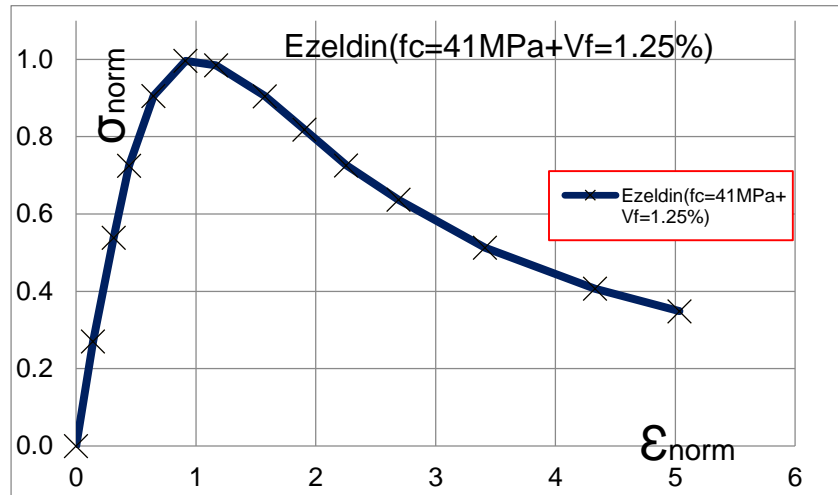
β ثابت يتعلق بمواصفات المادة ويعبر عن ميل الجزء الهابط من منحنى الاجهاد - التشوه.

- وقد اقترح Fanella & Naaman 1985 قيمة المعامل β من أجل الألياف المعكوفة (المعادلة 6-9e)

$$\beta = 1.093 + 0.7123(RI)^{-0.926} \quad (6-9e)$$

$$\beta = 1.093 + 7.4818(RI)^{-1.387} \quad (6-9f)$$

(9e) ولألياف ملساء المعادلة (6-9f)



الشكل 6-6: نموذج الاجهاد - التشوه وفق Ezeldine and Balaguru

- اعتمد Mansur et al على خطوات مماثلة واقترحوا النموذج

$$\frac{\sigma}{f_{cf}} = \frac{k_1 \beta \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{pf}}\right)}{k_1 \beta - 1 + \left(\frac{\epsilon}{\epsilon_{pf}}\right)^{k_2 \beta}} \quad (6-10)$$

ثوابت k_1, k_2

f_{cf} مقاومة الضغط ، ϵ_{pf} = التشوه الموافق لمقاومة الضغط

β = ثابت يتعلق بمواصفات المادة ويعبر عن ميل الجزء الهابط من منحنى الاجهاد - التشوه.

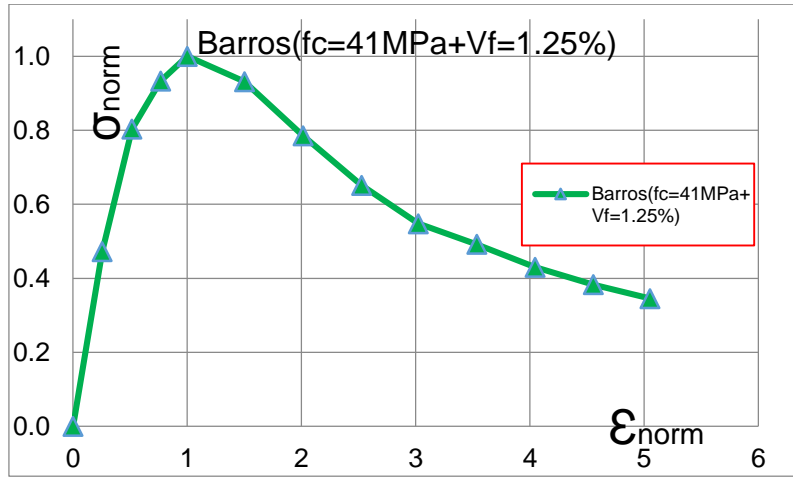
- كما اعتمد Barros & Figueiras على ذات الخطوات واقترحا المعادلة (6-11a) والموضحة بالشكل (7-6).

$$\frac{\sigma}{f_{cf}} = \frac{\beta \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{co}}\right)}{\beta - 1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{co}}\right)^\beta} \quad (6-11a)$$

اقترح Alvero et al 2010 المعادلة (6-11b) لحساب المعامل β بالعلاقة

$$\beta = (0.0536 + 0.5754V_f)f_c \quad (6-11b)$$

$$\varepsilon_{co} = (0.00048 + 0.0188V_f)\ln(f_c) \quad (6-11c)$$



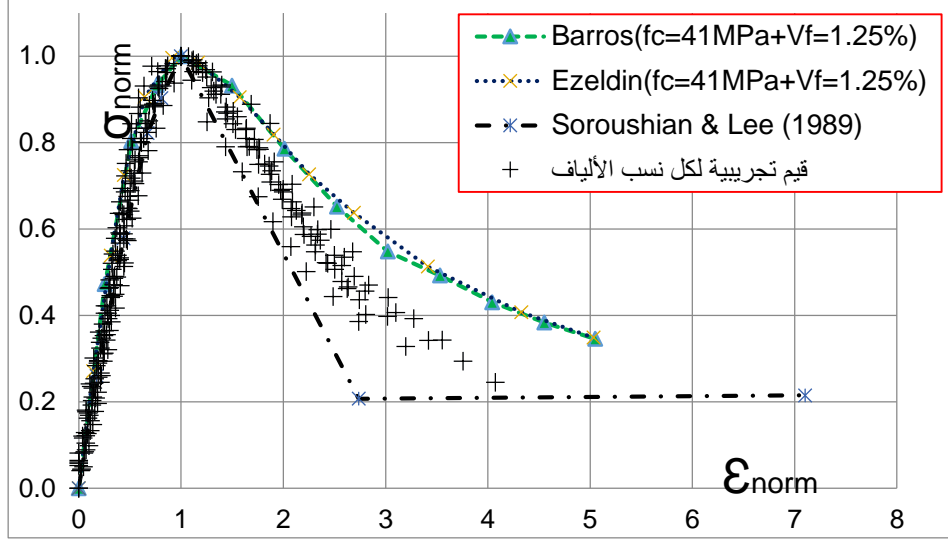
الشكل 6-7: نموذج الاجهاد - التشوه وفق Barros & Figueiras

6-5 نموذج مقترح للعلاقة بين الاجهاد - التشوه

بعد تحليل النماذج السابقة، وتطبيقها على الخرسانة المحضرة لهذا البحث تبين أنه يمكن لهذه النماذج أن تعبر عن سلوك الخرسانة المضاف اليها الألياف المستخرجة من الإطارات المستهلكة للسيارات في الجزء الصاعد منها حتى الوصول الى المقاومة العظمى على الضغط (الشكل 6-8)، غير أن هذه النماذج غير قادرة على توصيف السلوك اللدن توصيفاً صحيحاً، وكان لا بد من التحري عن نموذج رياضي يعبر عنه.

إنطلاقاً من الأسس التي تقترحها هذه الدراسات لنمذجة سلوك الخرسانة، تم معالجة النتائج الرقمية لإختبارات الكسر على الضغط المحوري، وإقتراح نماذج تربط بين قيمة الاجهاد المطبق وقيمة التشوه الممكن حدوثه تحت تأثير الضغط المحوري.

للوصول إلى علاقات عامة غير مقيدة بشروط تصميم الخلطات الخرسانية من حيث كمية الإسمنت ونسبة الألياف الفولاذية، تم معالجة البيانات وتحولها إلى بيانات غير بعدية تسمح في عملية الإستقراء بالإنطلاق من الحالة الخاصة إلى الحالة العامة للمادة المختبرة.



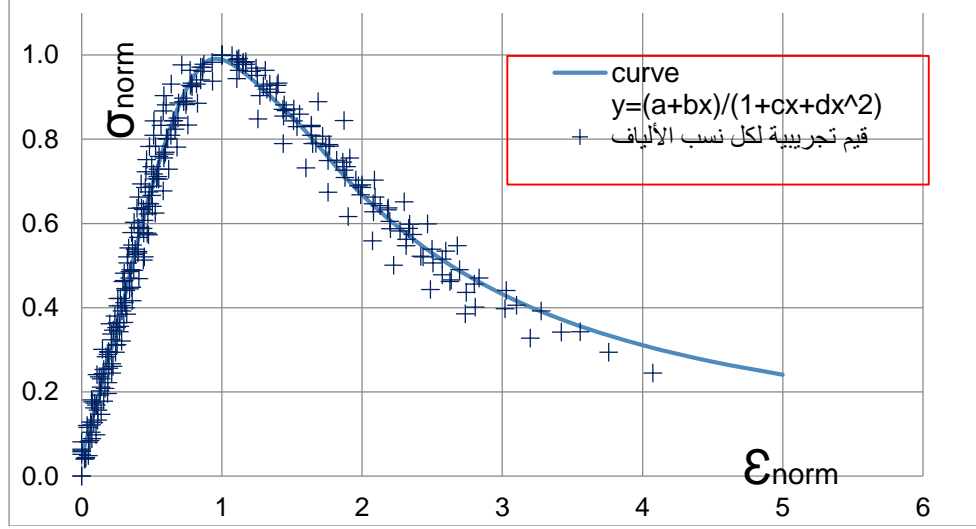
الشكل 6-8 : مقارنة النتائج التجريبية مع دراسات مرجعية

ضمن المعالجات الرياضية تم تحويل الإجهاد σ إلى إجهاد نسبي اعتباري $\frac{\sigma}{f_{cf}}$ ، كما تم تحويل التشوه النسبي ϵ_c إلى تشوه نسبي اعتباري $(\frac{\epsilon}{\epsilon_{co}})$ ، حيث ϵ_{co} = التشوه الموافق للضغط الأعظمي، f_{cf} المقاومة المتوسطة الأعظمية للخرسانة عيار C وهي من أجل عيار 300، 350، 400 بالترتيب.

لإيجاد نموذج رياضي يعبر عن سلوك هذا النوع الخاص من الخرسانة تم ادخال نتائج الاختبارات للعينات من الخرسانة بالألياف بعد تحويلها الى قيم نسبية $\frac{\sigma}{f_{cf}}, \frac{\epsilon}{\epsilon_{co}}$ للحصول على المنحني الرياضي الأمثل الذي يعطي أصغر خطأ معياري وأفضل معامل ارتباط. وبينت المعالجة لهذه أن أنسب معادلة للمنحني هي من الشكل Rational Function ومعادلته العامة

$$y = \frac{a+b.X}{(1+b.X+c.X^2)} \quad (6-12)$$

لكن هذه المعادلة بشكلها الحالي لا تحقق شروط النموذج الذي نبحث عنه ويفيدنا الشكل (6-9) في التنبؤ بمعادلة النموذج لمنحني الضغط التشوه.



الشكل 6-9: النتائج التجريبية لعينات من الخرسانة بألياف فولاذية والمنحني المناسب fitting curve ضمن هذا الإطار وانطلاقاً من الشكل العام لسلوك الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية موضوع هذا البحث، تم إعادة صياغة معادلة النموذج باستخدام قيم الإجهاد النسبي الاعتباري والتشوه النسبي الاعتباري، وبذلك تصبح المعادلة العامة للنموذج كما يلي

$$\frac{\sigma}{\sigma_{max}} = \frac{a+b.\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{co}}\right)}{1+c.\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{co}}\right)+d\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{co}}\right)^2} \quad (6-13a)$$

$$\sigma_{norm} = \frac{a+b.\varepsilon_{norm}}{1+c.\varepsilon_{norm}+d\varepsilon_{norm}^2} \quad (6-13b)$$

حيث: σ_{norm} الاجهاد النسبي الاعتباري Normalized stress (نسبة الاجهاد الى اجهاد الخرسانة الأعظم $\sigma_{norm} = \frac{\sigma}{\sigma_{max}}$) على المحور الشاقولي والتشوه النسبي الاعتباري وهو نسبة التشوه الى التشوه الموافق للحمولة الأعظمية على المحور الأفقي Normalized strain $\varepsilon_{norm} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{co}}$

6-6 استنتاج ثوابت النموذج لعلاقة الاجهاد- التشوه على الضغط

- ان الشروط البدائية لاستنتاج ثوابت المعادلة الرياضية للنموذج الواردة في المعادلة (6-13a,b) هي:
- قيمة الاجهاد النسبي الاعتباري σ_{norm} في البداية تساوي الصفر وتكون التشوه النسبي الاعتباري ε_{norm} يساوي الصفر أيضاً.
 - قيمة $\sigma_{norm} = 1$ توافق القيمة $\varepsilon_{norm} = 1$
 - في ذروة المنحني من أجل $\sigma_{norm} = 1$ و $\varepsilon_{norm} = 1$ يكون ميل المنحني يساوي الصفر.

يبلغ عدد المجاهيل المطلوب ايجادها أربعة مجاهيل هي ثوابت المعادلة. من هذه الشروط الثلاثة يمكننا صياغة 3 معادلات غير مرتبطة خطياً كما يلي
من الشرط الأول

$$\varepsilon_{norm} = 0; \sigma_{norm} = 0 \Rightarrow a = 0 \quad (6-14)$$

من الشرط الثالث

$$\varepsilon_{norm} = 1 \Rightarrow (\sigma_{norm})' = 0 \Rightarrow d = 1 \quad (6-15)$$

من الشرط الثاني

$$\varepsilon_{norm} = 1; \sigma_{norm} = 1 \Rightarrow b = c + 2 \quad (6-16)$$

لقد أمكن إيجاد قيمتي الثابتين a,d بالمعادلتين (6-14 و 6-15). بعد تعويض المعادلات (6-14 و 6-15 و 6-16) في المعادلة (6-13) حصلنا على معادلة النموذج وهي من الشكل

$$\sigma_{norm} = \frac{(c+2).\varepsilon_{norm}}{1+c.\varepsilon_{norm}+\varepsilon_{norm}^2} \quad (6-17)$$

في معادلة النموذج مجهول وحيد هو الثابت c. يمكن تحديد قيمته تحليلاً حيث نختار احداثيات قيمة من القيم التجريبية $x = \varepsilon_{norm}; y = \sigma_{norm}$ وبتعويضها في المعادلة (6-17) نحصل على قيمة c.

$$x = \varepsilon_{norm}; y = \sigma_{norm} \Rightarrow y = \frac{bx}{1+cx+x^2} \Rightarrow c = \frac{\frac{y}{x}+y.x-2}{1-y} \quad (6-18)$$

نظرياً يوجد عدد من الحلول يساوي عدد القيم التجريبية. بينت المحاولات لحساب قيمة c أن اختيار نقطة من الجزء الصاعد من المنحني قد لا تحقق توافقاً أفضل للجزء الهابط والعكس صحيح. لذلك نجد من المناسب أن نميز بين قيمة الثابت c لكل من الجزئين الصاعد والهابط.

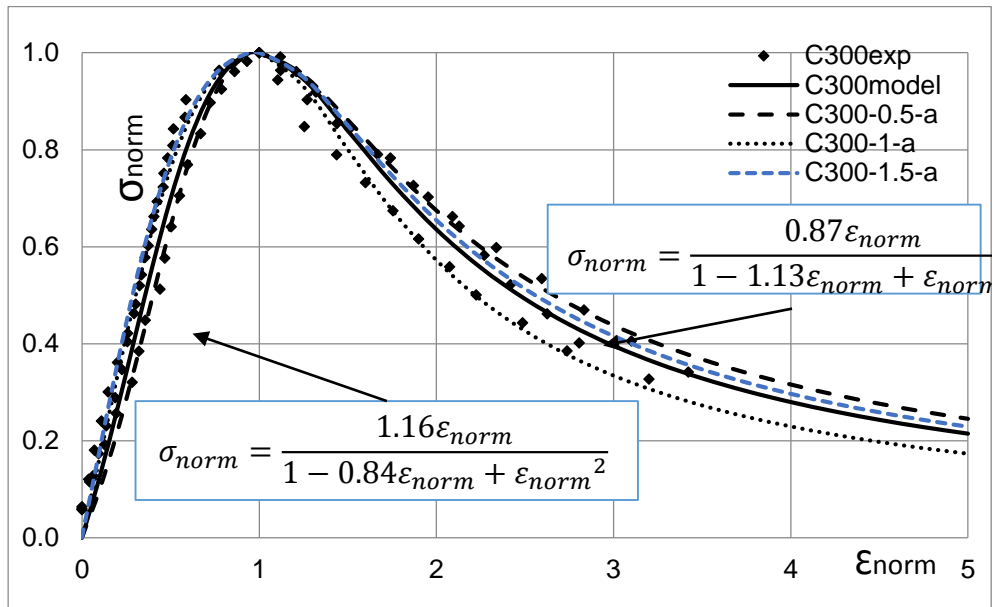
كما يمكن الوصول الى قيمة c بالاستعانة ببرنامج معالجة المنحنيات curve expert 1.4 حيث يتم تعريف المعادلة (6-17) مسبقاً في البرنامج. ومن ثم يتم ادخال القيم التجريبية على مرحلتين: للجزء الصاعد والجزء الهابط (اللدن).

بموجب هذه العملية تمت محاكاة نقاط القياس التجريبية لكل تجربة من تجارب الضغط المحوري من أجل عيار إسمنت 300، 350 و 400 كغ/م³ لكل نسبة ألياف 0.5 - 1 - 1.5% حجماً (1.6 - 3.2 - 4.8 % وزناً على الترتيب) ولنسب الألياف مجتمعة.

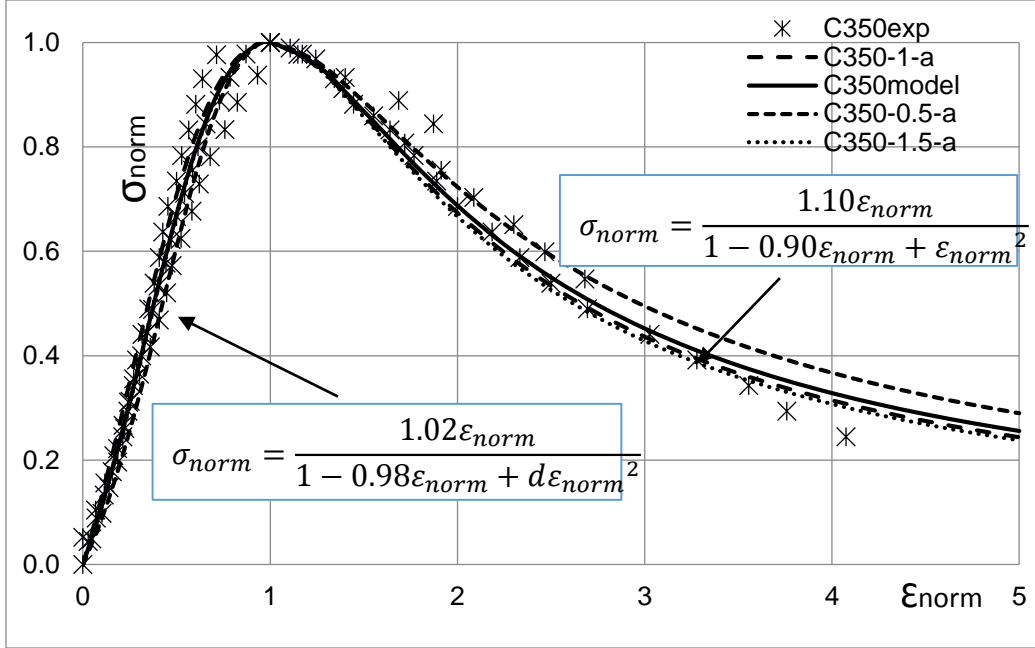
يبين الجدول (6-3) قيمة c وفق عيار الإسمنت من أجل نسب الفولاذ منفردة ومجمعة كما تبين الأشكال (من 6-10 الى 6-13) منحنيات محاكاة نتائج القياس التجريبية.

الجدول 6-3: قيم الثابت c

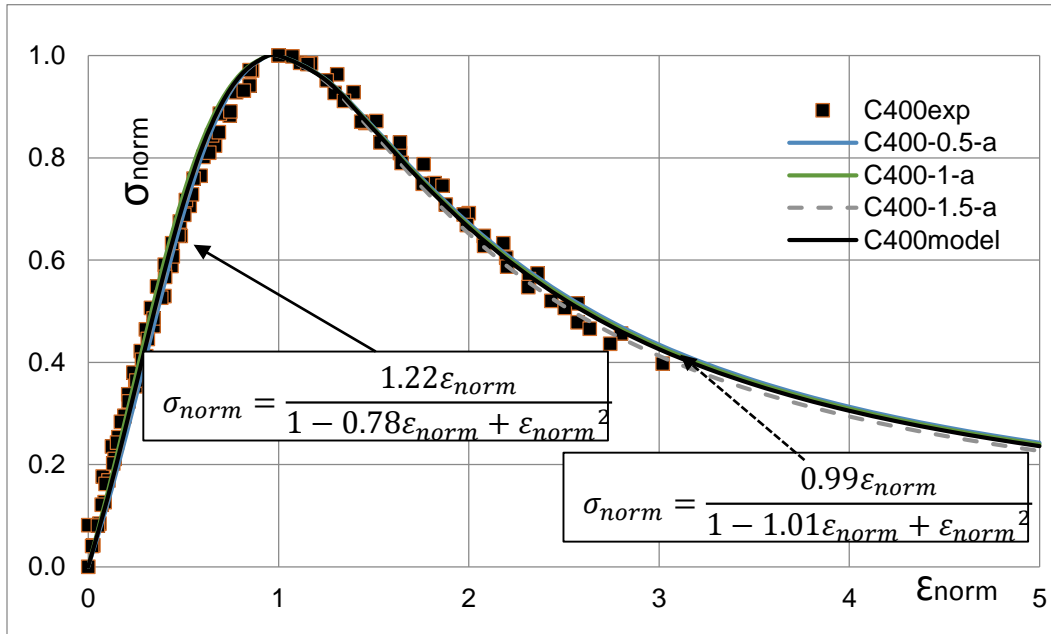
	الجزء الصاعد				الجزء الهابط			
	0.50	1	1.5	general model	0.50	1	1.5	general model
300	-1.11	-0.40	-0.21	-0.84	-0.96	-1.33	-1.05	-1.13
350	-1.22	-0.79	-1.00	-0.98	-0.69	-0.97	-1.00	-0.90
400	-0.89	-0.66	-0.81	-0.78	-0.98	-0.99	-0.99	-1.01



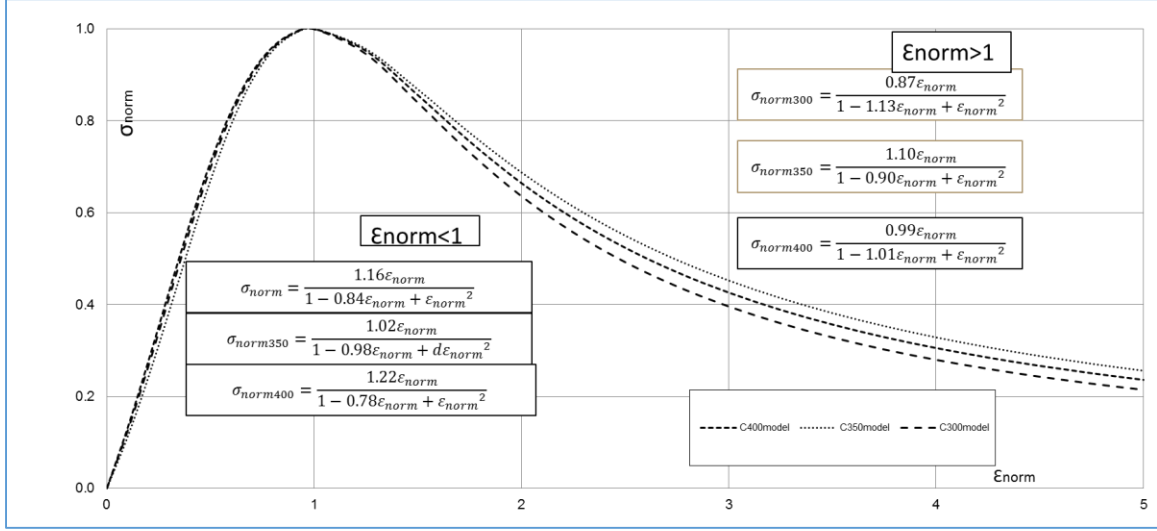
الشكل 6-10: النموذج الرياضي للخرسانة بالالياف المستخرجة من الاطارات المستهلكة للسيارات على الضغط عيار اسمنت C300



الشكل 6-11: النموذج الرياضي للخرسانة بالالياف المستخرجة من الاطارات المستهلكة للسيارات على الضغط عيار اسمنت C350



الشكل 6-12: النموذج الرياضي للخرسانة بالالياف المستخرجة من الاطارات المستهلكة للسيارات على الضغط عيار اسمنت C400



الشكل 6-13: النموذج العام للخلطات الخرسانية بالألياف المستخرجة من الاطارات المستهلكة للسيارات على الضغط

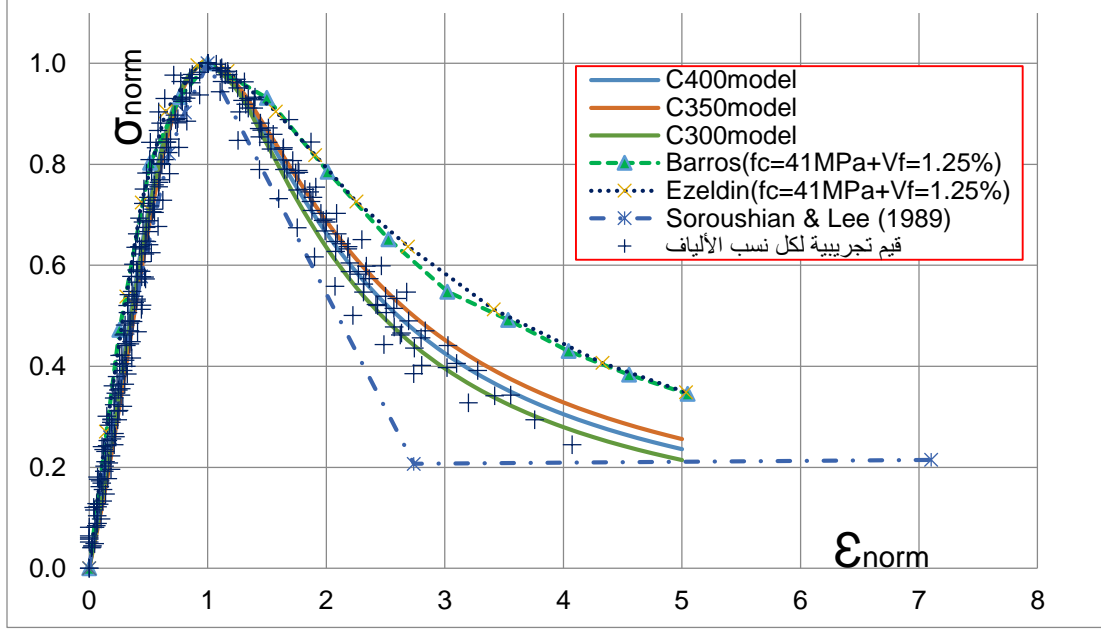
7-6 تحليل النتائج وتقييم النموذج المقترح

لتقييم مدى إستجابة النموذج المقترح لتوصيف سلوك الخرسانة مع ألياف إبرية نحيفة نسبة للنماذج المقترحة والموضحة في الفقرة (6-4)، ونظراً لأهمية المقارنة بشكل مجرد عن خصوصية كل تجربة تم مقابلة نتائج الحساب للعلاقة بين الإجهاد النسبي الاعتباري والتشوه النسبي الاعتباري بما يتفق مع ما عرض عن منهجية النمذجة الرياضية (الفقرة 6-5).

يتضح من الأشكال (6-10، 6-11، 6-12، 6-13) درجة عالية من التطابق بين النتائج التجريبية ومنحنيات المحاكاة للحالات الخاصة والحالات العامة.

من مقارنة شروط تصميم الخلطات الخرسانية المستخدمة في النماذج المرجعية وتلك المعتمدة في هذا البحث ومن مقارنة نتائج الكسر يمكن القول بأن شروط التحميل وشدة إجهادات الكسر متقاربة ولا يمكن أن تشكل سبب تباين في شروط النمذجة. في حين ينحصر التباين في الألياف الفولاذية وخصائصها الفيزيائية.

تمت مقارنة بين إستجابة النموذج المقترح مع إستجابة النماذج السابقة كما في الشكل (6-14). يتضح من الشكل التوافق بين مجموع النماذج في مرحلة السلوك المرن، والتباين الكبير في مرحلة السلوك اللدن بين إجابة النموذج المقترح والنماذج السابقة.



الشكل 6-14: مقارنة بين نماذج مرجعية والنماذج الرياضية الخاصة بالخرسانة بالألياف الفولاذية المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة RTSFRC

يعزى التوافق في مرحلة المرونة لضعف تأثير الألياف المعدنية على مقاومة الوسط المكافئ نظراً لضعف النسبة الحجمية لهذه الألياف في خلطة الخرسانة وفق ما يتضح من المعادلة (6-3) من ناحية، ومن ناحية أخرى لضعف تأثيرها على السلوك المرن للخرسانة نظراً لضعف تأثير هذه الألياف على عامل مرونة الوسط المكافئ كما هو موضح في المعادلة (6-4).

أما التباين الواضح في وصف هذه النماذج لسلوك الخرسانة في مرحلة اللدونة فيفسر بالدور الكبير الذي تلعبه الألياف الفولاذية في هذه المرحلة حيث يضعف دور الخرسانة نتيجة ظهور التشققات ودخول التماسك بين الخرسانة والألياف الفولاذية للعب الدور الأساسي في مطاوعة الوسط المكافئ ومقاومته على الإنهيار اللدن. يعزى هذا التباين إلى شروط النمذجة حيث لعبت الألياف الفولاذية بشكلها وابعادها وعامل نحافتها دوراً هاماً في صياغة مطاوعة الوسط المكافئ وشكل استهلاكه للطاقة المقدمة.

