الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية وتقاناتها

استخدام المواد النسيجية المركبة لتحسين خصائص الخرسانة الإسمنتية

أطروحة أعدت لنيل درجة الدكتوراه في تكنولوجيا النسيج

إعداد المهندس:

علي محمود محمود

المشرف المشارك

الأستاذ الدكتور المهندس ماجد أسعد

قسم هندسة النقل ومواد البناء

كلية الهندسة المدنية

جامعة دمشق

المشرف العلمي

الأستاذ الدكتور المهندس طاهر رجب قدار

قسم هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية وتقانتها

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

جامعة دمشق

للعام الدراسي
2025

جامعة دمشق

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

قسم ميكانيك الصناعات النسيجية وتقاناتها

الأستاذ الدكتور عميد كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية

الموضوع: تعهد بإجراء التعديلات المطلوبة من قبل أعضاء اللجنة على أطروحة الدكتوراه

استناداً إلى قرار مجلس جامعة دمشق /173/ص.م تاريخ 2021/1/11، المتضمن الموافقة على تسجيل رسالة الطالب المهندس **علي محمود محمود** لدرجة الدكتوراه، "اختصاص تكنولوجيا النسيج" في قسم هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية وتقاناتها بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق، موضوع البحث بعنوان:

"استخدام المواد النسيجية المركبة لتحسين خصائص الخرسانة الإسمنتية"

"Using of Composites Textile Materials to Improve the Properties of Cement Concrete"

وبإشراف الأستاذ الدكتور المهندس **طاهر قدار**. والمشرف المشارك: الأستاذ الدكتور المهندس **ماجد أسعد** وإلى قرار مجلس البحث العلمي والدراسات العليا رقم/344/ بالجلسة رقم /3/ تاريخ2024/10/21 والذي يتضمن الموافقة على تأليف لجنة الحكم على أطروحة الدكتوراه لطالب الدراسات العليا المهندس **علي محمود محمود**، والمؤلفة من السادة:

1	أ. د.م. معن الحوراني	أستاذ في قسم هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية وتقاناتها-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق اختصاص: (نظرية الآلات).	عضواً
2	أ. د. م. أحمد المحمود	أستاذ في قسم الهندسة الكيميائية بكلية الهندسة الكيميائية والبترولية بجامعة حمص، اختصاص "دكتوراه فلسفة في العلوم التقنية (1985) / تكنولوجيا الصناعات اللاعضوية – الجامعة الروسية للتكنولوجيا الكيميائية (معهد مندلييف) – موسكو.	عضواً
3	أ. د. م. وجيه ناعمة	أستاذ في قسم هندسة الميكانيك العام-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق اختصاص: (دكتوراه في هندسة التبريد وتطبيقاتها).	عضواً
4	أ. د.م. طاهر رجب قدار	أستاذ في قسم هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية وتقاناتها بكلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة دمشق اختصاص:(هندسة تكنولوجيا النسيج).	عضواً ومشرفاً
5	د.م. محمود أسماعيل	مدرس في قسم هندسة النقل ومواد البناء بكلية الهندسة المدنية بجامعة دمشق، الاختصاص العام: منشآت خاصة للمواصلات والنقل"، الاختصاص الدقيق: "ديمومة المنشآت الخرسانية"، من المعهد الوطني للعلوم التطبيقية في تولوز بفرنسا عام2006).	عضواً

وإلى قرار لجنة الحكم في الجلسة العلنية لمناقشة بحث الدكتوراه الذي تقدم به طالب الدراسات العليا المهندس **علي محمود محمود** في الساعة 10:30 صباحاً من يوم الثلاثاء الموافق 2025/1/14، بقبول الأطروحة والحكم على أهلية الطالب **علي محمود محمود** (بعد إجراء التعديلات) لنيل درجة الدكتوراه في هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية باختصاص "تكنولوجيا النسيج".

لقد قام الطالب علي محمود محمود بإجراء التعديلات المطلوبة من قبل أعضاء اللجنة على أطروحة الدكتوراه،

ولا نرى مانعاً من منحه درجة الدكتوراه في هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية باختصاص "تكنولوجيا النسيج".

توقيع أعضاء لجنة الحكم:

الدكتور المهندس	**الأستاذ الدكتور المهندس**	**الأستاذ الدكتور المهندس**	**الأستاذ الدكتور المهندس**	**الأستاذ الدكتور المهندس**
محمود اسماعيل	**طاهر رجب قدار**	**وجيه ناعمة**	**أحمد المحمود**	**معن الحوراني**

دمشق 2025/1/14

تصريح خطي

أنا الموقع أدناه أصرح بعلمي الكامل وقبولي:

1. أن كل ما ينتج عن البحث والرسالة هو ملكية فكرية ومالية بالتشارك مع جامعة دمشق، وأنا ألتزم بأخذ موافقة الجامعة في حال رغبتي في نشر البحث أو الرسالة أو جزء منهاً نصاً أو مضموناً خارج إطار الجامعة (من دور نشر أو مكتبات أو مواقع الكترونية وغيرها من وسائل النشر).
2. أنه لا يوجد أي جزء من هذه الرسالة تم اقتباسه من عمل علمي آخر أو انجز للحصول على شهادة أخرى في جامعة دمشق أو أية جامعة أو معهد تعليمي داخل الجمهورية العربية السورية أو خارجها.

الاسم والتوقيع

م. علي محمود محمود

شكر وتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم

وما أوتيتم من العلمِ إلاّ قليلاً

صدق الله العلي العظيم

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبيّ بعدَه سيدنا ونبينا محمد صلّ الله عليه وآله وأصحابه الميامين الطاهرين، وبعد:

الشكر لله عز وجل الذي أنار لي الدرب، وفتح لي أبواب العلم وأمدني بالصبر والإرادة لإتمام هذه الأطروحة فله الحمد والشكر حمداً طيباً مُباركاً يليق بجلاله، ومن باب قول المُصطفى صل الله عليه وسلم "لا يشكر الله من لا يشكر الناس."

فإن الوفاء يقتضي أن يُرد الفضل لأهله، لذلك أتقدم بجزيل الشكر والعرفان إلى من كان له الفضل بعد الله في إخراج هذا البحث العلمي، الأستاذ الدكتور/**طاهر قدار**/ والأستاذ الدكتور/ **ماجد أسعد**/ لتفضلهما بالإشراف على هذه الأطروحة والذي وجدت فيهما أساتذةً فاضلين بذلا كل الجهد، وقدَّما التوجيه السليم والرأي السديد، الذي ساعدني في تخطى الكثير من الصعاب فجزاهما الله عنى خير الجزاء وأمدهما الله بدوام الصحة والعافية.

وإنه لمن دواعي فخري واعتزازي أن يناقش هذا البحث الأساتذة الدكاترة الأفاضل **أعضاء لجنة الحكم** والذي أتوجَّه إليهم بأسمى آيات الشكر والتقدير، لتفضُّلهم بقبول مناقشة البحث رغم ثقل أعبائهم ومسئولياتهم ليضعوا إرشاداتهم المتميزة التي تثري هذا العمل فجزاهم الله عني خير الجزاء.

وأتقدم بجزيل الشكر الى قسم هندسة ميكانيك الصناعات النسيجية وتقاناتها ممثلاً برئيس القسم والدكاترة الأفاضل والأساتذة المحترمين لجهودهم المبذولة في نجاح هذا البحث

وأتوجه بخالص التقدير والشكر الى كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية ممثلةً بالعمادة والإدارة والموظفين

وفي النهاية لابد من التقدم بجزيل الشكر والامتنان لرئاسة جامعة دمشق بجميع كوادرها من أساتذة وإداريين.

الإهداء

إلى وطني الحبيب سوريا

الأرض التي حضنتنا بحنان بترابها وجمال طبيعتها فمهما ابتعدنا عنها تبقى قلوبنا ترفرف بحبها

إلى أبي وأمي

فلولاهما لما وُجِدتُ في هذه الحياة، ومنهما تعلَّمت الصمود وحب الحياة، مهما كانت الصعوبات فهما كالنجوم البراقة التي تلوح في الأفق ولا يخفت بريقها عني لحظة.

إلى أساتذتي الأفاضل

فمنهم استقيتُ الحروف، وتعلَّمت كيف أنطق الكلمات، وأصوغ العبارات، وأحتكم إلى القواعد في شتى المجالات فكنتم كالشمعة التي تحترق لتنير دربي وطريقي

إلى زوجتي مرح وابننا محمود

الغاليين على قلبي والتي في الكفاح والظروف الصعبة التي لم تبخل بوقت أو جهد لمساعدتي وكانت رفيقتي في طريقي

إلى أخي محمد وعائلته وأخي عبد اللطيف

باقة الأزهار التي منحني إياها الله عز وجل اللذين قدموا كل الدعم والتشجيع ولم يكلو أو يملو في مساعدتي لتحقيق هدفي في الحياة

إلى أقربائي وأهلي

الذين في كل لمسة من جودكم وأكفكم للمكرمات أسطر كنتم كسحابة معطاءة سقت الأرض فاخضرت

إلى الأصدقاء والرفاق الرائعين

الذين كان لهم الفضل في دعمهم لي ولم يتوانون للحظة في مدي بالبيانات والمعلومات اللازمة لإعداد رسالتي.

إلى الأصدقاء في معمل اسمنت حماه لوقوفهم معي بكل خطوة من خطوات التجارب فكان لمساندتهم الأثر الكبير

فهرس المحتويات

الفصـل الأول: الإطار العام للأطروحـة	1
1-1 المقدمة	2
1-1-1 تمهيد	2
2-1 الإشكالات البحثية	6
3-1 مسلمات البحث	7
4-1 هدف البحث	7
5-1 أهمية البحث	7
6-1 مبررات البحث	8
7-1 مصطلحات البحث	8
8-1 محدوديات البحث	9
9-1 فرضيات البحث	9
10-1 تساؤلات البحث	9
11-2 مناهج البحث	10
12-2 أقسام الرسالة	10
الفصل الثاني: الدراسات المرجعية	11
1-2تمهيد	12
2-2 الدراسات المرجعية	12
3-2 القيمة المضافة للبحث	31
الفصل الثالث: الألياف النسيجية	32
1-3 تمهيد	33
2-3 الألياف الطبيعية	33
3-3 الألياف الصناعية	37
1-3-3 الألياف الزجاجية	37
2-3-3 ألياف الكربون	42
3-3-3 ألياف البازلت	45
4-3-3 ألياف الأراميد (الكيفلار)	50
5-3-3 ألياف البولي ايثلين	51
6-3-3 ألياف البولي بروبلين	52
4-3 المواد النسيجية المركبة	54
5-3 الألياف المستعملة في تشكيل المواد المركبة	55
6-3 مصطلحات الألياف	56
الفصل الرابع الجزء العملي	57
1-4 تمهيد	58
2-4 المواد المستخدمة	58
3-4 الأجهزة المستخدمة	59

4-4 مخطط التجارب	63
4-4-1 تشكيل مواد نسيجية مركبة	63
4-4-2 تدعيم المونة الاسمنتية بشبكة قماشية من المواد النسيجية المركبة	73
4-4-3 تدعيم الخرسانة الاسمنتية بشبكة قماشية من المواد النسيجية المركبة	83
4-4-4 تقوية الاسمنت المنتج بالمواد النسيجية المركبة على شكل حبيبات مطحونة	87
4-5 حساب قيمة معامل يونغ للمواد النسيجية المركبة	96
الفصل الخامس: الخاتمة	99
5-1 تمهيد	100
5-2 الاستنتاجات	100
5-3 الكلفة اقتصادية	102
5-4 التوصيات	103
5-5 الآفاق المستقبلية للبحث	104
6-المراجع	106

فهرس الأشكال

الشكل (1-1) نسيج السادة والمبرد	4
الشكل (2-1) مقارنة بين معدل الصلابة للانحناء بين aنسيج الياف زجاجية، b نسيج ألياف كربون	13
الشكل (2-2) منحني الانحراف والحمولة	14
الشكل (2-3) منحني الحمولة للعينات المسلحة بالبازلت	15
الشكل (2-4) شرائط نسيجية وألياف زجاجية	16
الشكل (2-5) عينات من النسيج	17
الشكل (2-6) مخطط تحليل للقوة المطبقة على العينة النسيجية	18
الشكل (2-7) اختبار الاسمنت المقوى بنسيج البولي بروبلين	19
الشكل (2-8) تأثير الضغط على توتر العينات بعد 28 يوم	20
الشكل (2-9) عينات من مادة يوليمرية من ألياف البازلت	21
الشكل (2-10) نموذج ثنائي الأبعاد متوسط الحجم للمواد القائمة على الإسمنت المقوى بالألياف.	23
الشكل (2-11) الخرسانة الاسمنتية المقواه بالألياف.	24
الشكل (2-12) الالياف السيللوزية المعاد تدويرها وخصائصها	25
الشكل(3-1) الألياف الطبيعية الشائعة / نباتات ألياف اللحاء (أعلى) ونسج (أسفل): (أ) القنب؛ (ب) الكتان	35
الشكل (3-2) طريقة تموضع الألياف بشكل مبسط.	36
الشكل (3-3) طريقة تموضع الألياف بشكل عمودي	37
الشكل (3-4) آلة تصنيع الألياف الزجاجية	39
الشكل (3-5) ألياف زجاجية مطحونة	41
الشكل (3-6) ألياف زجاجية مقطعة	42
الشكل (3-7) نسيج من الألياف الزجاجية	42
الشكل (3-8) ألياف الكربون	43
الشكل (3-9) بولي اكريل النتريلPNA	44
الشكل (3-10) الطريقة التقليدية لإنتاج ألياف البازلت	46
الشكل (3-11) قماش من ألياف البازلت	49
الشكل (3-12) نسيج من ألياف الأراميد	51
الشكل (3-13) نسيج البولي ايثلين	52
الشكل (3-14) نسيج بولي بروبلين	54
الشكل (4-1) جهاز اختبار الشد	60
الشكل(4-2) جهاز اختبار الضغط والانعطاف للمونة الاسمنتية	60
الشكل(4-3) قوالب المونة والخرسانة الاسمنتية	61
الشكل (4-4) جهاز لخلط مكونات المونة الاسمنتية	61

الشكل (4-5) ميزان حساس	62
الشكل (4-6) جهاز اختبار الانعطاف للخرسانة	62
الشكل (4-7) أبعاد المواد النسيجية المركبة	63
الشكل (4-8) مخطط القوة للمواد النسيجية المركبة بنسب إيبوكسي مختلفة	70
الشكل (4-9) مخطط الاجهاد للمواد النسيجية المركبة بنسب إيبوكسي مختلفة	71
الشكل (4-10) مخطط اختبار قوى الشد للعينات من قماش الزجاج	72
الشكل (4-10) مخطط اختبار الاجهاد للعينات من قماش الزجاج	72
الشكل (4-12) العينات الإسمنتية المدعمة بطبقات النسيج المحسن بالإيبوكسي المقسي	74
الشكل (4-13) مخطط الضغط للمونة الإسمنتية المدعمة بطبقات من المواد النسيجية المركبة	77
الشكل (4-14) مخطط الانعطاف للمونة الإسمنتية المدعمة بطبقات من المواد النسيجية المركبة	77
الشكل (4-15) مخطط نتائج اختبار الضغط للمونة الإسمنتية المدعمة بالقماش الزجاجي المحسن بالإيبوكسي	81
الشكل (4-16) مخطط نتائج اختبار الانعطاف للمونة الإسمنتية المدعمة بالقماش الزجاجي المحسن بالإيبوكسي	82
الشكل (4-17) جهاز لخلط مكونات الخرسانة	83
الشكل (4-18) عينات الخرسانة بعد اخراجها من الماء	84
الشكل (4-19) مخطط الانعطاف للخرسانة الاسمنتية المقواة بالمواد النسيجية المركبة	86
الشكل (4-20) مخطط مقاومة الانعطاف للخرسانة المدعمة بالمواد النسيجية المركبة المتفقة بالمادة الأولية	86
الشكل (4-21) وضع المركبات ضمن البرنامج	87
الشكل (4-22) وضع المركبات ضمن البرنامج بشكل نسب مئوية لتحديد التصميم	88
الشكل (4-23) يوضح قيمة R^2 وقيمة F	88
الشكل (4-24) مخططات الاستجابة	89
الشكل (4-25) اختبار الضغط والانعطاف اسمنت مقوى بمواد بنسبة اضافة مواد مركبة 1% عند سبع أيام	93
الشكل (4-26) اختبار الضغط والانعطاف اسمنت مقوى بمواد بنسبة اضافة مواد مركبة 5% عند سبع أيام	93
الشكل (4-27) اختبار الضغط والانعطاف اسمنت مقوى بمواد بنسبة اضافة مواد مركبة 3% عند سبع أيام	95
الشكل (4-28) عينات المواد النسيجية المركبة على جهاز اختبار الشد	96
الشكل (4-29) مخطط قيمة معامل يونغ للمادة النسيجية المركبة	98

فهرس الجداول

الجدول (3-1) التركيب الكيميائي للألياف الطبيعية الشائعة	35
الجدول (4-1) بارمترات الأقمشة النسيجية	58
الجدول (4-2) النسبة المئوية للأقمشة المتفقة بالمادة الأولية مع الإيبوكسي المقسي	65
الجدول (4-3) النسبة المئوية للأقمشة المختلفة بالمادة الأولية مع الإيبوكسي المقسي	65
الجدول (4-4) قيمة F max و σ لعينة المادة المركبة من قماش كربون \ إيبوكسي مقسي	66
الجدول (4-5) قيمة F max و σ لعينة المادة المركبة من قماش بازلت \ إيبوكسي مقسي	66
الجدول (4-6) قيمة F max و σ لعينة المادة المركبة من قماش بولي بروبلين \ إيبوكسي مقسي	67
الجدول (4-7) قيمة F max و σ لعينة المادة المركبة من قماش بولي ايتلين \ إيبوكسي مقسي	67
الجدول (4-8) قيمة F max و σ لعينة المادة المركبة من قماش المطاط \ إيبوكسي مقسي	68
الجدول (4-9) قيمة F max و σ لعينة المادة المركبة من القماش الزجاجي غرماج 162	68
الجدول (4-10) قيمة F max و σ لعينة المادة المركبة من القماش الزجاجي غراماج 200	69
الجدول (4-11) قيمة F max و σ لعينة المادة المركبة من القماش الزجاجي غراماج 600	69
الجدول (4-12) نتائج اختبار الضغط والانعطاف للعينات الاسمنتية المدعمة بطبقة من المواد النسيجية المركبة	74
الجدول(4-13) نتائج اختبار الضغط والانعطاف للعينات الاسمنتية المدعمة بطبقتين من المواد النسيجية المركبة	75
الجدول (4-14) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات المونة الاسمنتية المدعمة بثلاث طبقات من المواد النسيجية	76
الجدول (4-15) نتائج اختبار عينات المونة الإسمنتية المدعمة بطبقات قماش زجاجي تركيب سادة غراماج 162	78
الجدول (4-16) نتائج اختبار عينات المونة الإسمنتية المدعمة بطبقات قماش زجاجي تركيب سادة غراماج 600	79
الجدول (4-17) نتائج اختبار عينات المونة الإسمنتية المدعمة بطبقات قماش زجاجي تركيب مبرد غراماج 200	80
الجدول (4-18) نتائج اختبار الانعطاف للخرسانة المدعمة بمواد نسيجية مركبة	85
الجدول (4-19) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات مونة إسمنتية مضاف اليها مواد مركبة بنسبة 1%	90
الجدول (4-20) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات مونة إسمنتية مضاف اليها مواد مركبة بنسبة5	90
الجدول (4-21) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات مونة إسمنتية بنسبة إضافات مختلفة	91
الجدول (4-21) نتائج اختبار الضغط والانعطاف اسمنت مقوى بمواد بنسبة اضافة مواد مركبة 1	92
الجدول (4-23) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات بنسبة اضافة مواد مركبة 5%	94
الجدول (4-24) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات مضاف اليها مواد مركبة بنسبة 3%	95
الجدول (4-25) قيمة الاجهاد σ وقيمة التشوه عند الكسر £ عند المرونة وعند الانهيار	97
الجدول (4-26) قيمة معامل يونغ حد الانهيار وحد المرونة	98

جدول الرموز

الرمز	المصطلح العلمي	الواحدة
F	القوة	N
σ	الاجهاد	KN/m^2
R	معامل الارتباط	%
P	قيمة القوة المطبقة	N
L	طول العينة	Cm
B	عرض العينة	Cm
h	ارتفاع العينة	Cm
E	معامل يونغ	GPa
£	التشوه عند الكسر	%

الملخص

يوضح هذا البحث طريقة اعداد وتشكيل مواد نسيجية مركبة بالاعتماد على تغيير نسبة المادة الرابطة وتنوع المادة الأولية للأقمشة النسيجية، تم تحديد تأثير كل من نسبة المادة الرابطة واختلاف المادة الأولية على خصائص المادة النسيجية المركبة وعلى خصائص الخرسانة المدعمة، حيث تضمنت مواد متفقة بالمادة الأولية ومختلفة بالبارامترات النسيجية ومواد مختلفة بالمادة الأولية. تكمن المشكلة في تحديد نسبة مكونات المواد النسيجية المركبة داخل الخرسانة الإسمنتية اللازمة لأعمال التأهيل والترميم، وتكمن الأهمية من خلال إيجاد تركيبتها التي تحسن مقاومة الخرسانة الإسمنتية أو المونة الاسمنتية بشكل يحقق جدوى اقتصادية مقارنةً بعمر الاستثمار. توجد عدة طرق لتشكيل المادة النسيجية المركبة. تضمنت عملية التشكيل دمج مادة الايبوكسي المقسي بنسب (30 و40 و50) % مع القماش الزجاجي، وإجراء اختبار الشد على جهاز الشد نوع Tesetomtric حسب المواصفة ASTM D3039 الخاصة بالأقمشة النسيجية متناسقة الطول. تم الحصول على قوة الشد والاجهاد للعينات التي تم تشكيلها، وبينت نتائج الاختبارات نسبة الايبوكسي المثالية، اللازمة لعملية تشكيل مادة نسيجية مركبة وهي 40% من وزن القماش، وتتأثر القيم بالتركيب النسيجي للقماش حيث يظهر المبرد أفضل النتائج. حيث جرى توظيفها بمجالات عديدة منها تدعيم الخرسانة والمونة الاسمنتية وذلك من خلال: وضع المادة النسيجية المركبة بشكل طبقات قماشية منتظمة داخل القالب، وصب المونة الاسمنتية عليها، واجراء اختبارات ضغط وانعطاف لعينات المونة الإسمنتية واتضح أن الحواص الميكانيكية زادت بنسب مختلفة وكانت أفضل القيم لمقاومة الانعطاف عند إضافة طبقتين بعد المقارنة مع عينة مرجعية بدون إضافات. قمنا بإضافة الألياف بشكل حبيبات ناعمة مع كربيد السيلكون والبولي فينيل إلى الكلينكر (المادة الخام في صناعة الإسمنت) لإنتاج إسمنت مقوى بالمادة النسيجية المركبة، تم اجراء اختبارات ضغط وانعطاف وبناءً على النتائج تم تحديد المواد النسيجية المركبة التي أدت لتحسين قيمة الضغط والانعطاف وبالتالي خصائص ميكانيكية أفضل مقارنةً مع عينة مرجعية بدون إضافات.

الكلمات الرئيسة: مواد نسيجية مركبة، قماش، مونة وخرسانة اسمنتية، تركيب نسيجي، تقوية وتدعيم

الفصل الأول

الإطار العام للأطروحة

المقدمة

1-1-1 تمهيد

استخدم الانسان المواد المركبة منذ زمن بعيد وذلك للاستفادة من خواصها الميكانيكية ومقاومتها للعوامل الجوية، حيث استخدم السومريون والمصريون القدماء المواد المركبة في أعمال البناء وذلك عن طريق الغضار وخلطه بالقش، وبالتالي تشكل أقدم منتج للمواد المركبة البسيطة التي أكسبت الانسان منزلاً آمناً بوجه العوامل المحيطة. استخدم الهنود الحمر المواد المركبة وذلك في صناعة القوارب من الخيزران ومازالت بعض المناطق في الريف السوري تستخدم هذه المواد عبر خلط الصوف مع الغضار لصناعة مواقد التنور، في القرون الوسطى استخدمت عدة طبقات من المعادن لصناعة السيوف الحربية والدروع، ومع التطور الصناعي والعلمي والتكنولوجي، تمتعت المواد المركبة بأهمية استراتيجية كبيرة لاستخدامها في تطبيقات عديدة: كالأعمال الانشائية، ومحطات الطاقة النووية، والمركبات الفضائية، وصناعة السيارات والطائرات [1].

تحتاج التطبيقات الهندسية الى خواص محددة يصعب تواجدها في مادة واحدة ففي أعمال البناء والانشاء، يجب أن تتمتع بمتانة عالية، ومرونة، ومقاومة للعوامل الجوية والاحتكاك، والوزن الخفيف، أما في الصناعات الفضائية تحتاج الخواص السابقة، بالإضافة الى مقاومة الاشعاعات المختلفة، ومقاومة الحرارة.

تتأثر معظم المباني بالعوامل الطبيعية والمدة الزمنية حيث تبدأ بعض الشروخ والتصدعات في الظهور مما قد يعرضها للانهيار، وهذا من شأنه إلحاق الضرر بالمباني المحيطة وتعريض السكان للمخاطر، ولا بد من تحديد أعمال الاصلاحات للأبنية المتضررة وذلك من خلال الترميم والتدعيم واعادة التأهيل.

المواد النسيجية المركبة

المواد النسيجية المركبة هي عبارة عن دمج مادتين أو أكثر لإنتاج مادة جديدة تتمتع بمزايا جديدة وخواص عالية الأداء وتكون احدى المواد ألياف نسيجية طبيعية كالقنب والكتان أو الصناعية مثل ألياف الكربون والبازلت والزجاج والآراميد، وأظهرت الألياف الصناعية فعالية لميزة خفة الوزن مقارنةً بالألياف الطبيعية.

تصنف المادة النسيجية المركبة حسب مادة التقوية:

- مادة مركبة ذات ألياف مقطعة بطول 12–6 مم ضمن المادة الرابطة.
- مادة مركبة ذات حبيبات مطحونة ضمن المادة الرابطة.
- مادة مركبة ذات نسيج متناسق الطول بشكل شبكة ضمن المادة الرابطة.

تتميز المادة النسيجية المركبة باستخداماتها الخاصة في سوق العمل (صناعة سيارات وطائرات)، ويعتبر النسيج مادة التقوية الأساسية كونه يعطي مزايا خاصة وقوة شد عالية للمادة المركبة، ويعود ذلك لخصائصه كالنعومة والمرونة، مما يؤثر على عملية التشكيل [2].

ويتميز النسيج بأنه المادة الأساسية، ويحتاج لمادة رابطة تلعب دور المادة الحاضنة التي تحيط به، وتساهم في التخفيف من الاجهادات، والعوامل التي يتعرض لها.

المادة النسيجية المركبة لها عدة أشكال:

1- مادة نسيجية مركبة تتألف من طبقة واحدة Single layer.

2- مادة نسيجية مركبة تتألف من طبقات متعددة Multilayer.

النسيج

يعتبر النسيج من أهم مكونات المادة المركبة النسيجية، ويتم إنتاجه بشكل متزايد عبر الطرق الآلية واليدوية.

الاختلاف في نوع التركيب النسيجي له تأثير على قوة وإجهاد وانتشار الشقوق ضمن المواد النسيجية المركبة، ويلعب دورًا حيويًا في التأثير على الأداء الميكانيكي للمواد النسيجية المركبة [3,4].

تُظهر المواد النسيجية المركبة قوة شد أعلى في اتجاه الخيوط الطولية السداء مقارنةً باتجاه الخيوط العرضية الحدف للنسيج.

يمكن زيادة محتوى الألياف من خلال الطرق التالية:

1. زيادة الكثافة الخطية للخيوط.
2. زيادة كثافة الغرز ضمن الأقمشة.
3. زيادة عدد الطبقات في الخيوط.

تتأثر الخصائص الميكانيكية بالعديد من العوامل مثل:

- التركيب النسيجي.
- نوع المادة الأولية (طبيعية أو صناعية)،
- عدد الطبقات.
- خصائص النسيج (مثل الكثافة، السماكة، عدد الخيوط).

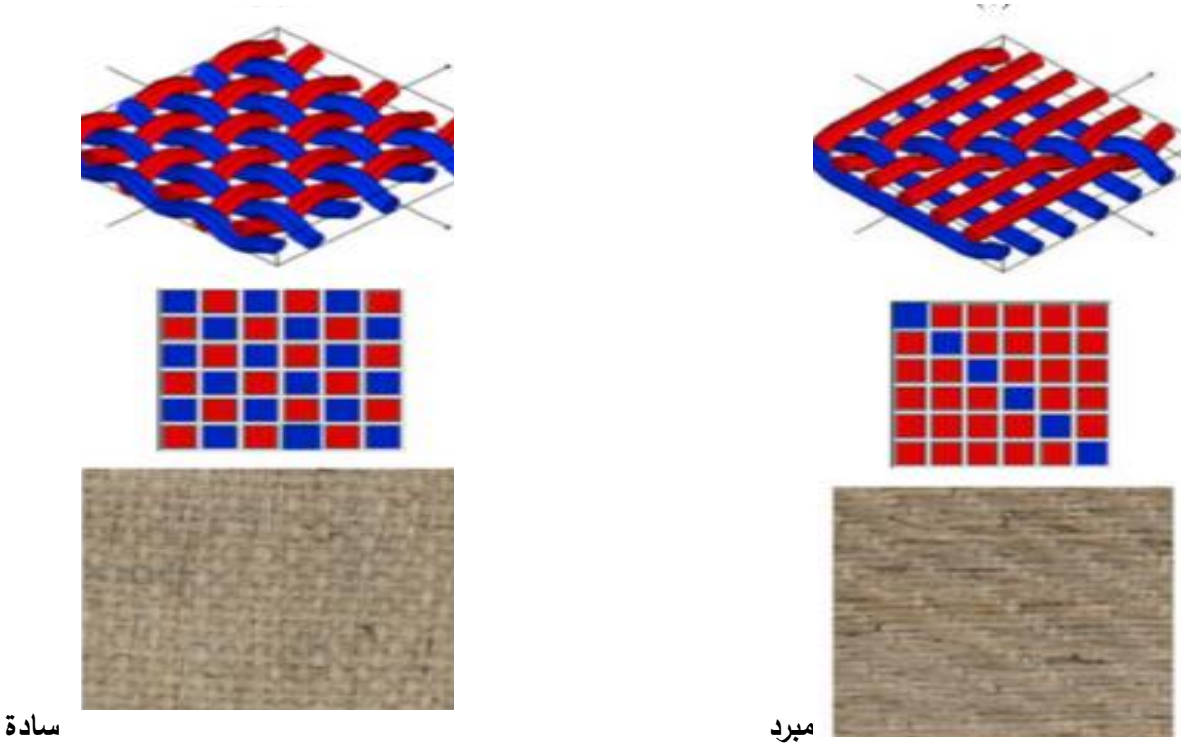
خلال عملية النسيج يتم تشابك خيوط السداء وخيوط الحدف بشكل متعامد بزاوية (90)، وبنمط نسيج منتظم، كما يتم التحكم في الخصائص المطلوبة للأقمشة، مثل المتانة، والثبات، ونعومة السطح والتركيب النسيجي.