8-6 خاتمة الفصل

يمكن تلخيص نتائج هذا الفصل بما يلي:

- تم إقتراح نموذج رياضي لإستقراء سلوك الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة RTSFRC ، حيث بُني النموذج إنطلاقاً من النتائج التجريبية وسلسلة من المعالجات الرياضية.

- يتوافق النموذج المقترح لإستقرار سلوك الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة RTSFRC مع ما قدمته الدراسات والأبحاث من نماذج رياضية، في استقراء سلوك الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية في الجزء الصاعد من المنحني، كما تتباين في تقدير سلوك المادة في المرحلة اللدنة بعد ظهور التشقق في الخرسانة (الجزء الهابط من المنحني).
- يمكن تفسير التباين بين النموذج المقترح والنماذج المرجعية في وصف مطاوعة الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية لاختلاف نوع الألياف المستخدمة من حيث المواصفات الفيزيائية والميكانيكية للألياف المستخدمة.

متانة الخرسانة بالألياف على الضغط

1-7 مقدمة

يستخدم مفهوم المتانة في ميكانيك الانهيار ويحمل هذا المفهوم معانٍ مختلفة، ففي المعادن تعرف المتانة على أنها القيمة الحرجة لشدة الاجهادات التي يبدأ عندها انهيار المادة، بينما في الخرسانة بالألياف يمكن تعريفها كمقياس لقدرة الخرسانة على امتصاص الطاقة خلال عملية الانهيار حتى تشوه محدد أو حتى الانهيار الكامل. كما يستخدم مفهوم المتانة لتمييز مقدرة الخرسانة لمقاومة الانهيار عند تعرضها لأحمال ستاتيكية أو ديناميكية أو للصدم.

ما زالت الجهود العلمية والصناعية تسعى لتحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة بما في ذلك قدرتها على استهلاك الطاقة الخارجية المقدمة وتحقيق سعة أكبر من التشوهات. ضمن هذه المساعي تأتي محاولة إغناء الخرسانة بكمية من الألياف المعدنية التي أثبتت التجارب والدراسات على أهمية دورها في تحسين متانة الخرسانة المنتجة المعززة بالألياف المعدنية على الضغط والشد والصدم وبشكل أكبر المطاوعة التي تساعد في خدمة التطبيقات الإنشائية بشكل أفضل.

2-7 طرق تحديد المتانة على الضغط في الخرسانة بالألياف

من عيوب الخرسانة صفتها الهشة المتمثلة باستهلاكها للطاقة المقدمة بسعة ضعيفة من التشوهات. ضمن هذا المنظور سعت الدراسات وما زالت تسعى لتحسين خصائصها الميكانيكية بإضافة الألياف الى بنيتها لتحسين مطاوعتها وزيادة متانتها على الضغط وقدرتها في مقاومة الشد والصدم.

توجد مقاربات مختلفة لتقييم المتانة على الضغط في الخرسانة بالألياف. يعبر عن المساحة الكلية تحت منحنى التشوه الاجهاد بالمتانة وهي مؤشر على دور الالياف المعدنية على تحسن مطاوعة الخرسانة، كما يعبر هذا المؤشر عن مقدار الطاقة (المبددة) اللازمة لحدوث تشوه واحدة الحجم قبل انهيار العينة الخرسانية.

رياضياً، يعبر عن المتانة في واحدة الحجم من منحنى القوة - الانتقال، بالعلاقة التكاملية (1-7)

$$T = \frac{1}{V} \int P. d\delta = \int \sigma. d\varepsilon \quad (7-1)$$

حيث حددي التكامل: التشوهات المقابلة للمقاومة العظمى (الذروة بداية ظهور التشوهات اللدنة التامة) وحد إنهاء الخرسانة، وهو حد إعتباري يختلف من باحث إلى آخر.

نجد في البحوث المتوفرة العديد من الطرق لحساب متانة الخرسانة بالألياف على الضغط، فقد إستخدم Hsu and Hsu 1994 مؤشر المتانة النسبية وهي نسبة المساحة تحت منحنى التشوه-الاجهاد لعينة بألياف عند تشوه مقداره 1.2% الى المساحة لعينة مرجعية بدون ألياف عند نفس التشوه.

إستخدم Otter and Naaman (1988) مفهوم قرينة المتانة Toughness Index وهي نسبة المساحة تحت منحنى التشوه-الاجهاد لعينة بألياف الى المساحة لعينة مرجعية بدون ألياف. أما Fanella & Naaman فاعتبرا المساحة تحت منحنى التشوه-الاجهاد حتى تشوه مقداره 1.5%. أما Taerwe 1992 (1992) ومن أجل ألياف فولاذية معكوفة من النهايتين فقد توقف بحدود المتانة عن التشوه 0.7%.

أجرى Bayasi and Soroushian (1989) تجارب على خرسانة بألياف فولاذية مع إضافة مواد بوزلانية، وحسبا المتانة من أجل تشوه يساوي 5.5 ضعفا للتشوه الموافق للاجهاد الأعظمي.

أما Mansur et al (1999) فقد استخدم خرسانة بألياف فولاذية عالية المقاومة معكوفة النهايتين بطول 30 مم وقطر 0.5 مم وحسب قرينة المتانة من أجل تشوه مقداره 3 ضعفا للتشوه الموافق للاجهاد الأعظمي،

كما حسب Tjiptobroto and Hansen 1993 (1993) قرينة المتانة لتشوه أعظمي مقداره 0.6% الى مساحة عينة مرجعية بدون ألياف عند نفس التشوه،

اعتمد Bhargava et al (2006) في الحساب تشوه يصل الى 1.5%، بينما استخدم Marara et al (2011) في الحساب التشوه 3.3%.

بناء على نتائج كسر العينات الخرسانية والمبينة في الفصل الخامس (الاشكال 5-11، 5-12، 5-13) وفي الملاحق (4-أ، ب، ج، د) اعتمدنا الحد الأعظمي للتكامل التشوه النسبي 1% وحد الإنهيار الإعتباري الذي حددناه بالقيمة 1.5 ملم من التشوهات المحورية.

3-7 حساب المتانة على الضغط

إستخدمت نتائج إختبارات الخرسانة بمكوناتها المختلفة لتشكيل قاعدة بيانات شاملة لتنفيذ عمليات التحليل الميكانيكي والرياضي.

تظهر الاشكال (5-11، 5-12، 5-13) والملاحق (4-أ، ب، ج، د) شكل سلوك الخرسانة (العلاقة بين القوة والتشوه) الناتجة عن كسر العينات المكعبية على عمر 28 يوم ومن أجل نسب مختلفة للألياف الفولاذية الإبرية.

لتحديد دور الألياف الفولاذية وكمية الإسمنت المستخدم في الخلطة الخرسانية تمت مقارنة نتائج الإختبارات على الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية مع نتائج الإختبارات على خلطات مرجعية دون الياف فولاذية.

يظهر في هذه الأشكال تأثير الالياف الإبرية (المستخرجة من إطارات السيارات المستهلكة) على سلوك الخرسانة من خلال مؤشر المتانة، كما يظهر واضحاً التحسن الحاصل على مطاوعة المادة وزيادة قدرتها على امتصاص الطاقة.

أما عملية النمذجة الرياضية ومن أجل الوصول إلى علاقات رياضية عامة إقتضت البحث عن عوامل ومتحولات نسبية تسمح بالإنقال من الحالة الخاصة إلى الحالة العامة، مما يسمح بكتابة صيغ رياضية عامة قابلة للتطبيق من أجل كمية الإسمنت المستخدم أو نسبة الالياف الفولاذية المستخدمة.

من نتائج الاختبارات يتضح ان مقدار التشوهات المحورية للعينات axial deformation مرتبط بعيار الإسمنت وبنسبة الألياف الفولاذية في الخلطة الخرسانية.

يحسب التكامل بين حدي التشوهات المحورية للدنة للعينات بالألياف (الشكل 7-1): الحد الأول التشوهات المقابلة للمقاومة العظمى (الذروة بداية ظهور التشوهات للدنة التامة)، أما الحد الثاني فهو حد إنهيار إعتباري يقابل تشوه محوري مقداره 1.5 مم.

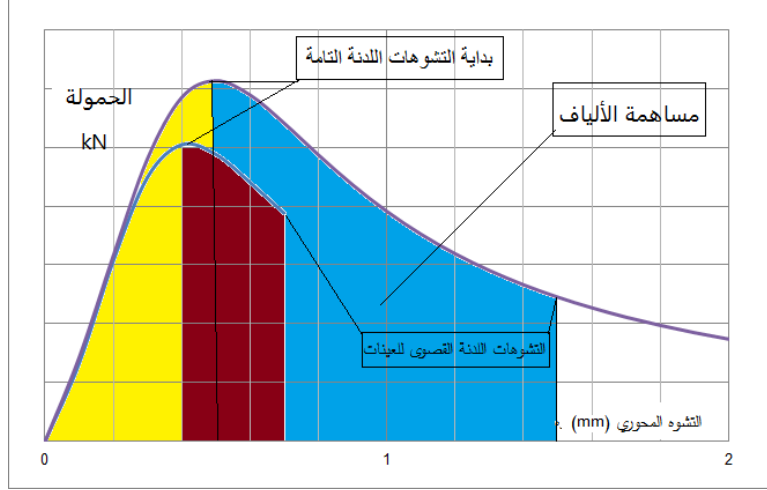
أما حدود التشوهات اللدنة القصوى للعينات المرجعية (بدون ألياف) فكانت موافقة لتشوه محوري 0.7 مم وهو التشوه الذي أمكن تسجيله قبل انهيار العينات بشكل كامل.

تكتب علاقة المتانة كتابع لعيار الإسمنت ونسبة الألياف ومعامل النحافة:

$$T = f(C, V_f, L_f/d_f) \quad (7-2)$$

C عيار الاسمنت، V_f نسبة الألياف، L_f طول الليف، d_f القطر الأسمي لليف.

ولإستقراء قيمة المتانة نحتاج لعلاقة معقدة متعددة الحدود ترتبط بجميع العوامل المؤثرة بخصائص الخرسانة المعززة بالألياف المعدنية لذلك سندرس تأثير هذه العوامل على المتانة.



الشكل 7-1: طريقة حساب قرينة المتانة على الضغط

حسبت المساحة تحت منحنى القوة - الانتقال عدديا بتقسيمها الى أشباه منحرفة ثم جمعت المساحات الجزئية تراكميا لكل خلطة وكل نسبة ألياف (الجدول 7-1).

الجدول 7-1: المتانة / عينة مكعبية

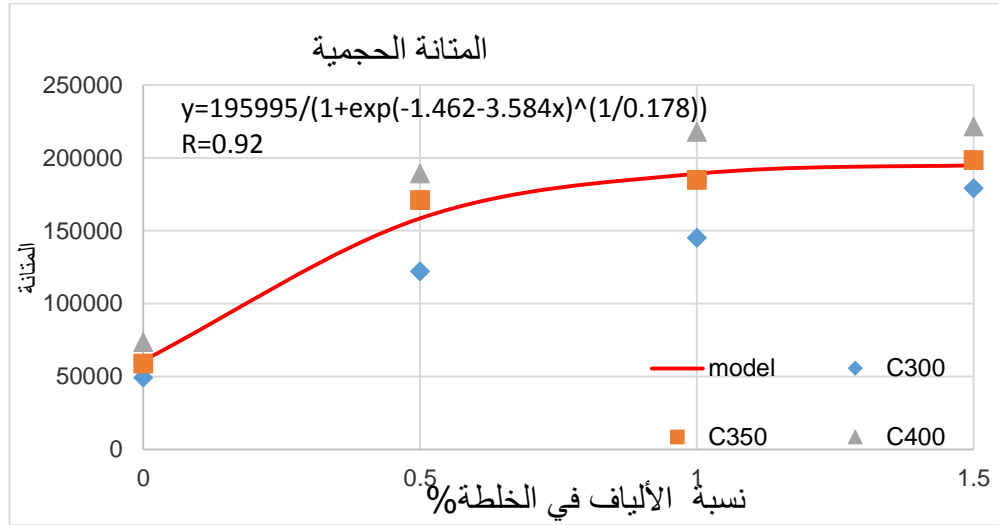
المتانة / عينة مكعبية N.m				
	نسبة الألياف حجما %			
عيار الاسمنت	0	0.5	1	1.5
300	165.65	411.80	489.33	604.00
350	197.98	576.87	623.61	669.50
400	248	638.33	734.80	747.30

4-7 المتانة الحجمية (Tv)

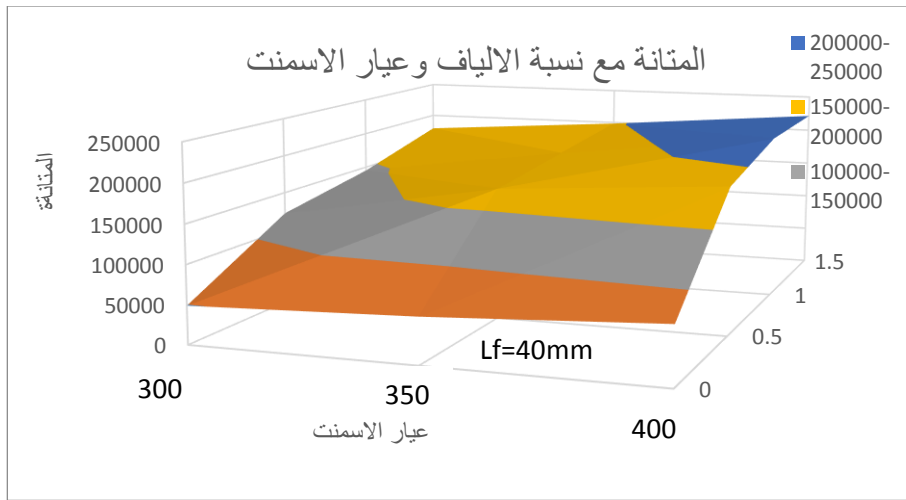
يفضل التعبير عن المتانة بالنسبة لوحد الحجم من الخرسانة وسنسميها "المتانة الحجمية volumetric Toughness" وتساوي متانة العينة / حجم العينة الجدول (7-2) وبمعالجة المعطيات نحصل على معادلتها (3-7).

الجدول 7-2: المتانة الحجمية

المتانة الحجمية N.m/m ³				
نسبة الألياف حجما %				
عيار الاسمنت	0	0.5	1	1.5
C300	49082.52	122013.3	144987	178961.5
C350	58660.56	170924.3	184772.7	198371.6
C400	73566.13	189135.4	217717.5	221421



الشكل 7-2: المتانة الحجمية



الشكل 7-3: المتانة الحجمية كتابع لنسبة الألياف وعيار الاسمنت

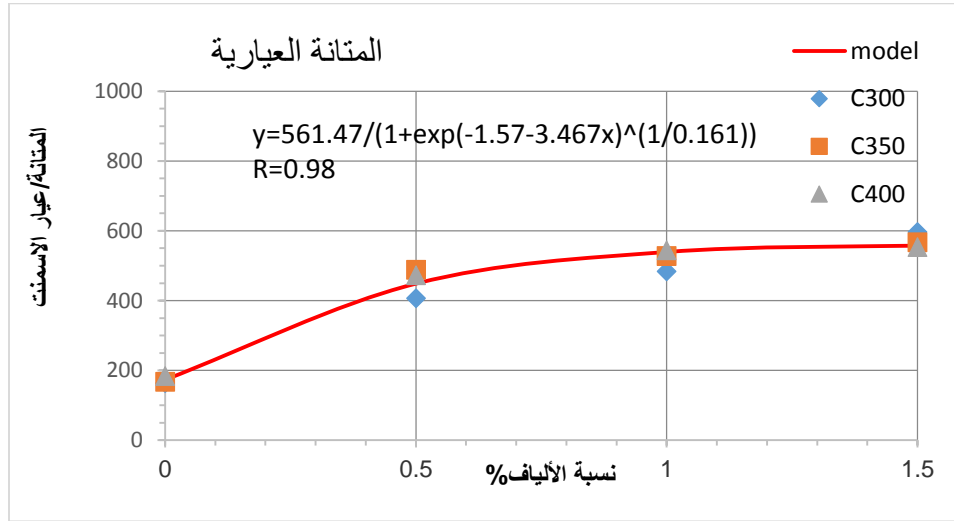
$$T_v = \frac{195995}{(1+e^{(-1.462-3.584V_f)})^{0.178}} \quad (7-3)$$

5-7 المتانة العيارية (Tc)

وللتبسيط يمكن نسبة المتانة الحجمية الى عيار الاسمنت فنحصل على "المتانة العيارية Toughness related cement content " أي المتانة بالنسبة لـ 1 كغ إسمنت. وبشكل مماثل نحصل على معادلة المتانة العيارية (المعادلة 4-7).

الجدول 3-7: المتانة العيارية

المتانة العيارية Tc (N.m/m ³ /kg)				
عيار الاسمنت	نسبة الالياف حجما %			
	0	0.5	1	1.5
C300	163.6084	406.7112	483.2901	596.5384
C350	167.6016	488.3552	527.9221	566.776
C400	183.9153	472.8385	544.2936	553.5524



الشكل 4-7: المتانة العيارية

وتصبح معادلة المتانة العيارية من الشكل

$$T_c = \frac{T_v}{C} \quad (7-4a)$$

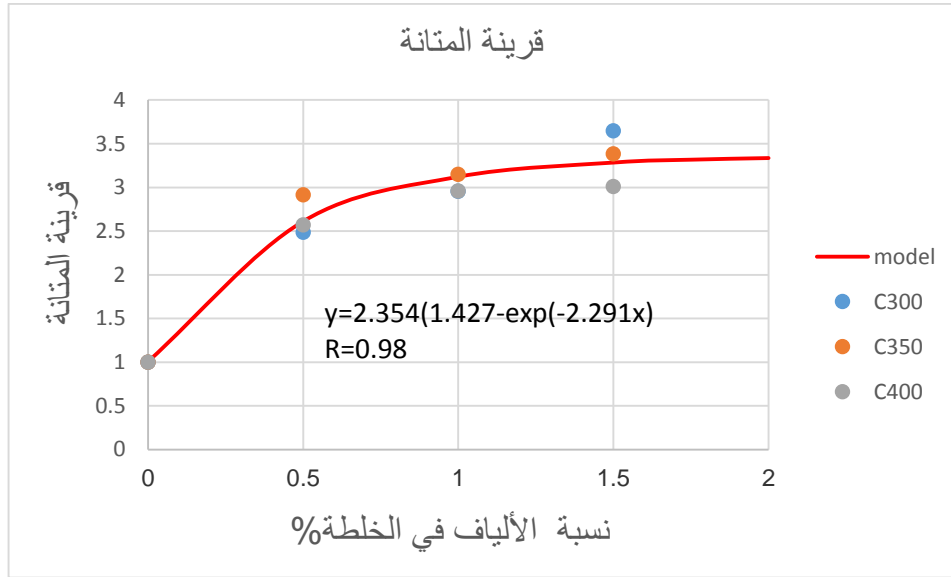
$$T_c = \frac{561.47}{(1+e^{(-1.57-3.467V_f)})^{0.16}} \quad (7-4b)$$

6-7 قرينة المتانة TI

للتعبير عن تحسن مطاوعة المادة يستخدم مؤشر قرينة المتانة Toughness Index وهو يعادل الزيادة في مساحة المطاوعة في منحني القوة - الانتقال نسبة للمساحة للعينة المرجعية وذلك حتى تشوه مقداره 1.5 مم للعينات المسلحة بالألياف وتشوه 0.7 مم للعينات المرجعية كما بينا سابقا.

الجدول 4-7: قرينة المتانة Toughness Index

قرينة المتانة				
نسبة الألياف حجما %				
عيار الاسمنت	0	0.5	1	1.5
C300	1	2.49	2.95	3.65
C350	1	2.91	3.15	3.38
C400	1	2.57	2.96	3.01



الشكل 5-7: قرينة المتانة مع نسبة الألياف

من خلال العلاقة (5-7) التي تربط بين قرينة المتانة ونسبة الألياف يمكن تقدير تطور قيمة المتانة بالنسبة

لمتانة العينة المرجعية وتساوي T_I أو قرينة المتانة Toughness Index

$$T_I = \frac{T_c^{V_f}}{T_c^0} \quad (7-5a)$$

$$T_I = 2.354(1.427 - e^{-2.291V_f}) \quad (7-5b)$$

حيث T_c^0 المتانة العيارية المرجعية و T_c^{Vf} المتانة العيارية في حال استخدام نسبة ألياف V_f من الشكل (5-7) يمكن أن نلاحظ أن قرينة المتانة تتزايد بشكل ملحوظ من أجل نسبة الياف حتى 0.5% يفسر بتطور في خصائص الخلطة الخرسانية، ثم تنحى نحو تزايد ثابت متناسب مع زيادة نسبة الألياف.

7-7 تأثير نحافة الأسلاك الفولاذية على قرينة المتانة

ان المقاربة عند دراسة تأثير إضافة الألياف على المتانة تم من أجل ألياف لها معامل نحافة (نسبة الطول الى القطر) يساوي 50. لتعميم العلاقات السابقة ندخل تأثير معامل النحافة للألياف aspect ratio (slenderness) من خلال تصحيح النتائج التي يتم استقراؤها لقرينة المتانة بمعامل تصحيح β . تم حساب معامل التصحيح β كما يلي:

- نعتبر الخلطة عيار اسمنت 350 ونسبة الياف 1% ومعامل نحافة 50 هي الخلطة المرجعية لمعالمي التصحيح.

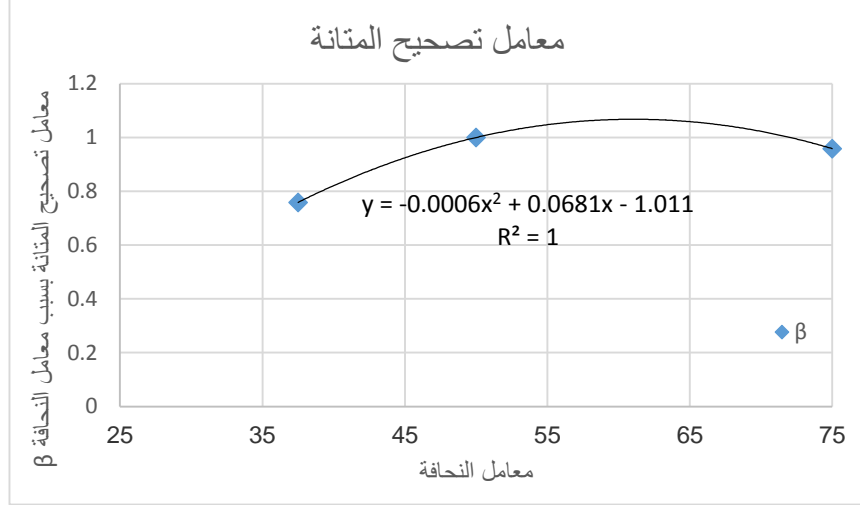
- نحسب معامل التصحيح لقرينة المتانة β وهو النسبة بين قرينة المتانة لعينة بألياف بطول 30 أو 60 مم الى متانة العينة المرجعية (طول الليف 40 مم) (الجدول 5-7).
نوجد العلاقة بين معامل التصحيح ومعامل النحافة لليف (المعادلة 6).

$$\beta = -0.0006.X^2 + 0.0681.X - 1.01 \quad (7-6)$$

حيث تمثل X معامل النحافة

الجدول 5-7: معامل تصحيح قرينة المتانة β بسبب نحافة الليف

طول الليف	معامل النحافة	T_c^0	T_c^{lf}	TI	β
		نسبة الاليف حجما %			
		0%	1%	1%	
30	37.5	198	473	2.39	0.759
40	50	198	624	3.15	1
60	75	198	598	3.02	0.959



الشكل 6-7: معامل التصحيح β

8-7 خاتمة الفصل

تم التطرق في هذا الفصل الى موضوع المتانة وهي ميزة تتمتع بها الخرسانة بالألياف عن الخرسانة العادية. إنطلاقاً من هذه العلاقات البيئية يمكن أن نستقرأ متانة خلطة خرسانية متصلبة معززة بألياف معدنية إبرية بالتتابع العكسي للعلاقات السابقة.

صيغت النماذج الرياضية المقترحة بقيم لا بعدية مستقلة عن عيار الاسمنت ونسبة الألياف ومعامل النحافة لليف مما يسهل استخدامها كعلاقات عامة.

تفيد النماذج الرياضية المقترحة في التنبؤ بالزيادة في متانة الخرسانة وقرينة المتانة عند إضافة هذه الألياف انطلاقاً من عيار الاسمنت ونسبة الألياف ومعامل النحافة.

سمح تحليل مؤشر المتانة بالوصول الى نتيجة مفادها أن استخدام نسبة ألياف أعلى من 1% لا يؤدي الى زيادة ملحوظة في متانة الخرسانة. لذلك نوصي استخدام نسبة ألياف حجمية لا تزيد عن 1% أي ما يعادل وزناً 80 كغ/م³.

النمذجة الرياضية لإجهادات الشد في الخرسانة بالألياف الفولاذية المعاد تدويرها

1-8 مقدمة

نظرا للطبيعة المركبة لسلوك الخرسانة بالألياف فان المقاربة في الأبحاث يمكن أن تتم في أكثر من منظور. عند دراسة سلوك الخرسانة في مستوي التركيب الجزيئي (micro level) يتم البحث في ظواهر تفصيلية ويدخل عدد كبير من العوامل مما يجعلها معقدة جدا ويصعب اشتقاق نتائج قابلة للتعميم. أما المقاربة المستندة على البنية الكتلية (macro level) فهي قادرة على تأمين معلومات عن سلوك الخرسانة مما يساعد في التحليل العكسي ولكن لا تساعد على التفسير الفيزيائي للظواهر.

بين هذين الحالتين توجد حالة متوسطة ناتجة عن ميكانيك الانهيار للمادة تسمى meso level وهي مناسبة لتحليل سلوك الخرسانة بالألياف على الشد وفي هذا المستوي تدخل مواصفات الألياف كعناصر مضافة الى الخرسانة مثل الطول والقطر والعدد وشكل توزيعها واستجابتها للحمولات الخارجية في العلاقات المعبرة عن سلوك المادة.

يختلف سلوك الخرسانة بالألياف على الشد عن الخرسانة بالتسليح التقليدي ويعزى السبب في ذلك الى أن الألياف تكون موزعة عشوائيا على كامل حجم الخرسانة بينما التسليح بالقضبان الفولاذية يكون موزعا بشكل محدد في الأماكن المطلوبة. كذلك فان أطوال التماسك للألياف تكون صغيرة جدا بالمقارنة مع أطوال التماسك لقضبان التسليح، لذلك فان انهيار الخرسانة بالألياف يحدث على التماسك ولا ينقطع الليف في معظم الأحوال.

2-8 مقاومة الخرسانة على الشد

توجد العديد من الاختبارات لتحديد مقاومة الخرسانة على الشد مثل اختبار الشد المباشر واختبار الفلق واختبار الانعطاف للجوائز. يعطي اختبار الفلق البرازيلي على عينات اسطوانية بقطر D وارتفاع L تقديرا سهلا وآمنا لتحديد مقاومة الشد للخرسانة حيث تطبق حمولة موازية لمحور الأسطوانة مما يؤدي الى توليد اجهادات شد متجانسة في المستوي الشاقولي وتنهار العينة وفق هذا المستوي. تعطى مقاومة الخرسانة على الشد كنسبة من مقاومة الفلق تساوي 0.85 في الكود السوري بينما هي 0.90 في الكود الأوربي CEB-FIB بالعلاقة (1-8)

$$f_{sp} = \frac{2.P}{\pi.L.D} \quad (8-1a)$$

$$f_t = 0.85f_{sp} = 0.55 \frac{P}{L.D}(8-1b)$$

D=150 mm قطر العينة الاسطوانية

L=300 mm طول العينة الاسطوانية

P حمولة الانهيار (نيوتن)

وفي حالة اختبار الانعطاف للجوائز بمجاز L ومقطع عرضي مستطيل أبعاده h,b تؤخذ مقاومة الشد f_t كنسبة 0.6 من مقاومة الانعطاف f_b بالعلاقة (الكود السوري)

$$f_t = 0.6f_b = 0.6 \frac{6M}{bh^2} \quad (8-1c)$$

1-2-8 اختبار الفلق

تم تحضير عينات خرسانية اسطوانية عيار الاسمنت 350 كغ/م³ بطول 300 مم وقطر 150 مم وأضيفت الألياف بنسبة 1% حجما وحصويات لها نفس الخواص للحصويات المستخدمة في تحضير العينات التي اختبرت على الضغط. اختبرت العينات على الفلق حيث انشطرت العينات بدون ألياف عند انهيارها الى شطرين وفق مستوى التحميل الشاقولي المار من محور الأسطوانة. أما العينات بالألياف فقد حافظت على التصاق شطريها عند الانهيار ومن البديهي القول أن سبب ذلك هو وجود الألياف. لقد عملت الألياف على منع انفصال الشطرين لوجود التماسك بينها وبين الألياف وعملت على التجسير. ويبين الجدول نتائج الاختبار (8-1).



الشكل 8-1: اختبار عينة اسطوانية على الفلق

بينت نتائج الاختبارات أن متوسط قوة الانهيار للعينات الاسطوانية المسلحة بالألياف باختبار الفلق البرازيلي 199500 نيوتن وللعينات المرجعية من الخرسانة العادية 174540 نيوتن ووفقا للعلاقة (8-1) تم حساب

مقاومة الشد على الفلق للخلطة المرجعية وبلغت 2.13 ميغاباسكال وللخلطة المسلحة بالألياف بلغت 2.44 ميغاباسكال.