يوجد عدة أنواع للتركيب النسيجي

نسيج السادة

يعتبر أبسط تركيب نسيجي، يتم فيه تمرير خيوط الحدف بالتناوب فوق خيوط السداء وتحتها (الشكل 1-1).

وتعتبر الأقمشة المنسوجة العادية متناظرة من الناحية الهيكلية، ولها مسامية جيدة [5].



الشكل (1-1) نسيج السادة والمبرد [4]

نسيج المبرد:

يتم نسج خيوط السداء (واحد أو أكثر) تحت وفوق خيوط الحدف، وبنمط منتظم لتشكيل الأقمشة المنسوجة من المبرد، من مميزات هذا النوع من التركيب النسيجي شكله القطري المستقيم مقارنةً مع تركيب السادة.

العوامل المؤثرة على النسيج

- تأثير التمزق.
- تأثير الخياطة.
- تأثير الظروف البيئية.
- تأثير انتشار التشققات ضمن النسيج.

الخرسانة المسلحة بالمواد النسيجية المركبة

هي خرسانة عادية تتكون من ماء وخليط إسمنت ومواد حصوية، ويضاف اليها مواد نسيجية مركبة بنسب معينة، وتوزع توزيعاً عشوائياً أو منتظماً ضمن الخلطة.

دور المواد النسيجية المركبة في تحسين خواص الخرسانة

ازدادت أعمال التطوير والتحديث في مجالات البناء والتشييد في الأعوام القليلة الماضية، ولا يكاد يمر عام واحد إلا ونرى ابتكارات جديدة تغزو هذا المجال وتفرض نفسها نظرا لأهميتها الكبيرة، من ضمن هذه التطورات استخدام المواد النسيجية المركبة في أعمال البناء للاستفادة من مزاياها في تحسين خصائص الخرسانة، حيث تعمل الألياف على تحسين مقاومة الخرسانة في القص والشد والانحناء والصدم والانكماش، وتقليل اتساع الشروخ، وتستخدم في أعمال الترميم والتسليح.

يعتبر أهم استخدام للمواد المركبة النسيجية تحسين الخصائص الميكانيكية الخرسانة الإسمنتية.

الهدف من استخدام المواد المركبة في الخرسانة

1. زيادة مقاومة الضغط الخرسانة.
2. زيادة مقاومة الشد للخرسانة.
3. تحسين مقاومة التشققات والتشوهات.
4. تحسين مقاومة الخرسانة لأحمال الصدم.
5. تقليل اتساع الشروخ.
6. تقليل الإجهادات وانخفاض وزن الخرسانة.

استخدامات الخرسانة المسلحة بالمنسوجات

1. ملء الشروخ في الوحدات الخرسانية
2. اعادة ترميم الطرق وممرات الطائرة وارضيات المصانع
3. قمصان الأعمدة الخرسانية
4. الاساسات المعرضة للاهتزازات والأحمال المتحركة
5. الأبنية الشاهقة والجسور والمنشآت الحربية.

1-2 الإشكالات البحثية:

- تتميز الخرسانة الاسمنتية بمجالات استخدام واسعة وعديدة منها اكساء واعادة تأهيل وأعمال ترميم وبالتالي لابد من معرفة ماهي المواد الداخلة في تصنيع المادة المركبة النسيجية التي تساهم في تحسين الخصائص الميكانيكية للخرسانة.
- ماهي المجالات التي يجب التوسع بها لتشكيل وتركيب المواد المركبة النسيجية التي يؤدي استخدامها لإيجاد منتج اسمنتي بخواص ممتازة وكفاءة عالية.

1-3 مسلمات البحث:

- تعتبر صناعة الاسمنت وتدعيم الخرسانة الاسمنتية من أهم الصناعات في الجمهورية العربية السورية والرافد الأساسي للاقتصاد الوطني وأي تطوير في هذه الصناعة سينعكس بشكل إيجابي على مرحلة اعادة الاعمار التي تمر بها بلدنا.
- تطوير المواد النسيجية المركبة من مواد ذات جدوى اقتصادية وتساهم في تحقيق تدعيم للخرسانة الاسمنتية والمنتج الاسمنتي يؤدي لتحقيق فائدة في دعم الصناعات الوطنية وتأمين استدامة الأبنية المقواة بالخرسانة المدعمة بالمنسوجات.

1-4 هدف البحث:

يهدف البحث الحالي إلى عدة أمور تلخص بالشكل التالي:

1. إيجاد خلطة جديدة تحتوي على مواد مركبة نسيجية تحسن مقاومة المنتج الاسمنتي وتقوي وتدعم الخرسانة الاسمنتية.
2. تحقيق جدوى اقتصادية من استخدام المواد النسيجية المركبة مقارنةً بعمر الاستثمار للخرسانة.
3. تحديد البارامترات النسيجية اللازمة لتحضير المواد المركبة المستخدمة في تقوية المنتجات الاسمنتية بشكل يتناسب مع مجالات الاستخدام.

1-5 أهمية البحث:

تأتي أهمية البحث من عملية الدمج بين قطاع الصناعات النسيجية مع قطاع صناعة الإسمنت وتدعيم الخرسانة الاسمنتية في الجمهورية العربية السورية، ويمكن تلخيص أهمية البحث بالنقاط الآتية:

أولاً: تشكيل مواد مركبة نسيجية بمواصفات عالية من مرونة ومتانة وتكاليف منخفضة لاستخدامها بتقوية الخلطات الإسمنتية.

ثانياً: تستخدم الألياف النسيجية المركبة في أعمال التأهيل والترميم لمتانتها العالية ومرونتها مما شجع على استخدامها كمادة مقوية للخرسانة والمنتج الاسمنتي.

ثالثاً: تطوير العمل الهندسي في مجال الاسمنت والخرسانة وذلك عن طريق تقوية وتدعيم الخرسانة الاسمنتية باستخدام المواد المركبة النسيجية.

1-6 مبررات البحث:

1- استخدام المواد النسيجية المركبة واضافتها للخرسانة الاسمنتية سيساهم في زيادة عمر استثمارها وعدم تأثرها بالعوامل الجوية مما يرفع كفاءتها.

2- عملية اعادة الاعمار تستوجب التفكير بطريقة لتحسين السلوك الميكانيكي ضغط وانعطاف للخرسانة الاسمنتية وذلك باستخدام المواد النسيجية المركبة المناسبة لتحسين متانة الخرسانة وخصائصها.

3- تستخدم الألياف النسيجية المركبة في أعمال التأهيل والترميم لمتانتها العالية ومرونتها مما شجع على استخدامها كمادة مقوية للخرسانة والمنتج الاسمنتي

1-7 مصطلحات البحث:

- **المواد النسيجية المركبة:** هي عبارة دمج بين مادتين أو أكثر تكون احدى هذه المواد مادة نسيجية وهي مادة التقوية، أما المادة الأخرى تكون المادة الرابطة وهي عبارة عن راتنجات، والهدف من عملية الدمج ايجاد مادة جديدة بمواصفات عالية الأداء مقارنةً مع المواد المشكلة.
- **المونة الاسمنتية المقواة بالمنسوجات:** هي عبارة عن خليط من الإسمنت والرمل والماء مضاف اليها مواد نسيجية.
- **الخرسانة الاسمنتية المقواة بالمنسوجات:** تتكون من مكونات المونة الإسمنتية المقواة بالمنسوجات مضاف إليها الحصويات.
- **الاسمنت المنتج:** تتضمن عملية انتاجه إضافة مواد نسيجية مركبة الى الكلينكر (المادة الخام لإنتاج الإسمنت) ونحصل على إسمنت مقوى بالمواد النسيجية المركبة.

1-8 محدوديات البحث:

حدود البحث: تطوير العمل الهندسي في مجال تحضير مواد نسيجية مركبة لها مجالات استخدام متنوعة وتطبيقها في عمليات تدعيم وتقوية وتسليح الخرسانة الإسمنتية.

مجتمع البحث: قطاع المواد النسيجية المركبة وتطبيقها ضمن قطاع البناء.

1-9 فرضيات البحث:

ينطلق البحث الحالي من الفرضيات الآتية:

- ستؤدي عملية تدعيم وتقوية الخرسانة الاسمنتية، لمعرفة تأثير نسبة المواد النسيجية المركبة وطرق وضعها ضمن الخلطة الخرسانية على تدعيم وتقوية الخرسانة الاسمنتية.
- ستؤدي طريقة تشكيل المواد النسيجية المركبة، لتحديد أثر تغير بارامترات النسيج على تركيب المواد النسيجية المركبة وفاعليتها.
- سيؤدي تغيير نسبة الإيبوكسي ضمن طريقة تشكيل المواد النسيجية المركبة، الى دراسة تأثير نسبة الإيبوكسي على خصائص المواد النسيجية المركبة.

1-10 تساؤلات البحث:

- هل يمكن للمواد النسيجية المركبة المحضرة أن تعطي خصائص تتميز بها عن الأقمشة النسيجية المنفردة؟
- هل يمكن لتغيير نسبة الأقمشة النسيجية ضمن المادة النسيجية المركبة أن تزيد أو تقلل الخصائص للمادة الجديدة؟
- هل يمكن لتغيير نسبة الإيبوكسي أثناء تحضير المادة النسيجية المركبة أن تؤثر على خصائص المادة المحضرة؟
- هل يمكن للمواد النسيجية المركبة أن تساهم في تدعيم الخرسانة الاسمنتية عند وضعها كشبكة نسيجية ضمن مكونات الخرسانة؟

- هل يمكن للمواد النسيجية المركبة على شكل حبيبات مطحونة أن تساهم في تقوية الاسمنت المنتج وتحسن خصائصه؟

1-11 مناهج البحث:

المنهج البحثي المتبع: يعتمد البحث أسلوب المنهج العلمي التجريبي، من خلال دراسة عملية وتجريبية على العينات ومقارنة النتائج.

الجهات المستفيدة: جامعة دمشق وشركات صناعة الاسمنت في الجمهورية العربية السورية.

1-12 أقسام الرسالة:

- تضمن الفصل الأول الإطار العام للأطروحة مشتملاً على الأهداف وأهمية البحث.
- تضمن الفصل الثاني الدراسات المرجعية للبحث.
- تضمن الفصل الثالث الألياف النسيجية (طبيعية وصناعية)
- تضمن الفصل الرابع الدراسة التجريبية (تحضير مواد نسيجية مركبة واختبارها، تدعيم العينات الاسمنتية بالمواد المحضرة، نتائج الاختبارات للتجارب كافة)
- تضمن الفصل الخامس الخاتمة وتحوي النتائج التي استخلصت والتوصيات ودراسة جدوى اقتصادية من استخدام أنواع من الألياف، والآفاق المستقبلية للبحث.

الفصـل الثاني

الدراسة المرجعية

2-1- تمهيد:

تم إجراء مسح لدراسات مرجعية عديدة حول مجال المواد المركبة، وحول تدعيم الخرسانة الإسمنتية باستخدام النسيج سواء ألياف طبيعية أو صناعية، واستخلاص أهم النقاط لاستكمالها ضمن البحث، وابتكار طرق جديدة لم تذكر ضمن الدراسات المرجعية.

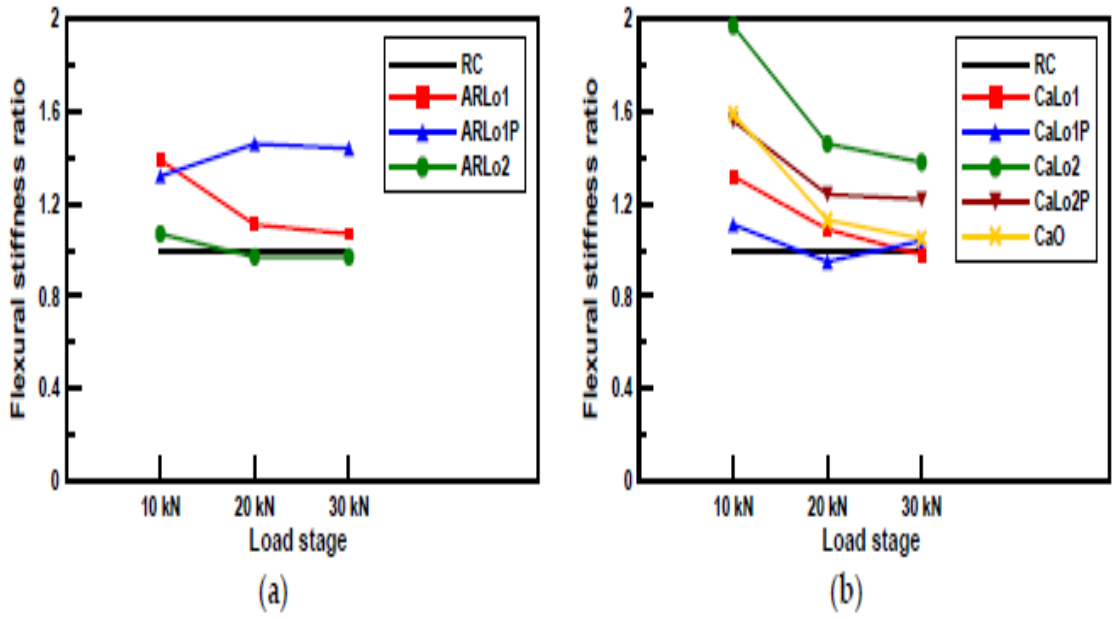
2-2 الدراسة المرجعية:

6-Jongho Park, Sun-Kyu Park, and Sungnam Hong. (2020, March). **Experimental Study of Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beam Strengthened with Prestressed Textile-Reinforced Mortar.**

Experimental Study of Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beam Strengthened with Prestressed Textile-Reinforced Mortar.

ناقشت هذه الدراسة إجراء تجارب على عينات الخرسانة الإسمنتية المسلحة بالنسيج (TRC) (Textile Reinforced Cement) وتم استخدام نسيج من ألياف الكربون مع الألياف الزجاجية حيث يتمتع كل ليف بخصائص، فالألياف الزجاجية تستخدم لتعزيز قوة الإنحناء والثني، أما ألياف الكربون تمنع تلف الخرسانة بسبب التشققات حيث يحافظ على متانة (Textile Reinforced Cement) (TRC) .

نتيجة الدراسة: عينات الألياف الزجاجية كانت أقل صلابة عند تحميل قوة 10 KN وعند زيادة الحمل أكثر من 30 KN تشوه للنسيج الزجاجي وذلك لأن الرابطة بين الألياف الزجاجية غير كافية فتكون أقل ثباتا من المنسوجات الكربونية التي تكون أعلى ثبات بمعدل 30% كما موضح في الشكل (2-1).



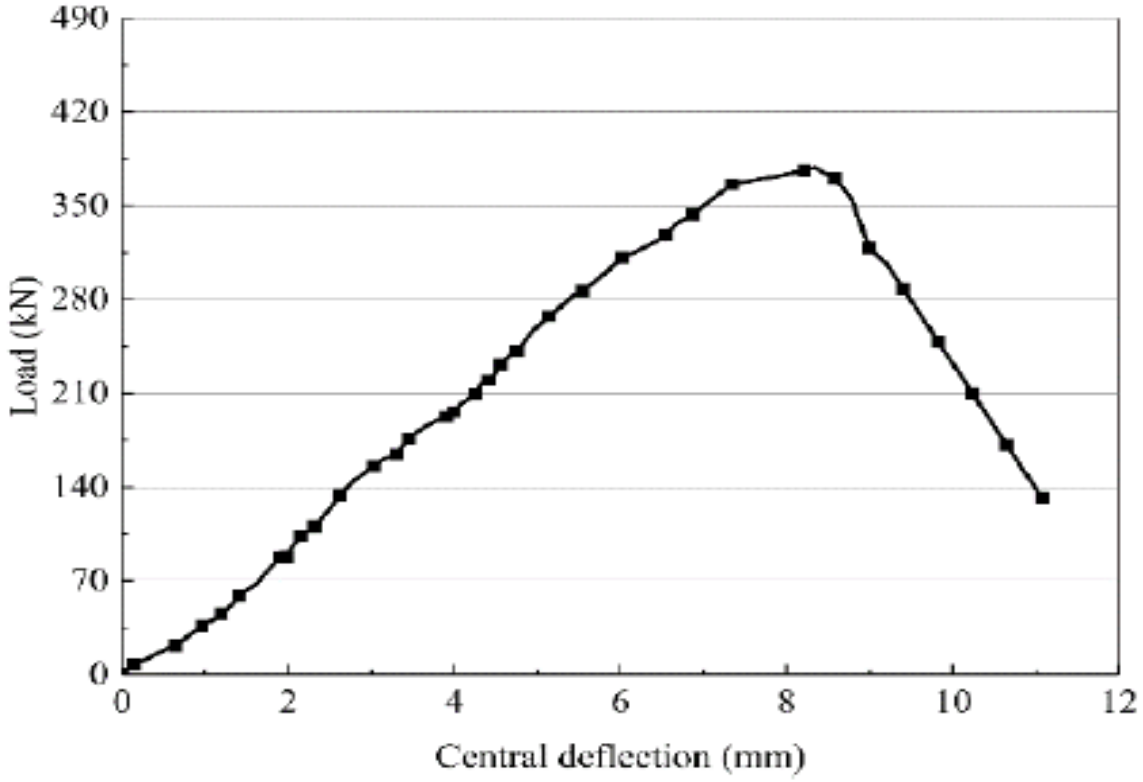
الشكل (2–1) مقارنة بين معدل الصلابة للانحناء بين a نسيج الياف زجاجية، b نسيج ألياف كربون [6]

[7] -Hongguang Wang, and Guijun Xian. (2020, March). **Shear Capacity of RC Beams Strengthened with Flax Fiber Sheets Grafted with Nano-TiO2**.

Shear Capacity of RC Beams Strengthened with Flax Fiber Sheets Grafted with Nano-TiO2

تناولت الدراسة استخدام نسيج من ألياف الكتان في تسليح الخرسانة كونها تعطي القوة العالية وتكلفتها منخفضة، حيث تتميز أنها ألياف طبيعية مما يجعلها صديقة للبيئة، ولا تسبب تلوث.

نتيجة الدراسة: تم تقسيم المنحني لثلاث مراحل اجهاد رئيسية: مرحلة المرونة عند انحراف (4–2) والعمل المتصدع (8–4) ومرحلة الفشل أكبر من 8، في البداية يزداد الانحراف تدريجيا فتظهر الشقوق عند حمولة 176 KN، وعند حمولة 352 KN يتشكل شق القص، ويمتد الى الشق الحرج حيث تبلغ الحمولة النهائية 378 KN كما هو مبين في الشكل (2–2).



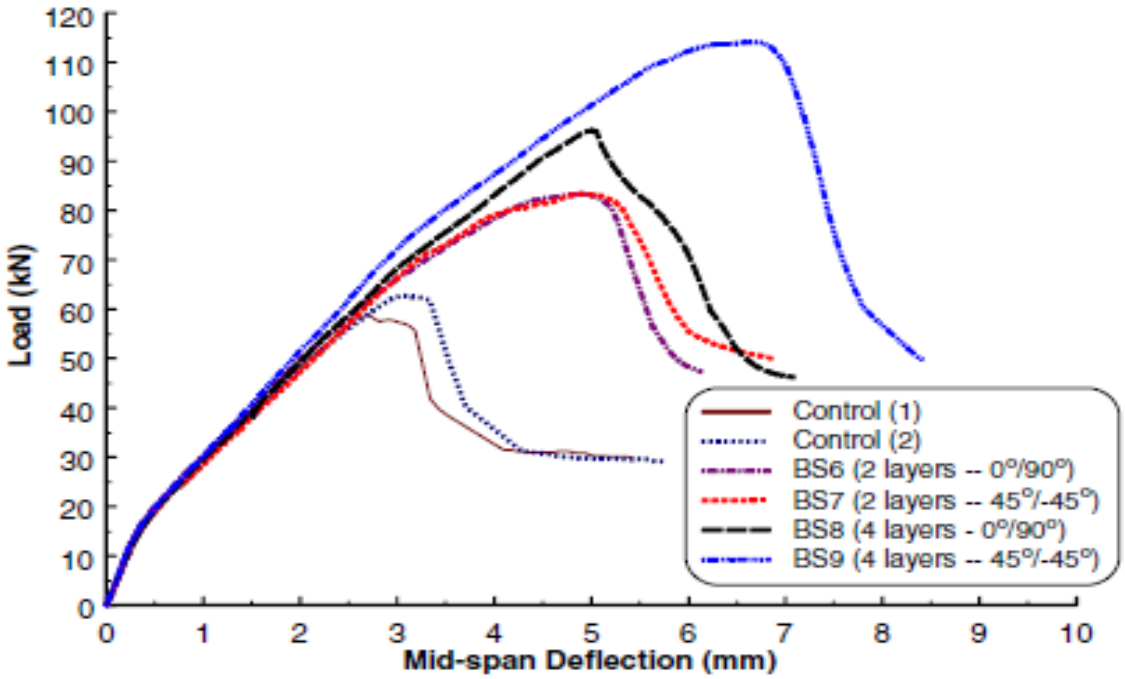
الشكل (2-2) منحني الانحراف والحمولة [7]

[8]-Yousef A Al-Salloum, Hussein M Elsanadedy, Saleh H. Alsayed, and Rizwan A. Iqbal. (Apr 2012). **Experimental and Numerical Study for the Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Textile-Reinforced Mortar**. P: 212,138

Experimental and Numerical Study for the Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Textile-Reinforced Mortar

تناولت الدراسة العمل على تدعيم المونة الإسمنتية بشبكة قماشية مصنوعة من خيوط البازلت طويلة منسوجة فيما بينها، وذلك لتحسين خصائص المونة.

نتيجة الدراسة: يبين الشكل (2-3) نتائج اختبار الحمولة بشكل متزايد لعينات مدعمة بالبازلت، وكانت الحمولة متقاربة، ونجد أن تقاطع الخيوط النسيجية بزوايا مائلة أفضل من التعامد ويعطي قدرة تحمل عالية.



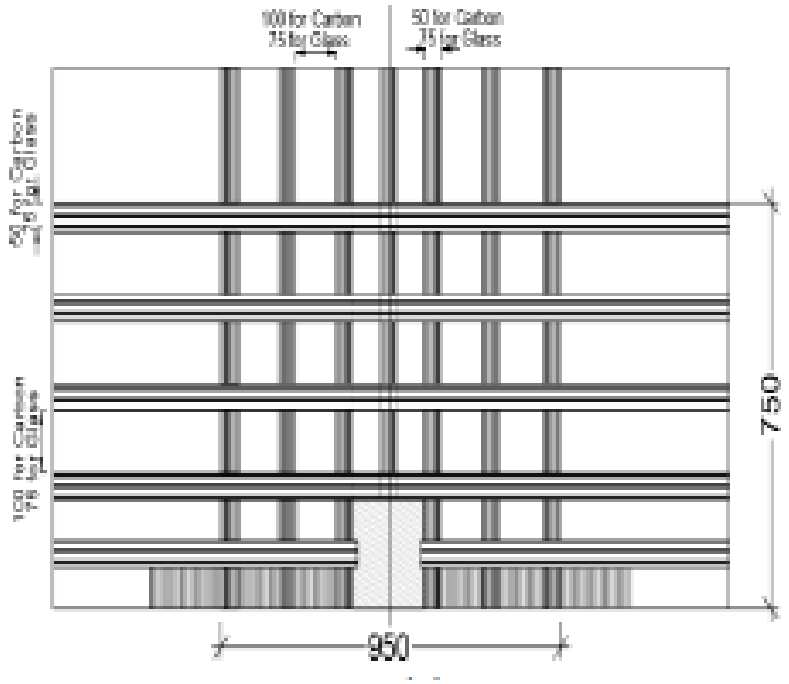
الشكل (2-3) منحني الحمولة للعينات المسلحة بالبازلت [8]

[9]-Osama Mohamed, Manish Kewalramani, Rania Khattab. (2020). **Fiber Reinforced Polymer Laminates for Strengthening of RC Slabs against Punching Shear**: A Review.

Fiber Reinforced Polymer Laminates for Strengthening of RC Slabs against Punching Shear

تناولت الدراسة استخدام الألياف النسيجية المصنوعة من الكربون والزجاج والتي تكون على شكل شرائط أو صفائح، وذلك لتحسين قدرة القص والانثناء والصلابة في الخرسانة الاسمنتية.

نتيجة الدراسة: تطبيق الشرائط النسيجية بطريقة عمودية ضمن الخرسانة أدت لزيادة قوة الإنحناء بمعدل Mpa169 كما موضح في الشكل (2-4).



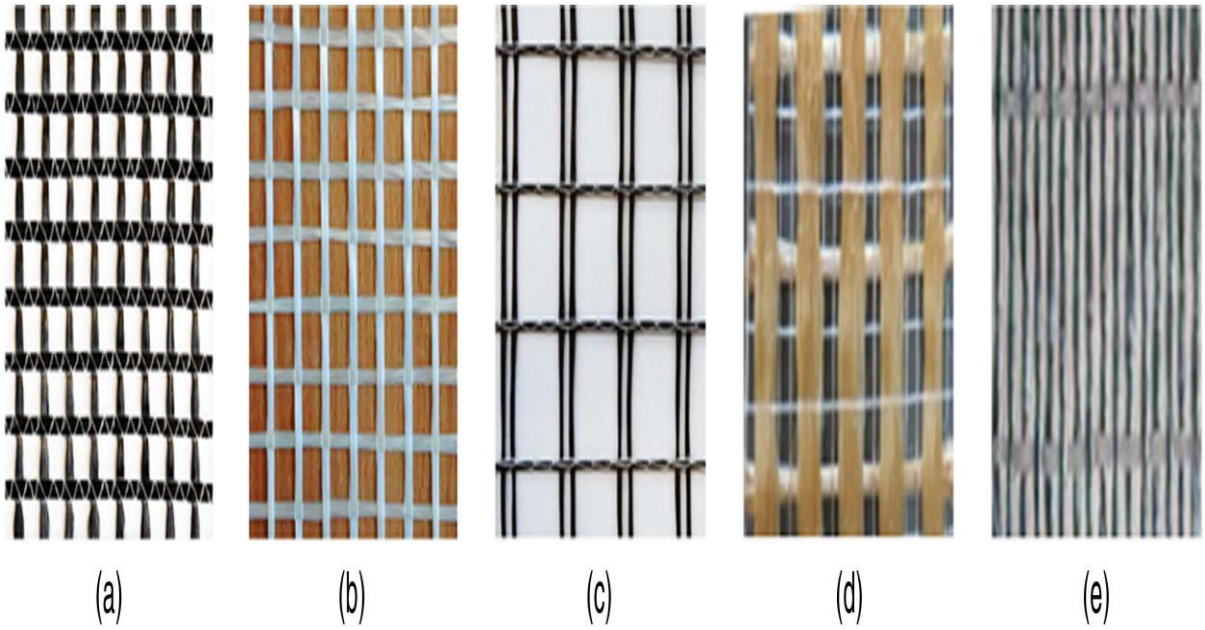
الشكل (2-4) شرائط نسيجية وألياف زجاجية[9]

[10] -Lampros N Koutas, Zoi Tetta. (2019). **Strengthening of Concrete Structures with Textile Reinforced Mortars**: State-of-the-Art Review.

Strengthening of Concrete Structures with Textile Reinforced Mortars

تناولت الدراسة تقوية المونة الإسمنتية لمقاومة الهزات الأرضية، وتحسين قوة القص وذلك بإضافة نسيج من ألياف نسيجية كما هو موضح في الشكل (2-5).

نتيجة الدراسة: أظهرت نتائج اختبار المونة الإسمنتية أنه عند استخدام الألياف تزداد مقاومة المونة، حيث وجود المنسوجات يؤدي لزيادة المقاومة بنسبة 67%.



الشكل (2-5) عينات من النسيج [10]

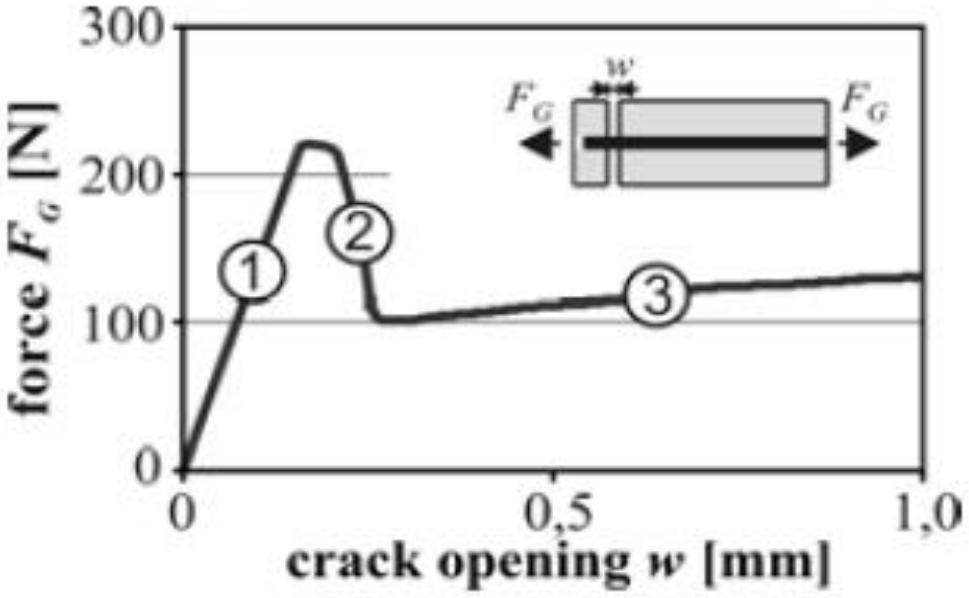
a نسيج ألياف الكربون b الزجاجية cالبازلت d بولي فينيل dألياف فولاذية

[11] -E. Lorenz, R Ortlepp. (2012). **Bond Behavior of Textile Reinforcements - Development of a Pull-Out Test and Modeling of the Respective Bond versus Slip Relation**, TU Dresden, Germany, P. 479-486.

Bond Behavior of Textile Reinforcements -Development of a Pull-Out Test and Modeling of the Respective Bond versus Slip Relation

تناولت الدراسة اجراء اختبارات على المنسوجات لتعزيز وتقوية الخلطة الإسمنتية، واعطاءها قوة شد عالية لتحديد قيمة الانهيار.

نتيجة الدراسة: اختبار لمتوسط عينات نسيجية وكانت نتائج اختبار الشد مقسومة لثلاث مناطق: الأولى تتحمل زيادة قوة الشد الى أكثر من 200 KN، والمنطقة الثانية تتناقص قوة الشد، المنطقة الثالثة تتماسك العينة بفضل الرابطة النسيجية وتتزايد قدرتها لتحمل قوة الشد كما هو موضح في الشكل (2-6).