الجدول 8-1: نتائج اختبار الخرسانة على الفلق

رقم العينة	نسبة الألياف %	طول الليف mm	قطر الليف mm	معامل النحافة	قوة الكسر N	مقاومة الشد على الفلق N/mm2
No. 1	0	0	0	0	171000	2.09
2	0	0	0	0	179600	2.20
3	0	0	0	0	173020	2.11
avg.			0	0	174540	2.13
4	1	40	0.8	50	189000	2.31
5	1	40	0.8	50	203000	2.48
6	1	40	0.8	50	206500	2.52
avg.		40	0.8	50	199500	2.44



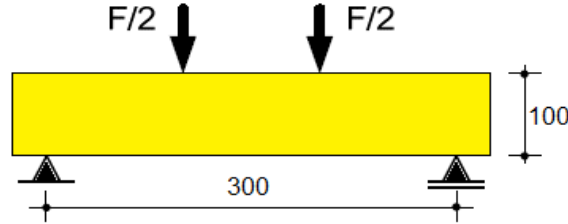
الشكل 8-2: صور تبين تماسك عينة بالألياف مختبرة على الفلق وعينة مرجعية بدون الياف

2-2-8 اختبار الانعطاف لجوائز موشورية

توجد العديد من المواصفات التي تحدد طريقة اجراء الاختبار على الانعطاف وتتم الاختبارات على جوائز موشورية، يمكن أن تطبق حمولة مركزة في منتصف المجاز، أو تطبق حملتان تقسمان فتحة الجائز الى ثلاثة أقسام متساوية.

تم تحضير جوائز خرسانية عيار الاسمنت 350 كغ/م³ بابعاد 100×100×400 مم وأضيفت الألياف بنسبة 1% حجما بطول 40 مم وبقطر 0.8 مم. بالإضافة الى جوائز مرجعية من الخرسانة بدون ألياف.

صبت الخرسانة في القوالب المعدنية على طبقتين ووضعت القوالب على طاولة رجاة لرصها. في اليوم التالي فكت القوالب ووضعت العينات في حوض ترطيب لمدة 28 يوما.



الشكل 8-3: طريقة اختبار الجوائز



الشكل 8-4: صورة لجائز من خرسانة بدون ألياف بعد الاختبار



الشكل 8-5: جائز من خرسانة بألياف بعد الاختبار



الشكل 8-6: الألياف في الجائز (تم فصل شطري الجائز لتوضيح توزيع الألياف)

الجدول 8-2: نتائج اختبار الانعطاف للجوائز

رقم العينة	نسبة الألياف	طول الليف	قطر الليف	معامل النحافة	قوة الكسر	مقاومة الانعطاف
No.	%	mm	mm	-	kN	N/mm ²
1	0	0	0	0	21.39	6.42
2	0	0	0	0	19.15	5.75
3	0	0	0	0	21.16	6.35
4	0	0	0	0	18.15	5.45
avg.					19.96	5.99
5	1	40	0.8	50	21.15	6.35
6	1	40	0.8	50	21.55	6.47
7	1	40	0.8	50	22.87	6.86
avg.					21.86	6.56

8-3 حساب الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة

كما تم توضيحه عند تمثيل الألياف المعدنية في وسط الخرسانة المستمر في الفراغ ثلاثي البعد فان الاجهاد في الليف يحسب استنادا الى rule of mixture باعتبار الطول المكافئ لليف يساوي ضعفي الطول المغموس كما يلي:

$$\eta_{\phi 3D} = \frac{1}{2} \quad (4-9)$$

$$F_{concrete} = F_{fiber} + F_{mix} \quad (8-2)$$

$$A_c \cdot \sigma_{ct} = \eta_{\phi 3D} A_f \cdot \sigma_f + A_m \cdot \sigma_m \quad (8-3)$$

$$\sigma_{ct} = \eta_{\phi 3D} \frac{A_f}{A_c} \sigma_f + \frac{A_m}{A_c} \sigma_m \quad (8-4)$$

$$\sigma_{ct} = \eta_{\phi 3D} V_f \sigma_f + (1 - \eta_{\phi 3D} V_f) \sigma_m \quad (8-5)$$

$$\sigma_{ct} = \frac{V_f}{2} \sigma_f + (1 - \frac{V_f}{2}) \sigma_m \quad (8-6)$$

A_m , A_f , A_c مساحة مقطع الخرسانة مع الألياف، مساحة مقطع الليف، مساحة مقطع الخلطة بدون ألياف على الترتيب.

σ_m , σ_f , σ_{ct} اجهاد الشد في الخرسانة مع الألياف، اجهاد الشد في الليف، اجهاد الشد في الخلطة بدون ألياف على الترتيب.

ويحسب الاجهاد في الليف

$$\sigma_f = \frac{2}{V_f} [\sigma_{ct} - (1 - \frac{V_f}{2}) \sigma_m] \quad (8-7)$$

ومن جهة ثانية فان الاجهاد في الليف ناتج عن التماسك مع الخلطة ومن أجل ليف قطره D_f وطول التماسك L_e فان الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة يعطى استنادا الى معادلة التوازن للقوى في الليف بالعلاقة (8-8)

$$\tau = \frac{D_f}{4l_e} \sigma_f \quad (8-8)$$

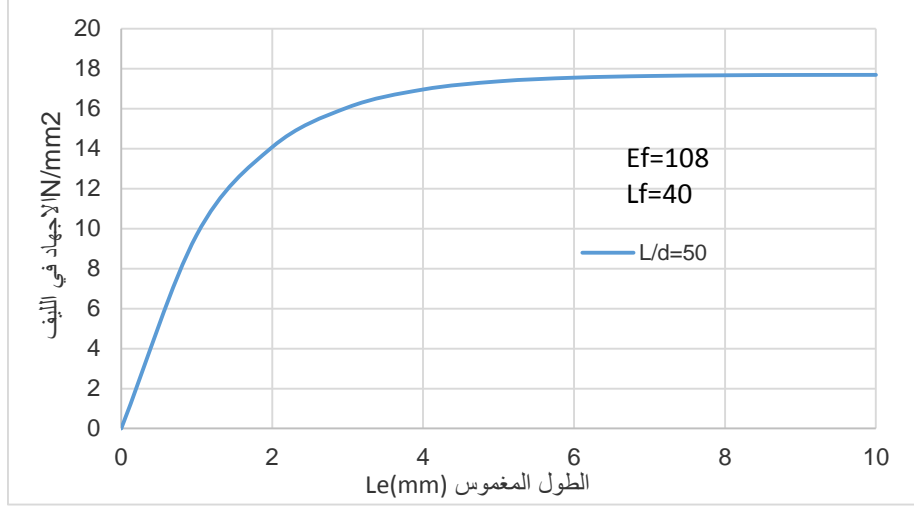
بتطبيق هذه العلاقة نحصل على الاجهادات المماسية بين الليف والخلطة (الجدول 3-8).

الجدول 3-8: حساب الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة

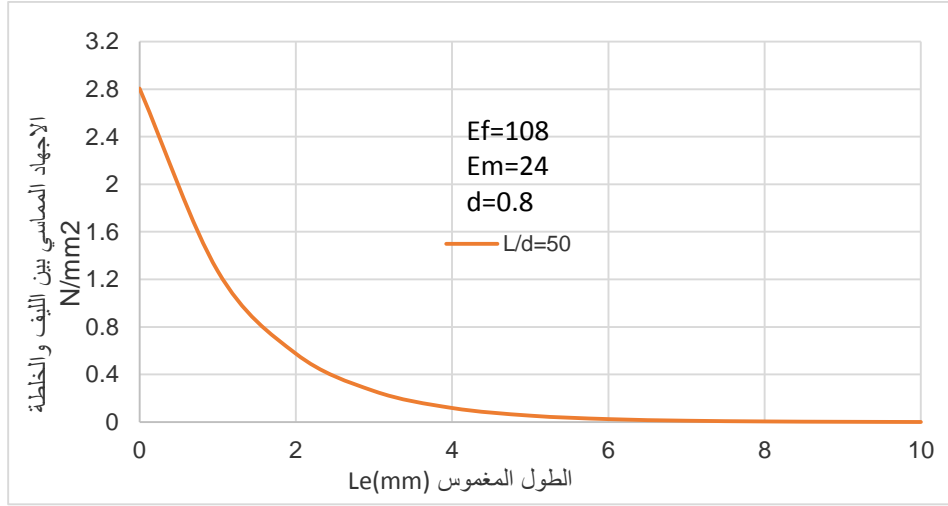
طريقة الاختبار	نسبة الألياف	طول الليف	قطر الليف	معامل النحافة	قوة الكسر	اجهاد الشد	الاجهاد في الليف	الاجهاد المماسي
	Vf[%]	Lf[mm]	Df[mm]	Lf/D	F[N]	fct[N/mm ²]	σ_f [N/mm ²]	τ [N/mm ²]
عينات اسطوانية على الفلق	0		0.8	0	174540	2.13		0.00
	1	40	0.8	50	199500	2.44	63.15	1.26
جوائز موشورية على الانعطاف	0		0.8	0	19962.50	3.59		0.00
	1	40	0.8	50	21856.67	3.93	71.78	1.44

يكون السلوك على الانعطاف هو الأقرب الى سلوك العناصر الانشائية مثل الجوائز والانابيب والبلاطات لذلك سندخل نتائج اختبارات الانعطاف لدراسة سلوك الليف على الشد.

يتم إيجاد الاجهاد في الليف والاجهاد المماسي بين الليف والخلطة في المجال المرن وفقا للنموذج الذي وضعه Cox 1952 لانتقال الاجهادات (الفصل الرابع الفقرة 4-8) كما تبينه الاشكال (8-7 و 8-8).



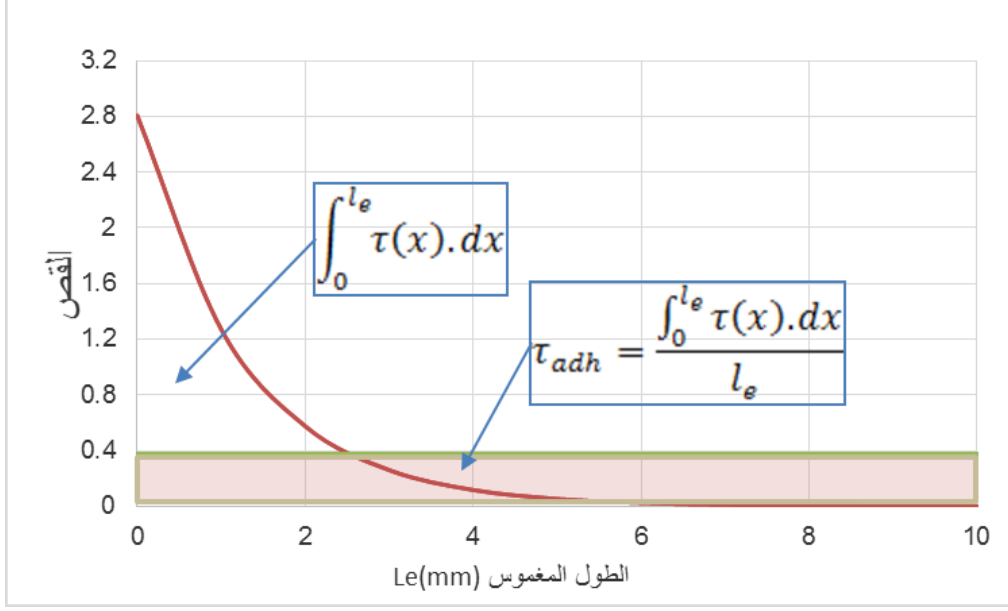
الشكل 8-7: الاجهاد في الليف في المجال المرن



الشكل 8-8: الاجهاد المماسي بين الليف والخططة في المجال المرن

4-8 حساب مساهمة مكونات التماسك

يشكل الاجهاد المماسي الناتج عن الاحتكاك من 50% الى أكثر من 80% من اجهاد التماسك المحسوب تجريبيا كما بين (Stengel 2013). من أجل تحديد نسبة مساهمة الاجهاد المماسي على الالتصاق نحسب المساحة تحت منحنى الاجهاد المماسي المحسوب والموضح في الشكل (8-8) ثم نحولها الى مستطيل مكافئ طوله يساوي الطول المغموس وارتفاعه هو وسطي الاجهاد المماسي المحسوب (الشكل 8-9).



الشكل 8-9: حساب وسطي الاجهاد المماسي

$$\tau_{adh} = \frac{\int_0^{l_e} \tau(x).dx}{l_e} \quad (8-9a)$$

$$\tau_{adh} = \frac{3.7}{10} = 0.37 \text{ N/mm}^2 \quad (8-9b)$$

من نتيجة اختبار الانعطاف للجوائز (الجدول 8-3) حيث $\tau_{exp} = 1.44$ فان نسبة مساهمة الاجهاد المماسي على الالتصاق والاحتكاك تكون:

$$\tau_{adh} = \frac{0.37}{1.44} = 0.26\tau_{exp} \quad (8-9c)$$

$$\tau_{friction} = 0.74\tau_{exp} \quad (8-10a)$$

$$\tau_{friction} = 1.06 \text{ N/mm}^2 \quad (8-10b)$$

حيث τ_{exp} الاجهاد المماسي تجريبيا، τ_{adh} مساهمة الاجهاد المماسي على الالتصاق، $\tau_{friction}$ مساهمة الاجهاد المماسي على الاحتكاك.

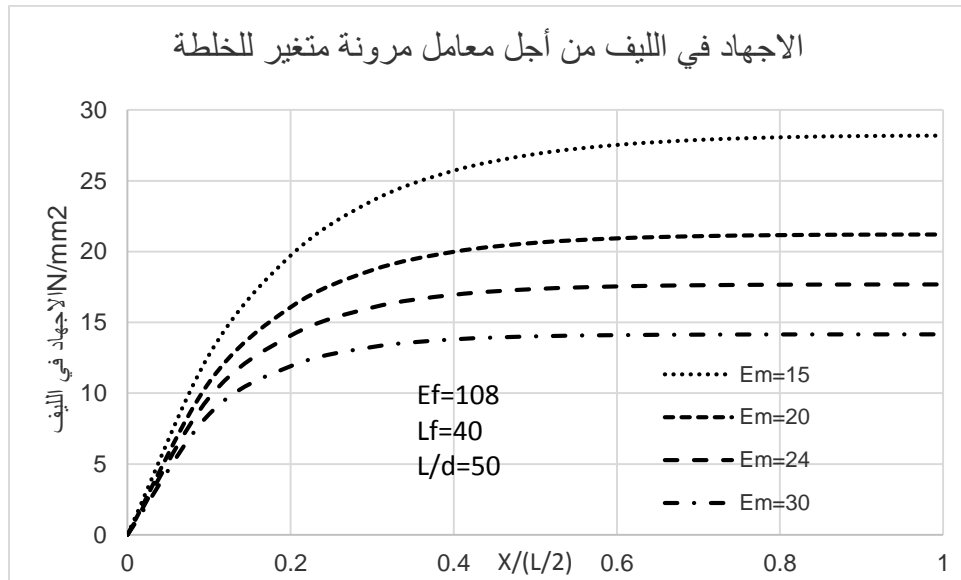
أما المكون الثالث للتماسك الناتج عن الضغط الجانبي وكما بين Stengel 2013 فانه يشكل نسبة حوالي 2% ويمكن اهماله (الفصل الرابع الفقرة 4-2).

5-8 تأثير تغير معاملات الخلطة

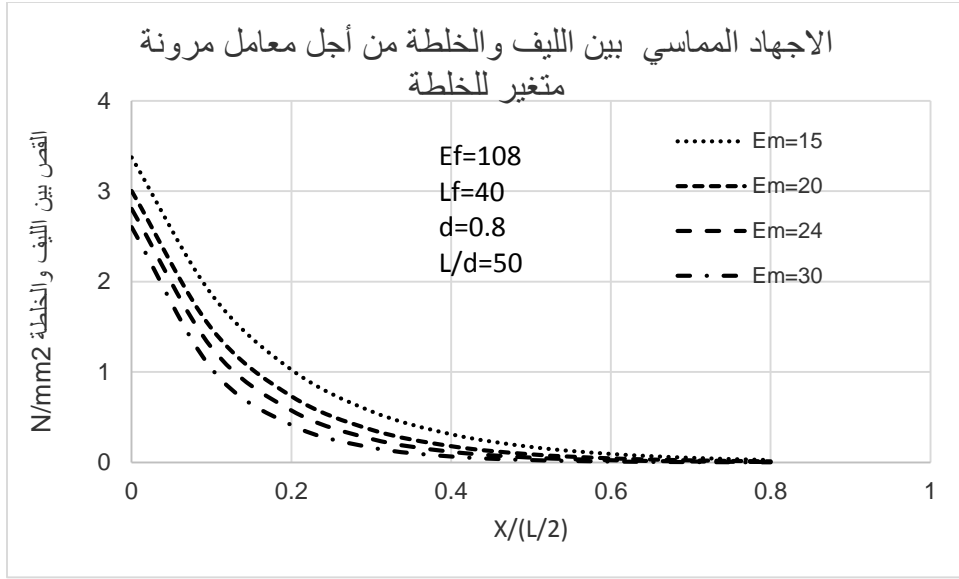
معامل المرونة للخلطة: تزداد الاجهادات في الليف مع تناقص معامل المرونة للخلطة، كذلك هو الحال بالنسبة للاجهاد المماسي بين الليف والخلطة. (الشكل 8-10)

معامل المرونة للألياف: تزداد الاجهادات في الليف مع زيادة معامل المرونة لليف، كذلك هو الحال بالنسبة للاجهاد المماسي بين الليف والخلطة. (الشكل 8-11)

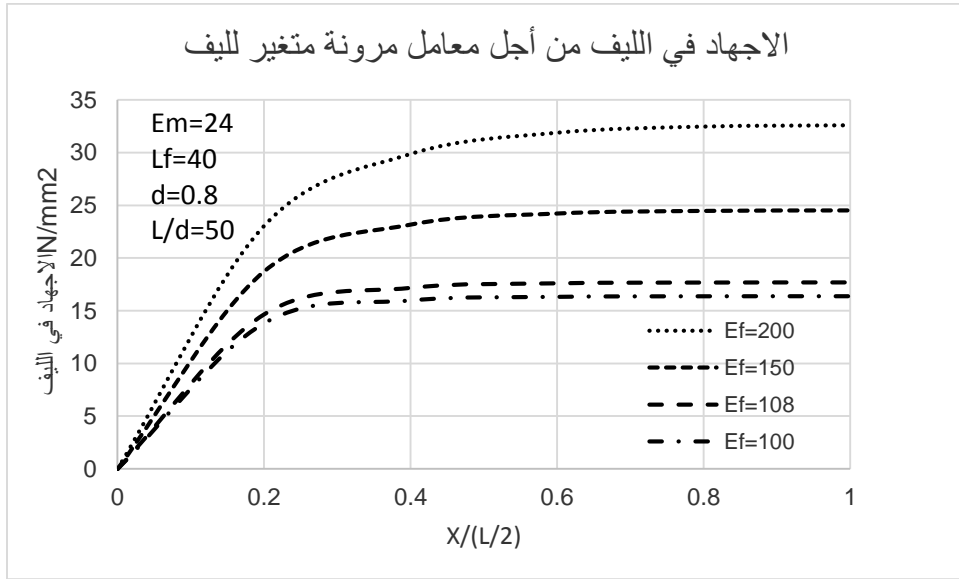
معامل النحافة للألياف: يزداد معدل تغير الاجهادات في الليف مع زيادة معامل النحافة لليف، كذلك هو الحال بالنسبة للاجهاد المماسي بين الليف والخلطة. (الشكل 8-12)



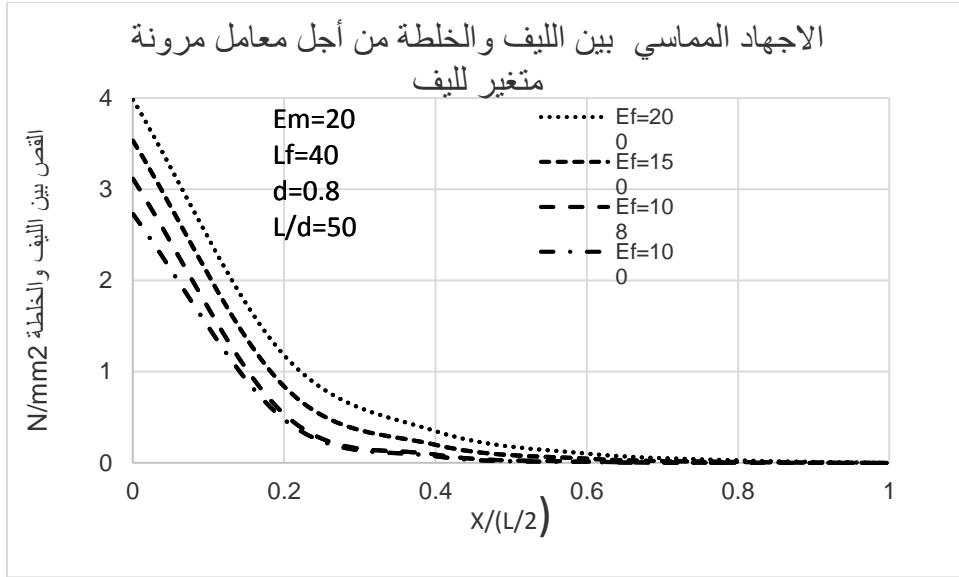
الشكل 8-10-أ: تأثير تغير معامل المرونة للخلطة على الاجهاد في الليف



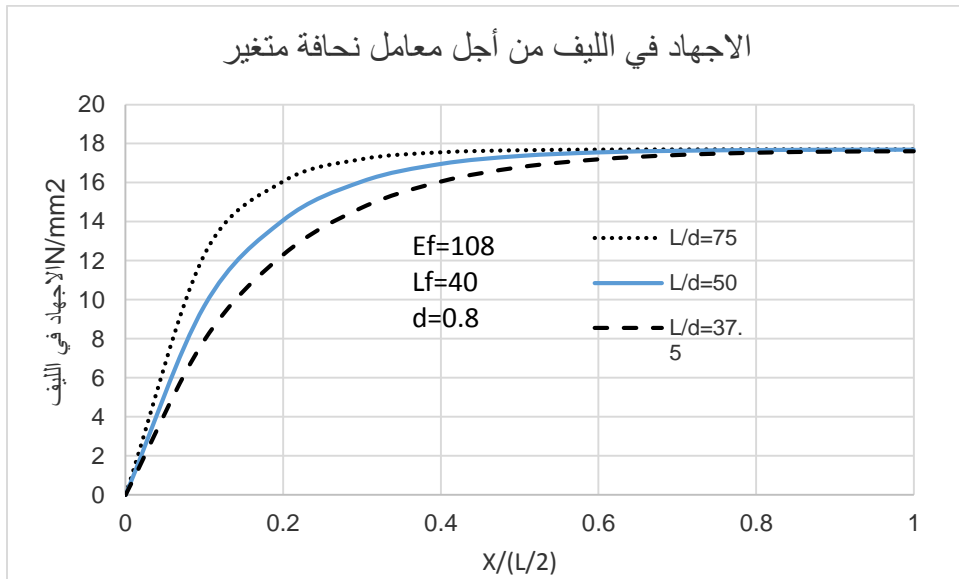
الشكل 8-10-ب: تأثير تغير معامل المرونة للخلطة على الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة



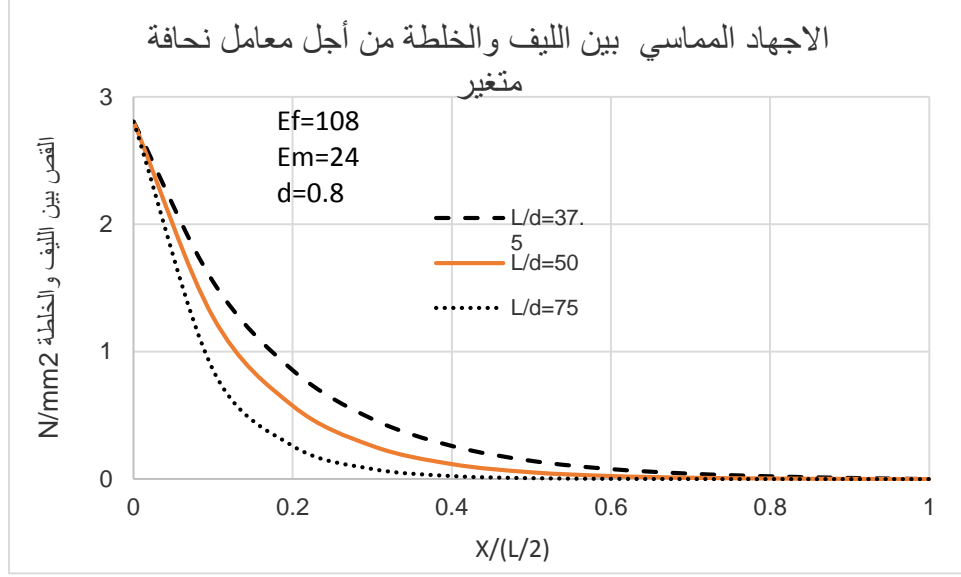
الشكل 8-11-أ: تأثير تغير معامل المرونة لليف على الاجهاد في الليف



الشكل 8-11-ب: تأثير تغير معامل المرونة للليف على الاجهاد المماسي بين الليف والخططة



الشكل 8-12-أ: تأثير تغير معامل النحافة للليف على الاجهاد في الليف



الشكل 8-12-ب: تأثير تغير معامل النحافة لليف على الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة

8-6 فاعلية الألياف عند حدوث التشققات في الخرسانة

عند تعرض الخرسانة لاجهاد شد تبدأ الشقوق الشعرية الموجودة أصلاً قبل التحميل بالاتساع حتى الوصول الى مقاومة الخرسانة على الشد الموافق لتشوه حوالي 10^{-4} بعدها تتكاثر الشقوق الشعرية في منطقة محددة تكون عند أضعف نقطة ويتشكل شق كبير ويحدث تركيز للاجهادات في منطقة الشق مما يؤدي بدوره الى زيادة اتساع الشق (Löfgren, I., 2005). وينبغي التوضيح أن فاعلية الألياف سوف تختلف بعد حصول التشققات في الخلطة عما كانت عليه قبل التشقق.

بينت البحوث المتعددة المتعلقة بسلوك الخرسانة بالألياف على الشد أنه يتعلق بسلوك الليف عند حدوث التشققات فيها. من بين هذه البحوث نذكر Laranjeira, F., 2010, Naaman, A., 2003, Löfgren, I., 2005, Kooiman, 2000, Pfyl 2003, Dozio, D., 2008.

بناء على هذه البحوث يمكن إعادة صياغة فاعلية الألياف عند تعرض الخرسانة بالألياف للشد وذلك بتقسيم مراحل عمل الليف على ثلاثة مراحل:

المرحلة الأولى : نقل الاجهادات المرنة (elastic stress transfer) في المراحل المبكرة من التحميل وقبل وصول الاجهادات المماسية الى اجهادات التماسك على الالتصاق فان توزع الاجهادات يخضع لنظرية التماسك shear-Lag- theory . مع زيادة الاجهادات عن مقاومة الالتصاق تنشأ اجهادات الاحتكاك تدريجياً على

الطول المغموس بدءاً من نهاية الليف باتجاه مستوي الشق، وفي نهاية هذه المرحلة يكون الاجهاد المماسي ناتجاً عن مركبتي الالتصاق والاحتكاك على كل طول المغموس Le (الشكل 8-13 أ)

$$\tau = \tau_{adhsion} + \tau_{friction} \quad (8-11)$$

المرحلة الثانية: مع استمرار التحميل يبدأ الالتصاق بالتلاشي ابتداءً من سطح الشق بسبب تفتت الخلطة بجوار الليف وتبدأ الاجهادات المتولدة عن الالتصاق بالتناقص تدريجياً ويكون الاجهاد المماسي على طول المغموس ناتجاً عن الاحتكاك وبشكل جزئي عن الالتصاق وفي نهاية هذه المرحلة يكون الاحتكاك هو المسيطر على كامل طول المغموس (الشكل 8-13 ب) أي:

$$\tau = \tau_{friction} \quad (8-12)$$

المرحلة الثالثة: بعد تلاشي الالتصاق تنعدم الاجهادات المماسية المتولدة بسببه على كامل طول المغموس ويصبح كامل الليف يعمل على الاحتكاك وينسحب الليف من الخلطة (الشكل 8-13 ج).