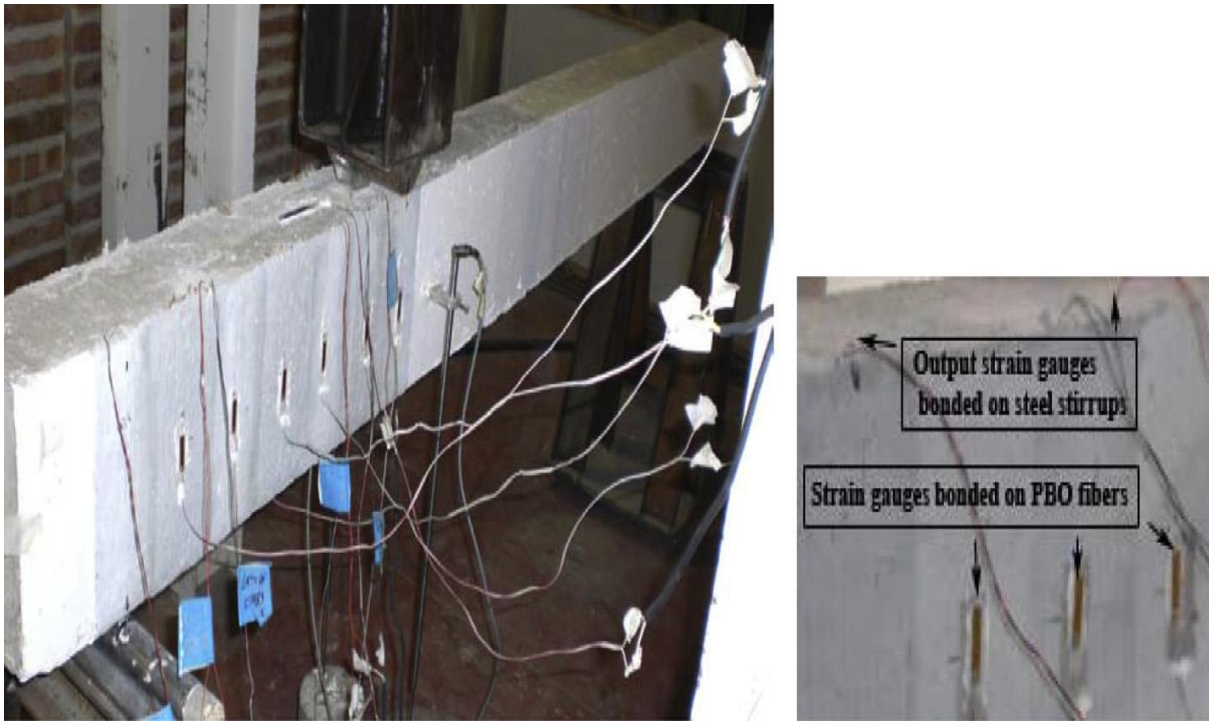
الشكل (2-6) مخطط تحليل للقوة المطبقة على العينة النسيجية [11]

[12] -Luciano Ombres, (2015). **Structural performances of reinforced concrete beams strengthened in shear with a cement based fiber composite material**.

Structural performances of reinforced concrete beams strengthened in shear with a cement based fiber composite material

تناولت الدراسة تعزيز الخرسانة الاسمنتية بمساعدة مواد نسيجية، واستخدام ألياف نسيجية في اتجاهين متعامدين وإضافتها ضمن الخرسانة الإسمنتية، وكان التركيز على أداء القص.

نتيجة الدراسة: أوضحت نتائج الاختبارات أن القص يحدث على العينة بسبب حمولة 150,70 KN علماً ان الحد الأقصى لتحمل القص 75 ,35 KN، حيث تشكل صدع قطري وعند التقوية بطبقتين من نسيج بولي بروبلين تم الاختبار وكانت النتائج على الشكل 188,75 KN للفشل والحد الأقصى للتحمل 94,375 KN حيث أن نسيج البولي بروبلين Pp يمنح الخرسانة قدرة تحمل للضغط حتى 30,4 Mpa.



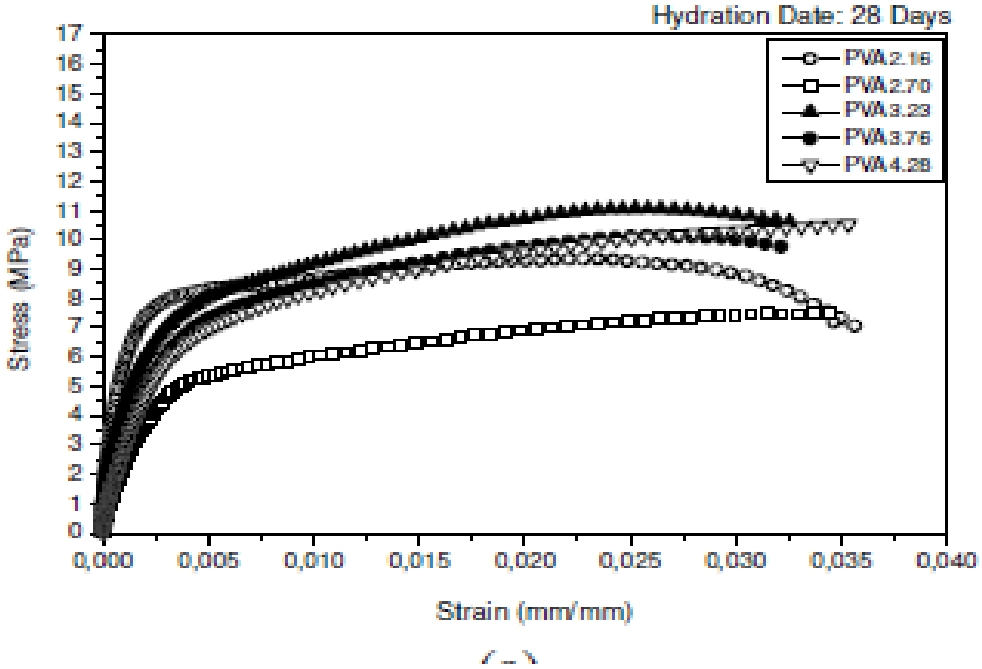
الشكل (2–7) اختبار الاسمنت المقوى بنسيج البولي بروبلين [12]

[13] -Eduardo Marcelo Bezerra, Ana Paula Joaquim, (2004). **SOME PROPERTIES OF FIBER-CEMENT COMPOSITES WITH SELECTED FIBERS**.

SOME PROPERTIES OF FIBER-CEMENT COMPOSITES WITH SELECTED FIBERS

تناولت الدراسة تقييم تأثير دمج أنواع مختلفة من الألياف الصناعية ولب السليلوز في صلابة وقوة المركبات الإسمنتية المقواة بالألياف. تضمنت الدراسات تقييماً للسلوك الميكانيكي باستخدام الفحص المجهري الإلكتروني عند 28 يومًا، تم تحضير عشر عينات بمقادير مختلفة من الألياف الصناعية.

نتيجة الدراسة: أظهرت نتائج التجارب أن المركبات التي تحتوي على ألياف كحول البولي فينيل (PVA)، أنها أكثر صلابة وقوة انحناء أعلى من ألياف البولي بروبلين (Pp) المستخدمة أيضًا في هذه الدراسة، شكلت ألياف البولي فينيل رابطة قوية مع المصفوفة الإسمنتية، بسبب طبيعتها المحبة للماء وخصائصها الهندسية



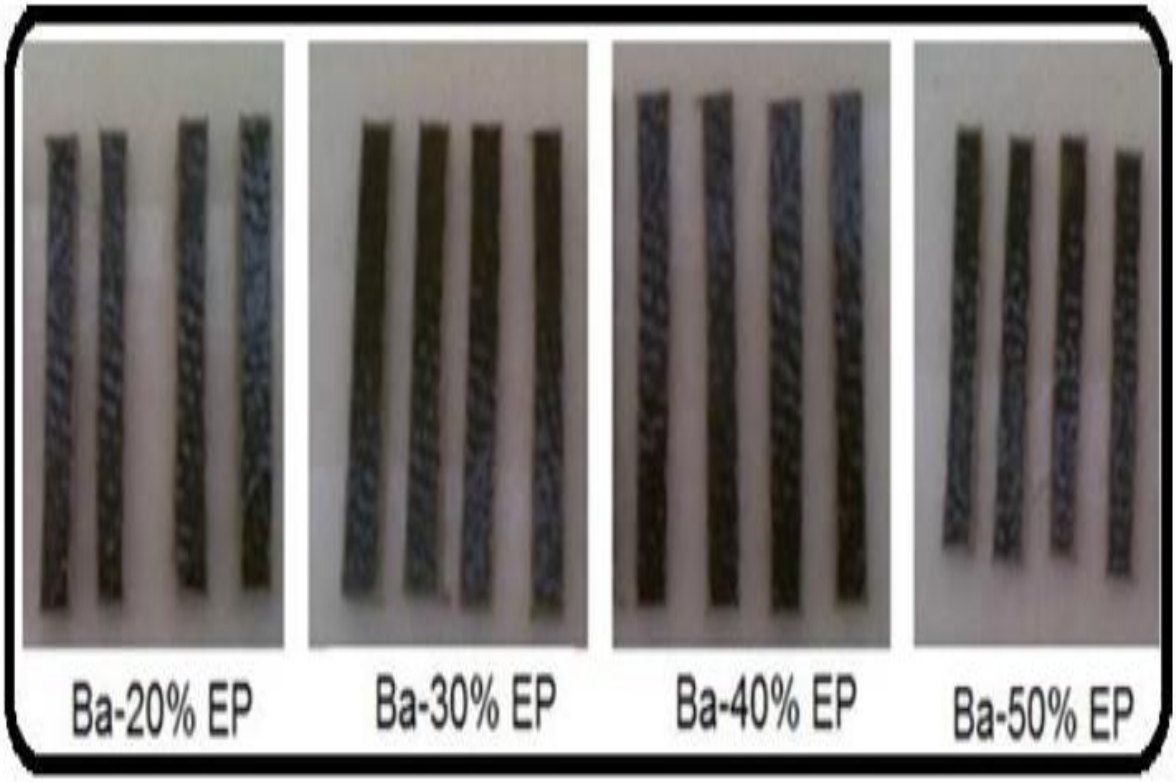
الشكل (2-8) تأثير الضغط على توتر العينات بعد 28يوم[13]

-حبيب ح، جبرة ر، مصطفى ح، (2016) ، **تحضير مواد مركبة بوليمر ألياف نانومترية وتوصيفها**، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، رسالة ماجستير.

تحضير مواد مركبة بوليمر-ألياف- نانومتريه وتوصيفها

تناولت الدراسة طرق تحضير مواد مركبة بالاعتماد على الألياف، وربطها عن طريق الراتنجات، وتطوير جهاز خرق بالاعتماد على المواصفات الأمريكية (NIJ Standard 0115.00 for Stab ressistssnce)، وتم دراسة الخواص الميكانيكية (شد، صدم، خرق) للمواد المركبة المحضرة باختلاف شروط التحضير كنوع الليف ونوع المادة الرابطة ونسبتها المئوية وتعدد نوع الليف ضمن المادة المركبة، وجرى تحضير سائل لانيوتوني (STF) Shear- thickening fluid لاستعماله في تشريب الكيفلار.

نتيجة الدراسة: تفوق ألياف البازلت المستخدمة في تصنيع مواد بوليميرية عن ألياف الزجاج من ناحية الخواص الميكانيكية كقوة الشد ويبين الشكل (2-9) صور توضيحية لعينات من البازلت مع نسب مختلفة من الإيبوكسي.



الشكل (2-9) عينات من مادة بوليميرية من ألياف البازلت[1]

[14]- Dipen Kumar Rajak, Durgesh D. Pagar, Pradeep L. Menezes. (2019). **Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications**. Department of Mechanical Engineering, Sandip Institute of Technology & Research Centre, India.

Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications

تناولت الدراسة تصنيع المواد المركبة بعدد من التقنيات المختلفة، حيث أن كل تقنية قابلة للتطبيق على مادة معينة. تعتمد فعالية تقنية التصنيع على مزيج من نوع وحجم المركب أو المادة النسيجية المستخدمة، حيث تمتلك كل مادة خصائص فيزيائية مختلفة، مثل نقطة الانصهار، والصلابة، وقوة الشد، يتم تحديد تقنية التصنيع حسب اختبار

المواد النسيجية، بالنسبة للتطبيقات المتميزة في مجموعة متنوعة من المجالات، يمكن استبدال بعض المواد المفردة بمواد مركبة، اعتمادًا على التحسين في الخاصية المطلوبة.

نتيجة الدراسة: بعد دراسة خصائص المواد المركبة المصنوعة من الألياف الصناعية والطبيعية وجد تفوق الصناعية بخصائصها كخفة الوزن وقوة الشد ومقاومة التآكل والحرارة، أما الطبيعية يميزها رخص الثمن وسهولة التخلص منها كونها قابلة للتحلل.

[15] نحاس م، (2005). **أحدث التطورات في مجال المواد المركبة – المواد المركبة الصديقة للبيئة والقابلة لإعادة الاستخدام**، مجلة جامعة الملك عبد العزيز العلوم الهندسية.

أحدث التطورات في مجال المواد المركبة – المواد المركبة الصديقة للبيئة والقابلة لإعادة الاستخدام

تناولت الدراسة المواد المركبة المؤلفة من مادتين مختلفتين متمايزتين أو أكثر، أولهما مادة التقوية يمكن أن تكون على شكل ألياف مصنوعة من (مواد عالية المقاومة) كألياف الكربون وألياف الزجاج مثلاً، والمادة الثانية هي إحدى اللدائن أو البوليمرات الغروية، التي تعطي المنتج النهائي شكله المطلوب وتسمى المادة الحاضنة، وتكون الخواص الميكانيكية للمنتج النهائي مغايرة لخواص أي من المواد المؤلفة. وقد انتشرت المواد المركبة انتشاراً هائلاً خلال الفترة القصيرة من عمرها نظراً لخواصها الميكانيكية الممتازة مقارنة بوزنها المنخفض، فدخلت في كل المجالات الهندسية، رغم أنها ولدت أصولاً في عالم صناعة الطائرات ومركبات الفضاء، حيث تلعب خفة الوزن دورًا.

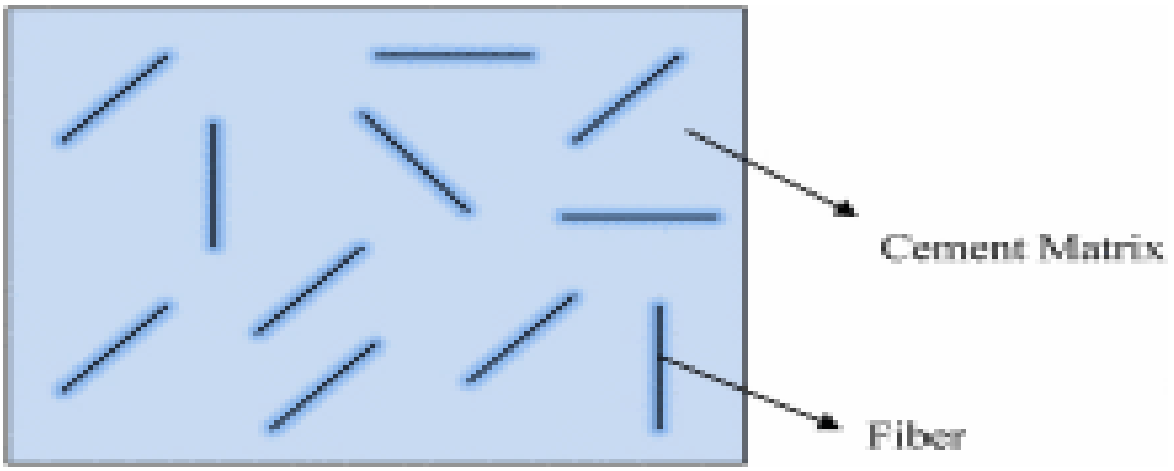
نتيجة الدراسة: استبدال الأجزاء المعدنية داخل هياكل السيارات بالأجزاء اللدنة المصنوعة من المواد المركبة لتخفيف الوزن وتقليل الكلفة، وحسب الأنظمة الجديدة في جعل أجزاء السيارات قابلة لإعادة الاستخدام فإن المستقبل هو للمواد المركبة من بولي بروبلين، وسوف تحل محل اللدائن المقواة بألياف الزجاج واللدائن المقواة بالألياف الطبيعية المستخدمة في الأجزاء الداخلية، والسبب في ذلك كونها قابلة لإعادة الاستخدام بشكل كامل.

[16]-Congro, M. Mejia, C. (1/2/2021), **Mesosccale computational modeling of the mechanical behavior of cement composite materials Green Production Planning and Control for the Textile Industry by Using Mathematical Programming and Industry Techniques**

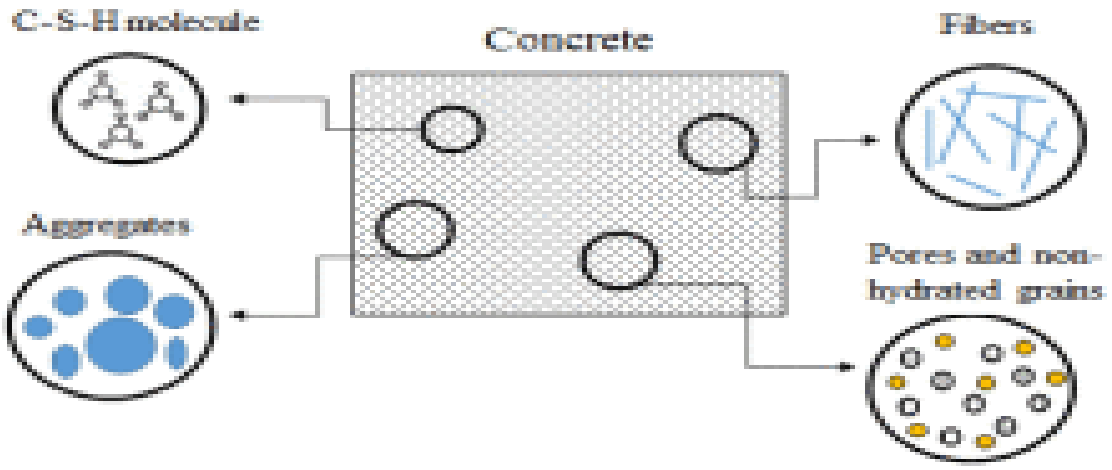
Mesosccale computational modeling of the mechanical behavior of cement composite materials Green Production Planning and Control for the Textile Industry by Using Mathematical Programming and Industry Techniques

تناولت الدراسة نموذجاً رقمياً جديداً لمحاكاة السلوك الميكانيكي للمواد المركبة الاسمنتية في الشد والانحناء تم تطوير عناصر جديدة يتم فيها دمج الألياف ضمن المصفوفة الإسمنتية، مع مراعاة اتجاه الألياف والصلابة والقوة. تتكون الصيغة الجديدة من اقتران عناصر ألياف أحادية المحور مع عناصر اسمنتية متصلة من خلال معادلات السلوك الميكانيكي، ويتم التخلص من درجات الحرية الليفية على مستوى العنصر.

نتيجة الدراسة: تم اقتراح منهجية عددية للتمثيل الميكانيكي للمواد التي تدخل في الاسمنت المقوى بالألياف. ويوضح هذا المنهج نسبة الألياف الداخلة في تدعيم الاسمنت وتمت التجارب على عينات موشورية بأبعاد (15*15*50) Cm ومن خلال تصوير العينات تبين وجود المواد النسيجية كما في الأشكال (2-10)(2-11).



الشكل (2-10) نموذج ثنائي الأبعاد متوسط الحجم للمواد القائمة على الإسمنت المقوى بالألياف.



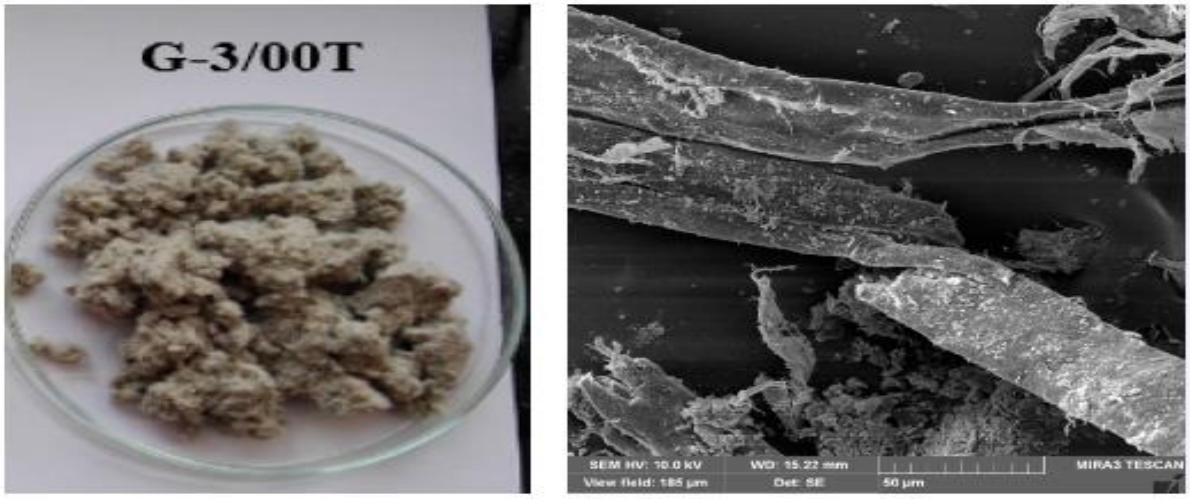
الشكل (2-11) الخرسانة الاسمنتية المقواه بالألياف.[16]

[17] -Viola Hospodarova, Nadezda Stevulova,and ete. (12 March 2018), **Investigation of Waste Paper Cellulosic Fibers Utilization into Cement Based Building Materials**, journal building.

Investigation of Waste Paper Cellulosic Fibers Utilization into Cement Based Building Materials

يتناول البحث التحقق من تأثير الألياف السيللوزية المعاد تدويرها بعد إضافتها للخرسانة الإسمنتية، وذلك لأثرها البيئي المنخفض وتكلفتها المنخفضة حيث تكون بكميات ضمن الخرسانة وهذا يجعلها تتمتع بتناسق الخلطة وقوة ضغط وانحناء خلال أوقات التصلب 90-28-7 يوم.

نتيجة الدراسة: ومن خلال التجارب والمقارنة مع عينات مرجعية بينت النتائج أنه تزداد قيمة الضغط حتى 48.4 MPa، وقوة الانحناء تصل 7 MPa ويتم وضع مادة ملدنه نظراً لكونها أفضل من حيث تحسن قوة الترابط بين الالياف والمصفوفة الاسمنتية وذلك لخصائصها الكيميائية والفيزيائية من ناحية الضغط والانحناء وهذا ما يميز استخدامها.



الشكل (2-12) الالياف السيللوزية المعاد تدويرها [17]

[18]- Lunette V, Galati M, Settineri L, (2023), **Sustainability in the manufacturing of composite materials: A literature review and directions for future research,** journal of Manufacturing Processes, P(858-874).

Sustainability in the manufacturing of composite materials: A literature review and directions for future research

تناولت هذه الدراسة استبدال المواد المعدنية بمواد مركبة مصنوعة من ألياف نسيجية، لاستخدامها في تطبيقات متنوعة، حيث تحتاج لقوة كبيرة واستدامة، وتبين الدراسة أهمية المواد المركبة وفعاليتها كونها تحافظ على البيئة من خلال تقليل انبعاث غاز ثنائي اوكسيد الكربون، وتمتاز بأنها خفيفة الوزن مقارنةً بالمعادن، تقييم الاستدامة للمنتجات المركبة يبدأ من عملية التصنيع للمادة الخام وحتى الاستخدام النهائي، وتهتم بتقنيات التصنيع التي تشمل عملية إعادة التدوير.

الطاقة المجسدة للمادة الخام: هي الطاقة التي تحملها المادة الخام لموادها الأولية والمكاسب من عمليات التصنيع اللازمة لعزلها عن الطبيعة.

نتيجة الدراسة: يوجد تشتت وضياع كبير في الطاقة لكل من المواد المصنعة بهذه التقنية، وذلك لتحديد كمية الطاقة لكل عملية على حدى، يتم تطبيق طريقة التصنيع اعتماد على وزن جزء من البوليمير وتلخص ضمن معادلات لحساب الطاقة المستهلكة.

[19] Tien ManhTran, Tu Ngoc Do, Ha Thu Thi Dinh (2020). **A 2-D numerical model of the mechanical behavior of the textile-reinforced concrete composite.** Journal of Mining and Earth Sciences Vol. 61, 51 – 59.

A 2-D numerical model of the mechanical behavior of the textile-reinforced concrete composite

تقدم هذه الدراسة منهجاً عددياً لمتوسط السلوك الميكانيكي للمركبات التي تتضمن خرسانة مسلحة بالمنسوجات Textile Reinforced Concrete (TRC) تحت قوة الشد. تم انشاء نموذج ثنائي الأبعاد للعناصر المحدودة في برنامج Ansys Mechanical.

تم تطوير نموذج ثنائي الأبعاد للعناصر المحدودة لتوصيف السلوك الميكانيكي لمركب الخرسانة المسلحة بنسيج البازلت (TRC) وتم التحقق من صحة هذا النموذج باستخدام البيانات من الاختبارات التجريبية التي أجراها Rambo et al.

نتيجة الدراسة: يمكن استخدام النموذج للتنبؤ بسلوك TRC من سلوك المواد المكونة لها، ويمكن أيضًا التنبؤ بالخصائص الميكانيكية لمركب TRC مثل إجهاد التكسير، والقوة النهائية، والضغط عند نقاط نموذجية، ومعامل يونغ للمراحل الثلاث.

تظهر دراسة بارامترية التأثير الكبير لنسبة التدعيم على علاقة الإجهاد والانفعال والقوة النهائية للبازلت TRC.

[20] Dong Chen, Junjie Deng, Baoquan Cheng, (2021) **New Anticracking Glass-Fiber-Reinforced Cement Material and Integrated Composite Technology with Lightweight Concrete Panels**, Advances in Civil Engineering, Volume, Article ID 7447066, 17 pages.

New Anticracking Glass-Fiber-Reinforced Cement Material and Integrated Composite Technology with Lightweight Concrete Panels

تناولت الدراسة الإسمنت المقوى بالألياف الزجاجية (GRC) Glass-Fiber-Reinforced Cement فهو مادة زخرفية مستخدمة على نطاق واسع لواجهات الجدران، تتميز هذه المنتجات بمقاومة التصدع، ولتحقيق جدار مركب متكامل مصنوع من GRC وخرسانة خفيفة الوزن مسبقة الصب (PLC) precast lightweight concrete حيث تتمتع بتأثير مضاد للتشقق بشكل دائم، وتمت دراسة خصائص مقاومة التكسير لهذه المواد بالإضافة إلى وضع اتصال طبقات GRC و PLC، من خلال اختبار الانكماش طويل المدى، تم تحليل تأثير محتوى الألياف، ومحتوى مسحوق المطاط ، ومحتوى عامل التمدد لمقاومة التصدع لمادة GRC، و تم تحليل تأثير وضع الاتصال على مقاومة التشقق لطبقة GRC بعد التركيب بالخرسانة خفيفة الوزن سابقة الصب (PLC).

نتيجة الدراسة: أظهرت النتائج أن إضافة الألياف يمكن أن تحسن بشكل فعال قوة الانحناء لـ GRC وتقليل الانكماش، في حين أن إضافة مسحوق المطاط يمكن أن يحسن بشكل فعال متانته ومقاومته للتشقق، يمكن أن تؤدي إضافة عامل التمدد إلى نقل خلطة الإسمنت بدرجة معينة من أداء التمدد الدقيق والمساعدة في تحسين الانكماش في GRC. بالمقارنة مع طرق التركيب الأخرى، فإن الاتصال بين GRC وPLC يمكن أن يقلل بشكل فعال من انكماش طبقة سطح GRC ويحسن مقاومة التشقق.

[2] بدر م، جبرة ر، شعبان ب، (2022) ، **تحضير مواد مركبة – بوليمير ألياف زجاجية ودراسة خصائصها الميكانيكية**، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، رسالة ماجستير.

تحضير مواد مركبة – بوليمير ألياف زجاجية ودراسة خصائصها الميكانيكية

تناولت الدراسة تحضير مواد مركبة من الياف زجاجية مع الايبوكسي حيث كانت الالياف بأشكال متعددة (مطحونة، نسيج، هجينة، غير منسوج) وجرى تحضير مادة مركبة من الايبوكسي مع إضافات من مساحيق كربونات الكالسيوم والسيليكا، وتم دراسة كل نوع من الألياف ونسبتها ونوع المساحيق على خواص الانعطاف للمواد المركبة التي تم تحضيرها، وجرى توظيف تقنية السكب في تشكيل مواد نصف مصنعة ومصنعة من المادة المركبة السابقة مع إمكانية تطبيقها على كافة طرق تحضير مواد مركبة التي تشمل بوليمرات التصلب الحراري كمادة رابطة، جرى تطوير تقنية باستخدام القالب الشمعي لتحضير عينات مواد مركبة أولية اسطوانية الشكل أوموشورية يمكن استخدامها في المنتجات النهائية.

نتيجة الدراسة: زيادة مقاومة الانعطاف ومعامل يونغ مع زيادة نسبة الألياف الزجاجية حتى قيمة معينة بعده تبدأ مقاومة الانعطاف بالانخفاض بسبب زيادة المادة الرابطة لإشباع الألياف وبينت الدراسة تحسن معامل يونغ عند إضافة المساحيق بنسبة 20% الى الايبوكسي.

[21] M P Todor, C Bulei, and I Kiss, (2018). **Composite materials manufacturing using textile inserts with natural origins fibers.** Materials Science and Engineering.

Composite materials manufacturing using textile inserts with natural origins fibers

تناولت هذه الدراسة البحث في تصنيع المواد المركبة باستخدام نسيج ذات ألياف طبيعية المنشأ، موجهة نحو تصنيع عينات المواد المركبة، وتطوير مواد مركبة جديدة قابلة للتحلل كليًا أو جزئيًا باستخدام ألياف طبيعية، إن إدخالات النسيج المستخدمة كتقوية بيئية وغير سامة وقابلة للتحلل وهي تحتوي على ألياف لحائيه (كتان، قنب، خيش)، والتي يمكن أن تحل محل ألياف الزجاج المستخدمة بشكل شائع في المركبات البوليمرية.