يحسب الاجهاد في الليف الناتج عن الالتصاق وفقاً للنموذج الذي وضعه Cox 1952 لانتقال الاجهادات في المرحلة المرنة (المعادلة 4-12 من الفصل الرابع)

$$\sigma_{adhsion} = \frac{E_f}{E_m} \sigma_m \left[1 - \frac{\cosh \beta \left(\frac{l}{2} - x \right)}{\cosh \frac{\beta l}{2}} \right] \quad (4-12)$$

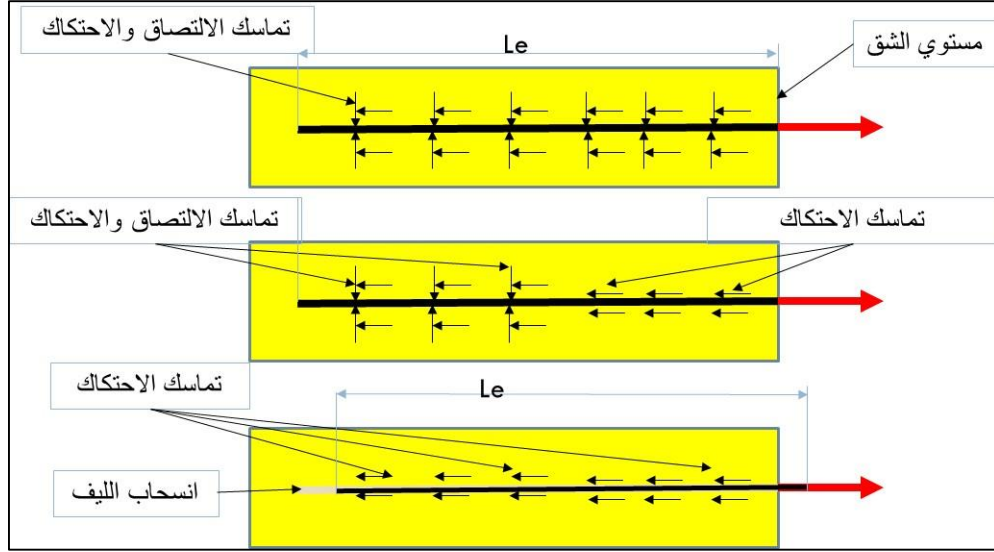
ويحسب الاجهاد في الليف الناتج عن الاحتكاك بفرض أنه منتظم على كامل طول المغموس

$$\sigma_{friction} = \frac{F_{Fiber}}{A_{Fiber}} = \frac{\pi \cdot D_f \cdot \tau_{friction} \cdot x}{\frac{\pi \cdot D_f^2}{4}} = \frac{4 \cdot \tau_{friction} \cdot x}{D_f} \quad (8-13)$$

$$0 \leq x \leq l_e \quad \text{حيث}$$

ويكون الاجهاد في الليف هو مجموع الاجهاد الناتج عن الاحتكاك والناتج عن الالتصاق

$$\sigma_f = \sigma_{adhsion} + \sigma_{friction} \quad (8-14)$$



الشكل 8-13: مراحل انسحاب الليف

أ: المرحلة الأولى (القص ناتج عن الالتصاق والاحتكاك على كل طول المغموس)

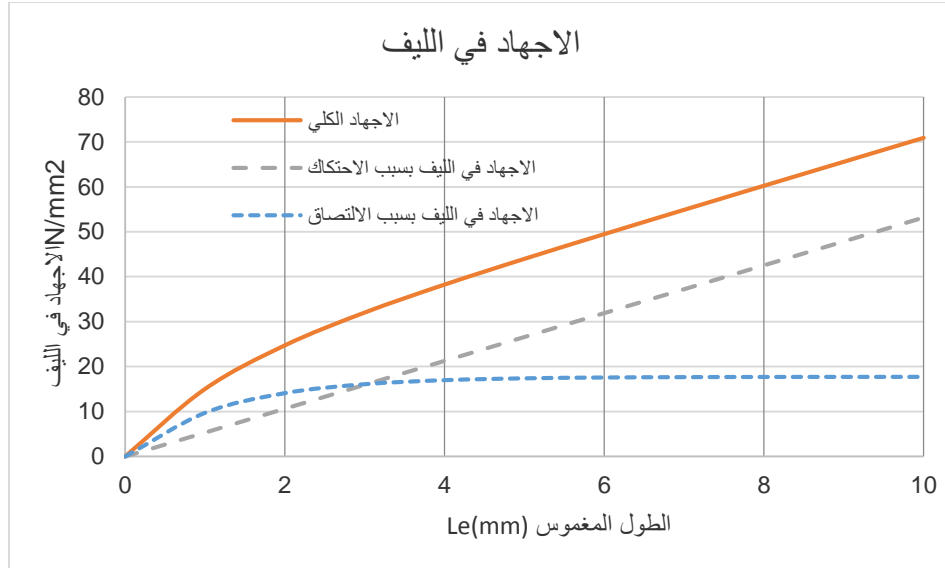
ب: المرحلة الثانية (القص ناتج عن الالتصاق وعن الاحتكاك)

ج: المرحلة الثالثة (كامل الليف يعمل على الاحتكاك)

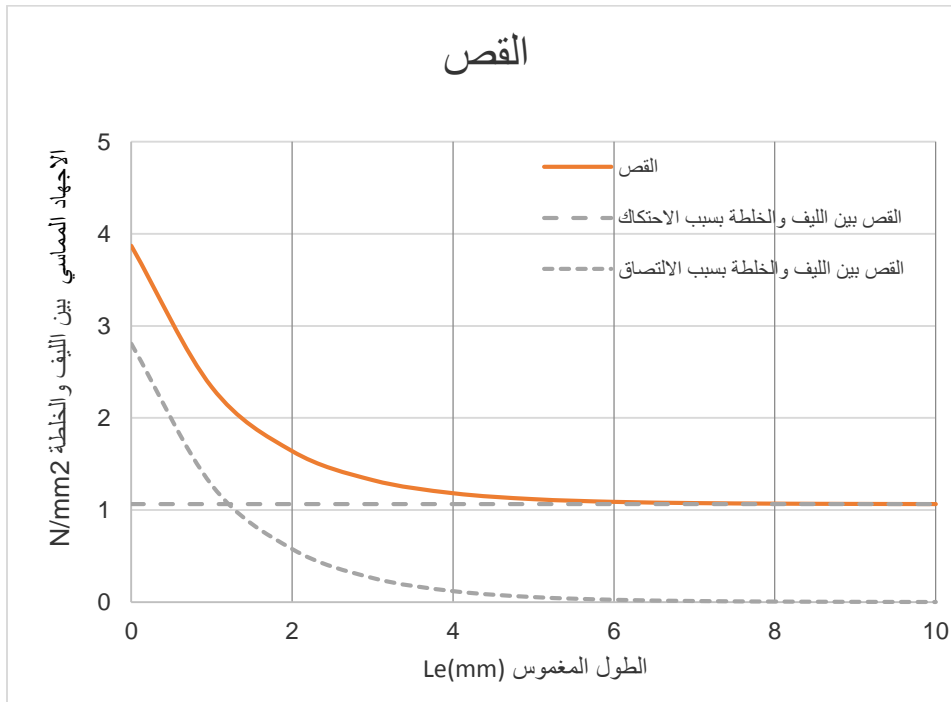
أما الاجهاد المماسي الناتج عن الالتصاق على طول سطح التماس بين الليف والخلطة فيحسب وفقا للنموذج الذي وضعه Cox 1952 لانتقال الاجهادات في المرحلة المرنة (المعادلة 4-13 من الفصل الرابع).

$$\tau(x) = \frac{\beta E_f}{2 E_m} \sigma_m \left[\frac{\sinh \beta \left(\frac{l}{2} - x \right)}{\sinh \frac{\beta l}{2}} \right] \quad (4-13)$$

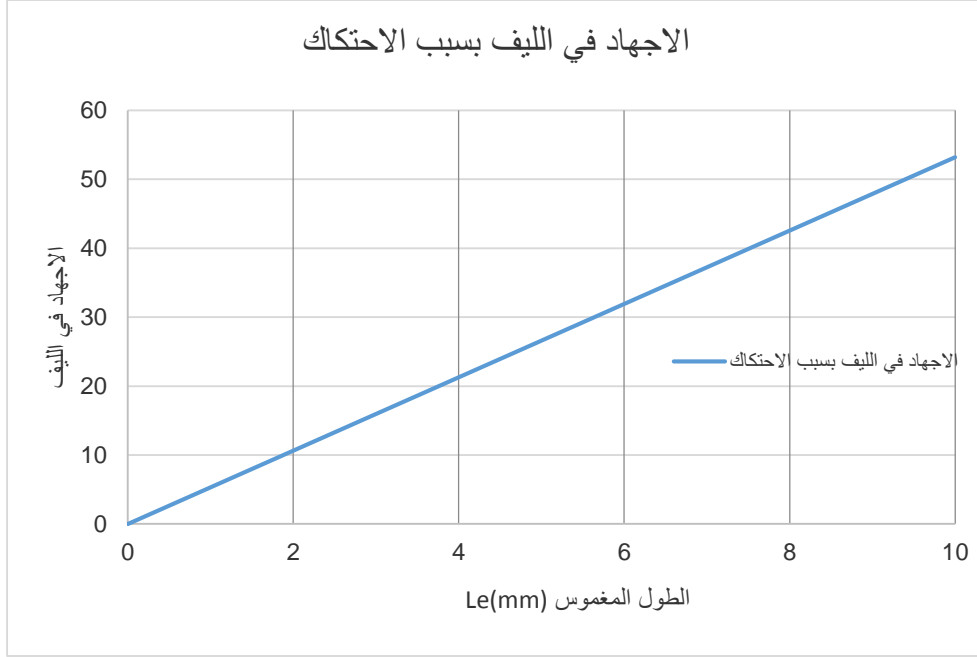
ويحسب الاجهاد المماسي الناتج عن الاحتكاك على طول سطح التماس بين الليف والخلطة بفرض أنه منتظم على كامل طول المغموس من العلاقة (8-10). انطلاقا من نتائج الاختبارات الواردة في الفقرتين (8-3، 8-4) تم في الشكلين (8-14، 8-15) تمثيل بياني لمخططات اجهاد الشد في الليف والاجهاد المماسي بين الليف والخلطة حسب مراحل عمل الليف.



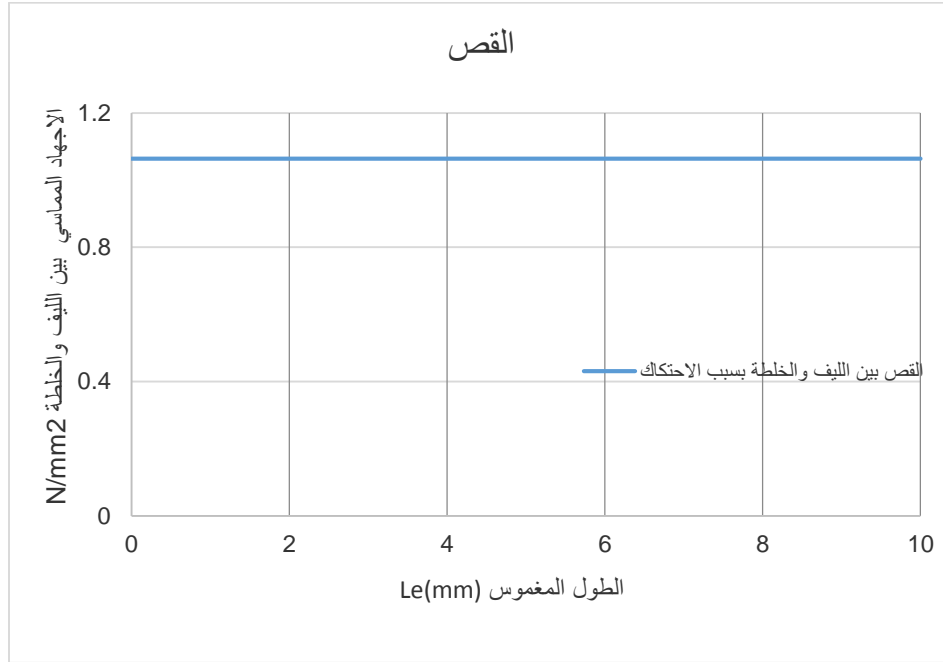
الشكل 8-14-أ: الاجهاد في الليف في نهاية المرحلة الأولى وبداية الثانية



الشكل 8-14-ب: الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة في نهاية المرحلة الأولى وبداية الثانية



الشكل 8-15-أ: الاجهاد في الليف في نهاية المرحلة الثانية وبداية الثالثة



الشكل 8-15-ب: الاجهاد المماسي بين الليف والخلطة في نهاية المرحلة الثانية وبداية الثالثة

7-8 النموذج الرياضي للإجهادات في الليف

1-7-8 الفرضيات

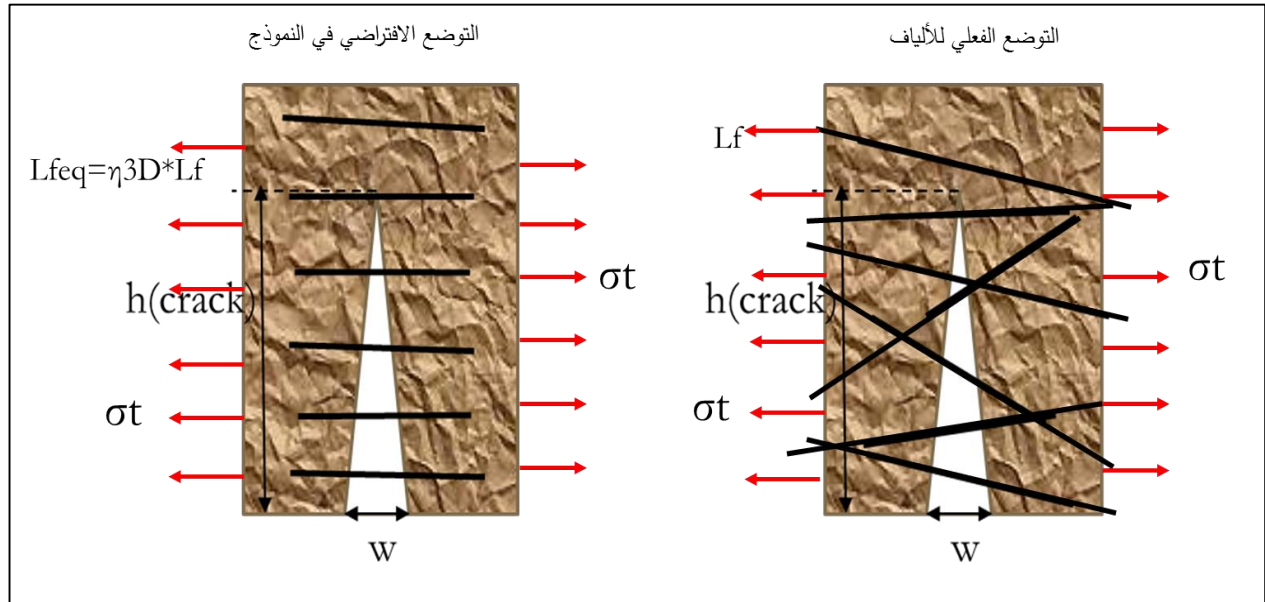
ان الفرضيات الواردة في نموذج الشق المكافئ (الوهمي) تعتمد في هذا النموذج بالإضافة اليها نفرض ما يلي:

- الألياف تتوضع بشكل يوازي اجهادات الشد وعلى مسافات منتظمة تتعلق بكثافة الألياف في الخلطة كما هو موضح في الشكل (8-16) بينما في الحالة الفعلية يكون توزع الألياف عشوائيا.
- الطول المكافئ لليف في النموذج يتعلق بمعامل توجيه الليف ويعطى بالمعادلة (8-15).

$$l_{feq} = \eta_{3\phi} \cdot l_f \quad (8-15a)$$

$$l_{feq} = \frac{1}{2} \cdot l_f \quad (8-15b)$$

أي تم تحويل الألياف الموزعة عشوائيا بطول 40 مم الى ألياف موزعة بانتظام موازية لاجهادات الشد وبطول مكافئ 20مم.



الشكل 8-16 : أ-التوضع الفعلي للألياف ب- التوضع الافتراضي في النموذج

2-7-8 استنتاج معادلة المنحني الرياضي

كما سبق وتم توضيح آلية عمل الألياف للتجسير بين وجهي الشق في الفصل الرابع فان المنحني الرياضي الذي يصف سلوك الليف في مراحل فعاليته معبرا عنها بعلاقة الاجهاد الاعتباري النسبي في الليف كتابع لعرض الشق يأخذ الصيغة العامة التالية

$$\sigma_{fnorm} = f(w) \quad (8-16)$$

حيث $\sigma_{fnorm} = \frac{\sigma_f}{\sigma_{fmax}}$ الاجهاد الاعتباري النسبي، w عرض الشق.

لايجاد معادلة المنحني الرياضي نحدد عددا من **النقاط المفتاحية** التي تتوافق مع مراحل عمل الليف: (الشكل 8-17)

- النقطة الأولى وتمثل بداية المرحلة الأولى: يكون الاجهاد في الليف مساويا للصفر ويكون عرض الشق مساويا للصفر ايضا.

$$w_1 = 0 \rightarrow \sigma_{fnorm1} = 0 \quad (8-17)$$

- النقطة الثانية وتمثل بداية المرحلة الثانية: أكبر قيمة للاجهاد في الليف σ_{fmax} تكون عندما يكون كامل طول التماسك يعمل على الالتصاق والاحتكاك.

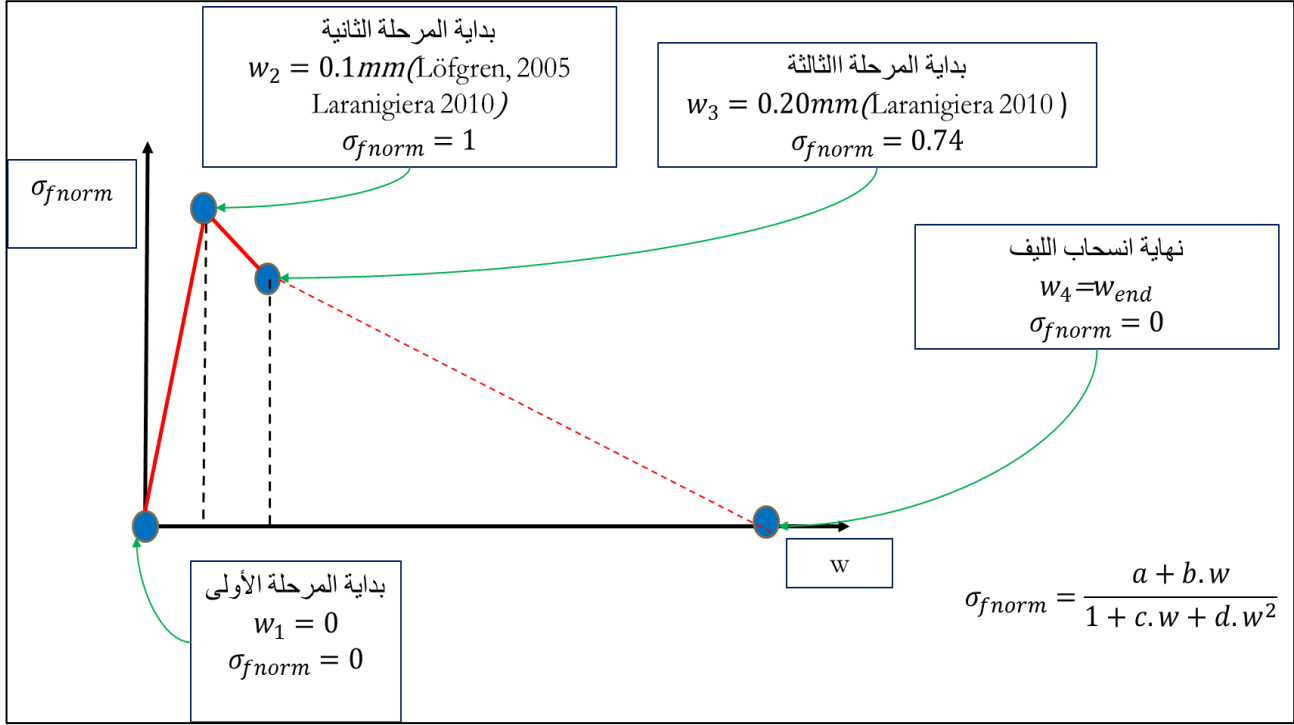
$$w = w_2 \rightarrow \sigma_{fnorm2} = 1 \quad (8-18)$$

- النقطة الثالثة وتمثل بداية المرحلة الثالثة: يبدأ الليف بالانسحاب بعد تلاشي الالتصاق.

$$w = w_3 \rightarrow \sigma_{fnorm3} = \frac{\sigma_{friction}}{\sigma_{fmax}} \quad (8-19)$$

- النقطة الرابعة وتمثل نهاية المرحلة الثالثة.

في الحالة العملية عند استخدام ألياف فولاذية وكما بينت نتائج الاختبار للجوائز فان عرض الشق النهائي عند انهيار الجوائز يتراوح بين 3 الى 5 مم وهو اقل من الطول المغموس ($L_e=10mm$) وبناء عليه فان الألياف ستبقى تعمل على تجسير طرفي الشق وبالتالي ستتعرض الى اجهادات باقية.



الشكل 8-17: النقاط المفتاحية المتوافقة مع مراحل عمل الليف

3-7-8 استنباط بارامترات النقاط المفتاحية

نجد في البحوث التي تمت على الشد المباشر للخرسانة بالألياف الفولاذية أن الليف يبدأ بفقدان الالتصاق عند أجل عرض شق 0.1 مم (Löfgren, 2005) ووفق Laranigiera 2010 يتراوح من 0.005 كقيمة أصغرية الى 0.2 مم كقيمة عظمى.

استخدم Laranigiera 2010 في بحثه ألياف فولاذية ملساء مستقيمة بطول 45 مم وقطر 0.75 مم على الشد المباشر للخرسانة بالألياف الفولاذية وتوصل الى أن الليف يبدأ بالسحب عند عرض شق لا يزيد عن $5w_2$ واستخدم في دراسته عرض شق 0.2 مم.

ان الوصل بين النقاط المفتاحية (الجدول 8-4) يعطي مؤشرا على شكل المنحني المطلوب ونجد أن أنسب معادلة للمنحني هي من الشكل Rational Function

$$\sigma_{fnorm} = \frac{a+b.w}{1+c.w+d.w^2} \quad (8-20)$$

الجدول 4-8: بارامترات النقاط المفتاحية في النموذج الرياضي للإجهادات في الليف

مراحل فاعلية الليف	المرحلة 1	المرحلة 2	المرحلة 3	
	w1	w2	w3	w4
w	0	0.1	0.2	10
of	0	71	52	0
of(norm)	0	1	0.74	0

4-7-8 إيجاد ثوابت معادلة نموذج الاجهاد في الليف تحليلا

يتم الحصول على الثوابت الواردة في المعادلة العامة للنموذج (المعادلة 8-20) من الشروط البدائية التي تم تحديدها للنقاط المفتاحية حيث يوجد أربعة مجاهيل هي ثوابت المعادلة وفق التسلسل التالي:

من النقطة المفتاحية الأولى

$$w_1 = 0 \rightarrow \sigma_{fnorm1} = 0 \rightarrow \frac{a + b.w_1}{1 + c.w_1 + d.w_1^2} = 0 \rightarrow a + b.w_1 = 0 \rightarrow$$

$$a = 0 \quad (8-21a)$$

من النقطة المفتاحية الثانية التي تمثل ذروة المنحني حيث المماس يكون أفقيا

$$w = w_2 \rightarrow (\sigma_{fnorm2})' = 0 \rightarrow \frac{b.(1 + cw_2 + d.w_2^2) - b.w_2(c + 2dw_2)}{(1 + c.w_2 + d.w_2^2)^2} = 0$$

$$b.(1 + cw_2 + d.w_2^2) - b.w_2(c + 2dw_2) = 0 \rightarrow$$

$$d = \frac{1}{w_2^2} \quad (8-21b)$$

من النقطة المفتاحية الثانية أيضا

$$w = w_2 \rightarrow f(w) = 1 \rightarrow \frac{b.w_2}{1 + c.w_2 + d.w_2^2} = 1 \rightarrow$$

$$b = \frac{2}{w_2} + c \quad (8-21c)$$

من النقطة المفتاحية الثالثة

$$w = w_3 \rightarrow \sigma_{fnorm3} = \frac{\sigma_{friction}}{\sigma_f}$$

$$c = \frac{\sigma_{fnorm3} + \sigma_{fnorm3} \left(\frac{w_3}{w_2}\right)^2 - 2\frac{w_3}{w_2}}{(1 - \sigma_{fnorm3})w_3} \quad (8-21d)$$

من أجل المعطيات المبينة في الجدول (4-8) تكون ثوابت المعادلة الرياضية للنموذج المقترح مبينة في الجدول (5-8) والمعادلة الرياضية (8-22).

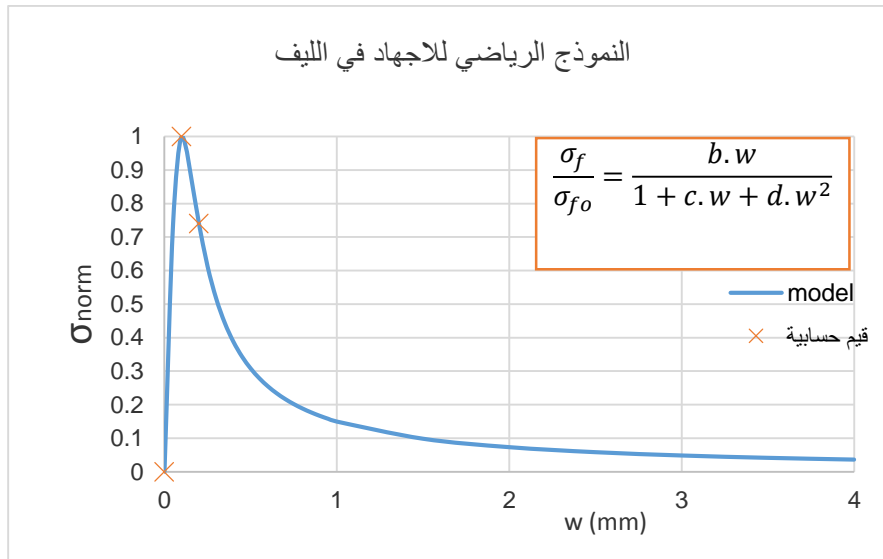
الجدول 5-8: ثوابت المعادلة الرياضية للنموذج المقترح للاجهاد في الليف

a	b	c	d
0	14.23077	-5.76923	100

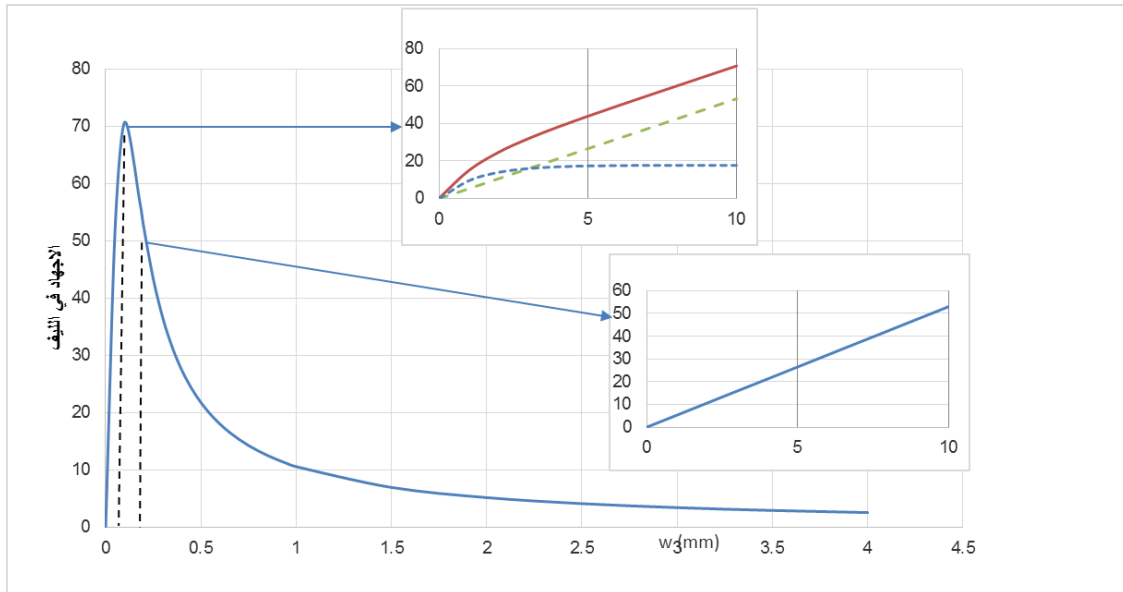
$$\sigma_{fnorm} = \frac{14.23w}{1 - 5.77w + 100w^2} \quad (8-22)$$

5-7-8 التمثيل البياني للنموذج الرياضي

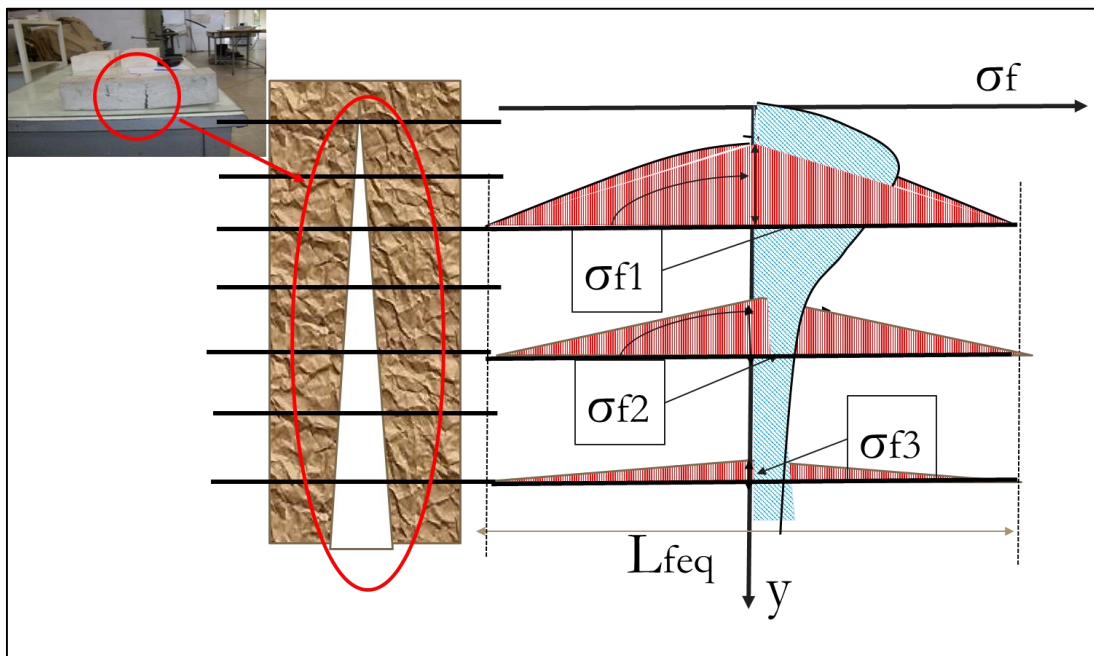
تم في الشكل (8-18) التمثيل البياني للنموذج الرياضي. وفي الشكل (8-19) تم رسم منحنيات الاجهاد في الليف مع مراحل فاعلية الألياف. كما تم في الشكل (8-20) تمثيل الاجهادات في الألياف المتوضعة على مسافات متفاوتة على ارتفاع الشق (الاتجاه الشاقولي) وعلى طول الليف (الاتجاه الأفقي) لكل مرحلة من مراحل فاعلية الألياف.



الشكل 8-18: النموذج المقترح لمخطط الاجهاد في الليف



الشكل 8-19: منحنيات الاجهاد في الليف وفق مراحل فاعلية الألياف

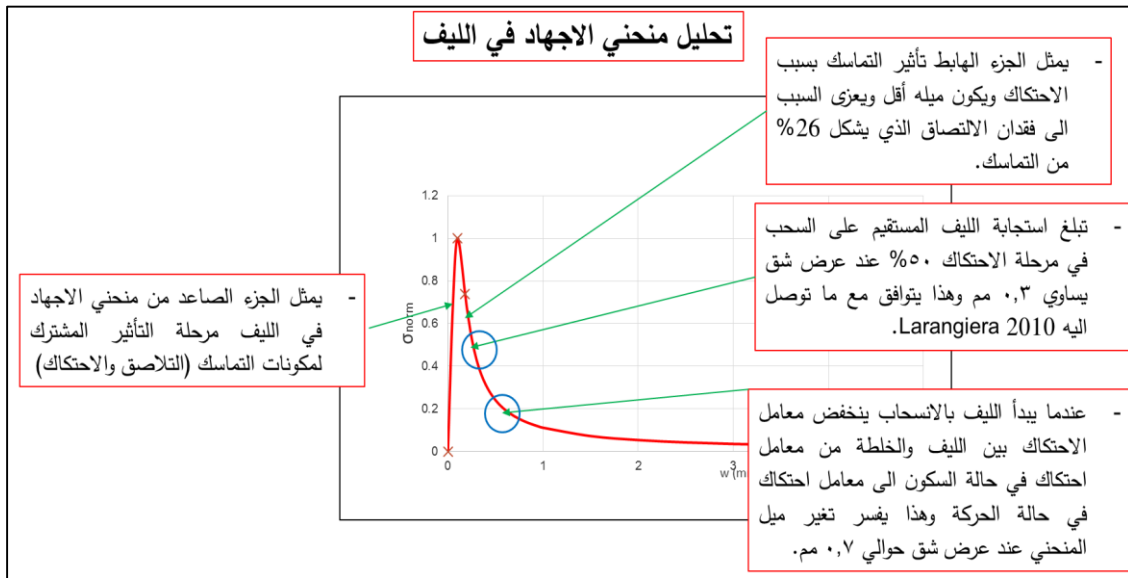


الشكل 8-20: الاجهادات في الليف بالاتجاه الشاقولي على ارتفاع الشق والأفقي على كامل الليف

$$L_{feq} = 2L_e$$

8-8 تحليل منحنى الاجهاد في الليف (الشكل 8-21)

- يمثل الجزء الصاعد من منحنى الاجهاد في الليف مرحلة التأثير المشترك لمكونات التماسك (التلاصق والاحتكاك) أما الجزء الهابط فيمثل تأثير التماسك بسبب الاحتكاك ويكون ميله أقل ويعزى السبب الى فقدان الالتصاق الذي يشكل 26% من التماسك (المعادلة 8-9).
- عندما يبدأ الليف بالانسحاب ينخفض معامل الاحتكاك بين الليف والخلطة من معامل احتكاك في حالة السكون الى معامل احتكاك في حالة الحركة وهذا يفسر تغير ميل المنحنى بعد عرض شق حوالي 0.7 مم.
- ان استجابة الليف المستقيم على السحب في مرحلة الاحتكاك تبلغ 50% عند عرض شق يساوي 0.3 مم وهذا يتوافق مع ما توصل اليه Larangiera 2010.



الشكل 8-21: تحليل منحنى الاجهاد في الليف

8-9 نمذجة سلوك الخرسانة على الشد RTSFRC

تتكون مقاومة الخرسانة بالألياف على الشد $\sigma_t(w)$ بعد حدوث التشقق من مركبتين هما:

- مركبة الخلطة الخرسانية $\sigma_{tmix}(w)$
- مركبة تجسير الألياف $\sigma_f(w)$

$$\sigma_t(w) = \sigma_{tmix}(w) + \sigma_f(w) \quad (8-23)$$

الحد الأول : مساهمة الخلطة $\sigma_{tmix}(w)$

بعد ظهور التشققات في الخرسانة بالألياف تبدأ الاجهادات بالانتقال الى الألياف تدريجيا. نجد في المراجع العديد من الدراسات عن مساهمة الخلطة الخرسانية على الشد حيث تقترح الدراسات نماذج عديدة لتوصيف علاقة الاجهاد مع عرض الشق منها الخطي أو ثنائي خطي. تعتبر العلاقة الأسية معبرة بدقة أكبر عن هذا السلوك ومنها الموضوعة من قبل Gopalaratnam & Shah 1985.

$$\sigma_{tmix}(w) = f_{ctm} \cdot e^{-k \cdot w} \quad (8-24)$$

f_{ctm} مقاومة الشد للخرسانة

$$k=39.8 \text{ mm}^{-1}$$

الحد الثاني: مساهمة الألياف $\sigma_f(w)$

تتأثر مساهمة الألياف على الشد بنسبة الألياف وتوجيه الألياف وطول التماسك. نحصل على الاجهاد في الليف كما بينا في النموذج الرياضي للاجهادات في الليف مع عرض الشق. أما الاجهاد المكافئ له في الخرسانة σ_{eq} فيحسب من المعادلة (8-27).

يحسب عدد الألياف N_f في المقطع العرضي المتشقق A_c انطلاقا من نسبة الألياف في الخلطة V_f كما يلي

$$V_f = \frac{N_f \cdot A_f}{A_c} \Rightarrow N_f = \frac{A_c \cdot V_f}{A_f} \quad (8-25)$$

بإدخال معامل التوجيه η_ϕ نحصل على عدد الألياف في المقطع المتشقق

$$N_f = \frac{A_c \cdot V_f}{A_f} \eta_\phi \quad (8-26)$$

تحسب الاجهادات في الخلطة المكافئة للاجهاد في الليف كما يلي

$$N_f \cdot A_f \cdot \sigma_f = \sigma_{eq} \cdot A_c$$

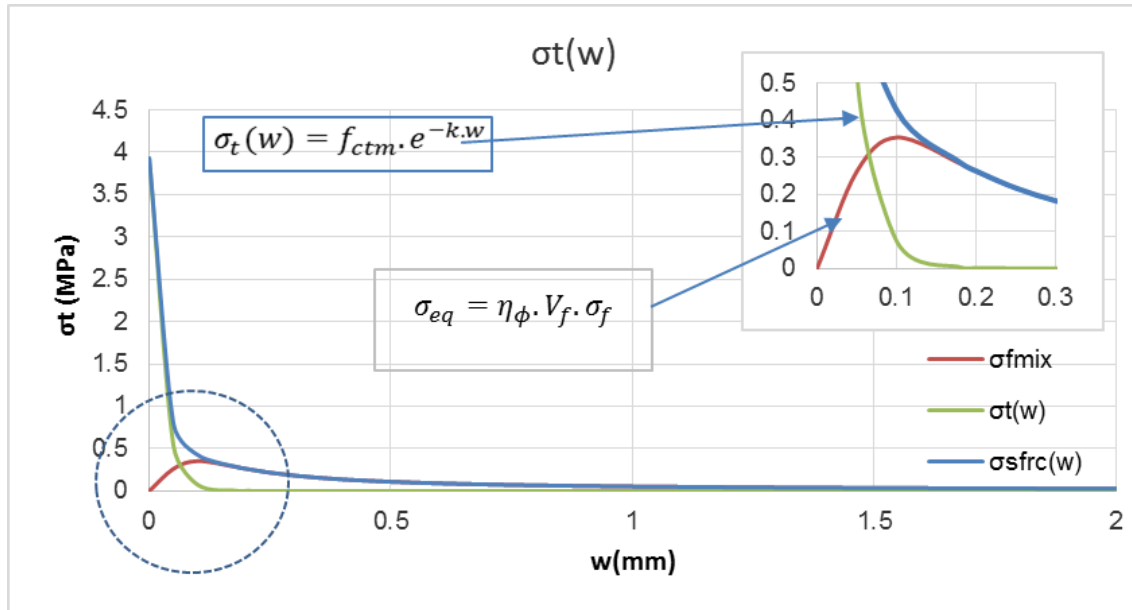
$$\sigma_{eq} = \frac{N_f \cdot A_f \cdot \sigma_f}{A_c} = \frac{A_c \cdot V_f}{A_f} \eta_\phi \cdot A_f \cdot \sigma_f$$

$$\sigma_{eq} = \eta_\phi \cdot V_f \cdot \sigma_f \quad (8-27)$$

σ_{eq} الاجهاد في الخلطة المكافئ للاجهاد في الليف، σ_f الاجهاد في الليف.

بتعويض المعادلتين (24-8 و 27-8) في المعادلة (23-8) نحصل على مقاومة الخرسانة على الشد كتابع لعرض الشق (المعادلة 28-8) والشكل (22-8).

$$\sigma_t(w) = f_{ctm} \cdot e^{-k \cdot w} + \eta_\phi \cdot V_f \cdot \sigma_f \quad (8-28)$$



الشكل 8-22: اجهاد الشد في الخرسانة بالألياف بعد حدوث التشقق

8-10 طاقة الانهيار

تمثل المساحة تحت منحنى $\sigma-w$ في نموذج سلوك الخرسانة على الشد طاقة الانهيار G_f وتعطى رياضياً بالعلاقة (8-29).

$$G_f = \int_0^{w_c} \sigma(w) \cdot dw \quad (8-29)$$

حسبت المساحة عددياً تحت منحنى $\sigma-w$ في الشكل (8-21) وبلغت طاقة الانهيار للخرسانة العادية 130 نيوتن/م وفي الخرسانة المسلحة بالألياف بنسبة 1% تراوحت بين 300 الى 423 حسب عرض الشق (الجدول 8-6).

أما العلاقة الرياضية الأنسب لمنحنى طاقة الانهيار مع عرض الشق فهي المعادلة (8-30) مع معامل الارتباط لها. والتمثيل البياني لها موضح في الشكل (8-23).

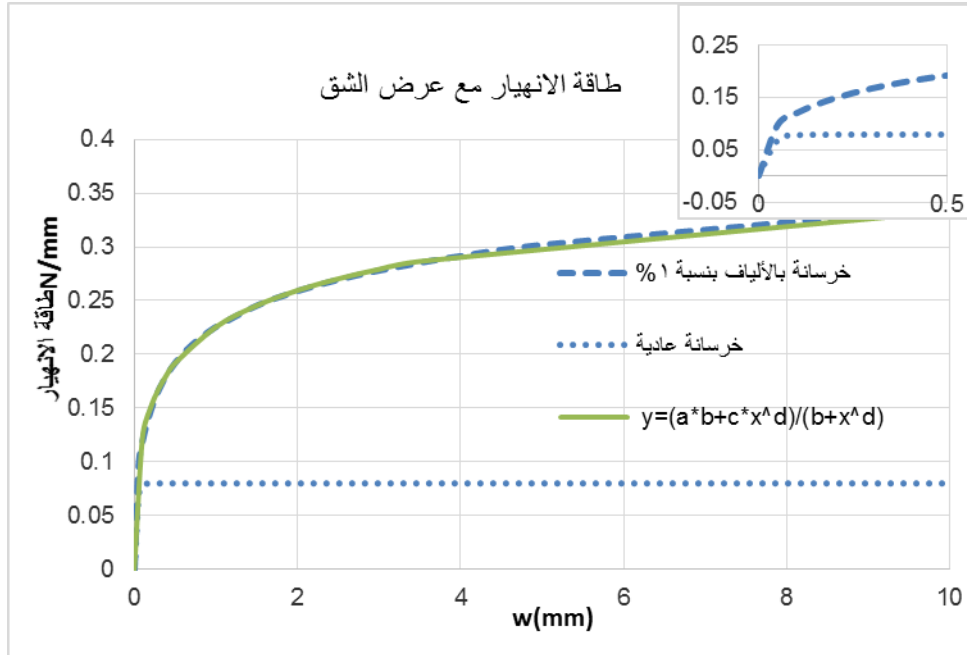
الجدول 8-6: طاقة الانهيار للخرسانة بالألياف على الشد

w(mm)	1	2	3	4	5	10
Gf(N/mm)	0.301	0.338	0.359	0.373	0.385	0.423
Gfo(N/mm)	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130	0.130
Gf/Gfo	2.3	2.6	2.8	2.9	3.0	3.3

$$G_f = \frac{a \cdot w^b}{c + w^b} \quad (8-30)$$

$$R=0.999$$

a	b	c
0.611376	0.354987	1.032802



الشكل 8-23: منحنى طاقة الانهيار مع عرض الشق

تضاعفت طاقة الانهيار للخرسانة بالألياف عدة مرات مقارنة مع الطاقة في الخرسانة العادية حيث بلغت ثلاثة أضعاف عند عرض شق للجوائز يساوي 5 مم، مما يدل على دور الألياف في تحسين سلوك الخرسانة على الشد.

8-11 خاتمة الفصل

ازدادت مقاومة الخرسانة على الشد عند إضافة الألياف الفولاذية المعاد تدويرها في اختيار الفلق البرازيلي 14.5% وفي اختبار الانعطاف للجوائز 9.5%.

لقد بينت النتائج التي يمكن الاستدلال عليها أن هذه الألياف تؤمن تماسكا جيدا مع الخلطة وأن طبقة الكربون المتبقية عليها لم تؤثر بشكل كبير على التماسك. يمكن القول بأن الألياف المستخدمة في هذه الدراسة قد أعطت نتائج جيدة. ومن المحتمل أن وجود طبقة رقيقة متبقية من الفحم قد أدى الى تأثير إيجابي على الالتصاق الكيميائي بين الخلطة والألياف. ولكن هذا يحتاج الى اثبات ويمكن أن يكون موضوع بحث مستقل.

ان النموذج المقترح لسلوك الألياف على الشد يتوافق مع التحليل المقدم لمراحل عمل الليف ومع الدراسات المرجعية لاختبارات سحب الليف.

النتائج والتوصيات

النتائج

- 1- تم إقترح نموذج رياضي لإستقراء سلوك الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة RTSFRC على الضغط، حيث بُني النموذج إنطلاقاً من النتائج التجريبية وسلسلة من المعالجات الرياضية.
- 2- يتوافق النموذج المقترح لإستقراء سلوك الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية المستخرجة من اطارات السيارات المستهلكة RTSFRC على الضغط مع ما قدمته الدراسات والأبحاث من نماذج رياضية، في استقراء سلوك الخرسانة المعززة بالألياف الفولاذية في الجزء الصاعد، ويبرر هذا التوافق بضعف تأثير الألياف على مقاومة الوسط المكافئ نظراً لضعف النسبة الحجمية لهذه الألياف في خلطة الخرسانة من ناحية، ومن ناحية أخرى لضعف تأثيرها على السلوك المرن للخرسانة نظراً لضعف تأثير هذا الألياف على عامل مرونة الوسط المكافئ،.
- 3- كما يتباين النموذج المقترح على الضغط في تقدير سلوك المادة في المرحلة اللدنة بعد ظهور التشقق في الخرسانة، ويفسر التباين الواضح في مرحلة اللدونة بالدور الكبير الذي تلعبه الألياف الفولاذية في هذه المرحلة حيث يضعف دور الخرسانة نتيجة ظهور التشققات ودخول التماسك بين الخرسانة والألياف الفولاذية للعب الدور الأساسي في مطاوعة الوسط المكافئ ومقاومته على الإنهيار اللدن.
- 4- من خلال العلاقة التي تربط بين قرينة المتانة ونسبة الألياف نلاحظ أن قرينة المتانة تتزايد بشكل ملحوظ من أجل نسبة الألياف حجمية حتى 0.5% ويفسر ذلك بتطور في خصائص الخلطة الخرسانية، ثم تنحى نحو تزايد ثابت متناسب مع زيادة نسبة الألياف. إنطلاقاً من العلاقات البيئية للمتانة مع عيار الاسمنت ونسبة الألياف ومعامل النحافة لليف يمكن أن نستقرأ متانة خلطة خرسانية متصلبة معززة بألياف معدنية إبرية.
- 5- سمح تحليل مؤشر المتانة بالوصول الى نتيجة مفادها أن استخدام نسبة ألياف أعلى من 1% لا يؤدي الى زيادة ملحوظة في متانة الخرسانة. لذلك نوصي استخدام نسبة ألياف حجمية لا تزيد عن 1% أي ما يعادل وزنا 80 كغ/م³.

6- لقد بينت النتائج أن هذه الألياف تؤمن تماسكا جيدا مع الخلطة وأن طبقة الكربون المتبقية عليها لم تؤثر بشكل كبير على التماسك. يمكن القول بأن الألياف المستخدمة في هذه الدراسة قد أعطت نتائج جيدة.

7- عند إضافة الألياف الفولاذية المعاد تدويرها ازدادت مقاومة الخرسانة على الشد في العينات المختبرة في اختيار الفلق البرازيلي 14.5% وفي اختبار الانعطاف للجوائز 9.5%.

8- تم اقتراح نموذج لسلوك الألياف ضمن الخرسانة على الشد، يتوافق هذا النموذج مع التحليل المقدم لمراحل عمل الليف ومع الدراسات المرجعية لاختبارات سحب الليف. يمثل الجزء الصاعد من منحنى الاجهاد في الليف مرحلة التأثير المشترك لمكونات التماسك (التلاصق والاحتكاك) أما الجزء الهابط فيمثل تأثير التماسك بسبب الاحتكاك فقط بعد فقدان الالتصاق. عندما يبدأ الليف بالانسحاب ينخفض معامل الاحتكاك بين الليف والخلطة من معامل احتكاك في حالة السكون الى معامل احتكاك في حالة الحركة ويستقر عند قيمة ثابتة تقريبا حتى سحب الليف كاملا وهذا يفسر استقرار ميل المنحنى بعد عرض شق حوالي 0.7 مم.

9- تضاعفت طاقة الانهيار للخرسانة بالألياف عدة مرات مقارنة مع الطاقة في الخرسانة العادية حيث بلغت ثلاثة أضعاف عند عرض شق للجوائز يساوي 5 مم، مما يدل على دور الألياف في تحسين سلوك الخرسانة على الشد.

التوصيات

- 1- ان التوصيات التي تشجع على الابحاث في إعادة تدوير المخلفات الطبيعية والصناعية لأسباب اقتصادية وبيئية يمكن تكرارها في هذا المقام باعتبار أن هذا العمل يندرج تحت هذا العنوان العريض.
- 2- ان موضوع تعزيز الخرسانة بالألياف المعاد تدويرها من إطارات السيارات لم يشبع بحثا وهو حديث بالمقارنة مع استخدام الأنواع الأخرى من الألياف، وان المأمول من هذا العمل هو فتح الباب لأبحاث إضافية تغني الدراسات عن استخدام الألياف المعاد تدويرها. نوصي بمتابعة البحث في ذات الاتجاه باستخدام خلطات خرسانية من مقاسات حصوية مختلفة (12.5 مم أو 25 مم). وألياف بأبعاد مختلفة.
- 3- لقد بينت النتائج عند حساب التماسك بين الليف والخلطة أن طبقة الفحم المتبقية على الألياف لم تؤثر بشكل كبير على التماسك، ومن المحتمل أن هذه الطبقة المتبقية من الفحم قد أدت الى تأثير إيجابي على الالتصاق الكيميائي بين الخلطة والألياف. ولكن هذا يحتاج الى اثبات ويمكن أن يكون موضوع بحث مستقل.

References المراجع

- 1 ACI committee 544, 1993. State - of - the art report in fibre reinforced concrete, Detroit: ACI.
- 2 ACI Committee 544, Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI 544.4R-88.
- 3 ACI Committee 544, State-of-The-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI 544 1.R-96
- 4 ACI Committee 544, State-of-The-Art Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI 5441.R-96 reapproved 2002
- 5 Aiello M. A., Leuzzi F., (2010), “Waste tyre rubberized concrete: Properties at fresh and hardened state”, Waste Management, 30, 1696-1704;
- 6 Alvaro, L.O.J. et al. Stress-strain curves for steel fiber-reinforced concrete in compression. Revista Matéria, v. 15, n. 2, pp. 260–266, 2010
- 7 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
- 8 Barros, J.A.O. & Figueiras, J.A. 1999. Flexural behavior of SFRC: testing and modeling. Journal of Materials in Civil Engineering 11(4): 331-339.
- 9 Bayasi Z and Soroushian P. Optimum Use of Pozzolanic Materials in Steel Fiber Reinforced Concrete. Transportation Research Record. 1989; 1226:25-30.
- 10 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.
- 11 Bentur, A., Wu, S.T, Banthia, N., Baggott, R., Hansen, W., Katz, A., Leung, C.K.Y., Li, V.C., Mobasher, B., Naaman, A.E., Robertson, R., Soroushian, P., Stang, H., and Taerwe, L.R. (1995): Fibre-matrix interfaces. In High Performance Fibre Reinforced Cementitious Composites, eds. Naaman and Reinhardt. Chapman and Hall, London, 1995, pp. 149-191.
- 12 Bhargava P, Sharma UK and Kaushik SK. Compressive Stress-Strain Behavior of Small Scale Steel Fibre Reinforced High Strength Concrete Cylinders. Journal of Advanced Concrete Technology. 2006; 4(1):109-121.
- 13 Biarez, J. & favre, J.L. Statistical estimation and extrapolation from observations. Reports of Organisers, Spec. Session 6. IX ICSMFE, Tokyo, Vol. 3, pp.205-509. 1977.
- 14 California Integrated Waste Management Board, Assessment of Markets for Fiber and Steel Produced From Recycling Waste Tyres, Sacramento, 2003.

- 15 COLOMBO, M. FRC Bending Behaviour: A Damage Model for High Temperatures. PhD thesis, Politecnico di Milano, 2006.
- 16 Cox, H., 1952. The elasticity and strength of paper and other fibrous materials. *British journal of applied physics*, Volume 3, pp. 72-79.
- 17 Dozio, D., 2008. SFRC Structures: Identification of the Uniaxial Tension Characteristic Constitutive Law, Millan: Politecnico Di Milano.
- 18 [End of life recycling-the concrete centre, <http://www.sustainableconcrete.org.uk/main.>](http://www.sustainableconcrete.org.uk/main.)
- 19 Endginton, J., 1974. Steel fibre reinforced concrete, s.l.: Current paper CP 69/74 Building research establishment Garston Watford.
- 20 [ETRA, 2006. Tyre Technology International - Trends in Tyre Recycling. http://www.etra-eu.org](http://www.etra-eu.org)
- 21 Ezeldine, A. S. and Balaguru, P. N. (1992) "Normal and high strength fiber reinforced concrete under compression," *Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE)*, V. 4(4), pp. 415–429.
- 22 Gopalaratnam VS, Shah, SP (1985) Softening Reponse of Plain Concrete in Direct Tension, *ACI Journal*, 82(3):310-323.
- 23 Grünewald, S., 2004. Performance-Based Design of Self-Compacting Fibre Reinforced Concrete, Delft: PhD thesis, Technische Universiteit Delft.
- 24 Hannant D.J., *Fibre Cements and Fibre Concrete*, Wiley, Chichester, 1987
- 25 correlations for granular HICHER P.Y. and RAHMA A. (1994) : Micro – macro *European Journal of Mechanics/A: .media ; Application to the modeling of sands .Solids* 13, n6 7637811994
- 26 Hsu LS and Hsu C-TT. Stress-Strain Behavior of Steel-Fiber High-Strength Concrete Under Compression. *ACI Materials Journal*. 1994; 91(4):448-457.
- 27 Japan Society of Civil Engineers (1994) Recommendation for design and construction of steel fibre reinforced concrete, *Concrete Library of JSCE VI*
- 28 Johnson, C., 1996. Flexural fatigue behaviour of SFRC, influence of fibre content, fibre type and aspect ratio. *ACI Materials Journal*, pp. 155-179.
- 29 Khaled Marara; Özgür Erenb; İbrahim Yitmena. Compression specific toughness of normal strength steel fiber reinforced concrete (NSSFRC) and high strength steel fiber reinforced concrete (HSSFRC).2011; <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-14392011005000042>
- 30 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
- 31 Kooiman, 2000. *Modelling Steel Fibre Reinforced Concrete for Structural Design*, Delft: Technische Universiteit Delft.
- 32 Laranjeira, F., 2010. Design orientated constitutive model for steel fibre reinforced concrete. *Universitat Politècnica de Catalunya*.
- 33 Li, V.C. and Stang, H. (2001): Meso: Averaging, In *Mechanics of Fibre Reinforced Cement Based Composites*, International Graduate Research School in Applied Mechanics course material, Lyngby, Denmark 2001.

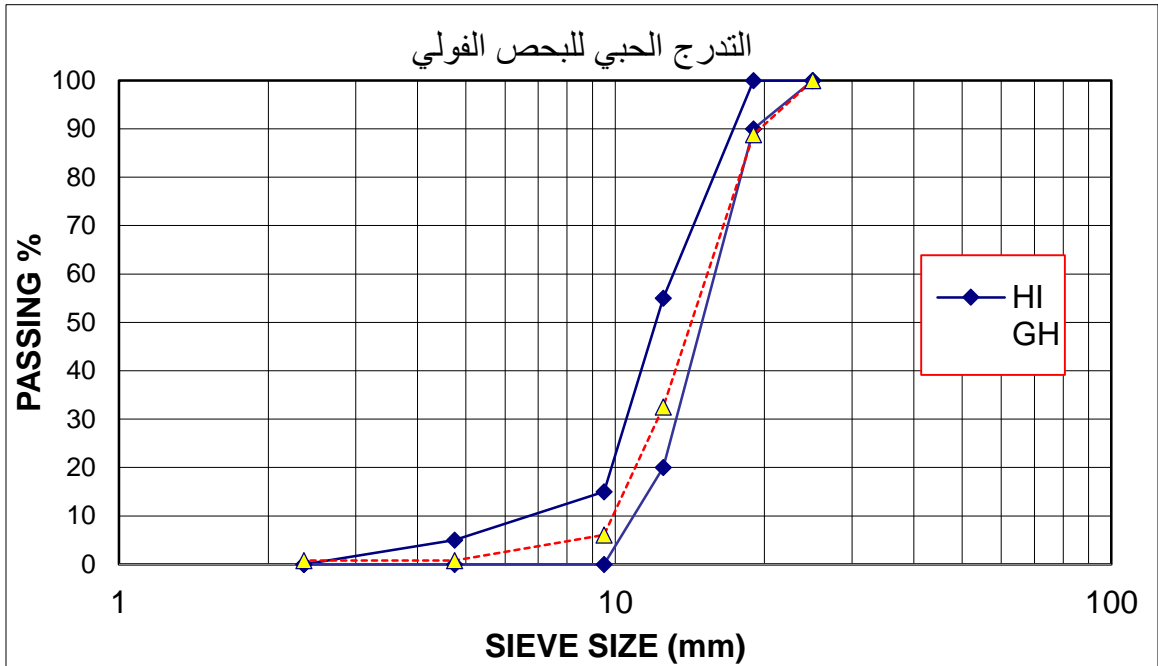
- 34 Löfgren, I., 2005. Fibre-reinforced Concrete for Industrial Construction - a fracture mechanics approach to material testing and structural analysis, Göteborg, Sweden: CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.
- 35 Mansur, M. A., Chin, M. S. and Wee, T. H. (1997) "Stress-strain relationship of confined high strength plain and fiber concrete," *Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE)*, 9(4), pp. 171-178
- 36 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;
- 37 MOHAMMED; BENCHEIKH Properties of concrete reinforced with different kinds of industrial waste fibre materials .*Construction and Building Materials* 23 (2009) 3196-3205
- 38 Naaman, A., 2003. Engineered Steel Fibres with Optimal Properties for Reinforcement of Cement Composites. *Journal of Advance Concrete Technology*, 1(3), pp. 241-252.
- 39 NASIR BEDEWI; steel fiber reinforced concrete made with fibers extracted from used tyres. addis ababa university. Master . 2009
- 40 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;
- 41 Otter DE and Naaman AE. Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete Under Cyclic Loading. *ACI Materials Journal*. 1988; 85(4):254-261.
- 42 Pfyl, T.: *Tragverhalten von Stahlfaserbeton*. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Schweiz, 2003
- 43 Popovics S., A numerical approach to the complete stress-strain curve of concrete, *Cement and Concrete Research*, 3, 583-599, USA, 1973.
- 44 RILEM TG 162-TDF
- 45 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
- 46 Shah S.P, Ouyang C. and Swartz S.E. (1995): *Fracture mechanics of concrete: Applications of fracture mechanics to concrete, rock, and other brittle materials*. John Wiley and Sons, New York.
- 47 Soroushain, P., 1990. Distribution and orientation of fibres in SFRC. *ACI Materials Journal*, pp. 433-439.
- 48 Soroushian, P. & Lee, C.D. 1989. Constitutive modeling of steel fiber reinforced concrete under direct tension and compression. In R.N. Swamy & B. Barr (eds) *Fibre Reinforced Cements*
- 49 Stengel 2013
- 50 Taerwe LR. Influence of Steel Fibers on Strain-Softening of High-Strength Concrete. *ACI Materials Journal*. 1992; 89(1):54-60.
- 51 Tjiptobroto P and Hansen W. Tensile Strain Hardening and Multiple Cracking in High Performance Cement-Based Composites Containing Discontinuous Fibers. *ACI Materials Journal*. 1993; 90(1):16-25.