نتيجة الدراسة: تحتوي ألياف اللحاء على العديد من تطبيقات النسيج، حيث تكون مركبات الألياف الطبيعية هي الأسرع نموًا بسبب مزيج من تكلفتها المنخفضة نسبيًا وخصائصها التقنية الممتازة. الجوت هو ثاني أكثر الألياف الطبيعية المزروعة في العالم شيوعًا (بعد القطن). تجد مركبات مصفوفة اللدائن الحرارية القائمة على الجوت سوقًا كبيرًا في صناعة ألواح أبواب السيارات. يعتبر الكتان والقنب من بين الألياف الطبيعية التي تستخدم الآن في الألواح المركبة المصنوعة من البلاستيك الحراري للهياكل الداخلية (بطانات الأبواب والصندوق) في صناعة السيارات.

[22] K. Faridul Hasan, Pe´ ter Gyo¨rgy Horva´ th, and Tibor Alpa, (2021), **Potential fabric-reinforced composites: a comprehensive review Concrete Panels**, J Mater Sci 56:14381–14415**.**

Potential fabric-reinforced composites: a comprehensive review Concrete Panels

تناولت الأقمشة المستخدمة في إنتاج المواد المركبة بعض الميزات البارزة بما في ذلك كونها أخف وزنًا وقوة أعلى وتكلفة أقل، مما يساعد في تفسير الاهتمام المتزايد بهذه الأقمشة فإن الأقمشة المستخدمة في التصفيح من أنواع

مختلفة مثل المحبوكة، والمنسوجة، وغير المنسوجة. بالمقارنة مع الأقمشة المحبوكة وغير المنسوجة، فإن الأقمشة المنسوجة تستخدم على نطاق واسع كمواد تقوية. تعتمد المركبات المصنوعة من القماش على خصائص مختلفة مثل أنواع الألياف والمنشأ والتركيبات والمصفوفات البوليمرية. يساعد تحليل العناصر المحدودة أيضًا على تسهيل التنبؤ الفعال للخصائص المركبة النهائية. نظرًا لتوفر مواد النسيج على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم، فإن إنتاج المركبات الرقائقي من نسيج مختلف يكون أيضًا ممكنًا وفعالًا من حيث التكلفة. تناقش هذه المراجعة التصنيع، والميكانيكية الحرارية، والأداء الصرفي لمختلف التركيبات المنسوجة، والمتماسكة، وغير المنسوجة القائمة على القماش

نتيجة الدراسة: تطوير العديد من المركبات القائمة على النسيج من خلال الجمع بين الألياف والخيوط المختلفة مع الطبقات المتغيرة. مركبات متعددة الوظائف اقتصادية كما توفر المركبات متعددة الوظائف ذات الجوانب الاقتصادية من الأقمشة المختلفة حلولًا هندسية محتملة عن طريق تقليل خطوات المعالجة المختلفة والجمع بين العديد من المنتجات في منتج واحد. غالبًا ما يتم تقوية الأقمشة عالية الأداء بأقمشة منخفضة الأداء جنبًا إلى جنب مع مواد بوليمرية مناسبة لتحقيق الخصائص الإيجابية المجمعة.

[23] Xie J, Guo Z, Shuo M, (2023), **Mechanics of textiles used as composite preforms: A review**.

Mechanics of textiles used as composite preforms: A review

تناولت الدراسة استخدام النسيج لتشكيل مواد مركبة عالية الأداء بسبب بنية الليف وتأثيرها على الخواص الميكانيكية، حيث تساهم في تدعيم وتقوية المادة المركبة بسبب إضافات النسيج، وخلال عملية التصنيع تتعرض القوالب للتشوه بسبب تعقيدات الأشكال، وتم خلال هذه الدراسة مناقشة نتائج تجريبية لعدة منسوجات دخلت بصناعة المواد المركبة، وصنفت تلك الاختبارات حسب نوع الحمل بما في ذلك الشد والضغط والقص، وتصنيف الفئات الرئيسية حسب نوع تكنولوجيا النسيج.

نتيجة الدراسة: بعد اجراء الاختبارات على المواد المركبة، نتجت تركيبة خاصة للمادة الليفية لاستخدامها في تطبيقات خاصة، ومعالجة موضوع التشوهات ضمن القوالب أثناء التصنيع

[24] Qin X, Zhang X, (2019), **Experimental study of compressive behavior of polypropylene fiber.**

Experimental study of compressive behavior of polypropylene fiber

تناولت الدراسة مشكلة معالجة النفايات من ألياف البولي بروبلين، وذلك لاستخدامها في مجالات الهندسة المدنية، وتدعيم وتقوية الخرسانة الاسمنتية، بإضافتها اليها، واجراء اختبارات على جهاز الضغط للعينات الخرسانية، ومقارنتها مع الخرسانة بدون ألياف.

كانت مجالات الاستخدام على صعيد الهندسة المدنية أنابيب خرسانية، رصيف، أعمال اصلاح، أرضيات سفن، مخارج تفريغ مياه السدود، حيث تتأثر خواص المركب بهندسة النسيج وتركيبه مع الرابطة التي تتطور بين النسيج والاسمنت وتعتمد قوة الشد والانحناء على خواص النسيج وبنيته

نتيجة الدراسة: تحسن أداء ضغط الخرسانة بالمقارنة مع خرسانة عادية.

التخلص من النفايات التي تسببها ألياف البولي بروبلين، كلما زادت قوة الشد للنسيج نقصت قوة الشد لمركب الإسمنت النسيجي.

[25] Brunetiere N, Smerdova O, Narayanappa K, (2024), **Form mixed to hydrodynamic regime in lubricated sliding of carbon fiber tows.**

Form mixed to hydrodynamic regime in lubricated sliding of carbon fiber tows

تناولت الدراسة خصائص المواد المركبة التي تجمع بين الوزن الخفيف والأداء الميكانيكي الجيد، عن طريق إضافة نسيج مكون من ألياف مصنوعة من الكربون والزجاج، تعتبر الخواص الميكانيكية حساسة لاتجاه الألياف، والتي تحدد أثناء عملية تشكيل المادة المركب، حيث يؤثر الاحتكاك بين الألياف داخل النسيج وبين القماش وأداة التشكيل على اتجاه النسيج والألياف، ويؤدي لخلق عيوب مثل التجاعيد، وعدم المحاذاة، مما يسبب ضرر المنتج النهائي، لذلك لابد من فهم آلية الاحتكاك أثناء مرحلة التشكيل، ولكن الاحتكاك يحدث بمقاييس مختلفة مقياس الألياف، مقياس النسيج، مقياس السحب، مقياس التشحيم الذي يوفره الراتنج.

نتيجة الدراسة: دراسة عملية لاحتكاك سحب الكربون على دبوس أسطواني تحت ظروف جافة ومشحمة بمادة الراتنج السائل، وتم اجراء اختبارات لعينات مختلفة بسرعات متعددة، ومقارنة النتائج مع عمليات محاكاه عددية مع الأخذ بعين الاعتبار ميكانيكا التلامس والتشحيم.

بينت النتائج أن التشحيم بمادة راتنجية سائلة يقلل العيوب التي تظهر بسبب الاحتكاك.

2-3 القيمة المضافة في البحث:

الدراسات المرجعية تحدثت عن

1. استخدام النسيج (كألياف وأقمشة) لتقوية الخرسانة الاسمنتية، وذلك ضمن أعمال الترميم.
2. دمج ألياف صناعية مع طبيعية لتدعيم الخرسانة الاسمنتية.

البحث الحالي يتميز بأنه

1. تشكيل مادة نسيجية مركبة تتضمن مادة أساسية وهي النسيج مع مادة رابطة وهي الإيبوكسي المقسي.
2. دراسة تأثير نسبة المادة الرابطة على خصائص المادة النسيجية المركبة.
3. دراسة بارامترات النسيج كالمادة الأولية والتركيب النسيجي وأثرها على عملية التحضير وخصائص المنتج.
4. تحسين خصائص الخرسانة الاسمنتية والمونة الاسمنتية في مقاومة الانعطاف، وذلك من خلال تسليحها بالمواد التي تم تشكيلها.
5. تقوية الإسمنت المنتج بالمواد التي تم تحضيرها ووضعها بشكل عشوائي ضمن المطحنة.

الفصـل الثالث

الألياف النسيجية

الألياف النسيجية Textile Fibers

3-1 تمهيد:

تقسم الألياف النسيجية الى عدة أقسام منها الألياف الطبيعية والصناعية.

الألياف الطبيعية تكون من أصل نباتي وهي معروفة منذ زمن قديم في صناعة الحبال والخيوط وأشرعة السفن، ويُحصل عليها من سيقان النباتات أو من أوراقها، وتتميز بأنها متجددة سنوياً، بل إن الخيزران متجدد كل بضعة أشهر مثلاً، في حين أن خشب الأشجار يمكن أن يتجدد كل عشرين سنة، هذا يدل على توفر الألياف الطبيعية خلال العام، هذا يعني أن الألياف الطبيعية متوفرة باستمرار على مدار العام، وهي بالإضافة لذلك رخيصة الثمن.

أما الألياف الصناعية تتميز بخصائص أفضل من الطبيعية ومجالات استخدام أوسع ولها طرق مختلفة لتحضيرها حسب النوع.

3-2 الألياف الطبيعية Natural Fibers

يعتبر استخدام الألياف الطبيعية في التطبيقات التقنية موضوع يحتاج لبحث مكثف، حيث ركزت عليه معظم الأبحاث ضمن هذا المجال، وتم فحص مدى ملاءمة الألياف الطبيعية الموجودة ضمن المصفوفات البوليميرية، من أهم العوامل المؤثرة في تحسين التوافق بين البوليمرات والألياف سطح الليف وعمليات التصنيع، تم ملاحظة التقدم الكبير في التكنولوجيا الخضراء في مجال علم المواد من خلال تطوير المركبات المقواة بالألياف الطبيعية.

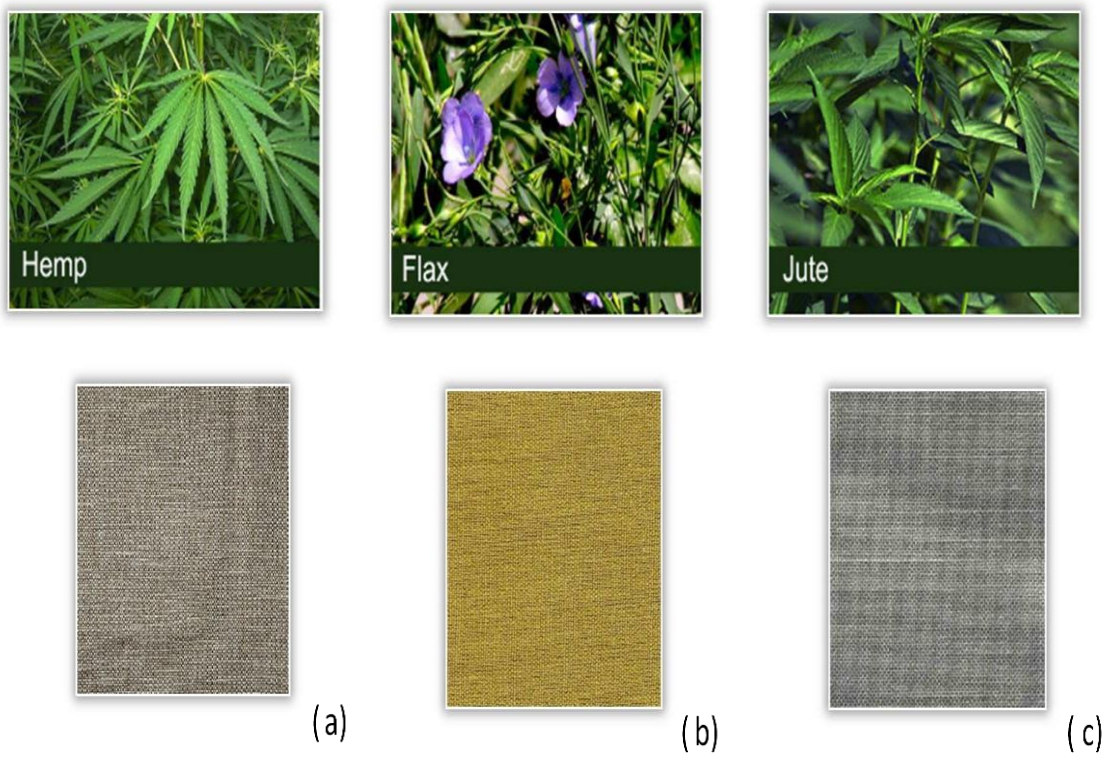
تطوير المواد عالية الأداء المنتجة من الموارد الطبيعية يتوسع في جميع أنحاء العالم، يمكن أن يُعزى ذلك أساسًا إلى أصولها مقارنةً بالمواد الاصطناعية مثل التكلفة المنخفضة، والوزن المنخفض، والأضرار الأقل لمعدات المعالجة، والخصائص الميكانيكية، والقابلية للتحلل البيولوجي، والموارد الوفيرة والمتجددة.

الألياف الطبيعية هي موارد قيمة ومتعددة الاستخدامات ولها مزايا متعددة، من بين العديد من الألياف الطبيعية الموجودة، يتم إيلاء اهتمام متزايد لألياف اللحاء (القنب، الكتان والجوت)، نظرًا لخصائصها المتميزة.

عملية تطوير الألياف الطبيعية محدودة بسبب:

1. يمكن أن يؤدي التحلل الحراري للألياف الطبيعية إلى تقليل الخواص الميكانيكية (الصلابة وقوة الانحناء)، مما يؤدي إلى ضعف الخصائص الحسية (الرائحة واللون) وإمكانية إنتاج المواد المتطايرة في وقت المعالجة فوق 200 درجة مئوية (يحدث التدهور الحراري للألياف الطبيعية في مرحلتين: بين 220–280 درجة مئوية، يرتبط فقدان الكتلة بتدهور الهيميسليلوز، بينما يتم فقدان اللجنين بين 280–300 درجة مئوية).
2. يمكن أن يؤدي محتوى الرطوبة العالي للألياف الطبيعية، وخاصة الألياف السلولوزية، إلى ضعف ثبات الأبعاد والقدرة على العملية، وقضايا مسامية
3. قد تتحلل المواد المركبة المكشوفة في الهواء الطلق بفعل الأشعة فوق البنفسجية.
4. يتأثر تشتت الألياف الطبيعية بالترابط القوي بين الألياف.
5. عدم التوافق بين مصفوفة البوليمر وخصائص الألياف الطبيعية (الخواص المحبة للماء والطاردة للماء للألياف الطبيعية والبوليمرات) مما يؤدي إلى تفاعل ضعيف في الترابط عند السطح البيني.

بالفحص المجهري لألياف الكتان والقنب والجوت الشكل (3–1) تبين أنها تحتوي هياكل معقدة وتتكون المكونات الرئيسية لها كألياف طبيعية من: السيللوز، الهيميسليلوز، اللجنين، البكتين، والرماد. الجدول (3–1) يبين النسب المئوية للمكونات، حيث تختلف النسب المئوية لكل نوع من الألياف ولكن بشكل عام يوجد 80%–60 من السيللوز، 25%–5 من اللجنين، 20% رطوبة. تؤثر كمية هذه المكونات بشكل مباشر على خصائص الألياف، حيث أن الهيميسليلوز مسؤول عن امتصاص الرطوبة والتحلل الحيوي والحراري بينما يضمن اللجنين الاستقرار الحراري ولكنه مسؤول عن التدهور بسبب الأشعة فوق البنفسجية. [27]



الشكل(3–1) الألياف الطبيعية الشائعة / نباتات ألياف اللحاء (أعلى) ونسج (أسفل): (أ) القنب؛ (ب) الكتان. (ج) الجوت. [27]

الجدول (3–1) التركيب الكيميائي للألياف الطبيعية الشائعة. [27]

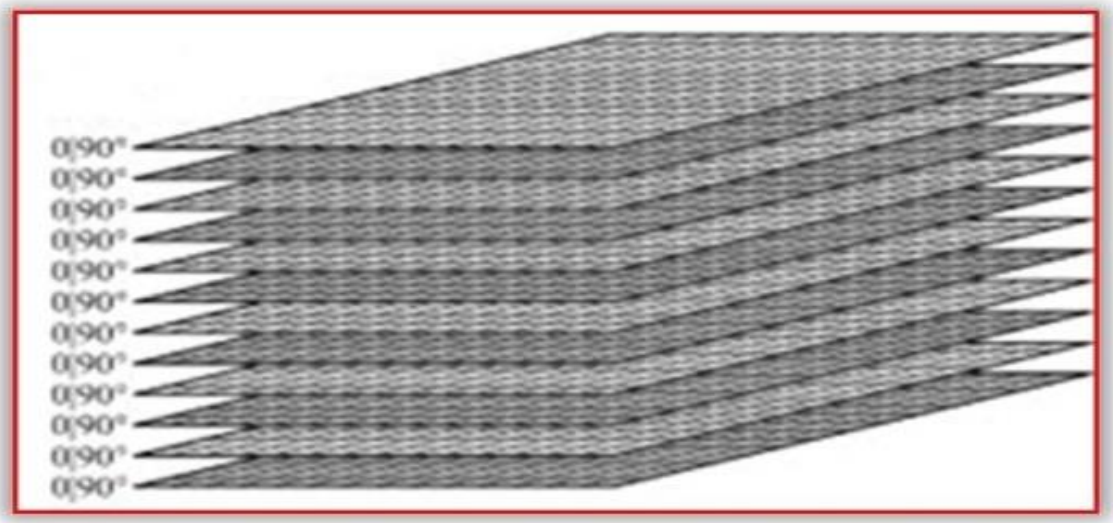
نوع الألياف	السليلوز (٪)	اللجنين (٪)	هيميسليلوز (٪)	البكتين (٪)	الرماد (٪)
كتان	71	2.2	18.6–20.6	2.3 0.2	– 0.5–2
الجوت	45–71.5	12–25	13.6–21	0.9	0.8
قنب	57–77	3.7–13	14–22.4		

نجد أن الألياف الصناعية لها ميزات تتفوق من خلالها على الألياف الطبيعية، ولكن يوجد بعض أنواع الألياف الطبيعية لها ميزات أفضل من أنواع الألياف الصناعية، وخاصة في مجال العزل الصوتي والحراري، مما يجعلها مهمة في مجالات صناعة السيارات والأبواب الداخلية.

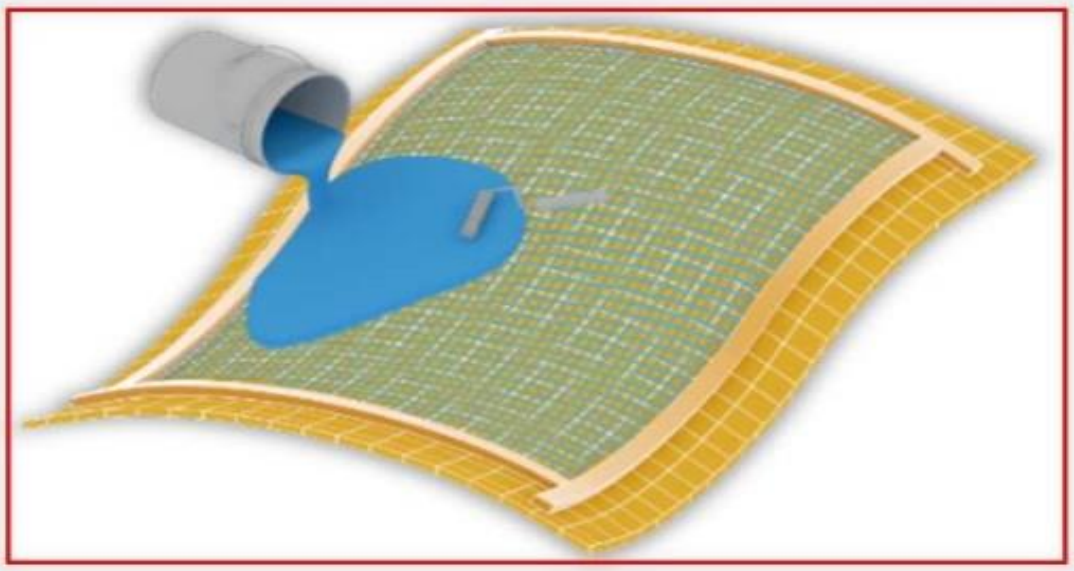
تتميز الألياف الطبيعية بأنها ذات منافع بيئية كون كمية غاز ثنائي أوكسيد الكربون المنبعثة أقل من الكمية المنبعثة أثناء صناعة الألياف الصناعية.

استخدمت ألياف القنب في تقوية راتنج الفينوليك Phenolic، حيث يستخدم هذا الراتنج في أليات النقل التي تتطلب مقاومة الحريق، وتبين أنه باستخدام طبقتين من ألياف القنب في انتاج صفائح مركبة ضاعف من مقاومة الانحناء من 11 الى 25 MPa، وزادت قيمة معامل المرونة بمقدار 23%، وذلك بسبب أن الألياف قللت هشاشة صفائح الفينوليك التي تتميز بالهشاشة وتحولت الى مادة مطلية.[29]

تم تصنيع الألواح المركبة من ألياف الكتان والجوت باستخدام أشكال هندسية على شكل مربع بعده 150 mm. كطريقة للحصول على الهياكل المركبة المقواة بالألياف الطبيعية، يتم استخدام عملية وضع بسيطة كما في الشكل (3–2)، باستخدام عدد قليل من طبقات النسيج العادي بشكل عمودي كما في الشكل (3–3).



الشكل (3–2) طريقة تموضع الألياف بشكل مبسط [21].



الشكل (3-3) طريقة تموضع الألياف بشكل عمودي[21]

3-3 الألياف الصناعية Industrial Fibers

تصنف الألياف الصناعية ضمن عدة أنواع:

3-3-1 الألياف الزجاجية: تم اكتشاف الألياف الزجاجية في عام 1870 من خلال حادثة، حيث كان Dale Kleist يحاول لحام كتلتين زجاجيتين معاً لتشكيل ختم محكم بشكل غير متوقع ضربت نفاثة من الهواء المضغوط تياراً من الزجاج المصهور وخلقت وابلاً من الألياف الزجاجية، مما أظهر طريقة سهلة لإنشاء الألياف الزجاجية.

بدأ تصنيع الألياف الزجاجية في عام 1893 من قبل إدوارد دورتموند ليبي الذي عرض فستاناً مصنوعا من نسيج، يجمع بين الحرير والألياف الزجاجية، أصدرت Russell Slayer Game في عام 1893 براءة اختراعها الأولى في إنتاج الصوف الزجاجي، حيث أظهرت الألياف المنتجة عزلاً كهربائياً جيداً ولهذا السبب تسمى منتجات الألياف الزجاجية بالزجاج الكهربائي أو الزجاج الإلكتروني.

وفي عام 1939، تم استخدام الألياف الزجاجية كعوازل في السفن الحربية التابعة للبحرية الأمريكية.

خلال الحرب العالمية الثانية كان تصنيع الألياف الزجاجية، وتطويرها في إنتاج الأجزاء الهيكلية للطائرات.

في عام 1935، بدأت جنرال موتورز في أنتاج ضخم لسيارات شيفروليه الرياضية، باستخدام الألياف الزجاجية، ومع مرور الوقت والتطور الهائل الذي حصل، تطور سوق الألياف الزجاجية العالمي مع مجموعة واسعة من التطبيقات، لا سيما في قطاعات السيارات والنقل والبناء.

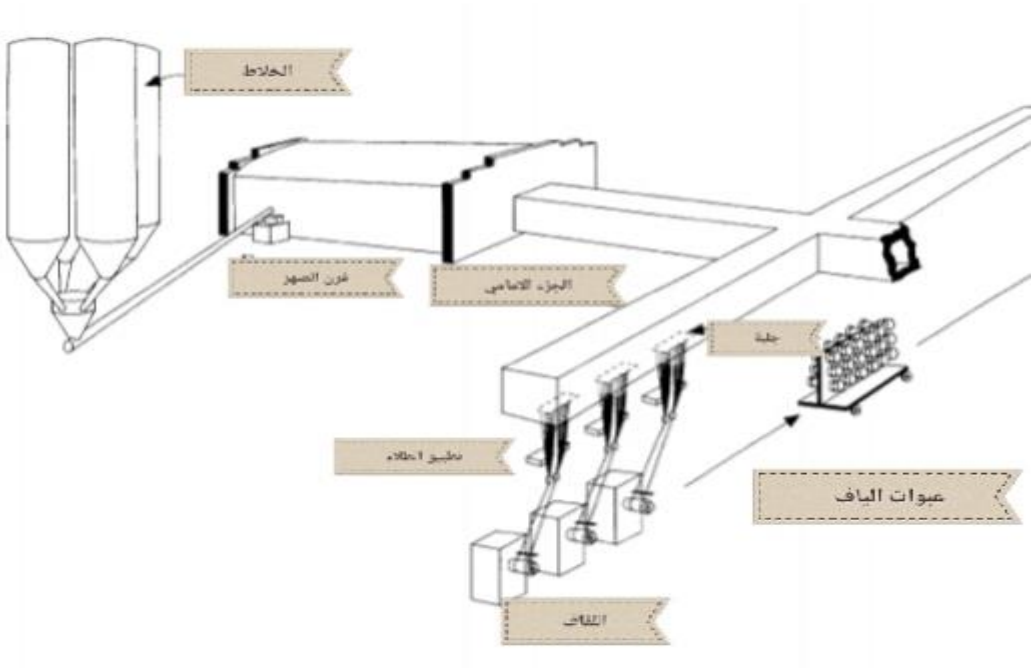
في عام 2013، بلغت عائدات مبيع الألياف الزجاجية حول العالم 3.7 مليار دولار، وفي عام 2020 بلغ إجمالي الطلب العالمي على الألياف الزجاجية 10.7 مليار دولار.

بسبب الاستخدام المكثف للألياف الزجاجية في توربينات الرياح، وزيادة الطلب على الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية في البناء، وزيادة الطلب على الألياف الزجاجية المموجة وألواح الألياف الزجاجية في قطاعي السيارات والنقل.

عملية تصنيع الألياف الزجاجية: تصنع الألياف الزجاجية من رمل السليكا (SiO_2) الذي ينصهر عند 1720 درجة مئوية / 3128 درجة فهرنهايت.

SiO_2 هو أيَضا العنصر الاساسي في الكوارتز (أوكسيد معدن مألوف يوجد في العديد من أنواع الصخور) ، وهو من أكثر المعادن شيوعاً بسبب استقراره الكيميائي والفيزيائي العالي في الظروف الطبيعية، حيث أن 99 % من تركيبه هو سليكا، حيث أنه إذا تم تسخين SiO_2 فوق 1200 درجة مئوية، ثم تبريده في البيئة المحيطة، فإنه يتبلور ويصبح كوارتز، ويتم إنتاج الزجاج عن طريق تغيير درجة الحرارة ومعدلات التبريد، إذا تم تسخين SiO_2 النقي إلى 1720 درجة مئوية، ثم تبريده بسرعة فيمكن منع التبلور وتنتج هذه العملية الزجاج، إن مصنعي الألياف الزجاجية اليوم يجمعون بين استراتيجية الحرارة العالية والتبريد السريع، مع خطوات أخرى في عملية التصنيع هي نفسها التي تم تطويرها في ثلاثينات القرن الماضي، وإن كان ذلك على نطاق أوسع بكثير.

وتتم هذه العملية من خلال خمس مراحل عبر الآلة الموضحة في الشكل (3-4):



الشكل (3-4) آلة تصنيع الألياف الزجاجية

المراحل الأساسية لتشكيل ألياف زجاجية

a. التجميع والخلط

b. الصهر

c. تشكيل ألياف

d. الطلاء

e. التجفيف.

أشكال الألياف الزجاجية

- شريط الألياف الزجاجية: تتكون من خيوط وحبال، وتشتهر بخصائصها العازلة للحرارة، يجد هذا النوع من الألياف الزجاجية تطبيقات واسعة في خطوط الأنابيب الساخنة وأوعية التغليف.
- قماش الألياف الزجاجية: هو عبارة عن مادة ناعمة متوفرة في أشكال مختلفة مثل خيوط، يتم استخدامها على نطاق واسع كدروع واقية ومقاومة النيران وغيرها.

التركيب الكيميائي للألياف الزجاجية

كانت الألياف الزجاجية تصنع من السليكا وحدها ولكن مع تطور الصناعة أصبح يضاف عدة مواد كيميائية إلى جانب السليكا وذلك لتحسين الخصائص الفيزيائية للألياف

أهم العناصر الكيميائية المضافة

- اكسيد المنغنيزيوم: يبطئ معدل تبلور الزجاج
- اوكسيد البورون: يقلل التمدد بالحرارة
- اكاسيد الكالسيوم والصوديوم: تزيد السيولة والتدفق وتقلل الناقلية للكهرباء
- السليكا: المكون الرئيسي يتكون من ذرة سليكون مرتبطة بذرتي اوكسجين برابطة مشتركة وهو ما يجعل الألياف مقاومة للأحمال.

خصائص الألياف الزجاجية

1. استقرار الأبعاد: الألياف الزجاجية مادة مستقرة الأبعاد، حيث أنها لا تتقلص أو تتمدد عند التعرض لدرجات حرارة منخفضة جداً أو عالية.
2. مقاومة الرطوبة: عند تعرضها للماء فإنها لا تمتص الرطوبة ولا تتغير كيميائيًا أو فيزيائيًا.
3. القوة العالية: تمتلك القوة العالية لمقاومة الأحمال وذلك بسبب عنصر سليكا.

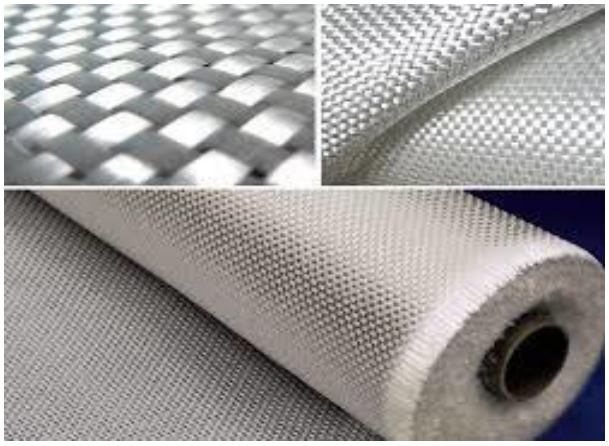
4. مقاومة النيران: الألياف الزجاجية مادة غير عضوية لا تحترق ولا تدعم الاحتراق تحتفظ بما يقرب من 25% من قوتها الأولية عند درجة حرارة 1000 درجة فهرنهايت.
5. المقاومة الكيميائية: معظم المواد الكيميائية لها تأثير ضئيل أو معدوم على الألياف الزجاجية، لكن الألياف الزجاجية تتأثر بحمض الهيدروكلوريك وأحماض الفوسفوريك الساخنة والمواد القلوية القوية، عادة لا تتعفن أو تتدهور.
6. التوافق مع الخلطات العضوية: يتم الحصول على الألياف الزجاجية بأحجام مختلفة، عند الحديث عن عامل التوافق، تتمتع الألياف الزجاجية بالقدرة على الاندماج مع العديد من الراتنجات الصناعية، وحتى مع بعض الخلطات مثل الخرسانة.

أصناف الألياف الزجاجية

- نسيج من الألياف المستمرة
- ألياف قصيرة مقطعة
- ألياف مطحونة

الشكل (3-5) ألياف زجاجية مطحونة

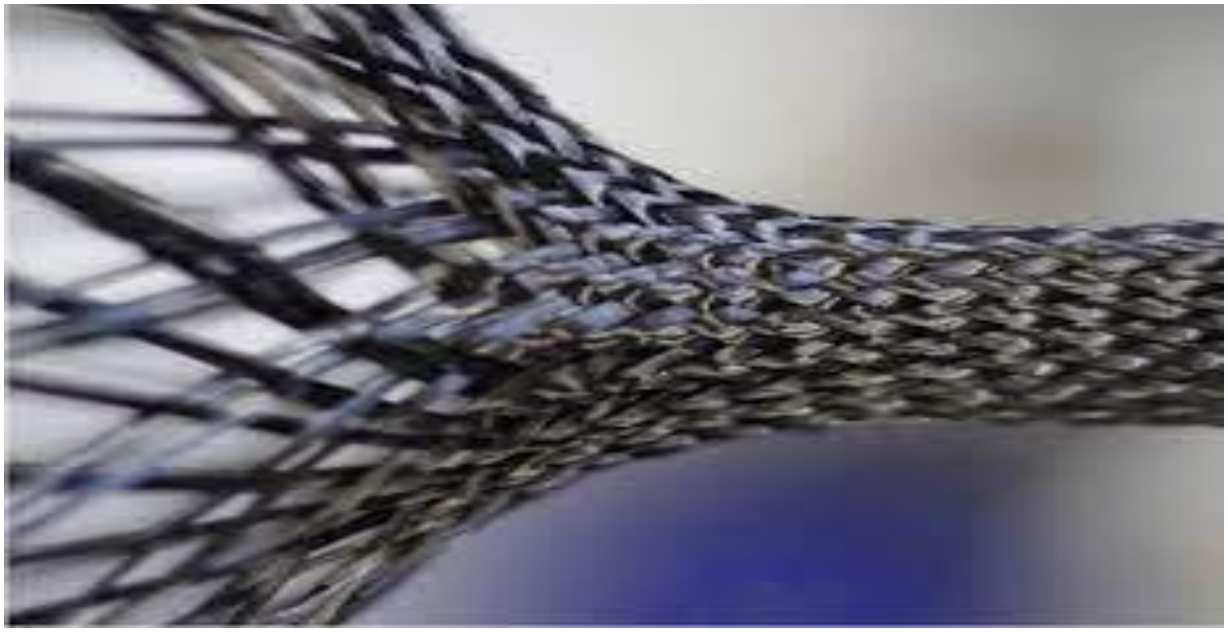
الشكل (3-6) ألياف زجاجية مقطعة



الشكل (3-7) نسيج من الألياف الزجاجية

3-3-2 ألياف الكربون Carbon Fibers

هي ألياف يبلغ قطرها بين (5-10) مايكرومتر وغالباً تتكون من ذرات الكربون حيث أن90 % من ألياف كربون مصنعة من بولي أكريل النتريل و10% المتبقية مصنعة من الحرير الصناعي والبترول تعرف أيضا بألياف الجرافيت، تتكون من خيوط دقيقة جداً من عنصر الكربون، ولديها قوة شد عالية، كما أنها قوية جدا بالنسبة لحجمها.



الشكل (3-8) ألياف الكربون

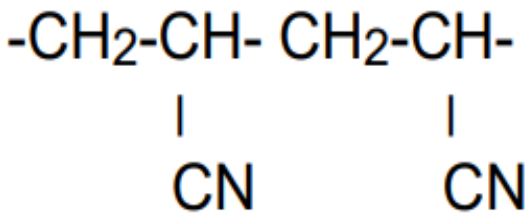
اكتشف العالم البريطاني، جوزيف ويلسون سوان عام 1860، الألياف الكربونية لاستخدامها في مصابيح الإنارة البدائية شديدة التوهج، كونها مادة قادرة على تحمل درجات الحرارة العالية، ما جعل منها ناقلاً كهربائياً مثالياً، وتتميز الألياف الكربونية بأنها مادة رقيقة جدًا أخف من الألومنيوم، وأقوى من الفولاذ، لذلك تم استخدامها في العديد من الصناعات.

في عام 2015 بلغ ميزانية سوق ألياف الكربون 2.25 مليار دولار ولخفض تكاليف الانتاج تم استهداف التطبيقات الجديدة، ومنذ عام 2017 تستخدم أرامكو السعودية المواد المركبة المعززة بالألياف الكربونية في عدد من أعمال الشركة كخطوط الأنابيب، وفي عام 2018 استخدمت الشركة أنبوباً مترابطاً غير معدني مقوى بالألياف الكربونية، وفي عام 2020 نجحت الشركة من خلال اختبار أنبوب راتنج مُقوّى بالحرارة ومعزز بالدمج في الألياف الكربونية، في تقليل الشحنات الكهروستاتيكية التي تتراكم بسبب نقل المنتجات المكررة مثل الديزل، وذلك مقارنة بتراكمها في الأنابيب غير المعدنية.

خطوات تصنيع ألياف كربون:

- الغزل
- الأ كسدة
- الكربنة
- المعالجة السطحية
- التجفيف
- الغسيل بالماء الساخن
- التجفيف
- اللف

المادة الأساسية لتصنيع هذه الألياف هي بولي اكريل النتريل PNA



الشكل (3-9) بولي اكريل النتريلPNA

خصائص ألياف الكربون:

- خفيفة الوزن: ألياف الكربون هي مادة منخفضة الكثافة مع قوة عالية جداً بالنسبة للوزن.
- قوة الشد العالية: تمتاز ألياف الكربون بأنها أقوى من جميع الألياف.
- التمدد الحراري المنخفض: قابليتها للتوسع والتمدد بالحرارة منخفضة، حيث تبقى محافظة على أبعادها.

- مقاومة التآكل: عند تعرضها للقلويات والأحماض لا تتأثر.
- الاشعاع: تتميز بأنها شفافة للإشعاع وغير مرئية بالأشعة السينية، مما يجعلها قيمة للاستخدام في المعدات والمرافق الطبية.

استخدامات ألياف الكربون:

نظراً لقوة الشد العالية ووزنها الخفيف فإنها تعتبر من أهم مواد التصنيع في الجيل الحالي، وقد تلعب دوراً متزايد الأهمية في عدة مجالات مثل:

- الطاقة: صناعة ريش الطواحين الهوائية وخزانات الغاز الطبيعي وخزانات نقل الوقود.
- السيارات: تستخدم تقنية ألياف الكربون حاليًا فقط في المركبات عالية الأداء، أعلنت جنرال موتورز أنها تعمل على مركبات ألياف الكربون لإنتاج كميات كبيرة من السيارات.
- البناء: إنتاج خرسانة صب خفيفة الوزن ومقاومة للزلازل.
- الطائرات: صناعة الطائرات الدفاعية والتجارية وطائرات بدون طيار.
- التنقيب عن النفط: صناعة منصات الحفر في المياه العميقة وأنابيب الحفر.
- الأنابيب النانوية الكربونية: صناعة المركبات الفضائية وأجهزة الاستشعار الكيميائية.

3-3-3 ألياف البازلت Basalt Fibers

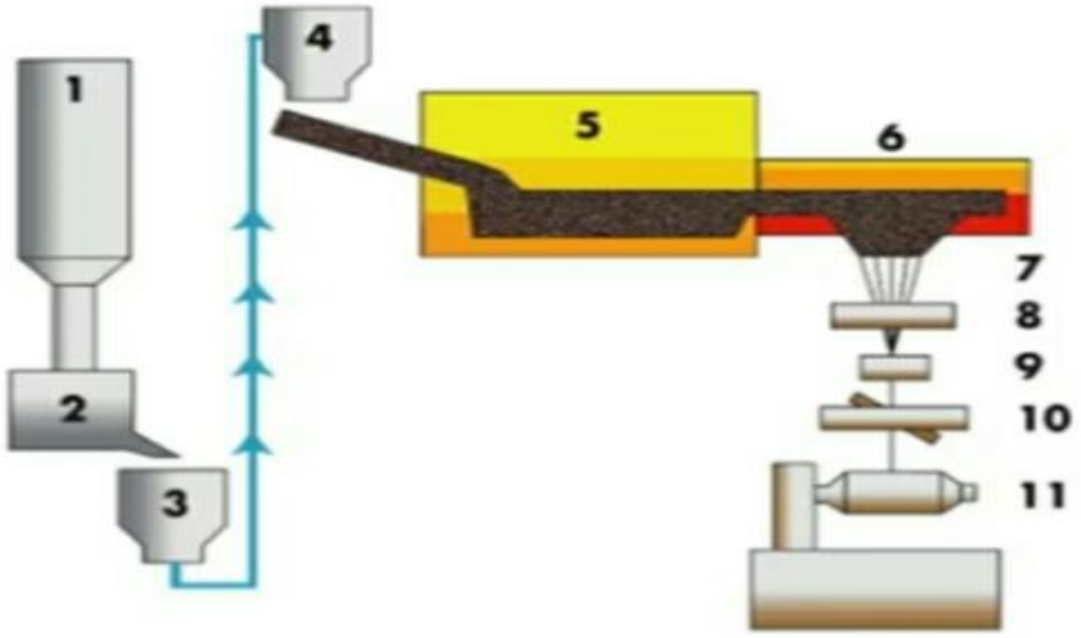
الألياف البازلتية هي عبارة عن ألياف مستمرة Continuous Basalt fibers منتجة من خلال الصخور البازلتية البركانية المنصهرة في حوالي 1500 درجة مئوية، إنتاج الألياف البازلتية والألياف الزجاجية متشابه لكنَّ الصخورَ البازلتية المسحوقة هي المادة الخام الوحيدة المطلوبة لتصنيع الألياف البازلتية، إذْ لا تحتاج الألياف البازلتية أيةَ إضافات أخرى في عملية إنتاجها، مما يعطيها ميزة إضافية في التكلفة.

كان الفرنسي "بول دي" أول من طرح فكرة إنتاج الألياف من البازلت، حيث حصل على براءة اختراع أمريكية في عام 1973، وتقريباً في عام 1960 بدأت كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي في البحث في تطبيقات

الألياف البازلتية، لا سيما في المجالات العسكرية، وفي عام 1970 كانت مراكز الأبحاث الأمريكية تفضّل الاستثمار والبحث في الألياف الزجاجية، بينما اتجهت الأبحاث في أوروبا الشرقية بإدارة الاتحاد السوفياتي إلى تكثيف الجهود والاستثمار في ألياف البازلت، وفي عام 1985 تم إنتاج ألياف البازلت صناعيًا لأول مرة في أوكرانيا، بعد تفكك الاتحاد السوفيتي في عام 1991 تم رفع السرية عن نتائج الأبحاث وإتاحتها للتطبيقات المدنية في جميع أنحاء العالم، أمّا في عام 2022 بدأت الصين بتطوير ألياف البازلت كمشروع رئيسي للاستخدام المدني.

واليوم أصبحت صناعة ألياف البازلت متاحة في العالم العربي داخل دولة الإمارات العربية المتحدة من خلال شركة التعدين العربية–الفجيرة، التي أطلقت الشركة العربية لألياف البازلت في عام 2021 كأول منشأة من نوعها لإنتاج ألياف البازلت، وتصنيع قضبان ألياف البازلت في المنطقة.

طريقة إنتاج ألياف البازلت مشابهة للطريقة التقليدية لإنتاج ألياف الزجاج، تدعى بتكنولوجيا الغزل بعد الصهر ويتم إنتاج ألياف بقطر 14–10ميكرون كما في الشكل (3–10)



الشكل (3–10) الطريقة التقليدية لإنتاج ألياف البازلت

مراحل انتاج ألياف البازلت

1) صومعة الحجر المسحوق.
2) محطة تحميل.
3) نظام النقل،
4) محطة دفع الشحنة.
5) منطقة الصهر الأولية.
6) منطقة التحكم بتسخين الحرارة الثانوية.
7) تشكيل الأسلاك.
8) غزل ولف الخيوط.
9) شد الألياف.
10) اللف.

مراحل تصنيع ألياف البازلت

1. تكسير الصخور البازلت.
2. صهر الصخور البازلت.
3. تشكيل ألياف.
4. تثبيت أبعاد الألياف.
5. تجفيف ألياف.

خصائص ألياف البازلت: الألياف البازلتية تمتلك مواصفات نوعية عالية جداً واقتصادية مقارنةً مع ألياف الخرسانة السائدة والمستخدمة في الوقت الحاضر (ألياف الزجاج والكربون وغيرها) بالإضافة إلى كونها غير ضارة بالبيئة

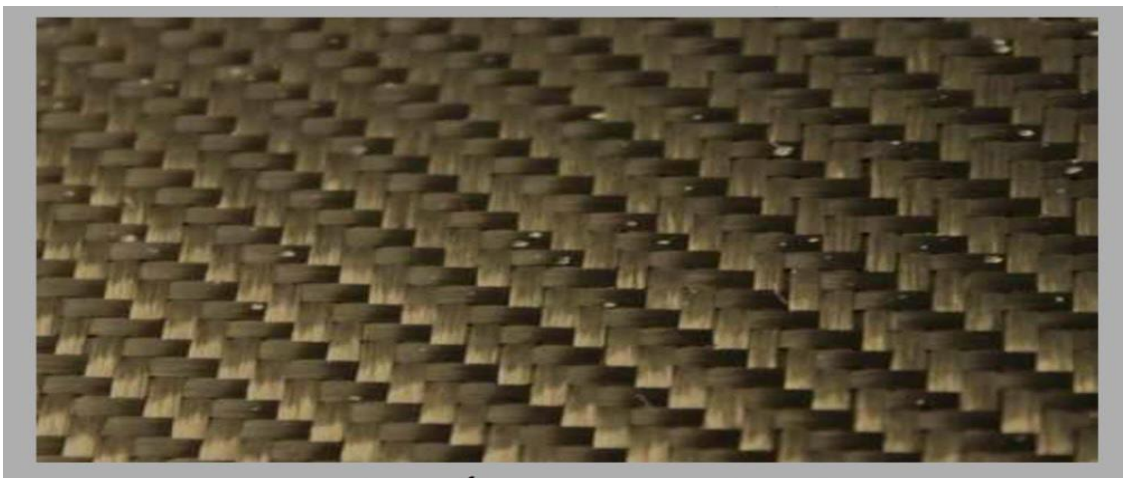
وصحة الإنسان، ومن المعروف أنَّ الألياف البازلتية تملك قوة شدٍّ أفضلَ من الألياف الزجاجية، وإجهادَ قصورٍ أكبرَ من ألياف الكربون، مما يجعلها ذات مقاومة جيدة للتأثر الكيمائي، وتحمّل الحرارة والنار.

- ❖ مواصفات جمالية عالية وخصوصاً بعد صقلها.
- ❖ مقاومة شديدة للكسر.
- ❖ عازليه جيدة للحرارة وقدرة عالية لامتصاص الصوت والضجيج.
- ❖ مقاومة عالية للعوامل الجوية وعوامل الاهتراء والتلف والأوساط الكيميائية الحامضية والقلوية والرطوبة.
- ❖ مقاومة القلوية: عندما تُستخدم قضبان الألياف كتقوية داخل الخرسانة فإن مقاومةَ القلويات تعتبر عاملاً مهماً.
- ❖ مقاومة العوامل الجوية: لاختبار المقاومة ضدَّ العوامل الجوية مثلِ التعرض للأشعة فوق البنفسجية تمَّ الفحص بالطريقة المحددة وفق المواصفة JIS A 1415. وفق هذه الطريقة فإنَّ التعرض للأشعة لمدة 200 ساعة يعادل سنة من التعرض لأشعة الشمس في الظروف الطبيعية وبهذه الحالة فإنَّ 4000 ساعة تمثل 20 سنة من التعرض تحت الظروف الطبيعية، وكان معدل انخفاض متانة الألياف الزجاجية حوالي ضعفي الألياف البازلتية.
- ❖ الاستقرار الحراري.

استخدامات ألياف البازلت:

1. ألياف مجدولة Strands Fiber Basalt تستخدم في صناعة النسيج والمواد البوليميرية والبلاستيك المقاوم.
2. خيوط مفتولة Roving Fiber Basalt تستخدم في صناعة المواد المنسوجة وغير المنسوجة، كما تستخدم كمواد مالئة للمركبات البولميرية ذات الامتصاص الضعيف للماء والعزل الكهربائي.

3. قضبان بازلتية مركبة rods Composite Basalt بديلة لتحل محل الحديد والفولاذ والألياف الزجاجية كعناصر تقوية في صناعة الخرسانة والأبنية.
4. الأنابيب البازلتية والبازلتية البلاستيكية المقاومة للتآكل هي أنابيب مستخدمة اكساء وضخ ونقل النفط وحفر الآبار وشبكات الصرف الصحي وغيرها.
5. أقمشة وملابس تستخدم في صناعة وتقوية الملابس الواقية للجسم العازلة والمقاومة للحرارة والنار.
6. هياكل الشاحنات والباصات وسيارات التبريد.
7. في الأبنية الزراعية والصناعية الحديثة كعوازل حرارية وصوتية.
8. لتدعيم الطرق الإسفلتية ومهابط الطائرات.
9. مراوح العنفات الريحية ولواقط الأشعة الشمسية.
10. شبكات عزل وتدعيم الأبنية والمنشآت الصناعية.
11. مواد تركيبية مقاومة للاحتراق والنار في المحطات الكهربائية والنووية والمنشآت النفطية ومختلف المنشآت الحيوية (مهابط الطائرات ومدرجات المطارات – الجسور – الأنفاق – السدود).
12. في أجهزة الرادار الخاصة. – في صناعة المفروشات
13. فلاتر عالية النوعية لتنقية الغازات والغبار والدخان وكافة مخلفات المنشآت الصناعية والأبنية.



الشكل (3–11) قماش من ألياف البازلت

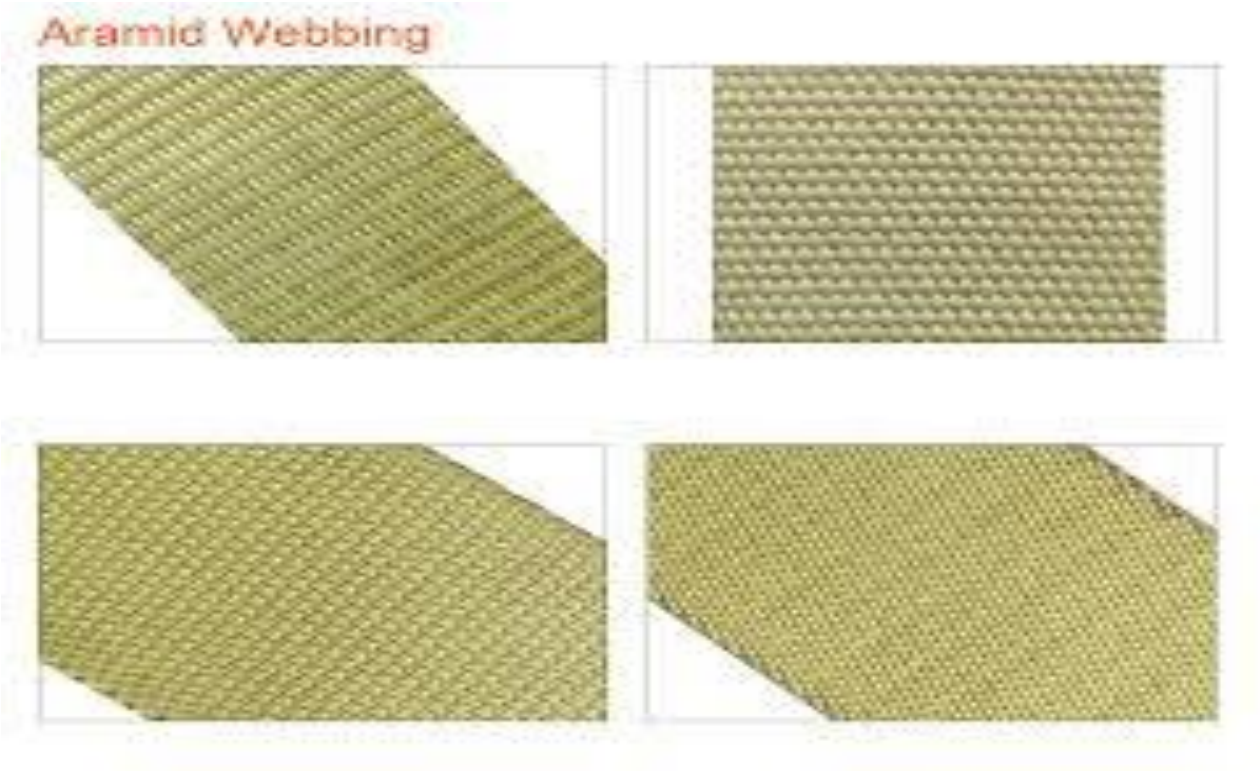
3-3-4 ألياف الأراميد (الكيفلار) Aromatic Fibers

تطلق عبارة الأراميد على البولي أميدات الحلقية، حيث يتمتع الأراميد بمقاومة كيميائية واستقرار حراري، ودرجة انصهار عالية، وتحتوي هذه البوليمرات على الزمرة (–NH, –CO–)، حيث قامت شركة (DuPont) بإنتاج أنواع من هذه الألياف واستخدامها في مجالات متعددة.

خواص ألياف الأراميد

تتمتع هذه الألياف بخواص حرارية وكيميائية متعددة:

1. خواص ميكانيكية عالية (معامل يونغ وقوة شد).
2. مقاومة صدم عالية.
3. مقاومة عالية للكسر.
4. مقاومة للمذيبات العضوية.
5. مقاومة للقلويات والأحماض.
6. خواص جيدة في تخميد الطاقة والاهتزاز.
7. مقاومة جيدة للحرارة والاهتزاز. [29]



الشكل (3-12) نسيج من ألياف الأراميد

3-3-5 ألياف البولي ايتلين Polly Etlin Fibers

تصنع هذه الألياف من مصهور البولي ايتلين وتحت عمليات شد وحرارة، وعلى أثر هذه العمليات تنظم السلاسل البوليمرية الى جانب بعضها البعض للحصول على ألياف بولي ايثلين ذات معامل يونغ عالي.

حيث يتميز بنسجه داخل خيوط متينة ووضعها طريقة دورية داخل آلات لإنتاج منتجات ذات أداء مرتفع مثل الألبسة الخاصة.

خواص البولي ايتلين

1. إمكانية تنظيفه دون الحاجة الى منظف.
2. يعتبر غير ضار صحياً.
3. مقاوم للرطوبة.

4. مقاوم للحرارة.
5. لا يمتص الماء حيث يحتوي على خاصية العزل المائي.
6. مقاوم للتلف.
7. مقاوم للتآكل والاهتراء.
8. مقاوم للكهرباء حيث يستخدم كعازل لها.
9. يتمتع بالمرونة ولين بشكل جيد.
10. يتميز بقوة شد عالية.

الشكل (3-13) نسيج البولي ايتلين

3-3-6 ألياف البولي بروبلين Polly Propline Fibers

هي مادة مصنوعة من لدائن حرارية وتتميز بأنها اقتصادية وتقدم مزيجا من الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية والحرارية المميزة ويستخدم بوليمر البولي بروبلين كمادة خام لإنتاجها.

يعتبر البولي بروبلين من أكثر الألياف شيوعاً وذلك لخصائصه الفريدة التي تجعلها متميزة في العديد من التطبيقات، تطورت صناعة هذه الألياف عبر الزمن، حيث كانت بدايةً تصنع حبال وخيوط ومع تطور التكنولوجية والابتكارات، أصبحت تصنع معظم حاجيات السوق:

- ✓ أجزاء السيارات الداخلية: تستخدم في تصنيع اللوحات والأبواب والمقاعد بسبب متانتها وخفة الوزن.
- ✓ الأجزاء البلاستيكية: يستخدم في صناعة المصابيح الخلفية، كونها مقاومة للعوامل الجوية.
- ✓ الأثاث الخارجي والداخلي: مثل الكراسي والطاولات، وذلك لميزتها في المتانة.

خصائص البولي بروبلين

1. متانة عالية
2. مقاومة عوامل جوية (ضوء ورطوبة)
3. مقاومة مواد كيميائية (أحماض وقلويات)
4. مقاومة الحرارة
5. مرونة وليونة بشكل جيد
6. تكاليف منخفضة
7. قوة شد جيدة

الشكل (3-14) نسيج بولي بروبلين

3-4 المواد النسيجية المركبة: Composites Textile Materials

هي عبارة عن مادة مصممة هندسياً تتكون من دمج مادتين أو أكثر تكون احداها المادة الأساسية والأخرى مادة الراتنج، وتتميز هذه المواد بخصائص عالية لا يمكن الحصول عليها من المواد المنفردة على حدى، تستخدم المواد النسيجية المركبة محل المواد المعدنية بسبب خفة وزنها وقوتها العالية ومرونة تصميمها وعمرها الطويل، وتستخدم في مجالات عديدة مثل الطيران والسيارات والنقل والرياضة والهندسة المدنية.

أصناف المواد النسيجية المركبة

يوجد عدة طرق لتصنيف المواد النسيجية ولكن كون غايتنا زيادة الخصائص الميكانيكية لذلك سيتم تصنيفها حسب مادة التقوية:

المواد المركبة ذات الالياف: تتمتع هذه المواد بأهمية بالغة، حيث تشكل الألياف مادة التقوية التي تميز المادة المركبة بمقاومة شد عالية، وتعود مقاومة الشد العالية الى المادة الليفية، حيث تتميز بصغر سطح مقطعها وهذا ما جعلها محط اهتمام كبير في تشكيل المواد المركبة، لا يمكن استعمال الألياف المنفردة بشكل مباشر في التطبيقات الهندسية، إنما يتم اضافتها الى جانب مواد أخرى لتشكيل مواد نسيجية مركبة تتمتع بخصائص عالية الأداء غير موجودة في الألياف المنفردة. في هذا الصنف من المواد المركبة تقوم الألياف بتحمل الجزء الأكبر من الإجهاد المطبق على المادة المركبة وتلعب المادة الرابطة دور المادة الحاضنة التي تحمي المادة الليفية من الاضرار التي تنشأ من العوامل الفيزيائية والكيميائية التي تتعرض لها المادة.

المواد المركبة ذات الحبيبات: تطلق هذه المواد على المواد المركبة التي تكون فيها مادة التقوية عبارة عن حبيبات ومساحيق، والتي تكون فيها نسبة القطر الى الطول متساوية، وهذه المواد تمنع تشوه الوسط كونها أكثر صلابة، وتتحمل جزءاً من القوة المطبقة على المادة المركبة ولكن تحملها أقل من المواد ذات الالياف.

الهدف الأساسي لإضافة هذه المواد هو تحسين بعض الخواص كالناقلية الحرارية والكهربائية، واستمرارية العمل في درجات حرارة عالية، وخفض الاحتكاك وزيادة صلابة سطح معين وخفض التكاليف [30].

المواد المركبة النانوية: يزداد التأثير المتبادل بين مادة التقوية والبوليمير إذا كانت حبيبات المادة ذات أبعاد أصغر وإذا كان حجم هذه الحبيبات بحجم ذرة أو جزيء فستكون خاصية التقوية في أعلى درجاتها، وتسمى هذه المواد من مرتبة النانومتر بالمواد النانوية، وفي حال استخدامها ضمن المواد المركبة سميت المواد المركبة النانوية[.

3-5 الألياف المستعملة في تشكيل المواد المركبة

تشكل الألياف حجما كبيرا من المادة المركبة، ووظيفتها الأساسية تحمل القوة المطبقة عليها، وتؤثر خصائص الليف (تركيبه النسيجي، ومادته الأولية) ونسبته ضمن المادة المركبة على خواصها، أهم هذه الخواص:

1. المتانة ومقاومة الشد والثني
2. مقاومة الإجهاد

3. معامل الناقلية الكهربائية

4. الوزن النوعي للمادة المركبة.

6-3 مصطلحات الألياف

ليف (Filament) الألياف الأساسية التي تكون أقطارها بضعة ميكرو نات.

خيط غير مغزول (Strand) يطلق على الالياف التي تكون بجانب بعضها البعض دون غزل.

خيط مغزول (Yarn) يطلق على الألياف المغزولة مع بعضها البعض.

الألياف المطحونة (Milled fiber) يبلغ طولها 0.2-0.8 mm.

نسيج من الخيوط (Woven fabric) عبارة عن الخيوط المغزولة أو الغير مغزولة المنسوجة مع بعضها بطرق مختلفة (سادة، مبرد) وأوزان مختلفة بالنسبة لواحدة السطح (الغراماج).

الفصل الرابع

الدراسة التجريبية

الدراسة التجريبية

4-1 تمهيد:

تم في هذا الفصل تحضير مواد نسيجية مركبة من أقمشة نسيجية مختلفة في المادة الأولية وأقمشة نسيجية متفقة في المادة الأولية ولكن تختلف بالبارامترات النسيجية، وتم تغيير نسبة المادة الرابطة لعملية التحضير وبعد الانتهاء من تشكيل المادة النسيجية المركبة تم استخدامها بطرق عديدة لتدعيم وتقوية الخرسانة الإسمنتية والمونة الإسمنتية.

4-2 المواد المستخدمة

الأقمشة النسيجية والمواد التي استخدمت لتشكيل مواد نسيجية مركبة

الجدول (4-1) بارامترات الأقمشة النسيجية

المادة	التركيب النسيجي	الغراماج	عدد خيوط السداء في سم	عدد خيوط الحدف في سم	سماكة القماش مم	مصدر الأقمشة
نسيج زجاجي	سادة 1.1	600	3	3	0.57	TianMa الصينية
نسيج زجاجي	مبرد 1.2	200	10	10	0.47	TianMa الصينية
نسيج زجاجي	سادة 1.1	162	16	16	0.35	TianMa الصينية
نسيج بازلت	سادة1.1	200	10	7	0.38	XINBO الصينية
نسيج كربون	سادة 1.1	200	10	8	0.37	XINBO الصينية
مطاط	غير منسوج	-	-	-	0.9	بقايا استخدامات
بولي بروبلين	سادة 1.1		6	6	0.015	شركة المتين سوريا
بولي ايتلين	غير منسوج	-	-	-	0.3	XINBO الصينية

- الإيبوكسي E20: هو عبارة عن مادة رابطة (راتنج) وهو سائل أصفر باهت اللون، لزوجته الديناميكية عند درجة الحرارة $25\ C^0$ (وفقاً للأيزو 1-12058) حوالي 1200 CP، كثافته عند نفس درجة الحرارة $25\ C^0$ (وفقاً للأيزو 1675) حوالي 1.17 g/Cm^3.