- 52 TLEMAT, H., PILAKOUTAS, K., NEOCLEOUS, K. (2006) Stress-strain characteristic of SFRC using recycled fibres, *Materials and Structures*, 39 (3), pp. 365-377
- 53 Tlemat, H., Pilakoutas, K., Neocleous, K., (2006a), "Design issues for concrete reinforced with steel fibres recovered from waste tyres", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 18, 677-685;
- 54 Van Mier, J., 2004. Cementitious composites with high tensile strength and ductility through hybrid fibres. 6th RILEM Symposium on fibre reinforced concrete, pp. 219-235.
- 55 Waste Management, <http://www.brookes.ac.uk/eie/tyres.htm>.
- 56 www.mot.gov.sy>
- 57 Zerbino, R., 2012. On the orientation of fibres in structural members fabricated with self compacting concrete. *Cement and Concrete Composites*, Volume 34, pp. 191-200.
- 58 الكود العربي السوري 2004

الملحق 1

مواصفات الحصويات

نتائج التدرج الحبي للبحص الفولي						DATE :	28/06/2012
AGGREGATES SIEVE ANALYSIS							
ASTM C33 / Coarse Agg.							
Weight Of Dry Sample Before Wash :		3115.3	gr.	مصدر المواد : عاتكة (الفياك)			
Weight Of Dry Sample After Wash :		0	gr.				
Sieve Size		Cu.Wt.Retained	Cu.Wt.Retained	Cu.Wt.Passing	Specified Limits		Remarks
Inch	mm.	(g)	(%)	(%)	min.	max.	
1.0"	25	0	0.00	100.00	100	100	
3/4"	19	349.3	11.21	88.79	90	100	
1/2"	12.5	2102.6	67.49	32.51	20	55	
3/8"	9.5	2925.9	93.92	6.08	0	15	
# 4	4.75	3091.1	99.22	0.78	0	5	
#8	2.36	3091.7	99.24	0.76	0	0	
#16	1.18						
#30	0.60						
#50	0.30						
#100	0.15						
#200	0.075						
PAN							



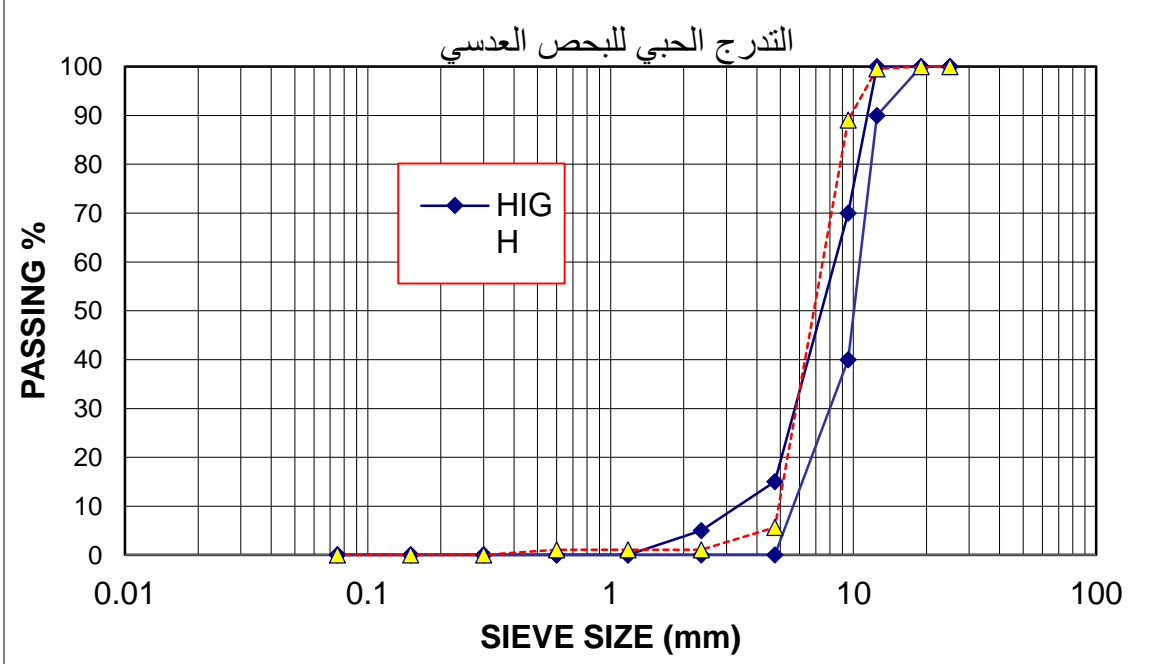
نتائج التدرج الحبي للبحص العدسي

DATE : 28/06/2012

AGGREGATES SIEVE ANALYSIS

ASTM C33 / Med. Agg.

Weight Of Dry Sample Before Wash :	2681.3	gr.		CAN. NO. :		
Weight Of Dry Sample After Wash :		gr.		CAN. NO. :		
Sieve Size	Cu. Wt. Ret.	Cu. Wt. Ret.	Passing	Specified Limits		Remarks
Inch	mm.	(g)	(%)	min.	max.	
1.0"	25	0	0.00	100	100	
3/4"	19	0	0.00	100	100	
1/2"	12.5	12	0.45	99.55	100	
3/8"	9.5	292.7	10.92	89.08	40	70
#4	4.75	2530.2	94.36	5.64	0	15
#8	2.36	2652.2	98.91	1.09	0	5
#16	1.18	2652.3	98.92	1.08	0	0
#30	0.60	2652.5	98.93	1.07	0	0
#50	0.30			0	0	0
#100	0.15			0	0	0
#200	0.075			0	0	0
PAN						

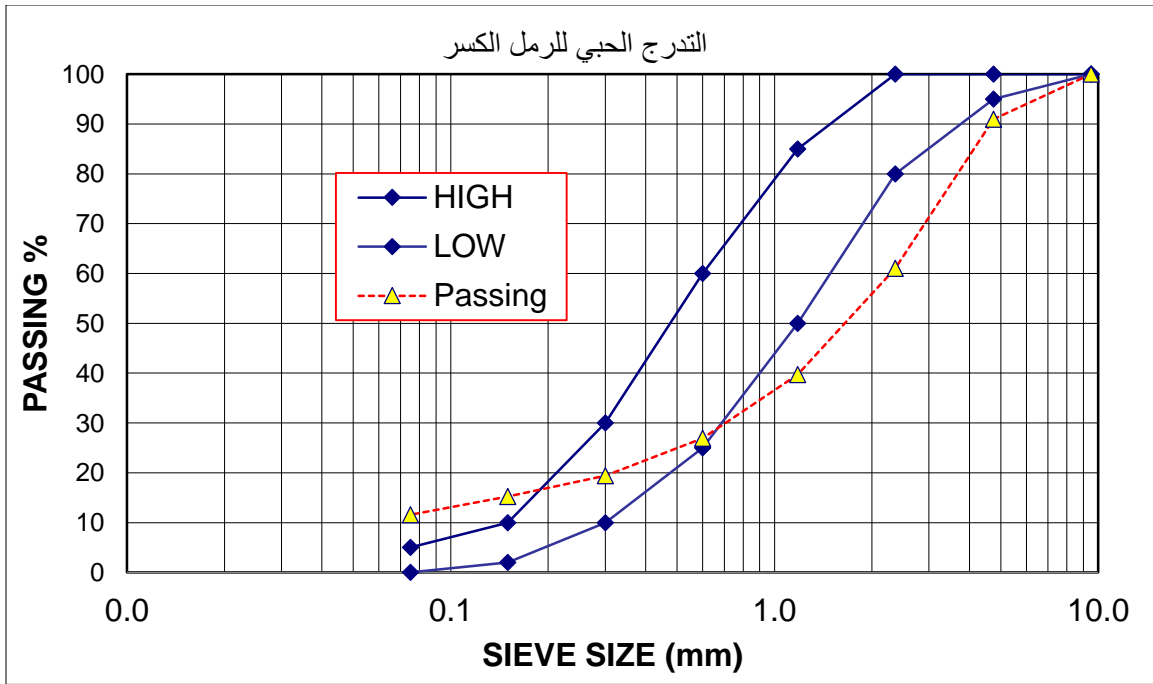


نتائج التدرج الحبي للرمل الكسر

DATE : 28/06/2012

AGGREGATES SIEVE ANALYSIS

Weight Of Dry Sample Before Wash :		1578.1	gr.	CAN. NO. :		
Weight Of Dry Sample After Wash :		1578.1	gr.	CAN. NO. :		
Sieve Size		Cu.Wt.Retained (g)	Cu.Wt.Retained (%)	Passing (%)	Specified Limits min. max.	Remarks
Inch	mm.					
3/8"	9.5	0	0.00	100.00	100 100	
#4	4.75	142.8	9.05	90.95	95 100	
#8	2.36	615	38.97	61.03	80 100	
#16	1.18	951.5	60.29	39.71	50 85	
#30	0.60	1153.3	73.08	26.92	25 60	
#50	0.30	1271.7	80.58	19.42	10 30	
#100	0.15	1337.6	84.76	15.24	2 10	
#200	0.075	1395.1	88.40	11.60	0 5	
PAN			FM :	3.47		

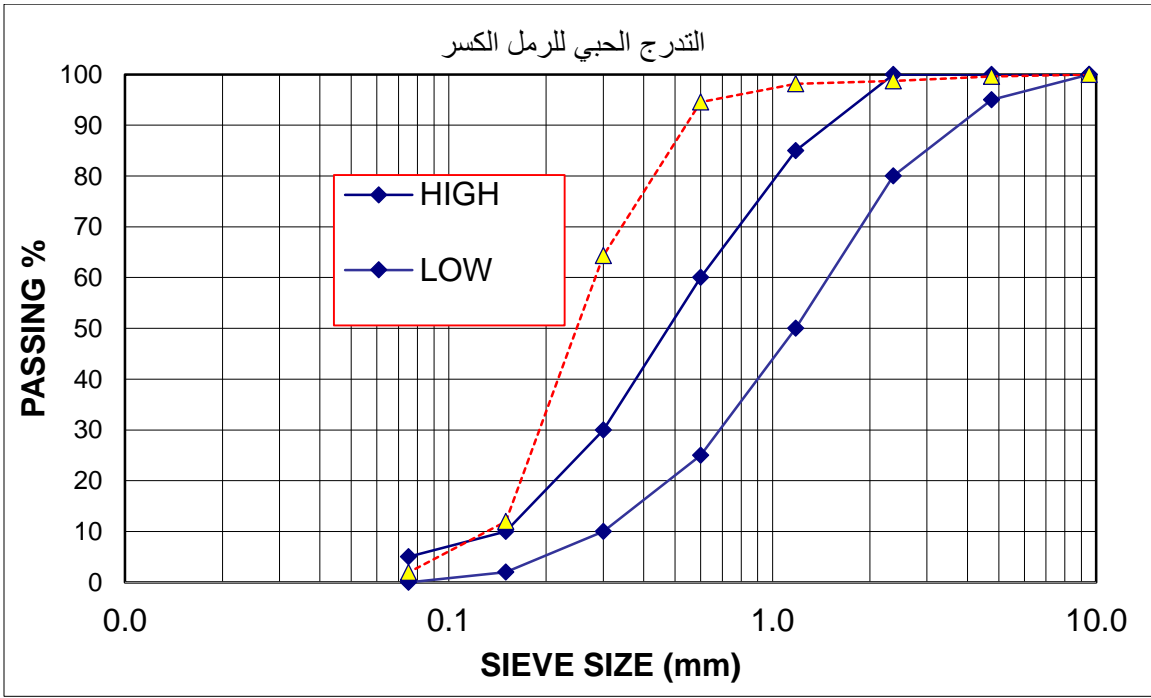


نتائج التدرج الحبي للرمل المازار

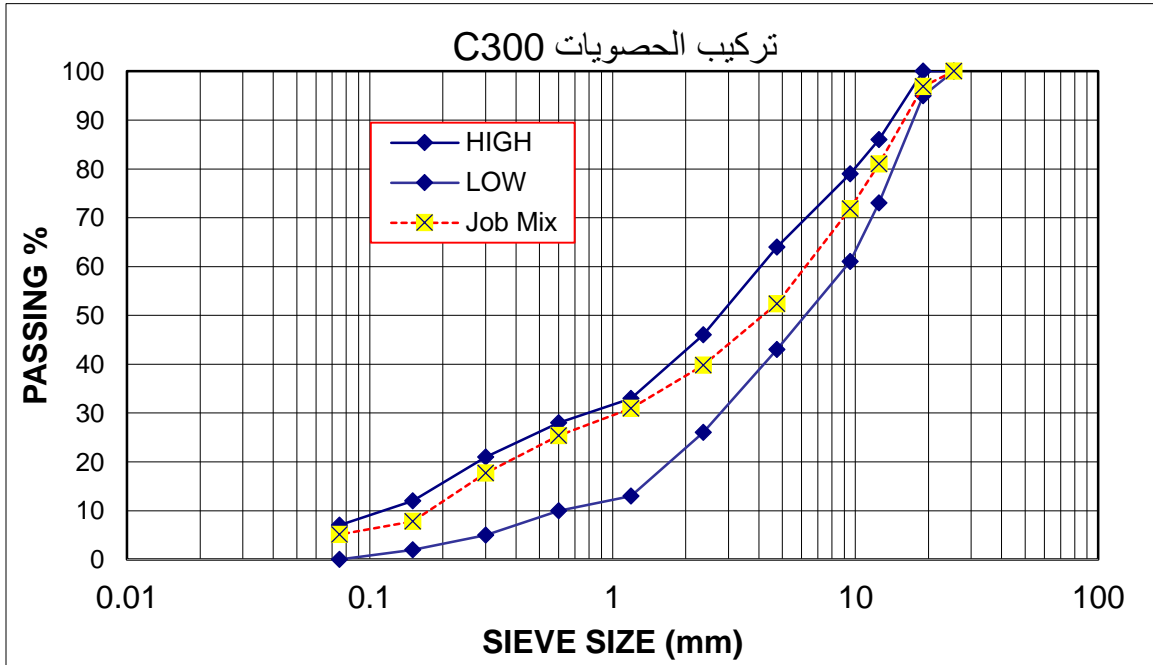
DATE : _____

AGGREGATES SIEVE ANALYSIS

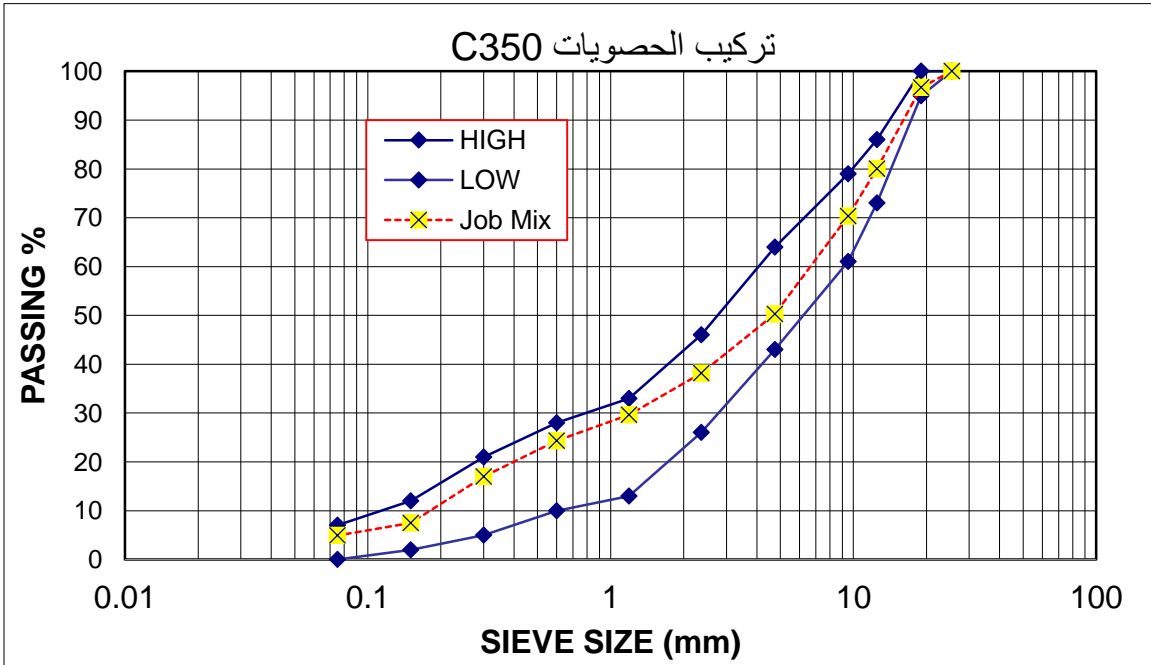
Weight Of Dry Sample Before Wash :		1048.1	gr.	CAN. NO. :		
Weight Of Dry Sample After Wash :			gr.	CAN. NO. :		
Sieve Size		Cu.Wt.Retained	Cu.Wt.Retained	Cu.Wt.Passing	Specified Limits	Remarks
Inch	mm.	(g)	(%)	(%)	min.	max.
3/8"	9.5	0	0.00	100.00	100	100
#4	4.75	4.1	0.39	99.61	95	100
#8	2.36	13.4	1.28	98.72	80	100
#16	1.18	19.1	1.82	98.18	50	85
#30	0.60	56.7	5.41	94.59	25	60
#50	0.30	374.1	35.69	64.31	10	30
#100	0.15	922.8	88.05	11.95	2	10
#200	0.075	1027.8	98.06	1.94	0	5
PAN			FM :	1.33		



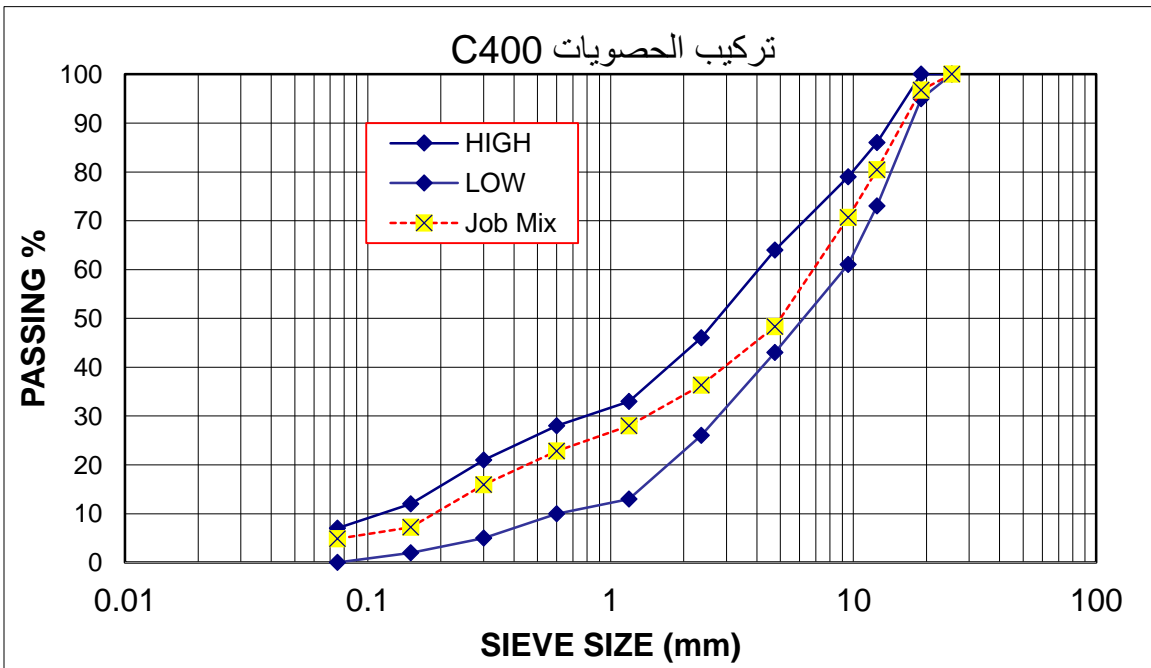
نسب خلط الحصىيات										Sample No. :			
										Date Sampled :			
										Date Reported :			
AGGREGATE COMBINATION C300													
COARSE AGGREGATES PERCENTAGE				48				FINE AGGREGATES PERCENTAGE				52	
Sieve Size	AGGREGATE SIZE										Specification AASHTO Grade7M		mid point
	COARSE Agg.		MED Agg.		C.SAND		N.SAND		Job Mix	LOWER	HIGHER		
	100 %	28.00	100 %	17.21	100 %	39.05	100 %	15.73					
1"	25.4	100.0	28.0	100.0	17.2	100.0	39.1	100.0	15.7	100.0	100	100	100
3/4"	19	88.8	24.9	100.0	17.2	100.0	39.1	100.0	15.7	96.9	95	100	97.5
1/2"	12.5	32.5	9.1	99.6	17.1	100.0	39.1	100.0	15.7	81.0	73	86	79.5
3/8"	9.5	6.1	1.7	89.1	15.3	100.0	39.1	100.0	15.7	71.8	61	79	70
# 4	4.75	0.8	0.2	5.6	1.0	91.0	35.5	99.6	15.7	52.4	43	64	53.5
# 8	2.36	0.8	0.2	1.1	0.2	61.0	23.8	98.7	15.5	39.8	26	46	36
# 16	1.19	0.0	0.0	0.0	0.0	39.7	15.5	98.2	15.4	31.0	13	33	23
# 30	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	26.9	10.5	94.6	14.9	25.4	10	28	19
# 50	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	19.4	7.6	64.3	10.1	17.7	5	21	13
# 100	0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	6.0	12.0	1.9	7.8	2	12	7
# 200	0.075	0.7	0.2	0.6	0.1	11.6	4.5	1.9	0.3	5.1	0	7	3.5
pan													



نسب خلط الحصىات										Sample No. :			
										Date Sampled :			
										Date Reported :			
AGGREGATE COMBINATION C350													
COARSE AGGREGATES PERCENTAGE				47.5				FINE AGGREGATES PERCENTAGE				52.5	
Sieve Size		AGGREGATE SIZE								Specification AASHTO Grade7M		mid point	
		COARSE Agg.		MED Agg.		C.SAND		N.SAND		Job Mix	LOWER		HIGHER
		100 %	29.46	100 %	18.05	100 %	37.40	100 %	15.09				
1"	25.4	100.0	29.5	100.0	18.0	100.0	37.4	100.0	15.1	100.0	100	100	100
3/4"	19	88.8	26.2	100.0	18.0	100.0	37.4	100.0	15.1	96.7	95	100	97.5
1/2"	12.5	32.5	9.6	99.6	18.0	100.0	37.4	100.0	15.1	80.0	73	86	79.5
3/8"	9.5	6.1	1.8	89.1	16.1	100.0	37.4	100.0	15.1	70.4	61	79	70
# 4	4.75	0.8	0.2	5.6	1.0	91.0	34.0	99.6	15.0	50.3	43	64	53.5
# 8	2.36	0.8	0.2	1.1	0.2	61.0	22.8	98.7	14.9	38.1	26	46	36
# 16	1.19	0.0	0.0	0.0	0.0	39.7	14.8	98.2	14.8	29.7	13	33	23
# 30	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	26.9	10.1	94.6	14.3	24.3	10	28	19
# 50	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	19.4	7.3	64.3	9.7	17.0	5	21	13
# 100	0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	5.7	12.0	1.8	7.5	2	12	7
# 200	0.075	0.7	0.2	0.6	0.1	11.6	4.3	1.9	0.3	4.9	0	7	3.5
pan													



نسب خلط الحصىات										Sample No. :			
										Date Sampled :			
										Date Reported :			
AGGREGATE COMBINATION C400													
COARSE AGGREGATES PERCENTAGE				48				FINE AGGREGATES PERCENTAGE				52	
Sieve Size	AGGREGATE SIZE										Specification AASHTO Grade7M		mid point
	COARSE Agg.		MED Agg.		C.SAND		N.SAND		Job Mix	LOWER	HIGHER		
	100 %	28.82	100 %	20.88	100 %	36.55	100 %	13.74					
1"	25.4	100.0	28.8	100.0	20.9	100.0	36.6	100.0	13.7	100.0	100	100	100
3/4"	19	88.8	25.6	100.0	20.9	100.0	36.6	100.0	13.7	96.8	95	100	97.5
1/2"	12.5	32.5	9.4	99.6	20.8	100.0	36.6	100.0	13.7	80.5	73	86	79.5
3/8"	9.5	6.1	1.8	89.1	18.6	100.0	36.6	100.0	13.7	70.6	61	79	70
# 4	4.75	0.8	0.2	5.6	1.2	91.0	33.2	99.6	13.7	48.3	43	64	53.5
# 8	2.36	0.8	0.2	1.1	0.2	61.0	22.3	98.7	13.6	36.3	26	46	36
# 16	1.19	0.0	0.0	0.0	0.0	39.7	14.5	98.2	13.5	28.0	13	33	23
# 30	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	26.9	9.8	94.6	13.0	22.8	10	28	19
# 50	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	19.4	7.1	64.3	8.8	15.9	5	21	13
# 100	0.15	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	5.6	12.0	1.6	7.2	2	12	7
# 200	0.075	0.7	0.2	0.6	0.1	11.6	4.2	1.9	0.3	4.8	0	7	3.5
pan													

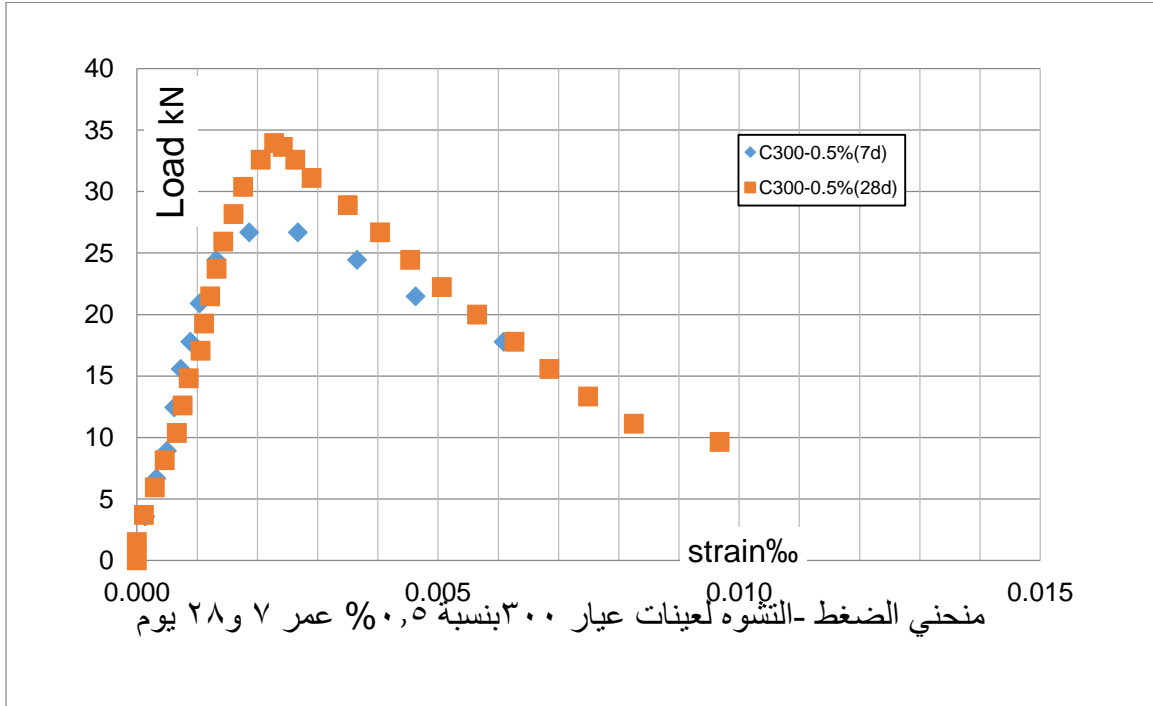
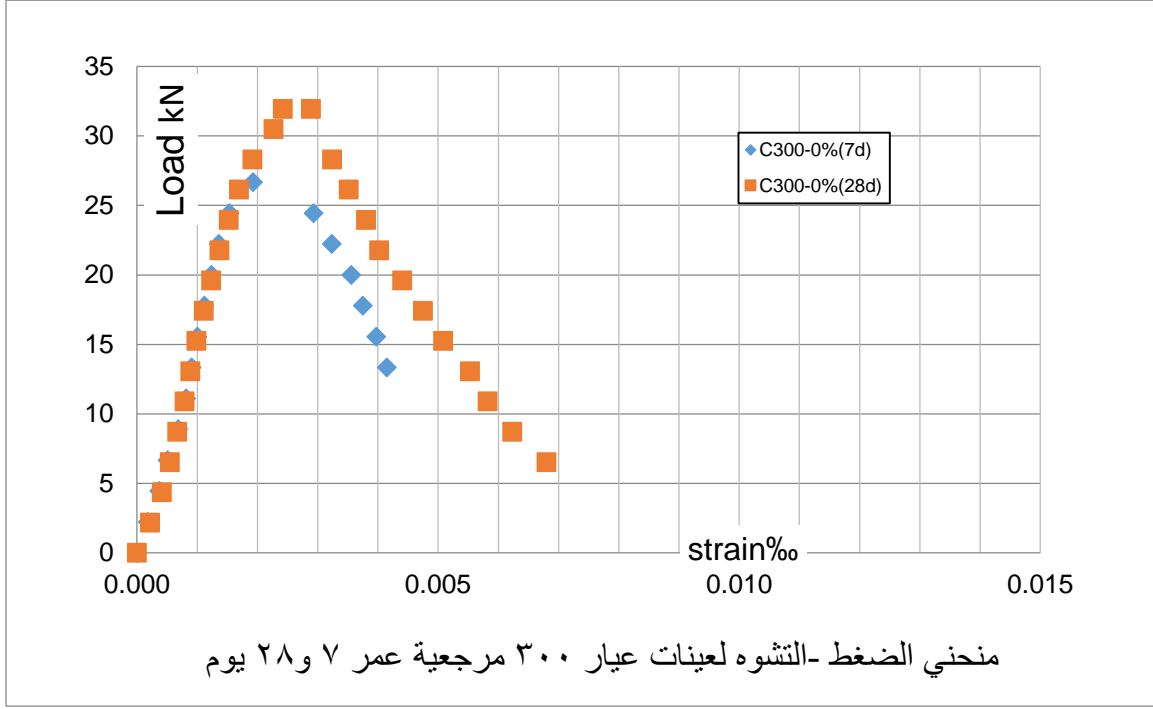