- المقسي Aradur 5052 : مادة لزجة صفراء اللون تستخدم لتقسية الألياف، وتضاف للمادة الرابطة بنسبة قليلة، لزوجته عند درجة الحرارة $25\ C^0$ (وفقاً للأيزو 1-12058) حوالي 50 CP، كثافته عند نفس درجة الحرارة $25\ C^0$ (وفقاً للأيزو 1675) حوالي 0.94 g/Cm^3. المواد من انتاج شركة فانتيكو سويسرا

- كربيد السيلكون: هو مركب كيميائي من السيلكون والكربون، ويوجد على شكل حبيبات لونه غامق، يتميز بتحمل درجات الحرارة حتى $2000\ C^0$، ومعامل يونغ 470 GPa.إنتاج شركة Henan Sicheng الصينية.

- سيلكات الصوديوم: هي مادة كيميائية على شكل حبيبات، تستخدم لملء الفراغات ضمن المادة المضافة اليها، وتتميز بكلفتها المنخفضة ومرونة استخدامها. مقاومتها للحرارة $1088\ C^0$ ومعامل يونغ 10 GPa. إنتاج شركة Asia Chemical الصينية.

- بولي فينيل كحول: هو بوليمير صناعي ينحل بالماء، ويستخدم في عمليات صناعة المنسوجات لونه أبيض ويكون على شكل حبيبات ويتحمل حرارة $200\ C^0$. إنتاج شركة Asia Chemical الصينية.

4-3 الأجهزة المستخدمة

1. جهاز اختبار الشد للمادة النسيجية المركبة (القماش المحسن بالإيبوكسي المقسي) نوع Testometric ، ألماني الصنع موصول على جهاز كمبيوتر لإعطاء قيم النتائج، موجود في كلية الهندسة المدنية في جامعة حمص الشكل (4-1).

الشكل (4-1) جهاز اختبار الشد

2. جهاز اختبار الضغط والانعطاف لقوالب المونة الإسمنتية نوع Form test ألماني الصنع مؤلف من جزأين أحدها لاختبار الضغط والأخر لاختبار الانعطاف ويتم التحويل بينهم بواسطة ذراع، وموصول الجهاز بكمبيوتر لعرض النتائج وحساب المتوسطات. موجود الجهاز في الشركة السورية لصنع الإسمنت ومواد البناء في حماه الشكل(4-2) ويعمل حسب المواصفة السورية 3800\2015، أبعاد الجهاز طول 170 Cm عرض 65 Cm.

الشكل(4-2) جهاز اختبار الضغط والانعطاف للمونة الاسمنتية

3. قوالب مستطيلة الشكل بأبعاد مختلفة (4*4*16) Cm تستخدم للمونة، وبأبعاد(40,10,10) Cm تستخدم للخرسانة الشكل (4-3)

الشكل(4-3) قوالب المونة والخرسانة الاسمنتية

4. خلاط لخلط الاسمنت والرمل والماء نوع Tony ألماني الصنع معاير وفق المواصفة ASTM 480، حيث يقوم بتغذية آلية للرمل والماء الشكل (4-4) أبعاده طول 60 Cm عرض 45 Cm ارتفاع 50 Cm.

الشكل (4-4) جهاز لخلط مكونات المونة الاسمنتية

5. ميزان ذو دقة عالية قيمتها 0,001 الشكل (4-5).

الشكل (4-5) ميزان حساس

6. جهاز اختبار الضغط والانعطاف لعينات الخرسانة الإسمنتية نوع Control ألماني الصنع موصول بشاشة لعرض النتائج الشكل (4-6)، تم اجراء التجربة حسب عيار البيتون350 قي كلية الهندسة المدنية في جامعة دمشق، أبعاد الجهاز طولCm 200 عرضCm 100 ارتفاع Cm 250.

الشكل (4-6) جهاز اختبار الانعطاف للخرسانة

4-4 مخطط التجارب

تم تقسيم التجارب الى أربع أقسام وهي على الشكل التالي:

1- تشكيل مواد نسيجية مركبة

2- تدعيم المونة الإسمنتية بالمواد النسيجية المركبة بشكل شبكة قماشية

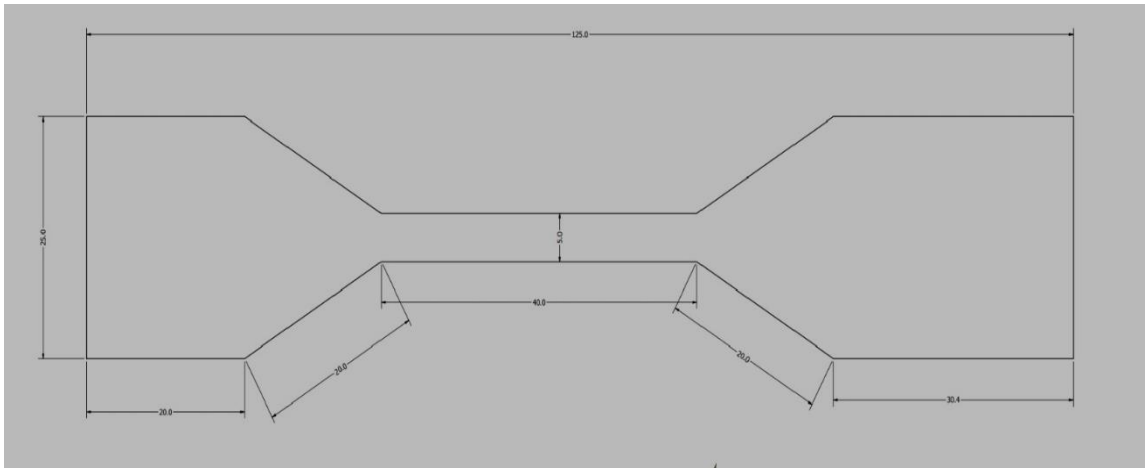
3- تدعيم الخرسانة الإسمنتية بالمواد النسيجية المركبة بشكل شبكة قماشة

4- تقوية الإسمنت المنتج بالمواد النسيجية المركبة بشكل حبيبات مطحونة

4-4-1 تشكيل مواد نسيجية مركبة

لدينا طريقتين: آلية ويدوية وتعتمد على قالب مفتوح أو مغلق، وتم استخدام الطريقة اليدوية القالب المفتوح، حيث تحتاج لأجهزة وأدوات مخبرية بسيطة وهي سهلة التطبيق، حيث أن الطريقة الأخرى معقدة، وتحتاج لتجهيزات ومعدات مختلفة، يتم الحصول بكافة الطرق على المنتجات نفسها.

يجري إشباع الألياف حسب المواصفة (ASTM D3039) الخاصة بمواصفات المواد البوليميرية المركبة التي تحوي مواد نسيجية خيوطها متناسقة الطول حسب الأبعاد التالية: طول 25 Cm، عرض 2.5 Cm، سماكة 0.1- 3mm، تم تجهيز عينات المواد النسيجية المركبة لاختبار الشد وفق الشكل والأبعاد الموضحة بالشكل(4-7).



الشكل (4-7) أبعاد المواد النسيجية المركبة

طريقة البناء اليدوي تتضمن عدة عمليات وهي:

1. إضافة المادة المقسية الى راتنج الايبوكسي بنسبة **1%**من وزن الايبوكسي.
2. وزن القماش بقيمة 22g، ووزن المادة الرابطة الإيبوكسي المقسي بنسب مختلفة % 50-%40-30% من وزن القماش.
3. قص عينات النسيج بأبعاد تتناسب مع المواصفة طول (250 mm)، عرض (25 mm)، حسب المواصفة ASTM D3039 الخاصة بالمواد النسيجية ذات الألياف متناسقة الطول كما في الشكل (4-7)،
4. طلاء سطح القالب بمادة مانعة لالتصاقه بالأقمشة النسيجية.
5. وضع الأقمشة الموجودة في الجدول (4-1) بشكل طبقات.
6. تشريب وجه القماش بالإيبوكسي المقسي بواسطة فرشاه حتى يتغير لون المادة النسيجية.
7. وضع طبقات القماش وتشريبها بواسطة المادة الرابطة.
8. وضع لوح زجاجي خفيف الوزن فوق المادة النسيجية المركبة ليتسنى استخدامها.

تم تقسيم المواد النسيجية المحضرة الى مجموعتين: الأولى مواد نسيجية مركبة متفقة بالمادة الأولية وهي الأقمشة الزجاجية ولكن تختلف بالبارامترات النسيجية، أما المجموعة الثانية فهي عبارة عن أقمشة مختلفة بالمادة الأولية أقمشة كربون، أقمشة بازلت، أقمشة بولي بروبلين، أقمشة بولي ايتلين، مطحون المطاط.

الجدول (4-2) النسبة المئوية للأقمشة المتفقة بالمادة الأولية مع الإيبوكسي المقسي

نوع القماش	نسبة القماش %	نسبة إيبوكسي%
قماش زجاجي غرماج 162	70 60 50	30 40 50
قماش زجاجي غرماج 200	70 60 50	30 40 50
قماش زجاجي غرماج 600	70 60 50	30 40 50

الجدول (4-3) النسبة المئوية للأقمشة المختلفة بالمادة الأولية مع الإيبوكسي المقسي

نوع القماش	نسبة القماش %	نسبة إيبوكسي%
قماش كربون	70 60 50	30 40 50
قماش بازلت	70 60 50	30 40 50
قماش بولي يروبلين	70 60 50	30 40 50
قماش بولي ايتلين	70 60 50	30 40 50
قماش مطاط	70 60 50	30 40 50

اختبارات المواد النسيجية ذات الاختلاف بالمادة الأولية

تم اختبار الشد لعينات القماش المحسن بالإيبوكسي المقسي على الجهاز في الشكل رقم (4−1)، ومقارنة النتائج مع عينة مرجعية بدون إضافة (قماش نسيجي فقط) وكانت قيم القوة F max(N) وقيمة الاجهاد$\sigma(N\backslash mm^2)$ موضحة ضمن الجداول التالية:

الجدول (4-4) قيمة القوة F max والاجهاد عند الانهيار σ لعينة المادة المركبة من قماش كربون \ إيبوكسي مقسي

القيم	%(0\100)	%(30\70)	%(40\60)	%(50\50)
F max(N)	76	88,200	117,6	113,4
σ(KN\m^2)	10,2	13,425	18,600	17,1

يبين الجدول (4-4) نتائج اختبار الشد لعينات المواد النسيجية المركبة المحضرة من قماش الكربون / إيبوكسي مقسي، حيث تم زيادة نسبة المادة الرابطة بنسب %(30,40,50)، والمقارنة مع عينة قماش كربون فقط لتكون عينة مرجعية، وضحت القيم تحسن قوة الشد بزيادة نسبة الإيبوكسي بنسب %(15,54,44) على الترتيب النسب المئوية للمادة الرابطة.

الجدول (4-5) قيمة القوة F max والاجهاد عند الانهيارσ لعينة المادة المركبة من قماش بازلت \ إيبوكسي مقسي

القيم	% (0\100)	%(30\70)	%(40\60)	%(50\50)
F max(N)	75	90,300	118,6	115,7
σ(KN\m^2)	10,1	13,52	18,700	17,3

يبين الجدول (4-5) نتائج اختبار الشد لعينات المواد النسيجية المركبة المحضرة من قماش البازلت / إيبوكسي مقسي حيث قمنا بزيادة نسبة المادة الرابطة %(30,40,50)، وكانت نسبة التحسن بقوة الشد حسب ترتيب النسب المئوية(20,58,54)%.

الجدول (4–6) قيمة القوة F max والاجهاد عند الانهيار σ لعينة المادة المركبة من قماش بولي بروبلين \ إيبوكسي مقسي

القيم	%(0\100)	%(30\70)	%(40\60)	%(50\50)
F max(N)	50	55,500	72,700	70,400
σ($KN\backslash m^2$)	7,8	9,087	12,117	11,5

يبين الجدول (4–6) نتائج اختبار الشد لعينات المواد النسيجية المركبة المحضرة من قماش بولي بروبلين / إيبوكسي مقسي حيث تم زيادة نسبة المادة الرابطة %(30,40,50)، وكانت نسبة تحسن قوة الشد على ترتيب المادة الرابطة %(11,45,40).

الجدول (4–7) قيمة القوة Fmax والاجهاد عند الانهيار σ لعينة المادة المركبة من قماش بولي ايتلين \ إيبوكسي مقسي

القيم	%(0\100)	%(30\70)	%(40\60)	%(50\50)
F max(N)	55	58,3	70,300	69,200
σ($KN\backslash m^2$)	7,6	9,2	13,2	12,3

يبين الجدول (4–7) تحسن الخصائص الميكانيكية للعينات المحضرة من قماش بولي ايتلين وايبوكسي مقسي حسب النسب %(30,40,50)، وكانت نسبة تحسن قوة الشد على ترتيب نسبة المادة الرابطة %(6,27,25).

الجدول (4-8) قيمة القوة F max الاجهاد عند الانهيار σ لعينة المادة المركبة من قماش المطاط \ إيبوكسي مقسي

القيم	%(0\100)	%(30\70)	%(40\60)	%(50\50)
F max(N)	54	56,700	75,600	72
σ(KN\m^2)	2,7	3,15	4,2	4

يبين الجدول (4-8) تحسن الخصائص الميكانيكية للعينات المحضرة من قماش المطاط وايبوكسي مقسي حسب النسب %(30,40,50)، وكانت نسبة تحسن قوة الشد على ترتيب نسبة المادة الرابطة %(3,40,33).

الجدول (4-9) قيمة F max وσ لعينة المادة المركبة المشكلة من القماش الزجاجي غرماج 162 مع إيبوكسي مقسي

القيم	0\100%	30\70%	40\60%	50\50%
F max(N)	20	40,400	53,700	51,200
σ(KN\m^2)	5,2	6,532	8,9833	7,7

يبين الجدول (4-9) نتائج اختبار الشد لعينة قماش زجاجي غراماج 162 مع ايبوكسي مقسي بنسب 30%ايبوكسي مع 70% قماش، وقمنا بزيادة نسبة الإيبوكسي وتناقص نسبة القماش، وتمت المقارنة مع عينة قماش بدون إضافات اعتبرت عينة مرجعية، وكانت قيم النتائج توضح خصائص قوة الشد تتزايد بنسبة 50% للقوة و20% للإجهاد مع نسبة إضافة لمادة الإيبوكسي بنسبة 30%، وبنسبة 62% قوة و37% إجهاد بنسبة إضافة 40%، وبنسبة 61% قوة و32% إجهاد بنسبة إضافة 50%. وبالتالي لاحظنا أن أفضل قيمة كانت نسبة إضافة 40%من مادة الإيبوكسي.

الجدول (4-10) قيمة F max وσ لعينة المادة المركبة من القماش الزجاجي غراماج 200 مع إيبوكسي مقسي

القيم	%0\100	%30\70	%40\60	%50\50
F max(N)	70	77	102.7	100.8
σ(KN\m^2)	7.9	9.324	12.987	11.6

يبين الجدول (4-10) نتائج اختبار الشد لعينة قماش زجاجي غراماج 200 مع ايبوكسي مقسي بنسب 30%ايبوكسي مع 70% قماش، تم زيادة نسبة الإيبوكسي وتناقص نسبة القماش، وتمت المقارنة مع عينة قماش بدون إضافات اعتبرت عينة مرجعية، وكانت قيم النتائج توضح خصائص قوة الشد تتزايد بنسبة 9% للقوة و15% للإجهاد مع نسبة إضافة لمادة الإيبوكسي بنسبة 30%، وبنسبة 31% قوة و42% إجهاد بنسبة إضافة 40%، وبنسبة 29% قوة و31% إجهاد بنسبة إضافة 50%. وبالتالي لاحظنا أن أفضل قيمة كانت نسبة إضافة 40%من مادة الإيبوكسي.

الجدول (4-11) قيمة F max وσ لعينة المادة المركبة من القماش الزجاجي غراماج 600 مع إيبوكسي مقسي

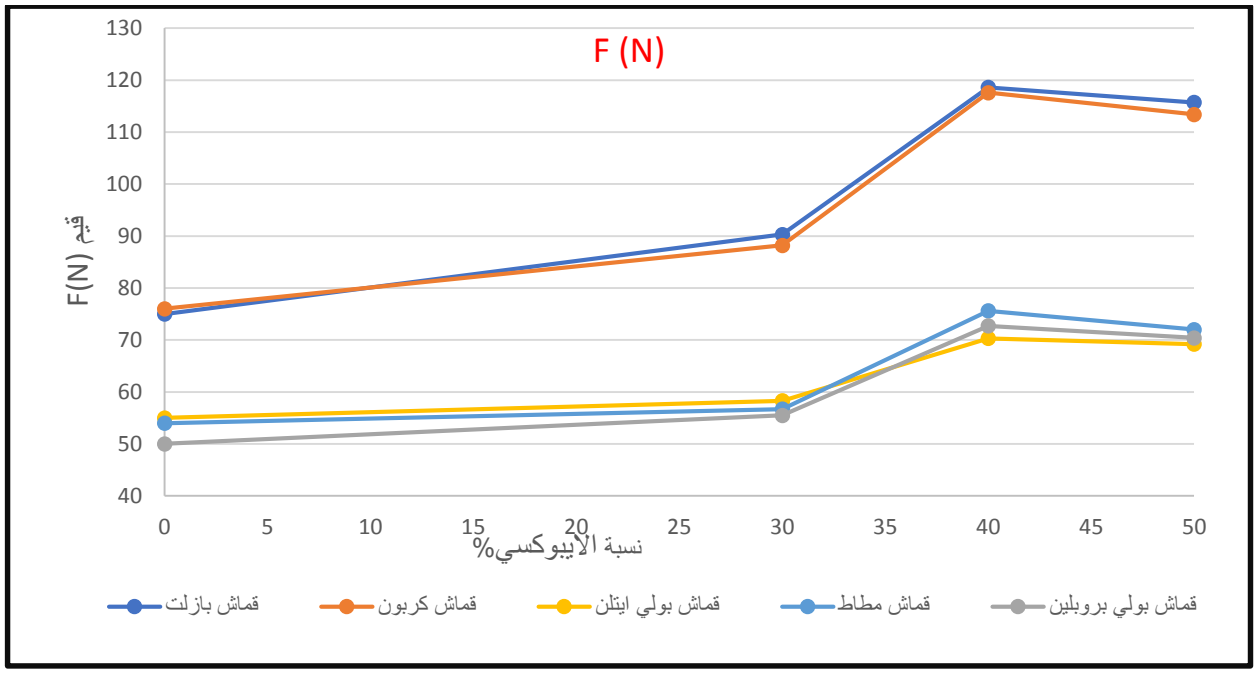
القيم	(0\100)%	%(30\70)	%(40\60)	%(50\50)
F max(N)	69	70,9	101,3	99,6
σ(KN\m^2)	17,4	21	28	26,3

يبين الجدول (4-11) نتائج اختبار الشد لعينة قماش زجاجي غراماج 600 مع ايبوكسي مقسي بنسب 30%ايبوكسي مع 70% قماش، وتم زيادة نسبة الإيبوكسي وتناقص نسبة القماش، وتمت المقارنة مع عينة قماش بدون إضافات اعتبرت عينة مرجعية، وكانت قيم النتائج توضح خصائص قوة الشد تتزايد بنسبة 3% للقوة و17% للإجهاد مع نسبة إضافة لمادة الإيبوكسي بنسبة 30%، وبنسبة 32% قوة و38% إجهاد بنسبة إضافة 40%،

وبنسبة 30% قوة و33% إجهاد بنسبة إضافة 50%. وبالتالي لاحظنا أن أفضل قيمة كانت نسبة إضافة 40%من مادة الإيبوكسي.

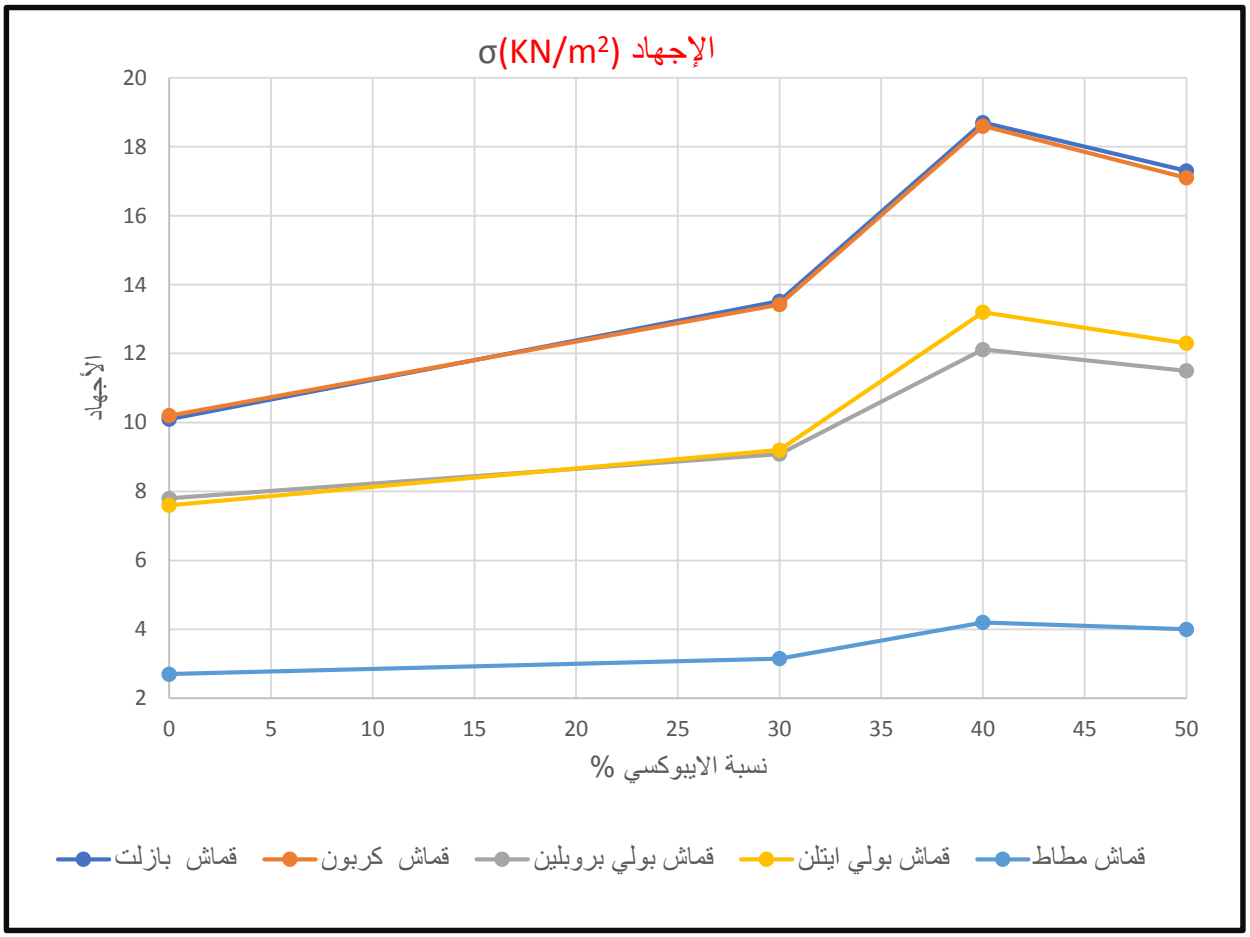
مناقشة النتائج

تظهر الجداول السابقة أنه بزيادة نسبة الإيبوكسي تزداد قيمة القوة والاجهاد للقماش المحسن بالإيبوكسي (المادة النسيجية المركبة)، ولكن عند ازدياد النسبة عن 40% لاحظنا تناقص قيم القوة والاجهاد، وبالتالي تم اعتماد القماش المحسن بنسبة (40%) إيبوكسي و (60%) قماش، وهذا يتوافق مع دراسات مرجعية سابقة عن نسيج البازلت [31]. تبين نتائج اختبارات الشد لعينات المواد النسيجية المركبة قيمة القوة F، ويظهر ذلك جلياً في المخطط في (4-8)، حيث تبين أن نسيج البازلت والكربون لهما خصائص تحمل عالية لقوة الشد. ويتضح أن قيمة F تزداد بزيادة نسبة الإيبوكسي المقسي، وبالتالي تحسن خصائص القماش المركب الكربون، وعند نسبة **40 %** نكون قد حصلنا على أعلى قيمة F، وبعد إضافة الإيبوكسي المقسي الى نسبة **50 %** لاحظنا انخفاض قيمة F، وبالتالي انخفاض خصائص المواد النسيجية المركبة.



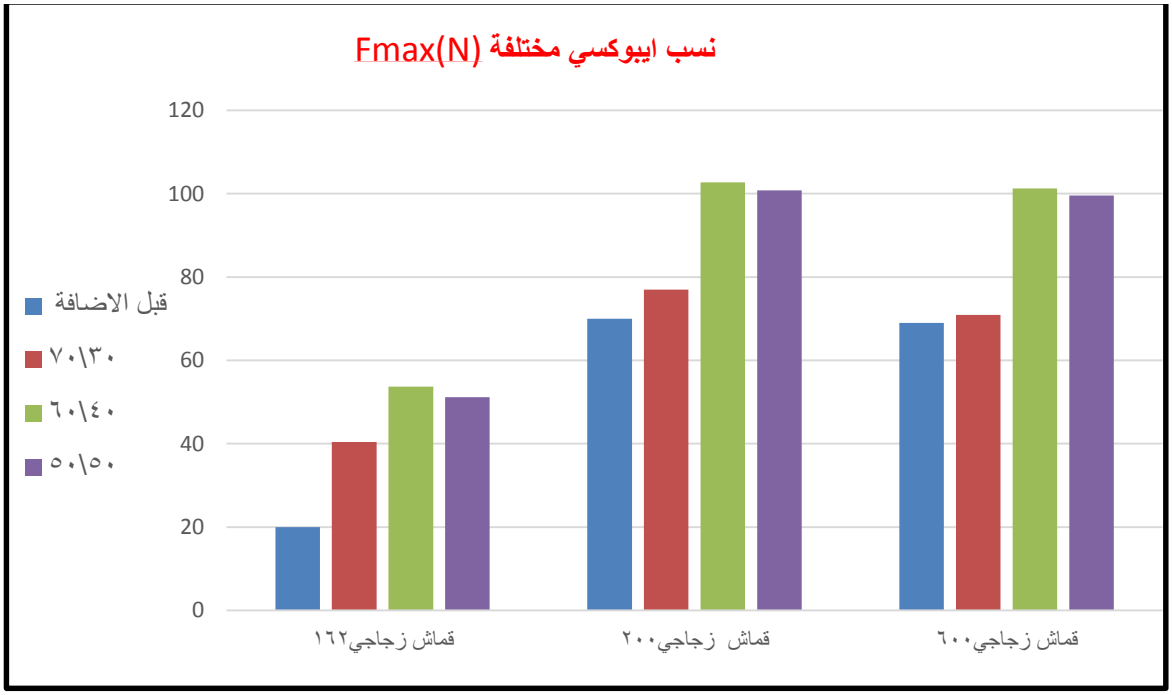
الشكل (4-8) مخطط القوة للمواد النسيجية المركبة بنسب إيبوكسي مختلفة

ومن خلال اختبار الشد على الجهاز حصلنا على قيمة الإجهاد لعينات المواد النسيجية المركبة، ويتضح من الشكل (4-9) أن قيمة الإجهاد تزداد بزيادة نسبة الإيبوكسي المقسي وبالتالي تحسن خصائص المواد النسيجية المركبة للكربون، وعند نسبة 40 % نصل الى أعلى قيمة σ، وبعد إضافة الإيبوكسي المقسي الى نسبة 50 % لاحظنا إنخفاض قيمة الإجهاد وبالتالي عدم زيادة في تحسن خصائص المواد النسيجية المركبة وهذا الأمر طبيعي لأن سلوك القوة هو من يحدد قيمة الاجهاد مع ثبات المقطع.

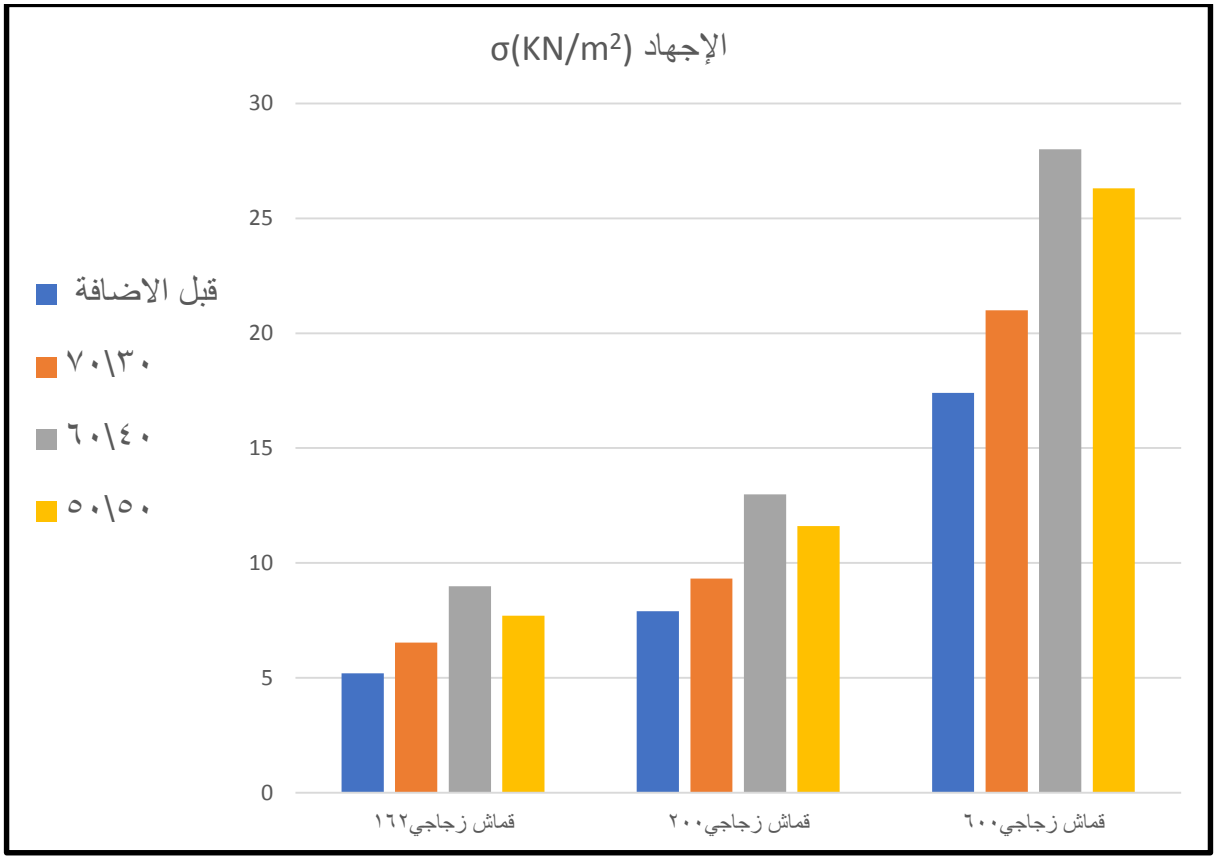


الشكل (4-9) مخطط الاجهاد للمواد النسيجية المركبة بنسب إيبوكسي مختلفة

بالنسبة للعينات المتفقة بالمادة الأولية للنسيج ومختلفة بالبارامترات النسيجية (الغراماج، والتركيب النسيجي) تظهر نتائج اختباراتها ضمن المخططات التالية



الشكل (4-10) مخطط اختبار قوى الشد للعينات من قماش الزجاج



الشكل (4-11) مخطط اختبار الاجهاد للعينات من قماش الزجاج

تبين نتائج اختبارات الشد لعينات المواد النسيجية المركبة قيمة القوة F، ويظهر ذلك جلياً في المخطط في الشكل (4-10)، حيث يبين أن قماش الزجاج غراماج 600 أعلى قيم بتحمل قوة الشد.

ويتضح أن قيمة F تزداد بزيادة نسبة الإيبوكسي المقسي، وبالتالي تحسن خصائص القماش المركب الزجاج 600، وعند نسبة % 40 نصل الى أعلى قيمة F، وبعد إضافة الإيبوكسي المقسي الى نسبة **%** 50 نلاحظ انخفاض قيمة F، وبالتالي انخفاض خصائص المواد النسيجية المركبة.

ومن خلال اختبار الشد على الجهاز حصلنا على قيمة الإجهاد لعينات المواد النسيجية المركبة، ويتضح من الشكل (4-11) أن قيمة الإجهاد تزداد بزيادة نسبة الإيبوكسي المقسي وبالتالي تحسن خصائص المواد النسيجية المركبة للزجاج 600، وعند نسبة **%** 40 نصل الى أعلى قيمة σ، وبعد إضافة الإيبوكسي المقسي الى نسبة **%** 50 نلاحظ انخفاض قيمة الإجهاد وبالتالي عدم زيادة في تحسن خصائص المواد النسيجية المركبة.

4-4-2 تدعيم المونة الاسمنتية بشبكة قماشية من المواد النسيجية المركبة

تم وضع القماش المحسن بالإيبوكسي المقسي بنسبة %(60\40) بشكل شبكة قماشية ضمن القالب، أثناء عملية صب المونة الإسمنتية التي تتضمن اسمنت بورتلاندي صنف 32.5 بوزن 450 g ورمل مخبري نوع Norm sand وفق المواصفة DIN EN 196-1 بوزن 1350 g وماء بوزن 225 g وذلك لكل قالب حيث يحتوي ثلاث مواشير أبعاد الموشور الواحد (16*4*4) cm.

تم إجراء التجربة على الشكل التالي:

1- تحضير الاسمنت مع الرمل المخبري وإضافتها الى الخلاط الذي يحدد نسبة الماء المطلوبة، وهو موجود في شركة اسمنت حماه الشكل (4-4).

2- وضع القماش بشكل شبكة نسيجية ضمن موشور المونة بطبقة ثم وضع خلطة المونة الإسمنتية تحت وأعلى القماش، ثم نكرر العملية بطبقتين ضمن الخلطة، ثم ثلاث طبقات ضمن خليط المونة الإسمنتية.

3- تم صب ثلاث قوالب لكل عينة لحساب قيم المتوسط وإجراء الاختبارات الميكانيكية ضغط وانعطاف ومقارنتها مع عينة مرجعية تتضمن خلطة المونة الاسمنتية فقط دون إضافات.

تم حفظ العينات وفق الشروط النظامية واختبار مقاومتها للضغط والانعطاف بعمر 7و 28 يوم كما في الشكل (4-12) وفق المواصفة السورية 3800\2015 الخاصة بالإسمنت البورتلاندي صنف 32.5 [37].

الشكل (4-12) العينات الإسمنتية المدعمة بطبقات النسيج المحسن بالإيبوكسي المقسي

كانت نتائج الاختبارات موضحة ضمن الجداول التالية:

الجدول (4-12) نتائج اختبار الضغط والانعطاف للعينات الاسمنتية المدعمة بطبقة من المواد النسيجية المركبة

	الاختبارات بعمر 7 يوم		الاختبارات بعمر 28 يوم	
المادة	الضغط MPa	الانعطاف MPa	ضغط MPa	الانعطاف MPa
عينة مرجعية	30,7	5,9	42	6,1
قماش كربون	31,5	6,3	42,5	7
قماش بازلت	32	8,1	42,5	8,1
قماش مطاط	28	5,4	37	5,7
قماش بولي ايتلين	26	5,3	36	5,6
قماش بولي بروبلين	26	5	35	5,5

يوضح الجدول (4–12) اختبار مقاومة الضغط والانعطاف بعمر 28 ,7 يوم لعينات المونة الاسمنتية المدعمة بطبقة من القماش المحسن بالإيبوكسي المقسي، حيث وضعت ضمن مكونات المونة أثناء وضعها في القالب، وزادت قيمة الانعطاف لقماش البازلت بنسبة 32% وذلك كون البازلت يعتبر أحد مكونات الإسمنت وكانت أعلى قيمة، ويأتي ثانياً قماش الكربون بنسبة 18%، أما اختبار الضغط لم يكن مقدار التحسن كبيراً لأن المواد المضافة شكلت فاصل ضمن بنية المونة مما أثر على مقاومتها للضغط بشكل يتناسب مع توافق المادة المضافة لخصائص المونة، وتمت المقارنة مع عينة مرجعية مكونة من مونة اسمنتية فقط بدون اضافات.

الجدول(4–13) نتائج اختبار الضغط والانعطاف للعينات الإسمنتية المدعمة بطبقتين من المواد النسيجية المركبة

	الاختبارات بعمر 7 يوم		الاختبارات بعمر 28 يوم	
المادة	ضغط Mpa	انعطاف Mpa	ضغط Mpa	انعطاف Mpa
عينة مرجعية	30,7	5,9	42	6,1
قماش كربون	32	7,8	43	8,3
قماش بازلت	33	9,4	43,5	9,6
قماش مطاط	29	5,9	39	6,3
قماش بولي ايتلين	29	6,1	35	6,2
قماش بولي بروبلين	28,5	6	35	6,1

يوضح الجدول (4–13) اختبار الضغط والانعطاف بعمر 28 ,7 يوم لعينات المونة الاسمنتية المدعمة بطبقتين من القماش المحسن بالإيبوكسي وضعت ضمن مكونات المونة أثناء وضعها في القالب، حيث تم وضع طبقات القماش ضمن مكونات المونة بشكل يوجد بينها مونة اسمنتية، حيث زادت قيمة الانعطاف لقماش البازلت بنسبة

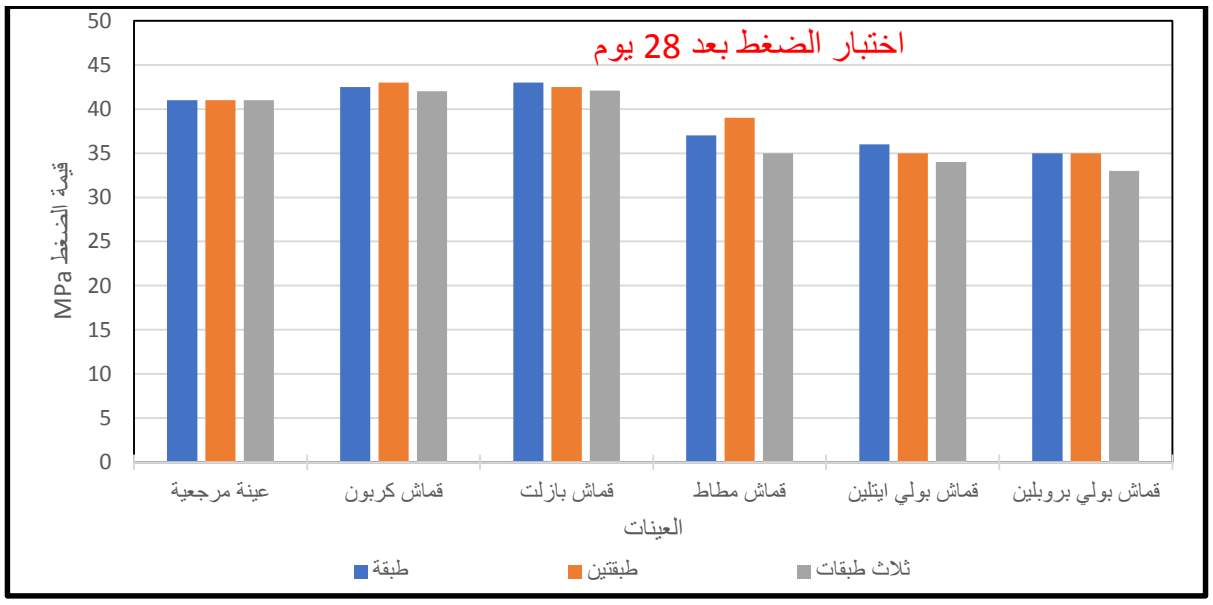
57% وكانت أعلى قيمة ويأتي ثانياً قماش الكربون بنسبة 36%، أما اختبار الضغط كان بمقدار 2% وتمت المقارنة مع عينة مرجعية مكونة من مونة اسمنتية فقط بدون إضافات.

الجدول (4-14) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات المونة الاسمنتية المدعمة بثلاث طبقات من المواد النسيجية المركبة

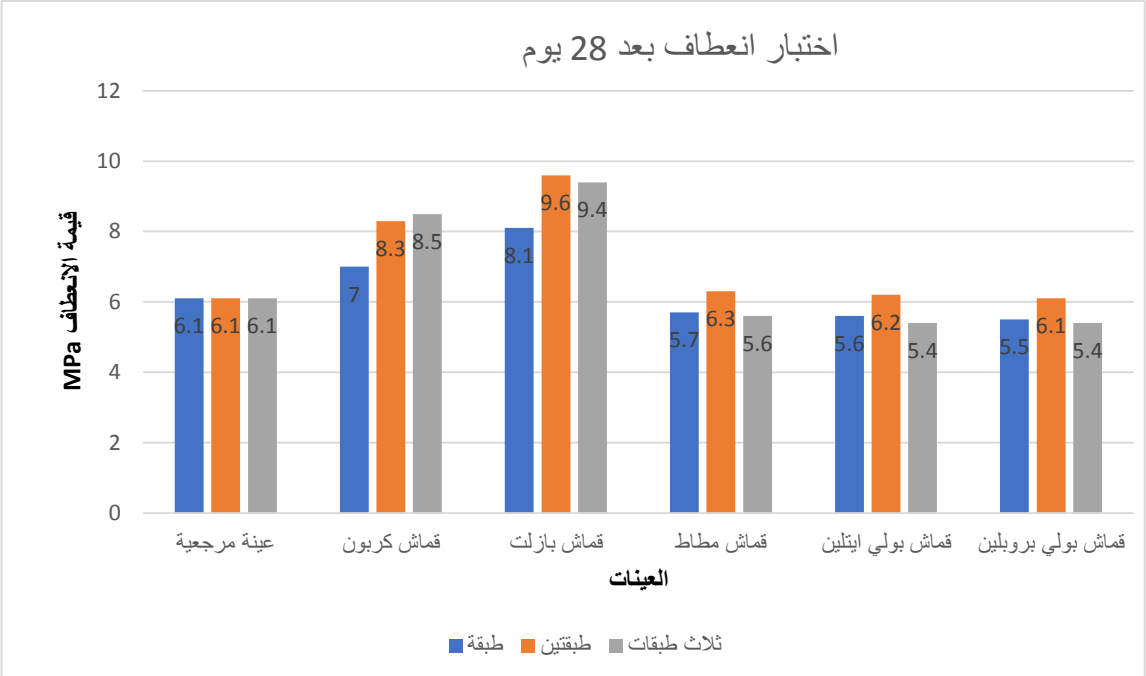
	الاختبارات بعمر 7 يوم		الاختبارات بعمر 28 يوم	
المادة	ضغط MPa	انعطافMPa	ضغطMPa	انعطافMPa
عينة مرجعية	30,7	5,9	42	6,1
قماش كربون	31	7,6	42	8,2
قماش بازلت	32	9,4	42,1	9,4
قماش مطاط	25	5,3	35	5,6
قماش بولي ايتلين	26	5	34	5,4
قماش بولي بروبلين	24,5	5	33	5,4

يوضح الجدول (4-14) اختبار الضغط والانعطاف بعمر 7, 28 يوم لعينات المونة الاسمنتية المدعمة بثلاث طبقات من القماش المحسن بالإيبوكسي وضعت ضمن مكونات المونة أثناء وضعها في القالب، حيث تم وضع طبقات القماش ضمن مكونات المونة بشكل يفصل القماش بين المونة الإسمنتية، حيث زادت قيمة الانعطاف لقماش البازلت بنسبة 54% وكانت أعلى قيمة ويأتي ثانياً قماش الكربون بنسبة 34%،

ودلت المخططات في الشكلين (4-13) (4-14) على قيم اختبار الضغط والانعطاف للعينات المونة الاسمنتية المدعمة بالمواد النسيجية المركبة، ويتضح أن عينة البازلت أعطت أعلى قيمة مقاومة.



الشكل (4-13) مخطط الضغط للمونة الإسمنتية المدعمة بطبقات من المواد النسيجية المركبة



الشكل (4-14) مخطط الانعطاف للمونة الإسمنتية المدعمة بطبقات من المواد النسيجية المركبة

وجدنا من المخططات السابقة أن مقاومة الانعطاف والضغط لعينات المونة الاسمنتية تزداد بزيادة عدد الطبقات من المواد النسيجية المركبة ولكن عند زيادة عدد الطبقات أكثر من طبقتين يسبب تناقص في قيم المقاومة، ويعود ذلك لتشكل فواصل ضمن البنية الخاصة بتركيبة المونة، حيث تقلل من قيم مقاومة الضغط والانعطاف بشكل بسيط عن الطبقتين التي تعتبر الحالة المثالية لجانس المواد النسيجية المركبة مع المونة الإسمنتية.

الجدول (4–15) نتائج اختبار عينات المونة الإسمنتية المدعمة بطبقات قماش زجاجي تركيب سادة غراماج 162 المحسن بالإيبوكسي المقسي وذلك بعمر7 و 28 يوم

الاختبارات	العمر، يوم	عينة مرجعية	طبقة	طبقتان	ثلاث طبقات
الانعطاف MPa	7	5.9	6,2	7	7,1
	28	6,2	6,6	8	8,1
الضغط MPa	7	30,7	31	32	30
	28	41	42,6	41	40,4

يبين الجدول (4–15) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات المونة الإسمنتية المدعمة بطبقة ثم طبقتين ثم ثلاث طبقات من القماش الزجاجي ذي التركيب السادة وغراماج 162، وأظهرت القيم بعمر 7 ، 28 يوم تحسن الخصائص الميكانيكية مقاومة الانعطاف بزيادة الطبقات من الأقمشة المحسنة بالإيبوكسي بنسبة % 5 باستخدام طبقة، وبنسبة 18,6% باستخدام طبقتين، ونسبة 19% باستخدام ثلاث طبقات، من ناحية اختبار الضغط تبين النتائج تحسن القيم من طبقة بنسبة **3%** وبنسبة **4%** لطبقتين وتناقصها عند ثلاث طبقات، وتمت المقارنة مع العينة المرجعية بدون إضافات وكان ذلك بالنسبة لعمر 7 أيام، وبعد مقارنة العينات بعمر 28 مع العينة المرجعية، كانت نسبة التحسن في اختبار الضغط بنسب متقاربة مع عمر 7 أيام. أما اختبار الانعطاف كان مقدار التحسن بنسبة 7% عند استخدام طبقة، وبنسبة 29% عند الطبقتين، وبنسبة 30% عند ثلاث طبقات.

الجدول (4–16) نتائج اختبار عينات المونة الإسمنتية المدعمة بطبقات قماش زجاجي تركيب سادة غراماج 600 المحسن بالإيبوكسي المقسي وذلك بعمر 7 و 28 يوم

الاختبارات	العمر يوم	عينة مرجعية	طبقة	طبقتان	ثلاث طبقات
الانعطاف MPa	7	5.9	6	6.9	7
	28	6,2	6,2	7,7	7,6
الضغط MPa	7	30,7	31,9	33	30
	28	41	42,5	41	40,9

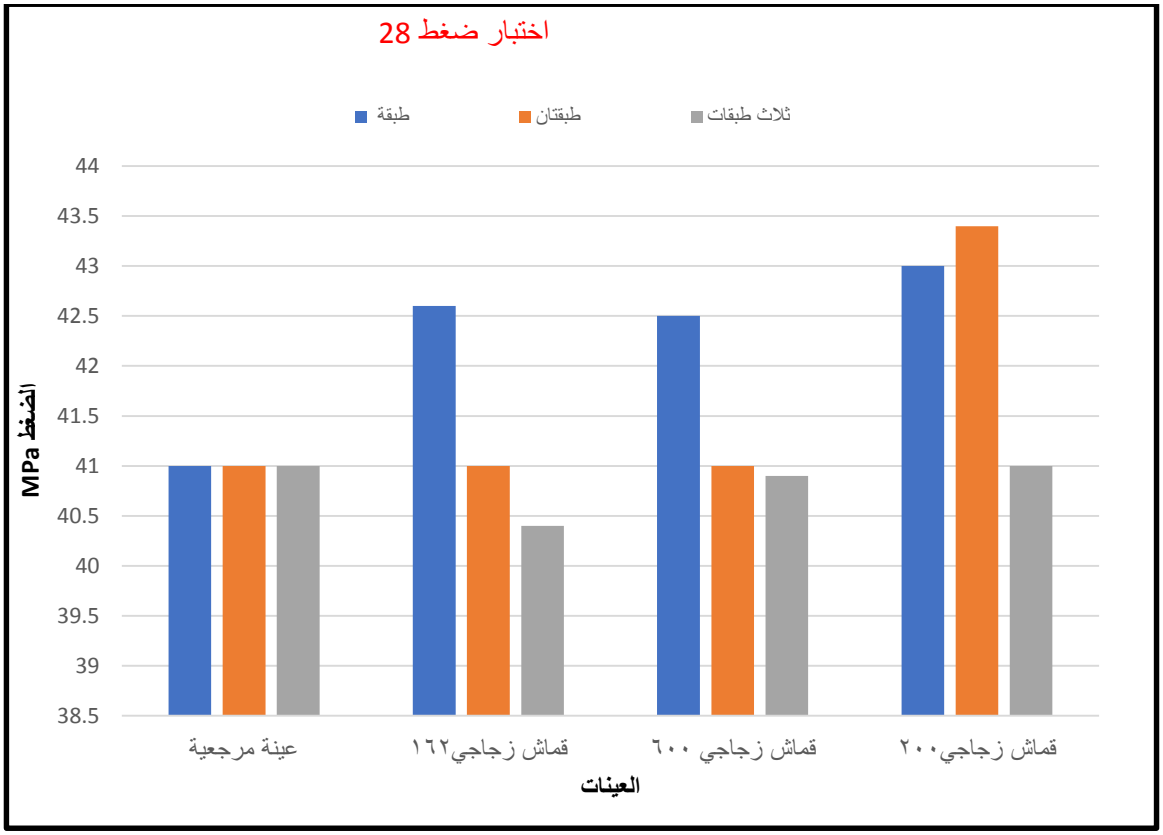
يبين الجدول (4–16) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات المونة الإسمنتية المدعمة بطبقة ثم طبقتين ثم ثلاث طبقات من القماش الزجاجي ذي التركيب السادة وغراماج 600، وأظهرت القيم بعمر 28 , 7 يوم تحسن الخصائص الميكانيكية مقاومة الانعطاف بزيادة الطبقات من الأقمشة المحسنة بالإيبوكسي بنسبة 2% باستخدام طبقة، وبنسبة 16,9% باستخدام طبقتين، ونسبة 18.6% باستخدام ثلاث طبقات، من ناحية اختبار الضغط تبين النتائج تحسن القيم من طبقة بنسبة **3%** وبنسبة **9%** لطبقتين وتناقصها عند ثلاث طبقات، وتمت المقارنة مع العينة المرجعية بدون إضافات وكان ذلك بالنسبة لعمر 7 أيام، وبعد مقارنة العينات بعمر 28 مع العينة المرجعية، كانت نسبة التحسن في اختبار الضغط بنسب متقاربة مع عمر 7 أيام. أما اختبار الانعطاف كان مقدار التحسن بنسبة 1% عند استخدام طبقة، وبنسبة 24% عند الطبقتين، وبنسبة 22% عند ثلاث طبقات.

وجدنا من الجداول السابقة أن مقاومة الانعطاف تتحسن بتغير نوع المادة النسيجية وبعدد الطبقات، وهذا يعود كون المادة النسيجية المركبة قامت بتسليح المونة الإسمنتية وتشكيل مصفوفة من المونة المدعمة بالمواد النسيجية المركبة، وهذا الاندماج حسن من قيمة الانعطاف بشكل أكبر من الضغط كونه شكل فواصل ضمن بنية المونة.

الجدول (4-17) نتائج اختبار عينات المونة الإسمنتية المدعمة بطبقات قماش زجاجي تركيب مبرد غراماج 200 المحسن بالإيبوكسي المقسي وذلك بعمر 7 و 28 يوم

الاختبارات	العمر يوم	بدون اضافة	طبقة	طبقتان	ثلاث طبقات
الانعطاف MPa	7	5.9	9,5	9.9	9,7
	28	6,2	9,8	9,9	9,8
الضغط MPa	7	30,7	33	33,5	30,9
	28	41	43	43,4	41

يبين الجدول (4-17) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات المونة الإسمنتية المدعمة بطبقة ثم طبقتين ثم ثلاث طبقات من القماش الزجاجي ذ**D** التركيب المبرد وغراماج 200، وأظهرت القيم بعمر 28 , 7 يوم تحسن الخصائص الميكانيكية مقاومة الانعطاف بزيادة الطبقات من الأقمشة المحسنة بالإيبوكسي بنسبة % 61 باستخدام طبقة، وبنسبة 67% باستخدام طبقتين، ونسبة 64% باستخدام ثلاث طبقات، من ناحية اختبار الضغط تبين النتائج تحسن القيم من طبقة بنسبة 12% وبنسبة **%** 14 لطبقتين وتناقصها عند ثلاث طبقات لنسبة 1%، وتمت المقارنة مع العينة المرجعية بدون إضافات وكان ذلك بالنسبة لعمر 7 أيام، وبعد مقارنة العينات بعمر 28 مع العينة المرجعية، كانت نسبة التحسن في اختبار الضغط بنسب متقاربة مع عمر 7 أيام. أما اختبار الانعطاف كان مقدار التحسن بنسبة 56% عند استخدام طبقة، وبنسبة 60% عند الطبقتين، وبنسبة 55% عند ثلاث طبقات.



الشكل (4-15) مخطط نتائج اختبار الضغط للمونة الإسمنتية المدعمة بالقماش الزجاجي المحسن بالإيبوكسي المقسي

بعد مقارنة النتائج ضمن الجداول لعينات المونة الإسمنتية المدعمة بشبكة من القماش الزجاجي المحسن بالإيبوكسي المقسي المختلف بالتركيب النسيجي وبالغراماج، ومقارنتها مع عينات مرجعية بدون إضافات فقط مكونات المونة الإسمنتية.

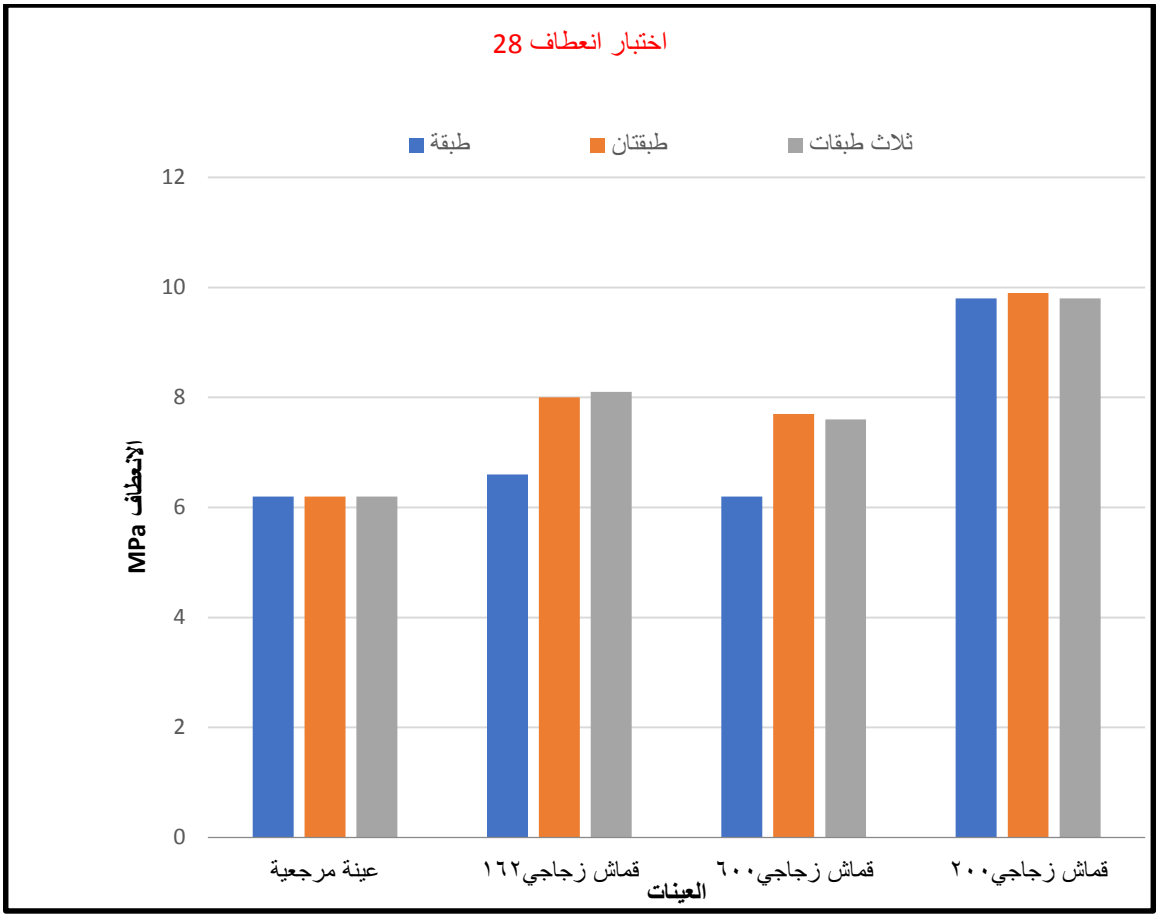
وجدنا بزيادة عدد طبقات القماش تزداد قيمة الانعطاف، ولكن القيمة عند ثلاث طبقات لم تتحسن بشكل ملحوظ مما يظهر عدم الجدوى من اضافة طبقة ثالثة كونها كلفة اقتصادية زائدة. أما قيمة الضغط فهي تتحسن بنسب بسيطة وتتناقص بعد الطبقة الثانية، بسبب وجود مواد تشكل فاصل ضمن بنية مكونات المونة الإسمنتية، وهذا ما يظهر في الشكل (4-15) و (4-16).

ويتضح لدينا أيضاً أنه باستخدام قماش زجاجي غراماج 200 وتركيب نسيجي مبرد، تحسنت خصائص الانعطاف لعينات المونة الاسمنتية المدعمة بنسبة 67%.

يليها العينات المدعمة بقماش زجاجي غراماج 162 تركيب نسيجي سادة.

ثم النسيج الزجاجي غراماج 600 تركيب سادة، وهذا ما يؤكد تأثير التركيب النسيجي على قوة الانعطاف للمونة الإسمنتية، كما اتضح أن تركيب المبرد أفضل من تركيب السادة كما موضحة في الشكل (4-16) لذلك تم استخدامه.

من ناحية اختبار الضغط تتميز العينات المدعمة بنسيج زجاج غراماج 200، أفضل من النسيج غراماج 162، يليه نسيج غراماج 600، وبالتالي يتبين أن التركيب النسيجي ليس له تأثير كبير في اختبار الضغط كون الفارق بين القيم صغير، كما موضحة بالشكل (4-15).



الشكل (4-16) مخطط نتائج اختبار الانعطاف للمونة الإسمنتية المدعمة بالقماش الزجاجي المحسن بالإيبوكسي المقسي

4-4-3 تدعيم الخرسانة الاسمنتية بشبكة قماشية من المواد النسيجية المركبة

تم وضع القماش المحسن بالإيبوكسي المقسي بنسبة %(40\60) بشكل شبكة قماشية ضمن القالب، أثناء عملية صب الخرسانة الإسمنتية التي تتضمن اسمنت صنف 32.5 بوزن 900 g وحصويات متفاوتة الحجوم ورمل أبيض بوزن 2700 g وماء بوزن 500 g وذلك لكل قالب، حيث تكون أبعاد القالب (40*10*10)Cm.

تم إجراء التجربة على الشكل التالي:

1- تحضير مكونات الخرسانة وإضافتها الى الخلاطة بالشكل (4-17)، ثم وضعها ضمن القالب بالشكل (4-3).

الشكل (4-17) جهاز لخلط مكونات الخرسانة

2- وضع القماش كشبكة ضمن القالب بطبقة ثم وضع خلطة الخرسانة الإسمنتية تحت وأعلى القماش، ثم نكرر العملية بطبقتين.

3- حفظت العينات ضمن الماء بالشروط النظامية من رطوبة وحرارة وتم إخراجها بعمر 28 يوم بالشكل (4-18)، وذلك لإجراء اختبار الضغط والانعطاف على الجهاز الموجود في الشكل (4-6).