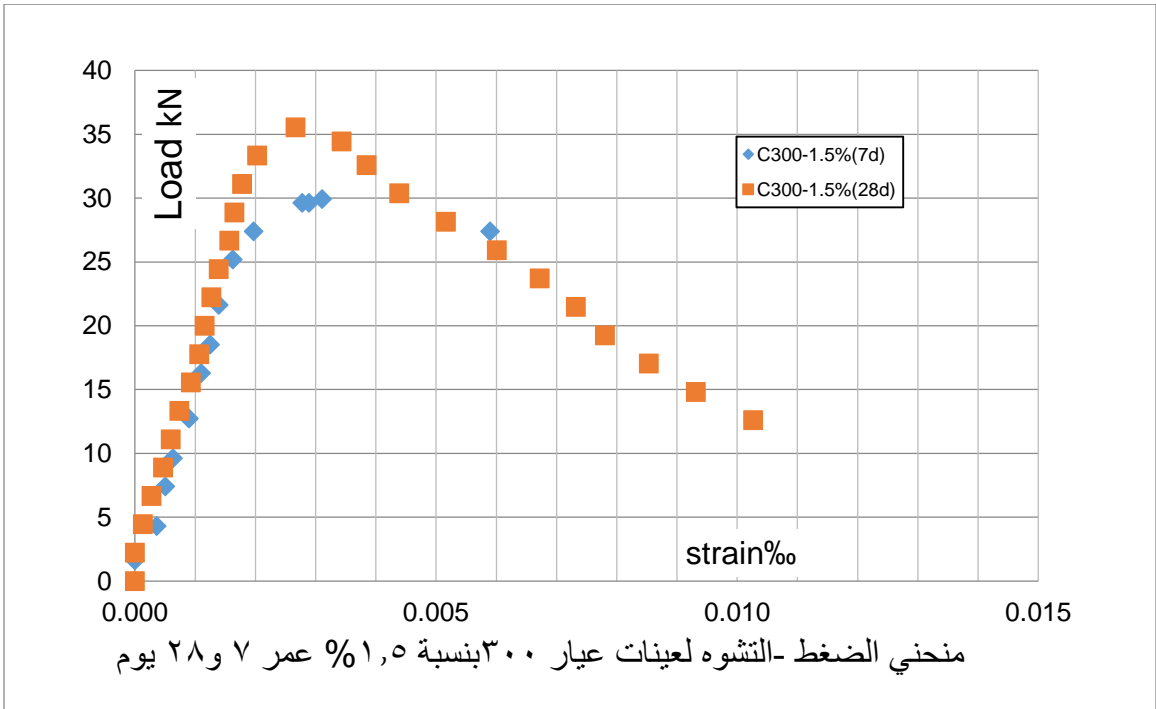
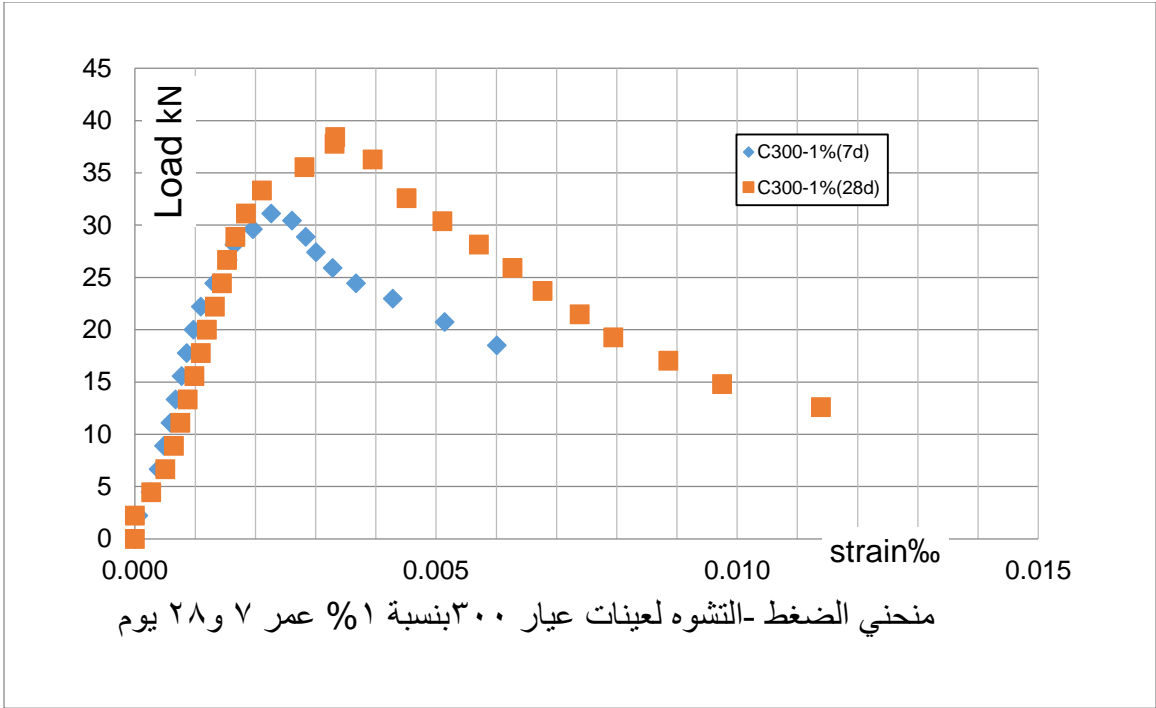
الوزن النوعي ونسبة الامتصاص للحصويات ASTM C-127				Sample No. :	28/06/2012
				Date Sampled :	
				Date Reported :	
Original Source of Material :					
Description Of Material:		C & M Agg.			
Sampled by :		concrete Labor			
<u>SPECIFIC GRAVITY AND WATER ABSORPTION</u>					
ASTM C-127					
	Customer Reference	C/Agg.	M/Agg.	Requirements	
	Sample Reference	A	B		
	Weight (SSD) (g)-B	1678.1	1678.1	***	
	Weight oven dry (g)-A	1668.1	1668.1	At 23±2C ***	
	Weight in water (g)-C	1075.3	1075.3	***	
	Bulk Specific Gravity A/(B-C)	2.77	2.77	To nearest 0.01	
	Bulk Specific Gravity (SSD) B/(B-C)	2.78	2.78	To nearest 0.01	
	Apparent Specific Gravity B/(A-C)	2.81	2.81	To nearest 0.01	
	Absorption % [(B-A)/A] x100	0.6	%	0.6	% To nearest 0.1 %

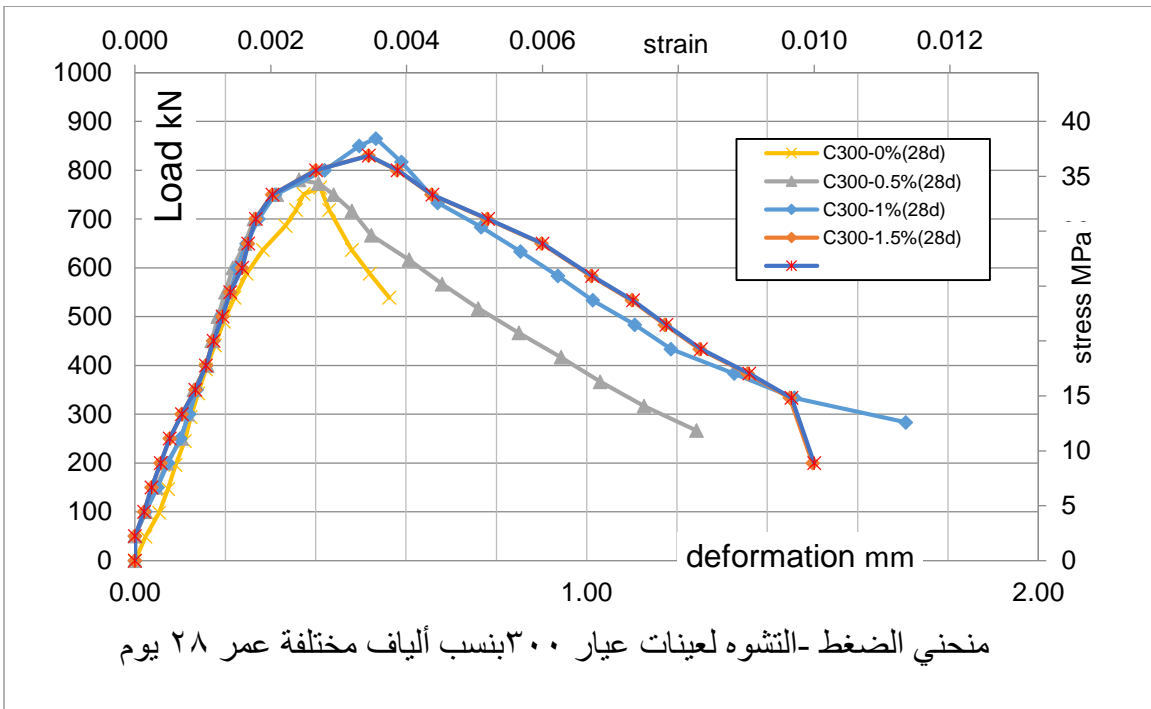
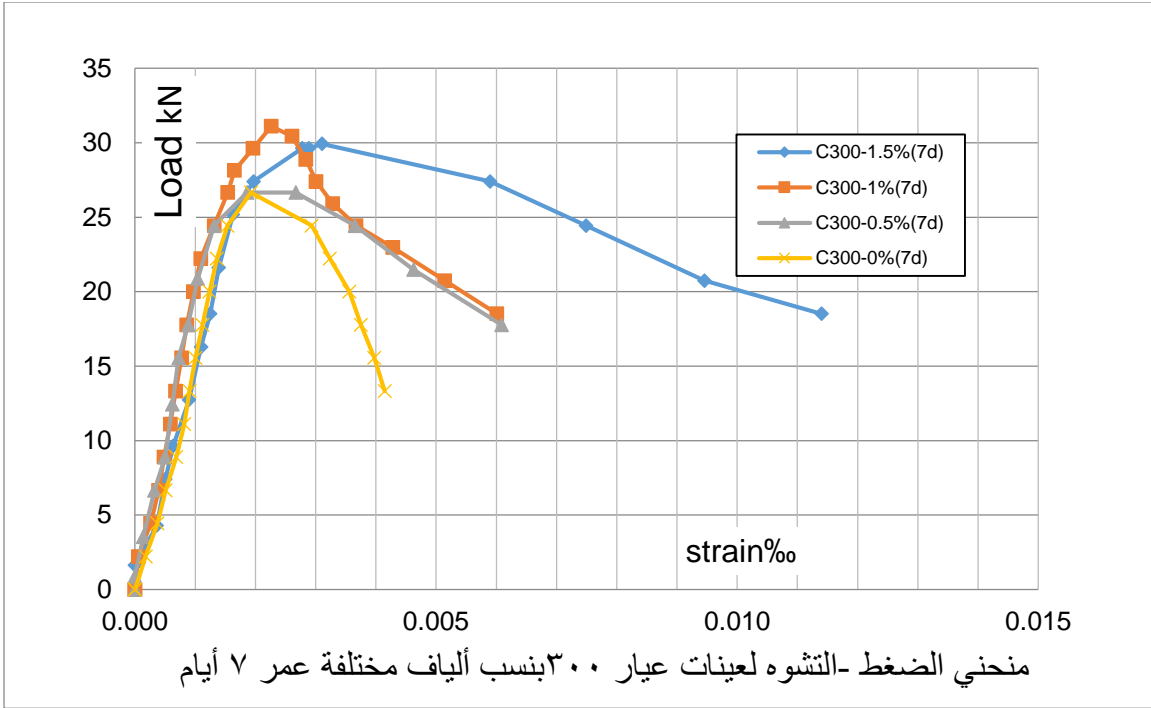
الوزن النوعي ونسبة الامتصاص للرمل				Sample No. :	
				Date Sampled :	
				Date Reported :	
Original Source of Material :					
Description Of Material:		C & N Sand			
Sampled by :					
<u>SPECIFIC GRAVITY AND WATER ABSORPTION</u>					
	Customer Reference	C/Sand	N/Sand	Requirements	
	Sample Reference	A	B		
	Weight (SSD) (g)-S*	500	500	500 ± 10 g report 1g	
	Pycno+Sample+Water (g)-C	970.6	969	To nearest 0.1g	
	Pycno+Water (g)-B	653.8	660	To nearest 0.1g	
	Sample weight (oven dry) (g)-A	489.8	498	To nearest 0.1g	
	Bulk Specific Gravity A/(S-C+B)	2.67	2.61	To nearest 0.01	
	Bulk Specific Gravity (SSD) S/(S-C+B)	2.73	2.62	To nearest 0.01	
	Apparent Specific Gravity A/(B+A-C)	2.83	2.63	To nearest 0.01	
	Absorption % [(S-A)/A] x100	2.1	%	0.4	% To nearest 0.1 %

الملحق 4-أ

منحنيات الضغط - التشوه C300

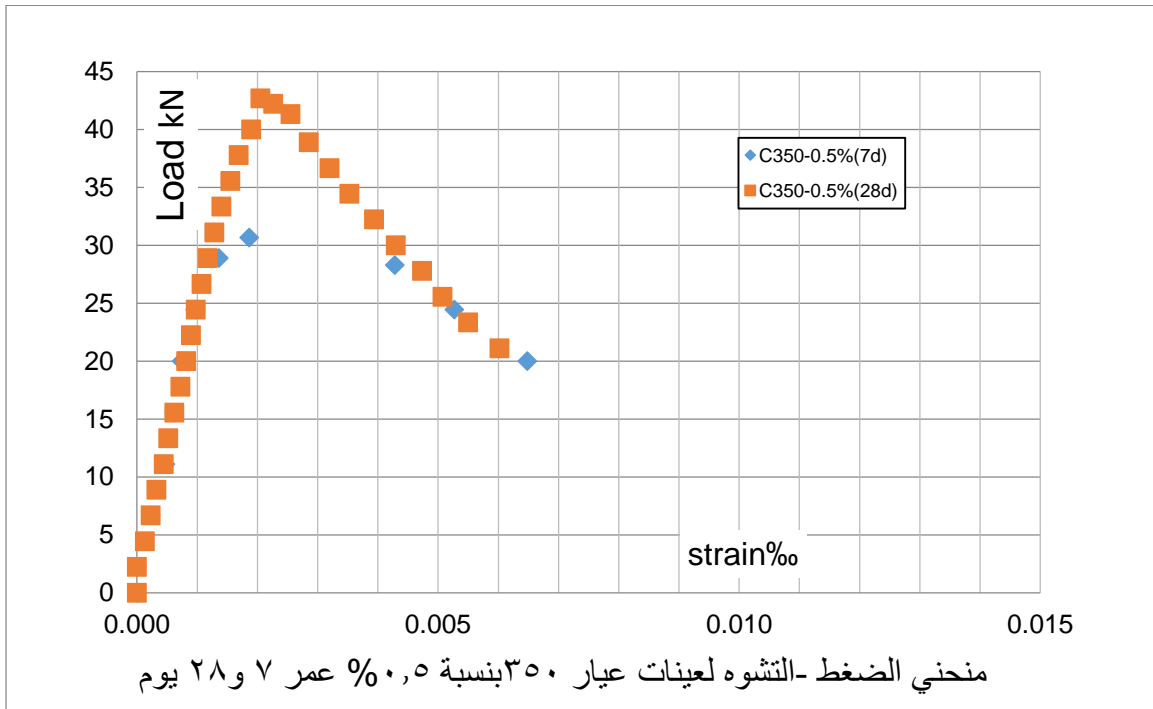
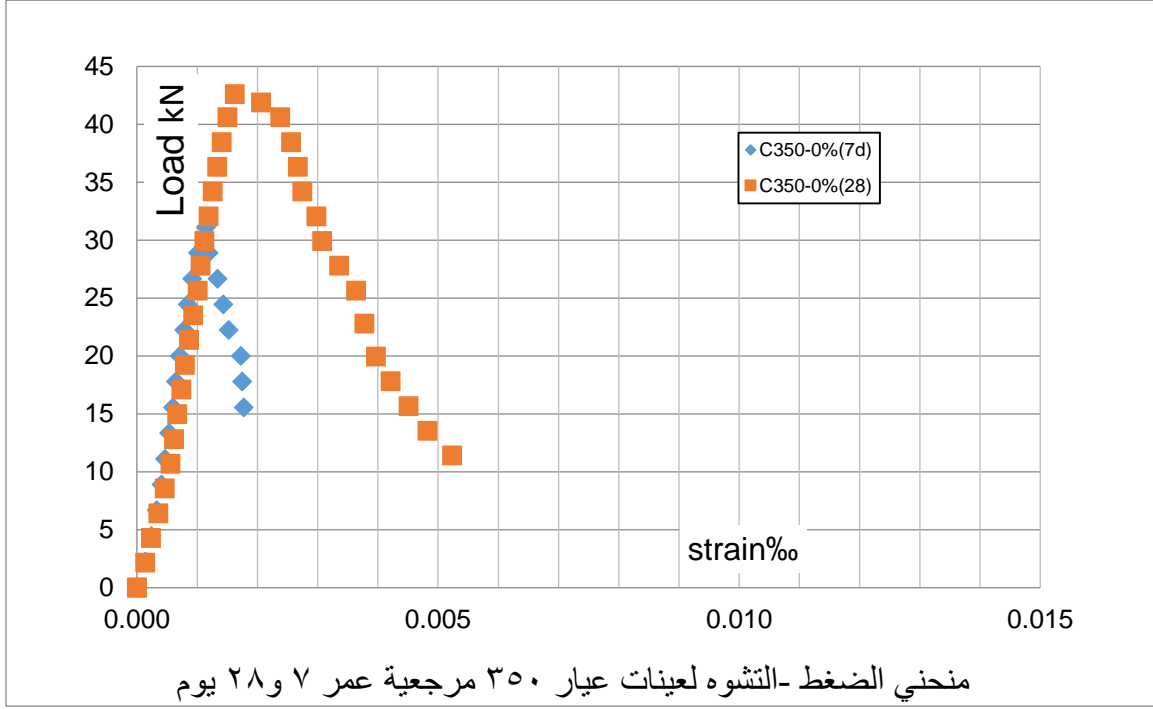


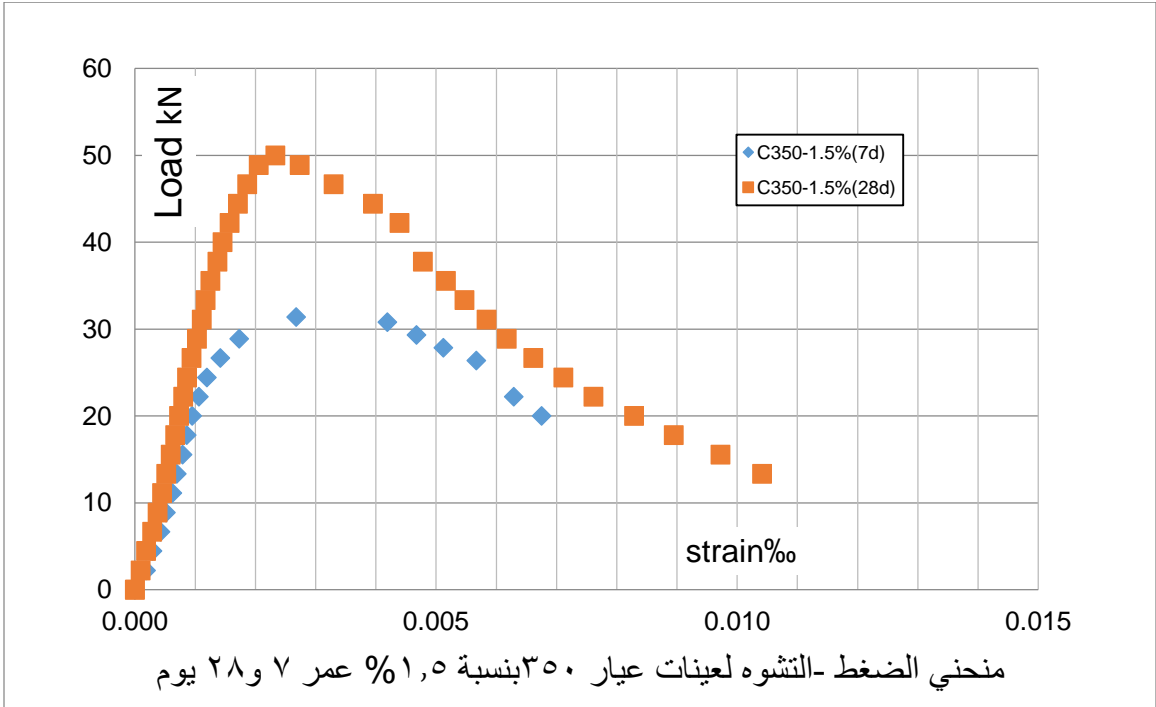
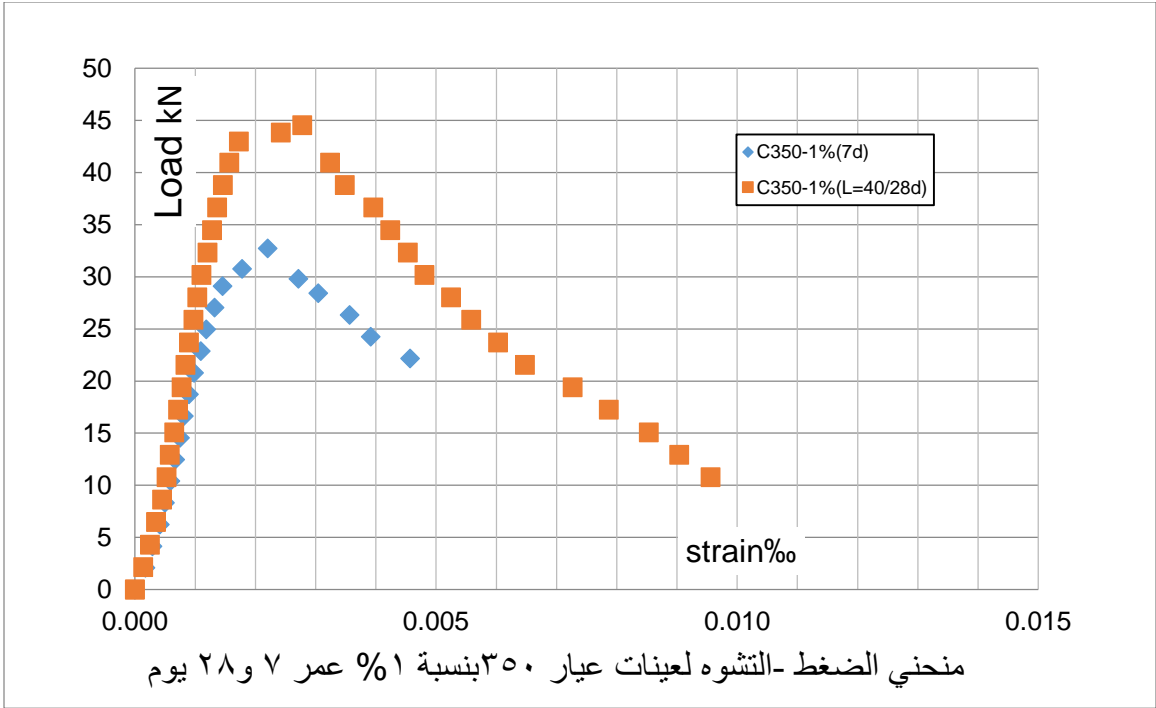


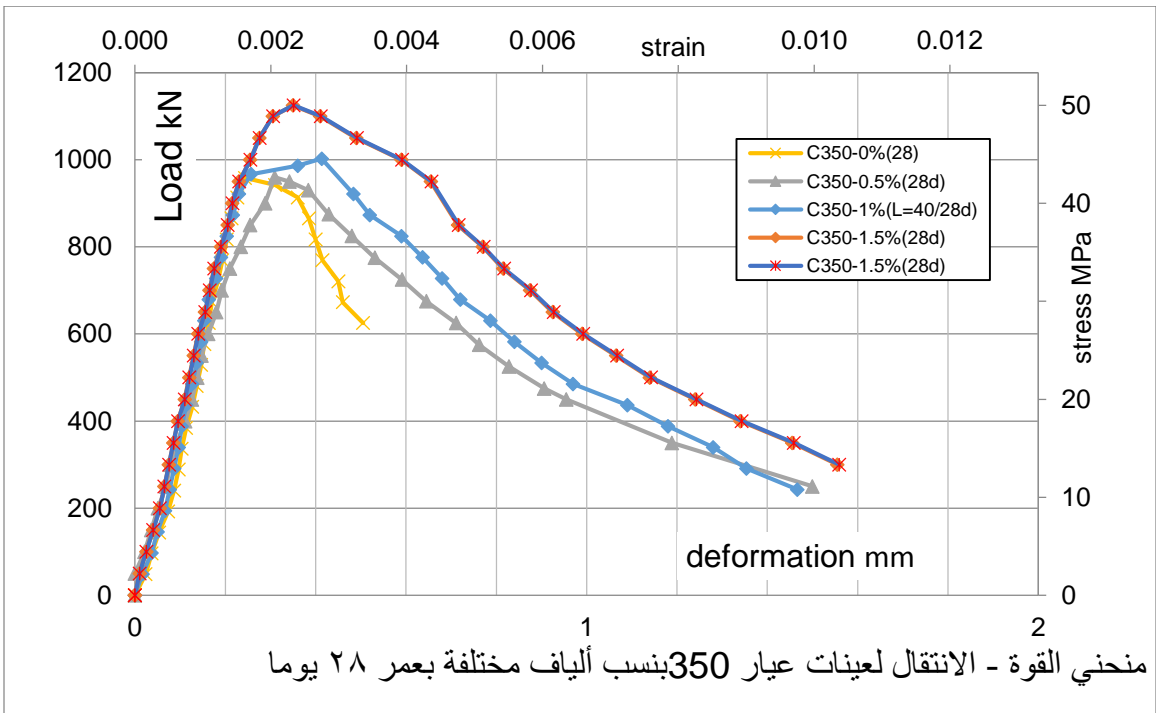
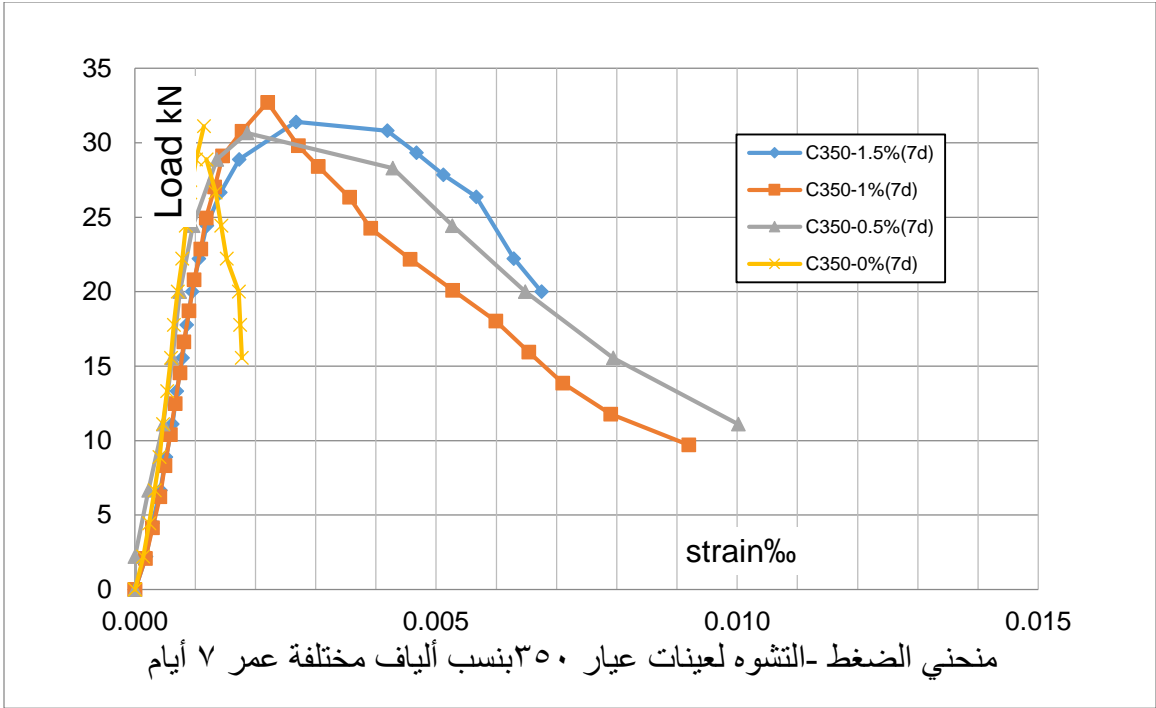


الملحق 4-ب

منحنيات الضغط - التشوه C350

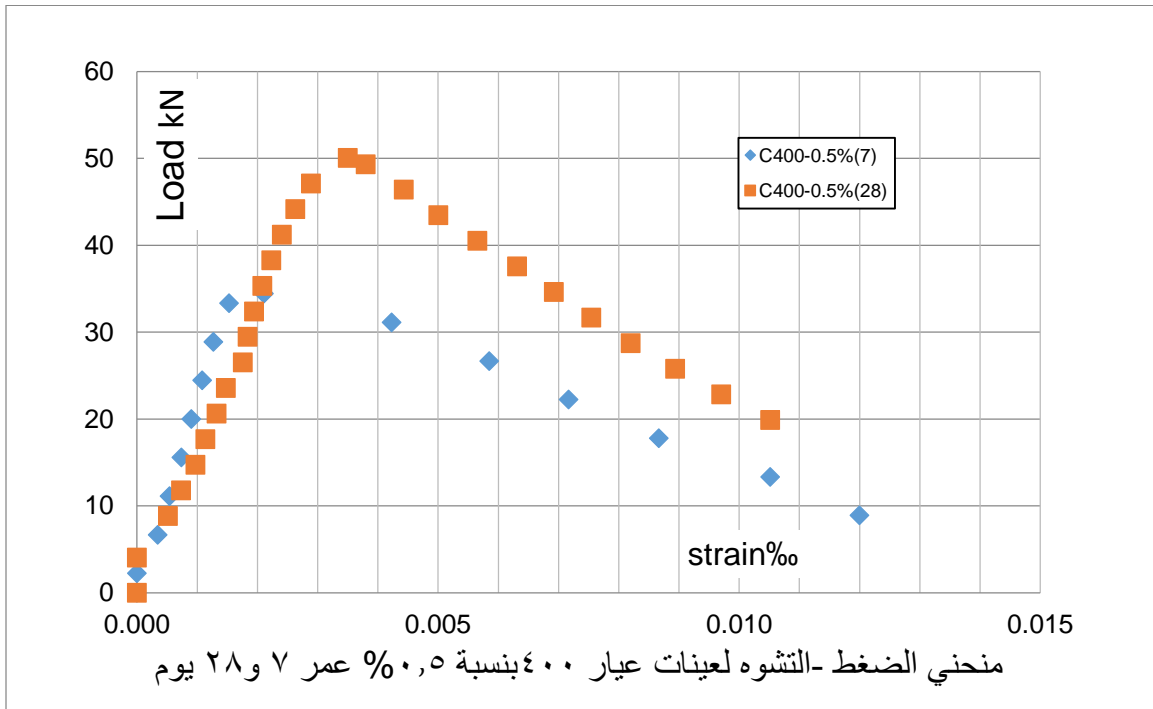
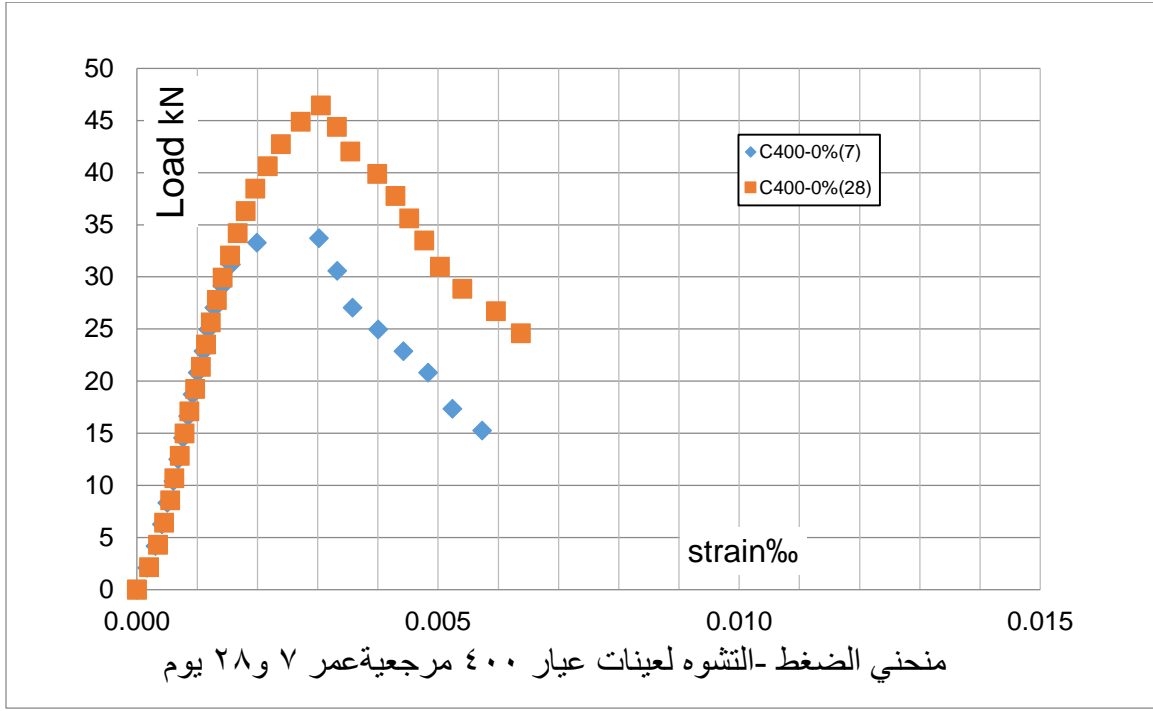


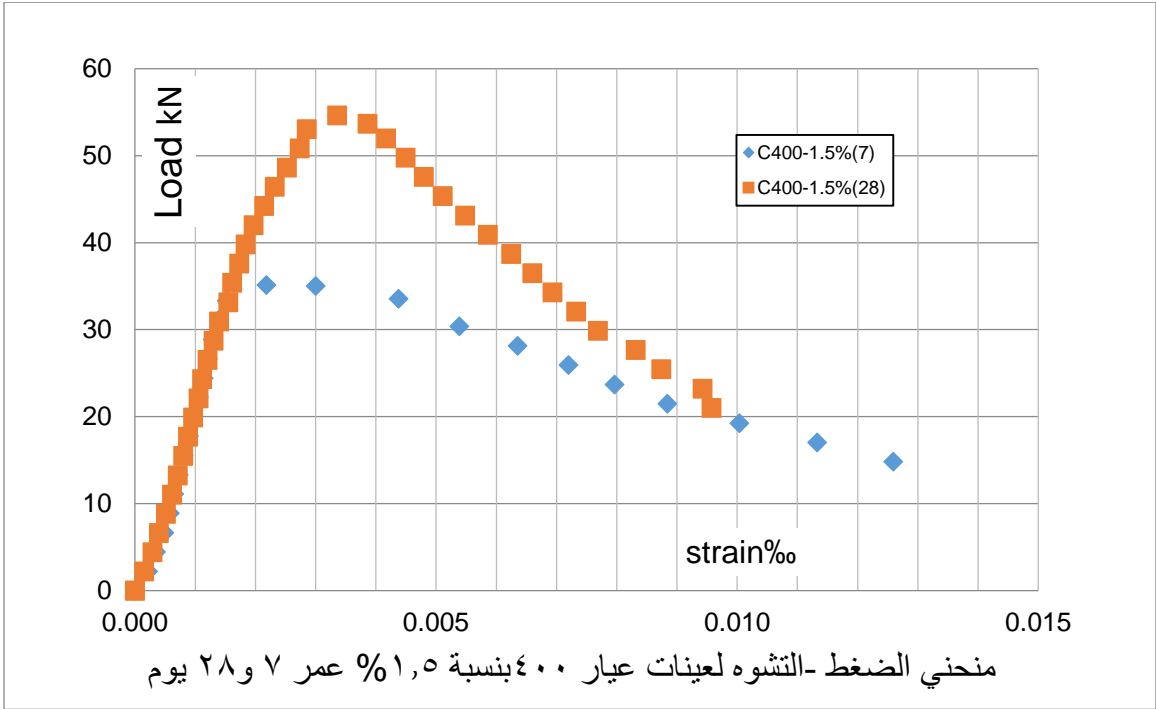
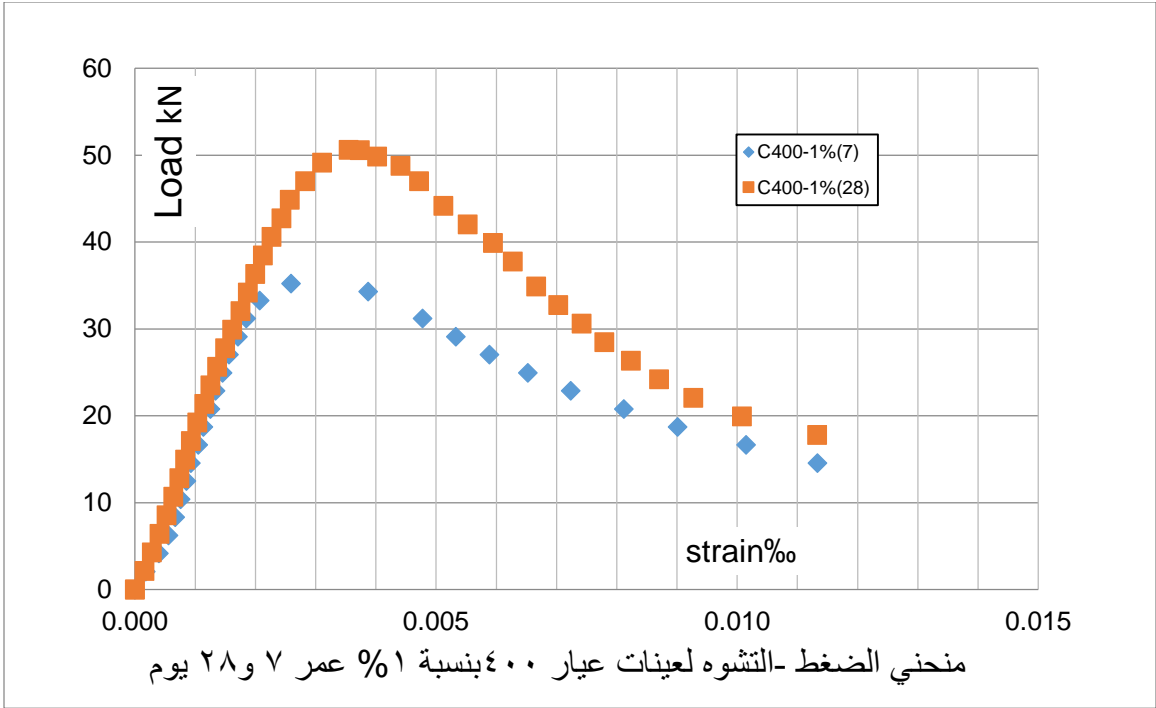


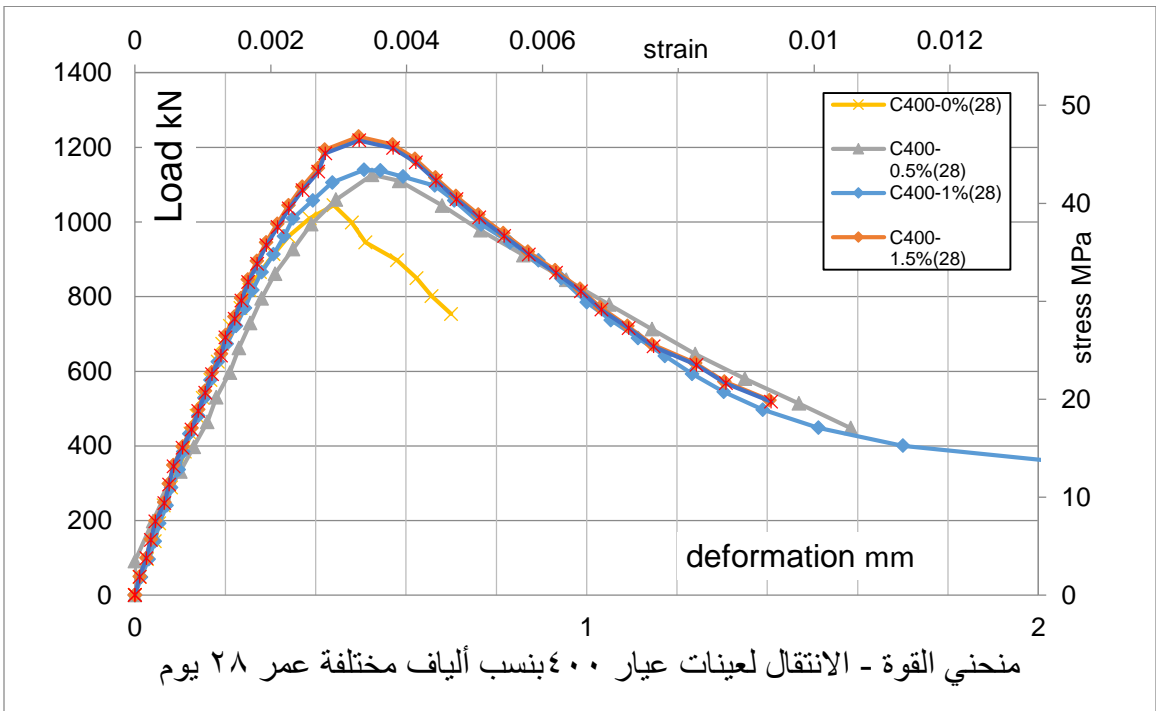
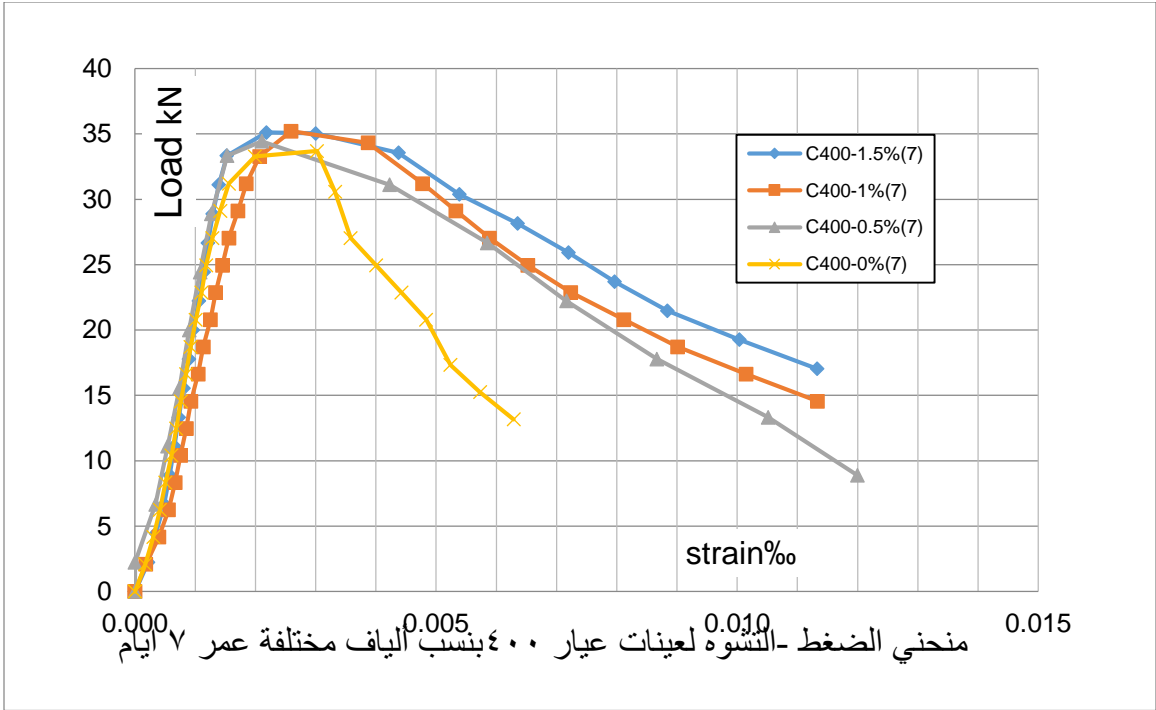


الملحق 4-ج

منحنيات الضغط - التشوه C400

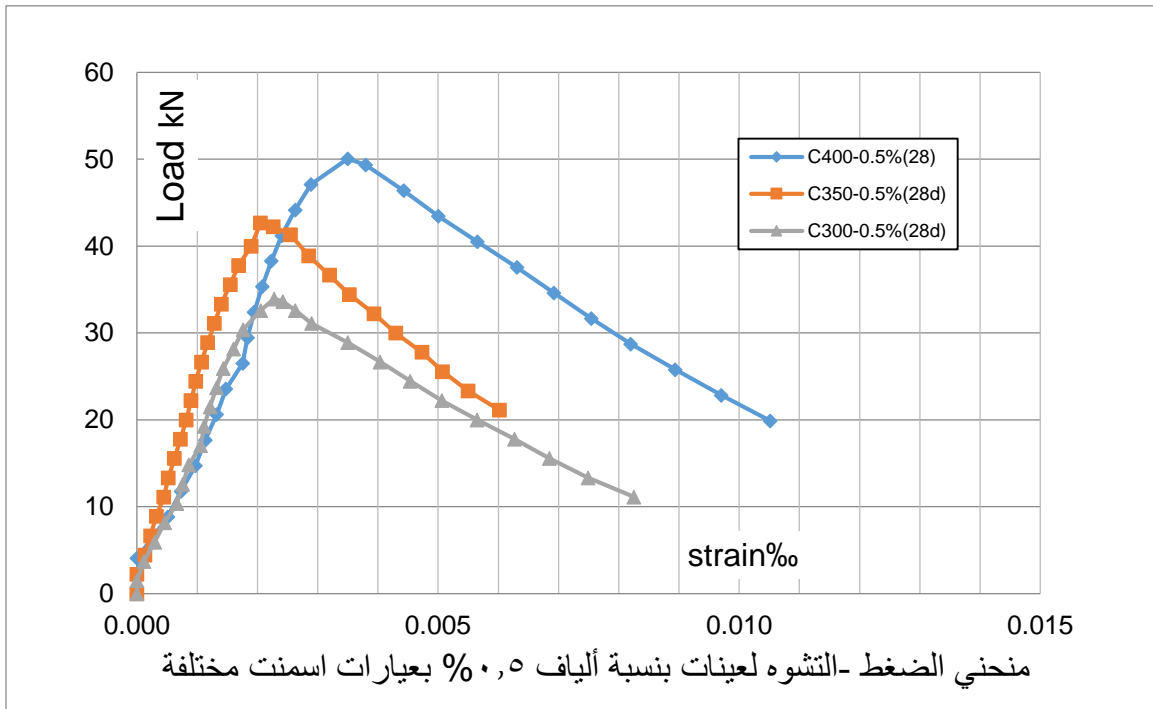
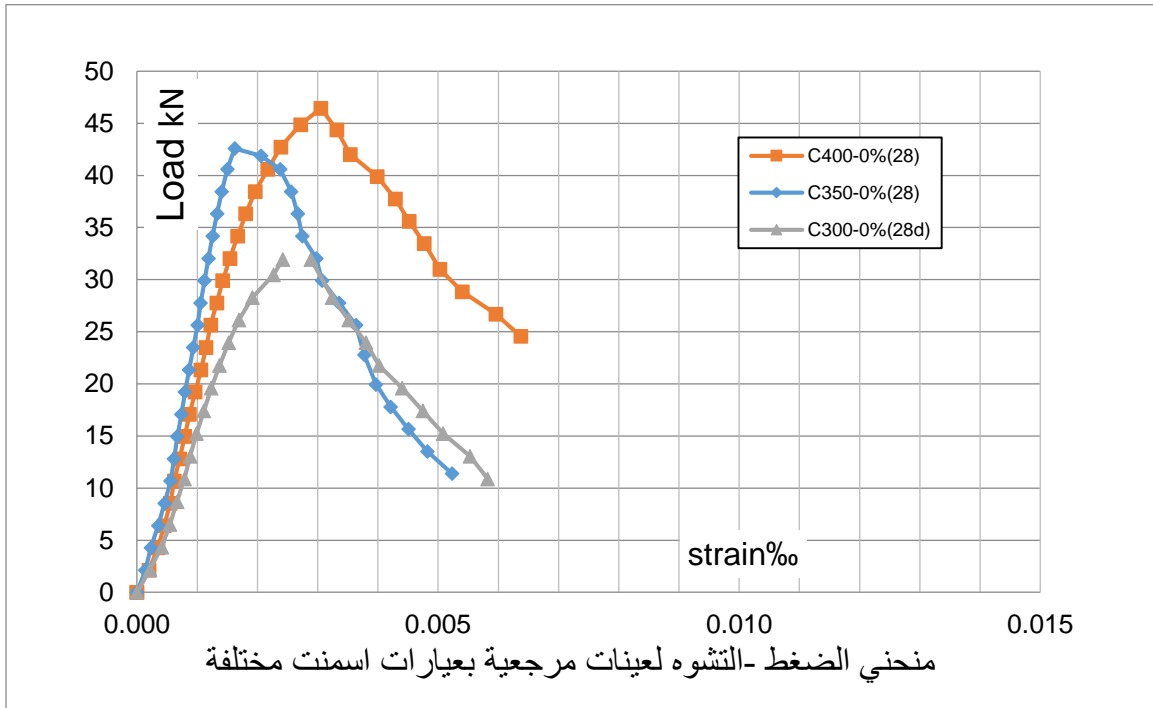


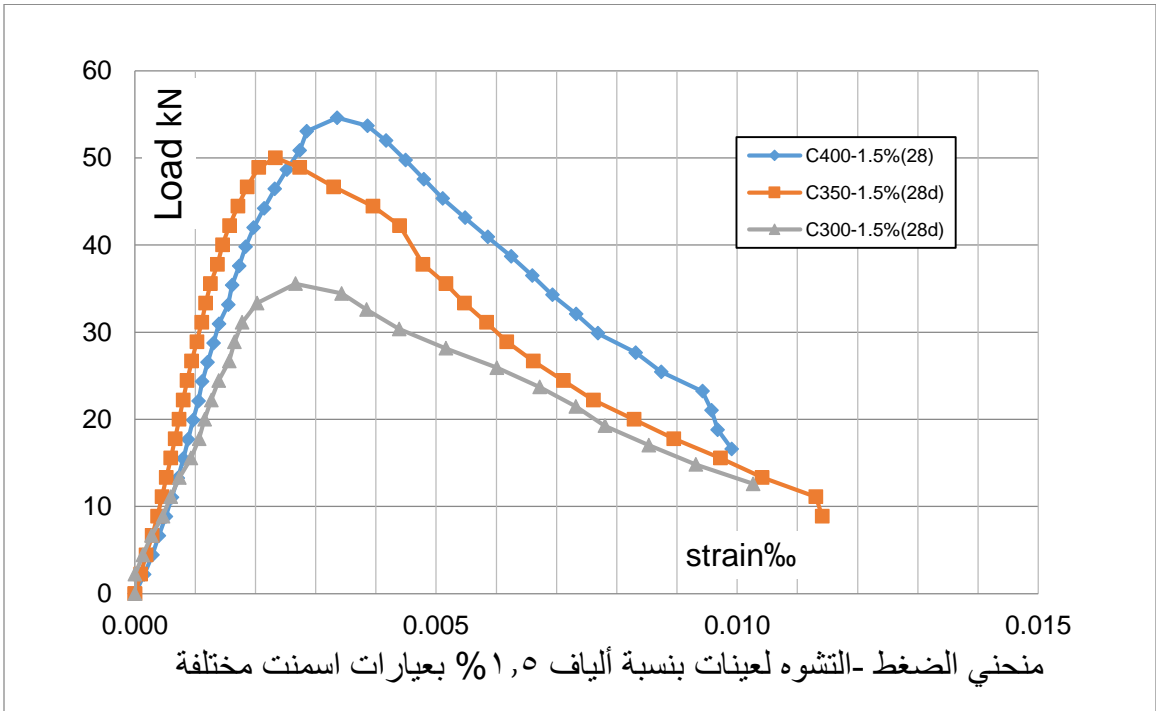
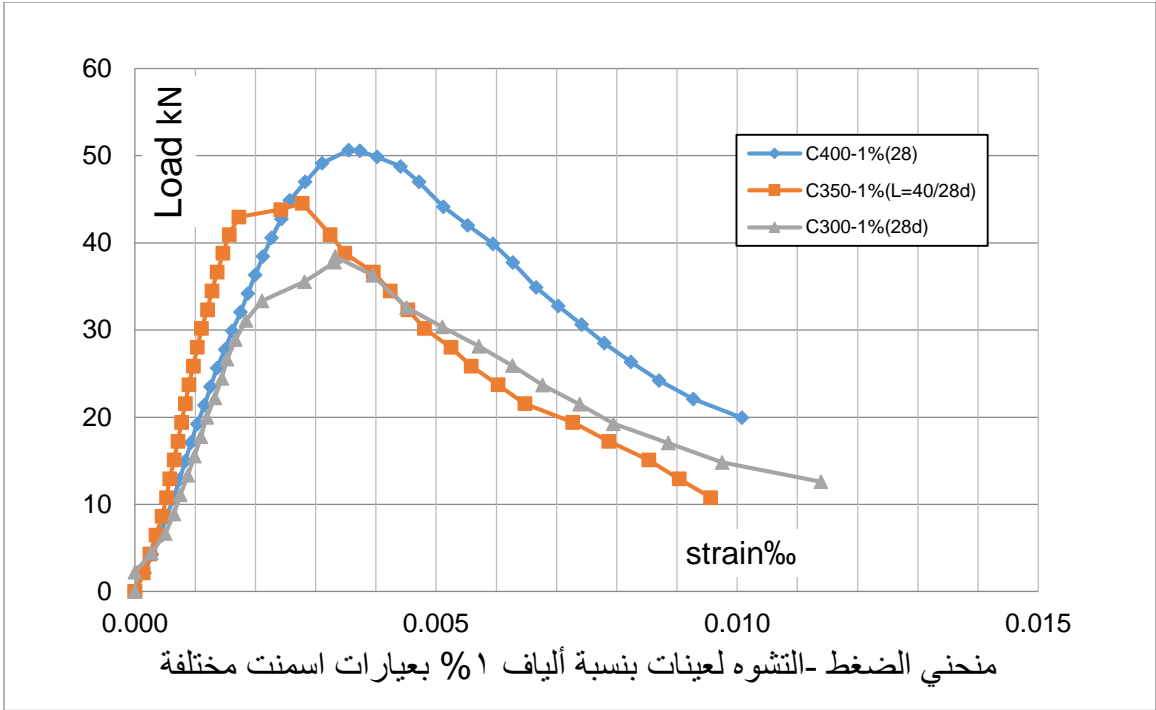




الملحق 4-د

منحنيات الضغط - التشوه لنسب ألياف مختلفة





الملحق 2

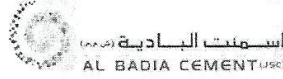
مواصفات الاسمنت

AL BADIA CEMENT (JSC)

Quality Department

Type: Ordinary Portland Cement

CEM I : Strength Class 42.5 N



شركة أسمنت البادية (ش.م.م.)

قسم النوعية

النوع: أسمنت بورتلاندي عادي

الصف: CEM I : القوة : N 42.5

شهادة اختبار أسمنت

TEST CERTIFICATE As per SNS 3411/2008

Date of Reported: 08/11/2013

Date of Delivery: 01-10/10/2013

TEST NAME	UNIT	TEST RESULTS	SNS 3411/2008 LIMITS	
1.CHEMICAL COMPOSITION				
Silica Oxide	SiO ₂	%	22.27	No Limit
Alumina Oxide	Al ₂ O ₃	%	5.35	No Limit
Iron Oxide	Fe ₂ O ₃	%	4.76	No Limit
Calcium Oxide	CaO	%	56.91	No Limit
Magnesia Oxide	MgO	%	3.32	No Limit
Sulfur Calculated	SO ₃	%	2.00	3.5% Max.
Loss on ignition	LOI	%	2.21	5.0% Max.
Insoluble Residue	I R	%	1.61	5.0% Max.
Chloride	Cl ⁻	%	0.02	0.1% Max.
Alkalis	asNa ₂ O	%	0.62	No Limit
Tri Calcium Aluminates	C3A	%	6.10	No Limit
2.FINENESS (BLAINE)				
Specific Surface	cm ² /gm.	3605	No Limit	
3.COMPRESSIVE STRENGTH				
2 Days	N/mm ²	15.3	10 N/mm ² Min.	
7 Days	N/mm ²	32.3	No Limit	
28 Days	N/mm ²	49.2	≥ 42.5 ≤ 62.5 N/mm ²	
4.SETTING TIME (VICAT)				
Initial	Minutes	264	60 Minutes Min.	
Final	Hours	5:40	No Limit	
Standard Consistency	%	28.4	No Limit	
5.SOUNDNESS				
Le Chatelier	mm	0.5	10 mm Max.	

Remarks:

The quality of cement is conforming to Syrian Standard for 42.5 N cement
S.N.S: 3411/2008 conforming to the European Standard EN 197-1:2004

Ahmad Khdir
Q.D. Manager



Address: 86, Plaza Center, Office No: 77, Tanzem Kafarsouseh , P.O.Box : 34330 Damascus - Syria
Telephone: +963 11 2118562 Fax: +963 11 2140095 Website: www.albadiacement.com

الملحق 3

مواصفات الملمدن



Flocrete SP100

High performance water reducer admixture for HSC

Description

Flocrete SP100 is high performance superplasticising admixture formulated from selected polymers specially designed to enable the water content of the concrete to perform more effectively. This effect can be used in high strength concrete mixes to improve workability, to increase ultimate strengths or to facilitate a reduction in the cement content while sustaining and improving mix properties.

Applications

- ▲ Recommended for high strength concrete mixes.
- ▲ Improved cohesion allows for use in mass concrete pours andiling.
- ▲ To produce high quality concrete of improved durability and water tightness.

Advantages

- ▲ Allowing for high strength concrete production without excessive cement contents.
- ▲ Improved workability reduces placing and compaction problems.
- ▲ Cement saving without affecting strength.
- ▲ Minimizing segregation and bleeding problems by improving cohesion.
- ▲ More durable concrete as a result of reduction in permeability and lower water to cement ratio.

Compatibility

Flocrete SP100 can be used with all types of Portland cement and cement replacement materials. Flocrete SP100 is compatible with other DCP admixtures used in the same concrete mix. If more than one type of admixture is to be used in concrete mix, they must be dispensed to the concrete separately.

Standards

Flocrete SP100 complies with BS EN934-2 : 1998 and ASTM C494, Type G.

Method of Use

Flocrete SP100 should be added to the concrete with the mixing water to achieve optimum performance.

Technical Properties @ 25°C:

Color:	Brown liquid
Freezing point:	≈ -1°C
Specific gravity:	1.21 - 1.22
Chloride content: BS5075	Nil
Air entrainment:	Typically less than 2% additional air is entrained above control mix at normal dosages

Automatic dispenser should be used to dispense the correct quantity of Flocrete SP100 to the concrete mix.

Dosage

The guidance dosage of Flocrete SP100 is 1.0 - 2.8 liters/ 100 kg of cementitious materials in the mix, including GGBFS, PFA or microsilica.

Representative trials should be conducted to determine the optimum dosage of Flocrete SP100 to meet the performance requirements by using the materials and conditions in actual use.

Effects of Over Dosage

Overdosing of Flocrete SP100 will cause the following:

- Significant increase in retardation.
- Increase in workability.

Ultimate concrete strength will not be adversely affected and will generally be increased provided that proper concrete curing is maintained.

Setting Time

Although the setting time is dependent on the dosage of Flocrete SP100, the following factors should be considered:

- Retardation is increased with lower levels of tricalcium in the cement.
- Lower temperatures will delay the setting time.
- SRC cement gives higher retardation level than ordinary cement.