الشكل (4-18) عينات الخرسانة بعد اخراجها من الماء

تم وضع عينات الخرسانة الاسمنتية المدعمة بالمواد النسيجية المركبة على جهاز الاختبار بحيث ترتكز العينة على مسندين وتم تطبيق قوة عمودية على منتصف العينة واجراء حساب لقيمة اجهاد الانعطاف حسب المعادلة (1)

$$\sigma = \frac{3 * P * L}{2 * b * h\text{^}2} \qquad (1)$$

σ اجهاد الانعطاف KN/m^2

P قيمة القوة المطبقة N

L طول العينة Cm

b عرض العينة Cm

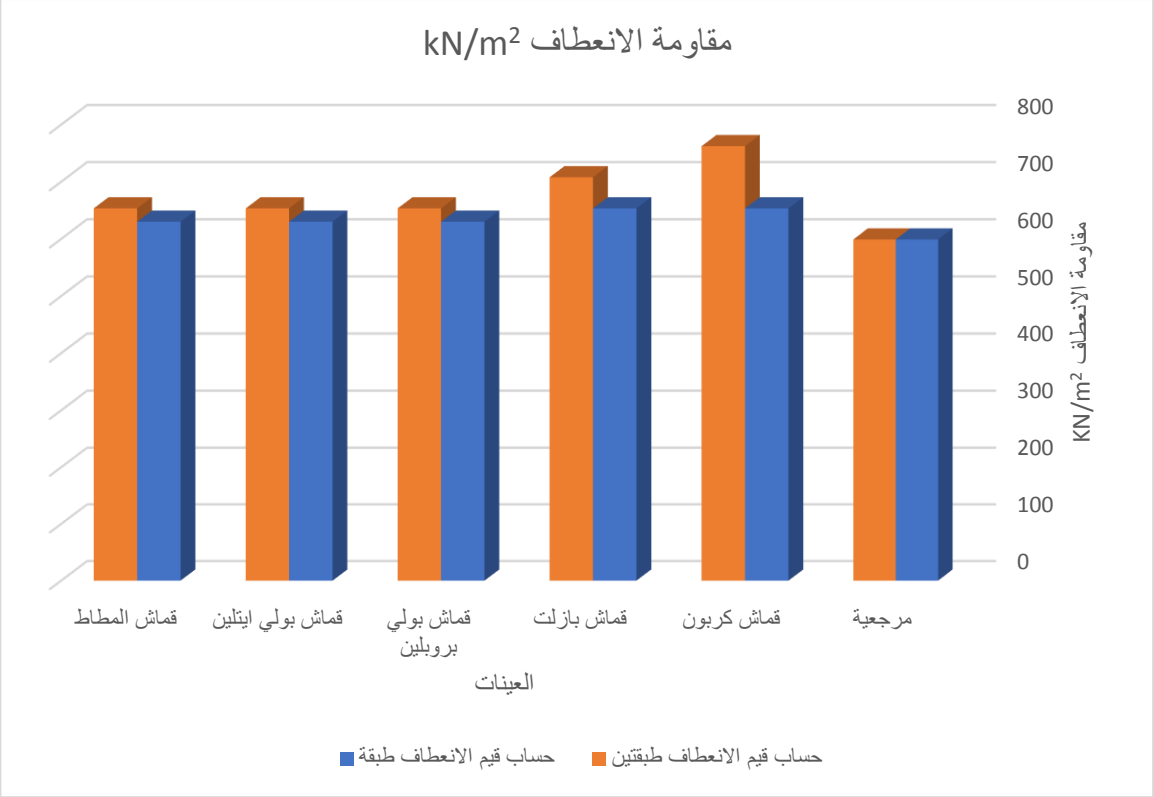
h ارتفاع العينة Cm

بعد اجراء الحسابات الخاصة بكل صنف حسب قيمة القوة المطبقة تظهر لدينا النتائج حسب الجدول (4-18)

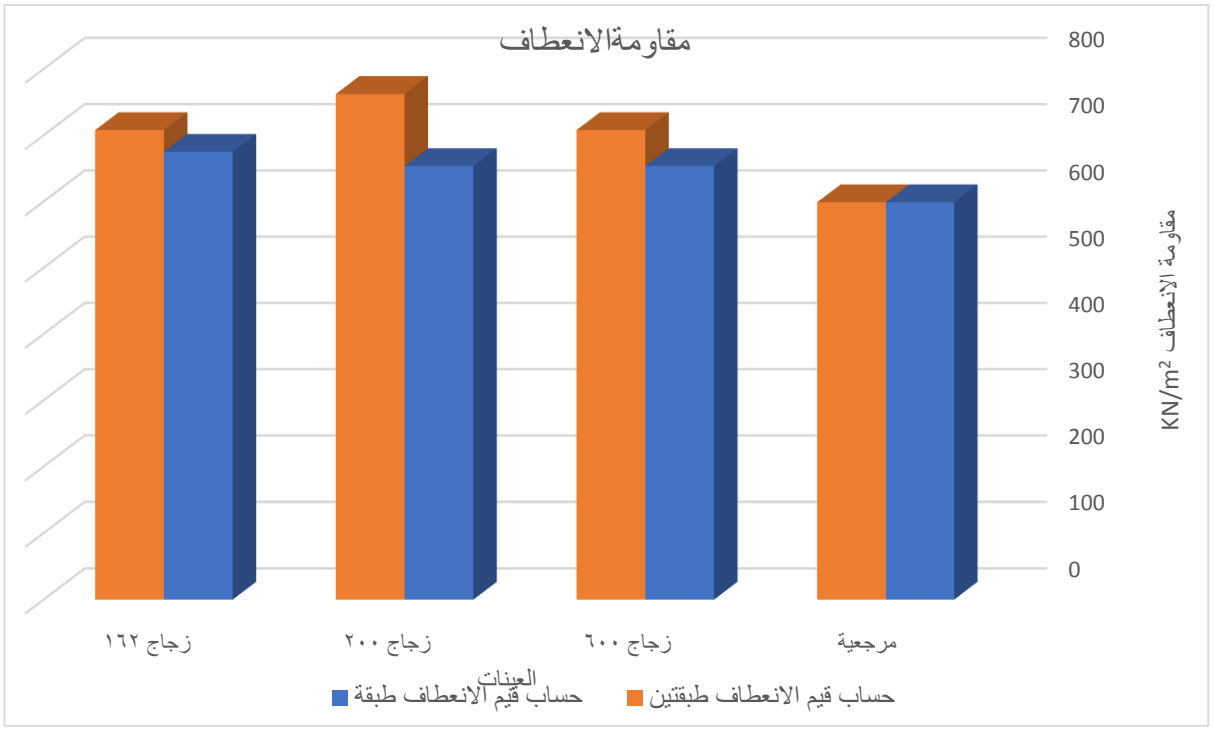
الجدول (4-18) نتائج اختبار الانعطاف للخرسانة المدعمة بمواد نسيجية مركبة بعمر 28يوم

	اجهاد الانعطاف KN/m^2	
المادة	طبقة	طبقتين
مرجعية	598,95	598,95
قماش كربوني	653,4	762,3
قماش بازلتي	653,4	707,85
قماش بولي بروبليني	630	653,4
قماش بولي ايتليني	630	653,4
قماش مطاطي	630	653,4
قماش زجاجي 600	653,4	707,85
قماش زجاجي 200	653,4	762,3
قماش زجاجي 162	675	707,85

يبين الجدول (4-18) قيم مقاومة الخرسانة الإسمنتية المدعمة بالمواد النسيجية المركبة للانعطاف بعمر 28 يوم، وكانت عينة الخرسانة المدعمة بالكربون والزجاج غراماج 200 ذات مقاومة عالية الانعطاف، لاحظنا من الأشكال (4-19) و (4-20) تحسن في الخصائص بنسبة 27% بالنسبة للقماش الكربوني مقارنة مع عينة مرجعية بدون مواد مضافة للتدعيم، أما المواد التي تعتبر ذات كلفة اقتصادية منخفضة كالبولي ايتلين، والبولي بربلين، والمطاط، كانت نسبة تحسن خصائص الانعطاف 15%.



الشكل (4-19) مخطط الانعطاف للخرسانة الاسمنتية المقواة بالمواد النسيجية المركبة المختلفة بالمادة الأولية



الشكل (4-20) مخطط مقاومة الانعطاف للخرسانة المدعمة بالمواد النسيجية المركبة المتفقة بالمادة الأولية

4-4-4 تقوية الاسمنت المنتج بالمواد النسيجية المركبة على شكل حبيبات مطحونة

تم إضافة ألياف زجاجية مطحونة الى الكلنكر (المادة التي تنتج ضمن الأفران في صناعة الإسمنت)، وكانت عملية الإضافة في مرحلة الطحن داخل مطحنة الإسمنت، وتمت مقارنة عينات الاسمنت المقوى بالمواد النسيجية المركبة مع عينة مرجعية جديدة بدون إضافات مكونة من اسمنت فقط مختلفة عن العينة السابقة للمونة للإسمنتية ويعود هذا الاختلاف لنوع الكلينكر المستخدم لعملية تحضير العينة المرجعية، وكانت الإضافات حسب المواصفة السورية القياسية 3800\2015. الخاصة بصنف الاسمنت عيار 32.5، تتراوح ضمن1% إلى5% من وزن الاسمنت ضمن الخلطة الذي يبلغ 450g.

نظراً لعدد التجارب الكبير تم تصميم التجارب بشكل احصائي عبر برنامج تصميم التجارب ووضع المواد بنسبة 1% حتى نسبة 5% واجراء الاختبار عبر البرنامج

العوامل

املأ أسماء العوامل الخاصة بك. يمكن أن يكون عدد العوامل بين 2 و 10.

	FactorName
1	
2	اسمنت
3	بولي فينيل
4	كربون
5	زجاج
6	بازلت
7	بولي بروبلين
8	بولي ايتلين
9	كربيد سيليكون
10	سيليكات الصوديوم

المستويات

املأ المستويات من أجل العامل الخاص بك. يمكن أن يحتوي كل عامل على مستويين أو 3 مستويات.

	اسمنت	بولي.فينيل	كربون	زجاج	بازلت	بولي.بروبلين	بولي.ايتلين	كربيد.سيليكون	سيليكات الصوديوم
1	100	0	0	0	0	0	0	0	0
2	98	1	1	1	1	1	1	1	1
3	95	5	5	5	5	5	5	5	5

الشكل (4-21) وضع المركبات ضمن البرنامج

حدد نوع التصميم:

تصميم مضروب

تصميم سطح الاستجابة

إعدادات

ترتيب تجربة عشوائية

95	اسمنت	بولي.فينيل	كربون	زجاج	بازلت	بولي.بروبلين	بولي.ايثلين	كربيد.سيليكون	سيليكات.الصوديوم	Response1
95	100	5	0	5	5	5	0	0	0	
98	95	5	5	0	5	5	5	0	0	
100	100	0	5	5	0	5	5	5	0	
4	95	5	0	5	5	0	5	5	5	
5	95	0	5	0	5	5	0	5	5	
6	95	0	0	5	0	5	5	0	5	
7	100	0	0	0	5	0	5	5	0	
8	100	5	0	0	0	5	0	5	5	
9	100	5	5	0	0	0	5	0	5	
10	95	5	5	5	0	0	0	5	0	
11	100	0	5	5	5	0	0	0	5	
12	95	0	0	0	0	0	0	0	0	

Download DoE Table

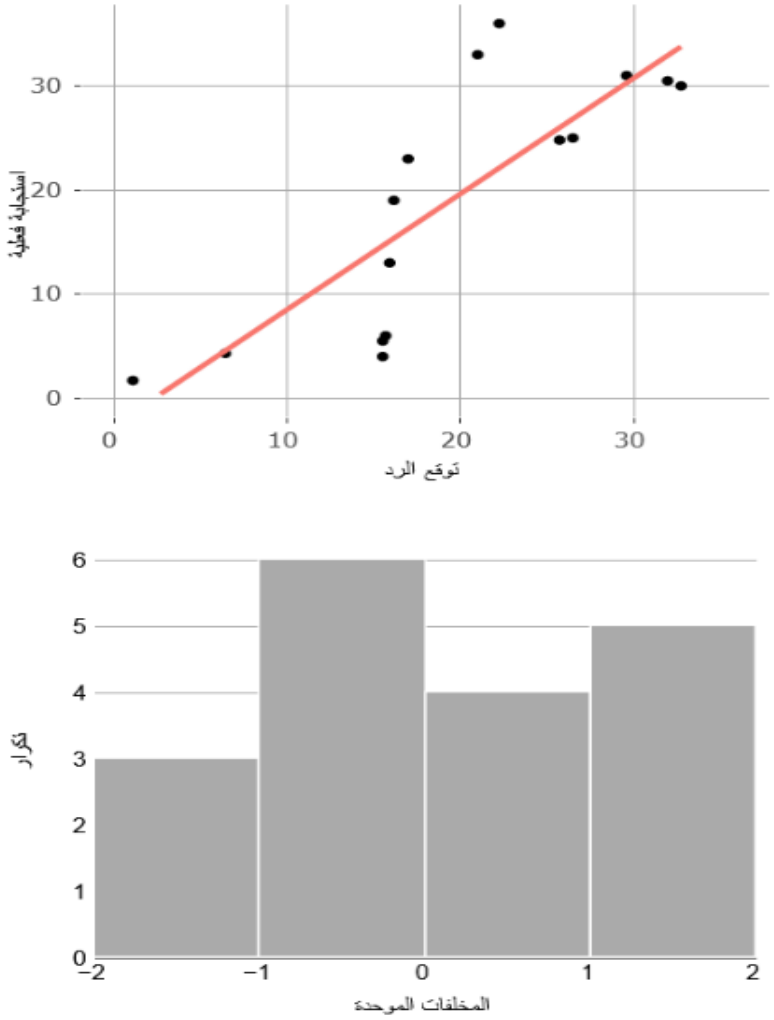
الشكل (4-22) وضع المركبات ضمن البرنامج بشكل نسب مئوية لتحديد التصميم

R^2= 0.74

شرط	معامل في الرياضيات او درجة	ف القيمة
(تقاطع)	293.10457	0.61577
اسمنت	-2.76945	0.63815
بولي.فينيل	-2.04171	0.55305
كربون	-3.73654	0.23696
زجاج	-2.66986	0.35805
بازلت	-4.14038	0.19436
بولي.بروبلين	-4.14038	0.19436
بولي.ايثلين	-3.96731	0.21173
كربيد.سيليكون	2.58443	0.26425
سيليكات.الصوديوم	1.33736	0.53310

الشكل (4-23) يوضح قيمة R^2 وقيمة F

يبين الشكل (4–23) قيمة R^2 التي تبلغ 0.74 وتعتبر قيمة جيدة لتوقع التجربة، وقيمة F 0.19 لعينة الاسمنت المدعمة بالبازلت والبولي بروبلين.



الشكل (4–24) مخططات الاستجابة

تم اجراء التجربة بإضافة النسب التالية %(1,3,5) من ألياف (الكربون، بالبازلت، بولي ايتلين، بولي بروبلين، بولي فينيل، كربيد السيلكون، سيليكات الصوديوم، والزجاج) حيث تمت إضافة هذه المواد الى المطحنة، لإنتاج اسمنت مقوى بالمواد النسيجية المركبة، وكانت النتائج ضمن الجداول التالية:

الجدول (4–19) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات مونة إسمنتية مضاف اليها مواد مركبة بنسبة 1%

المواد المركبة النسيجية		اجهاد الانعطاف MPa		اجهاد الضغط MPa	
المادة الأولى	المادة الثانية	28	7	28	7
حسب المواصفة 3800\2015		>2	>1.5	>32.5	>16
عينة مرجعية بدون إضافات للمقارنة		3	2.5	36	19
ألياف زجاجية 200	بولي فينيل كحول	5	3.1	39	21
ألياف زجاجية 600	بولي فينيل كحول	5	3.1	39	21

يبين الجدول (4–19) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات إسمنت مقوى بألياف زجاجية مطحونة مختلفة التركيب النسيجي ومادة البولي فينيل كحول بنسبة اضافة 1% وتعادل 4.5g من وزن الاسمنت ضمن خلطة المونة، حيث تمت إضافة المواد الى الكلنكر لإنتاج الإسمنت المقوى وجرت عملية صب مونة اسمنتية مقارنةً مع مونة إسمنتية بدون إضافات. كانت نتائج الاختبارات تشير الى تحسن المواصفات الميكانيكية للإسمنت المقوى بنسبة 10%في اختبار الضغط، وبنسبة 24% في اختبار الانعطاف، وتم تخفيض وزن العينة بعد الاضافة بنسبة 15%مقارنةً مع المرجعية، ونجد أن اختلاف التركيب النسيجي لا يؤثر كون الألياف تعرضت لطحن.

الجدول (4–20) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات مونة إسمنتية مضاف اليها مواد مركبة بنسبة 5%

المواد المركبة النسيجية		اجهاد الانعطاف Mpa		اجهاد الضغط Mpa	
المادة الأولى	المادة الثانية	28	7	28	7
حسب المواصفة 3800\2015		>2	>1.5	>32.5	>16
عينة مرجعية بدون إضافة للمقارنة		3	2.5	36	19
ألياف زجاجية 200	بولي فينيل كحول	2.3	1.7	6.2	4.3
ألياف زجاجية 600	بولي فينيل كحول	2.3	1.7	6.2	4.3

ويبين الجدول (4–20) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات إسمنت مقوى بألياف زجاجية مطحونة من غراماج 600 و200 ومختلفة التركيب النسيجي وبولي فينيل كحول.

تمت إعادة التجربة السابقة ولكن بإضافة مواد نسيجية مركبة بنسبة 5% وتعادل 22.5g من وزن الاسمنت ضمن مكونات المونة، وأظهرت النتائج في الجدول (4–20) تعرض العينات للانهيار والفشل، وبالتالي زيادة النسبة للحد المسموح به ضمن المواصفة يؤدي لفشل العينات.

الجدول (4–21) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات مونة إسمنتية بنسبة إضافات مختلفة بعمر 7,28 يوم

المواد المركبة النسيجية		اجهاد الانعطاف MPa		اجهاد الضغط MPa	
المادة الأولى	المادة الثانية	28	7	28	7
حسب المواصفة 3800\2015		>2	>1.5	>32.5	>16
عينة مرجعية بدون إضافة للمقارنة		3	2.5	36	19
كربيد السيلكون 5%	ألياف زجاجية 1%	7	6	45.6	30.1
سيليكات الصوديوم 5%	ألياف زجاجية 1%	5.9	5.4	42.2	24.8
سيليكات الصوديوم 5%	ألياف زجاجية 5%	6	5.1	40.4	21.6
كربيد السيلكون 5%	ألياف زجاجية 5%	6.8	5.8	43.7	28.7

ويبين الجدول (4–21) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات اسمنت مقوى بالألياف الزجاجية المطحونة غراماج 600 و200، بتراكيب نسيجية مختلفة مع مواد تتميز بخصائص ميكانيكية عالية، وتبين النتائج بالمقارنة مع عينة مرجعية بدون إضافات تحسن كبير في الخواص الميكانيكية من ناحية اختبار الضغط بنسبة تتراوح بين (50– 56%) بالخصائص الميكانيكية عند استخدام مادة كربيد السيلكون، وبالنسبة لمادة السيلكات كانت نسبة التحسن بين (10 –26%)،

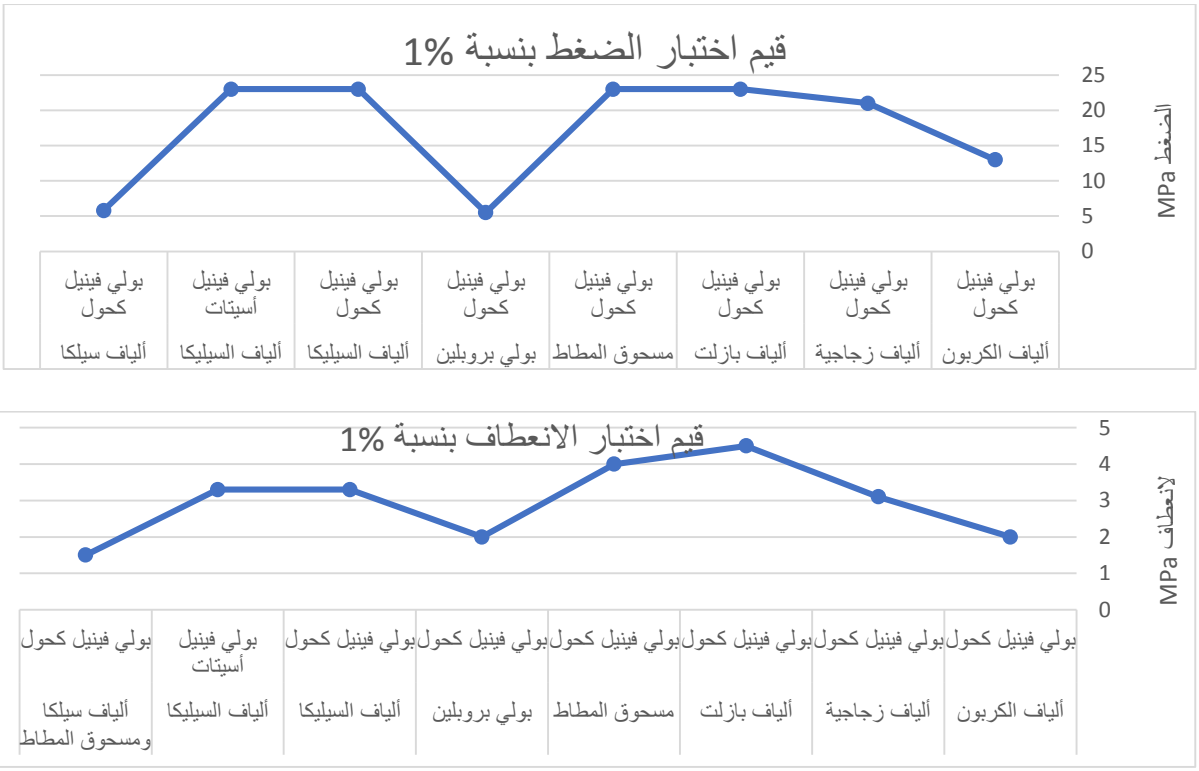
ويتضح أن التركيب النسيجي لا يؤثر بالخصائص الميكانيكية بسبب تعرض القماش لعملية طحن، حيث اتحدت الألياف المطحونة مع المادة المضافة من خلال المادة الرابطة والتي كانت هي عبارة عن الإسمنت.

تم تكرار التجارب باستخدام مواد نسيجية ونسب مختلفة، وكانت نتائج الاختبارات الميكانيكية حسب الجداول التالية

الجدول (4-22) نتائج اختبار الضغط والانعطاف اسمنت مقوى بمواد بنسبة اضافة مواد مركبة 1% بعمر 7,28 يوم

رقم العينة	المواد المركبة النسيجية		النسبة المئوية		اجهاد الانعطاف MPa		اجهاد الضغط MPa	
	مادة 1	مادة 2	مادة 1	مادة 2	7	28	28	7
1	حسب المواصفة 3800\2015		–	–	>2	>1,5	>32,5	>16
2	عينة مرجعية بدون إضافة للمقارنة				3	2,5	36	19
3	ألياف الكربون	بولي فينيل كحول	%1	%1	2.4	2	22	13
4	ألياف بازلت	بولي فينيل كحول	%1	%1	5	4.5	39	23
5	مسحوق المطاط	بولي فينيل كحول	%1	%1	6	4	37	23
6	بولي بروبلين	بولي فينيل كحول	%1	%1	2.3	2	10	5.5
7	ألياف السيليكا	بولي فينيل كحول	%1	%1	5.3	3,3	42	23
8	ألياف سيليكا ومسحوق المطاط	بولي فينيل كحول	%1	%1	1.8	1,5	6,4	5.8

يبين الجدول (4-23) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات من الاسمنت المقوى بالمواد النسيجية المركبة المطحونة ضمن مطحنة الاسمنت بنسبة 1%، وكان الاختبار بعمر 7,28 يوم ، وتمت المقارنة مع عينة مرجعية بدون إضافات، ويتضح من المخطط في الشكل (4-25) أن ألياف البازلت والسيليكا والمطاط تعطي قيم مقارنةً مع العينة المرجعية وبكون التحسن في الخصائص حوالي 21%.



الشكل (4-25) اختبار الضغط والانعطاف اسمنت مقوى بمواد بنسبة اضافة مواد مركبة 1%

الشكل (4-26) اختبار الضغط والانعطاف اسمنت مقوى بمواد بنسبة اضافة مواد مركبة 5%

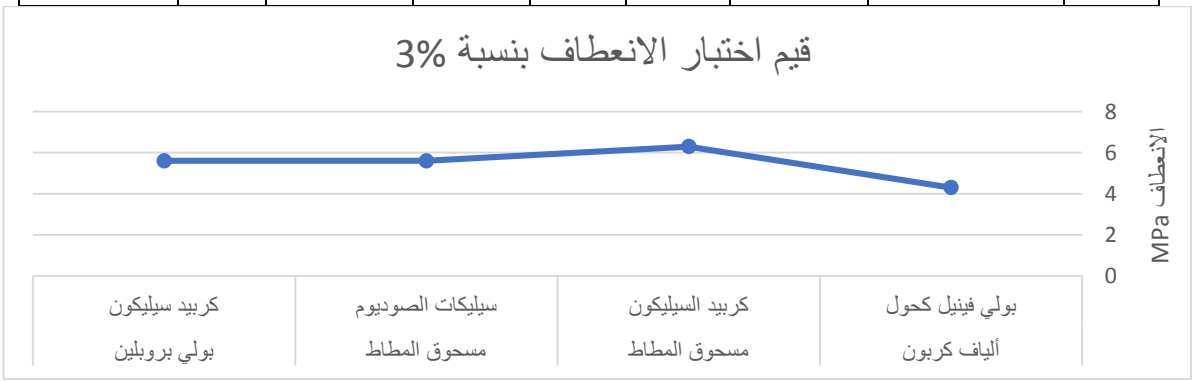
الجدول (4–23) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات بنسبة اضافة مواد مركبة 5% بعمر 7,28 يوم

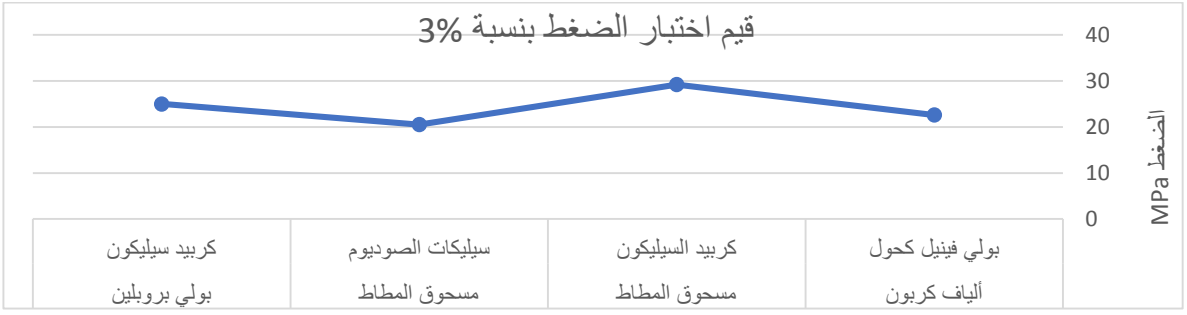
رقم العينة	المواد المركبة النسيجية		النسبة المئوية		اجهاد الانعطاف MPa		اجهاد الضغط MPa	
	مادة 1	مادة 2	مادة 1	مادة 2	7	28	7	28
1	حسب المواصفة 3800\2015		–	–	2 <	1,5 <	32,5 <	16 <
2	عينة مرجعية بدون إضافة للمقارنة				3	2,5	36	19
3	ألياف الكربون	بولي فينيل كحول	5%	5%	2.1	1,6	5,1	1,78
,2	ألياف بازلت	بولي فينيل كحول	5%	5%	0,6	0,4	2,6	1,4
5	مسحوق المطاط	بولي فينيل كحول	5%	5%	2,3	1,7	5,7	4,8
6	بولي بروبلين	بولي فينيل كحول	5%	5%	1,4	1,2	2	1,1
7	ألياف السيليكا	بولي فينيل كحول	5%	5%	2	1,7	6,8	4,6
8	ألياف سيلكا ومسحوق المطاط	بولي فينيل كحول	5%	5%	1,3	1	3	1,4

يبين الجدول (4–23) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات من الاسمنت المقوى بالمواد النسيجية المركبة المطحونة ضمن مطحنة الاسمنت بنسبة 5%، وكان الاختبار بعمر 7,28 يوم، وتمت المقارنة مع عينة مرجعية بدون إضافات، ويتضح من المخطط في الشكل (4–26) أن جميع المواد المضافة بنسبة 5% لم تحقق تحسناً بالخصائص وانهارت العينات أثناء الاختبارات الميكانيكية مقارنةً مع العينة المرجعية ومع المواصفة السورية القياسية 3500/2008 الخاصة بصنف الاسمنت البورتلاندي 32.5 [32].

الجدول (4-24) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات مضاف اليها مواد مركبة بنسبة 3% بعمر 7,28 يوم

رقم العينة	المواد المركبة النسيجية		النسبة المئوية		اجهاد الانعطاف MPa		اجهاد الضغط MPa	
	مادة 1	مادة 2	مادة 1	مادة 2	7	28	7	28
1	حسب المواصفة 3800\2015		–	–	2 <	1,5 <	32,5 <	16 <
2	عينة مرجعية بدون إضافة للمقارنة				3	2,5	36	19
3	ألياف كربون	بولي فينيل كحول	3%	3%	5,4	3,3	39	22,6
4	مسحوق المطاط	كربيد السيليكون	3%	3%	6,8	6,3	42,5	29,2
5	مسحوق المطاط	سيليكات الصوديوم	3%	3%	6,1	5,6	37,2	20,5
6	بولي بروبلين	كربيد سيليكون	3%	3%	6	5,6	40,8	25





الشكل (4-27) اختبار الضغط والانعطاف لعينات اسمنت مقوى بمواد مركبة بنسبة اضافة 3%

يبين الجدول (4-24) نتائج اختبار الضغط والانعطاف لعينات من الاسمنت المقوى بالمواد النسيجية المركبة المطحونة ضمن مطحنة الاسمنت بنسبة 3%، وكان الاختبار بعمر 7,28 يوم، وتمت المقارنة مع عينة مرجعية بدون إضافات، ويتضح من المخطط في الشكل (4-27) أن جميع المواد المضافة بنسبة 3% حققت تحسن بالخصائص أثناء الاختبارات الميكانيكية مقارنةً مع العينة المرجعية ومع المواصفة السورية القياسية 3500/2008 الخاصة بصنف الاسمنت البورتلاندي 32.5. ونستنتج أنه بإضافة كربيد السيلكون يعطي قيم عالية وتكون النسبة 51% عند اضافته مع المطاط وبنسبة 31% مع البولي بروبلين مقارنة مع عينة مرجعية.

4-5 حساب قيمة معامل يونغ للمواد النسيجية المركبة

يشير معامل يونغ إلى صلابة ومتانة المواد النسيجية المركبة ويعتبر ضرورة في مجال الهندسة لتصميم الهياكل والآلات والمكونات التي يمكنها تحمل اجهادات مختلفة، أما في مجال علم المواد فإن معرفته تمكننا من معرفة خصائص وقدرة المواد التي قمنا بتحضيرها ولذلك تم تحديد قيمة الاجهاد σ وقيمة التشوه عند الكسر £ عند المرونة وعند الانهيار من خلال الاختبارات للعينات الموضحة بالشكل (4-28)،

الشكل (4-28) عينات المواد النسيجية المركبة على جهاز اختبار الشد

وجدنا القيم ضمن الجدول (4-25)

الجدول (4-25) قيمة الاجهاد σ وقيمة التشوه عند الكسر £ عند المرونة وعند الانهيار

المادة النسيجية المركبة	قماش كربون	قماش بازلت	قماش بولي بروبلين	قماش زجاج200	قماش زجاج600
قيمة σ عند المرونة KN/m^2	14	14.4	10,5	8,1	11,8
قيمة £ عند المرونة %	20%	20,1%	20%	28,2%	15%
قيمة σ عند الانهيار KN/m^2	28	18,6	12,1	8,55	12,98
قيمة £ عند الانهيار %	65%	46,9%	32,4%	32,44%	17,4%

حساب معامل يونغ وفق المعادلة (2)

$$E = \frac{\sigma}{£} \qquad (2)$$

E : معامل يونغ GPa

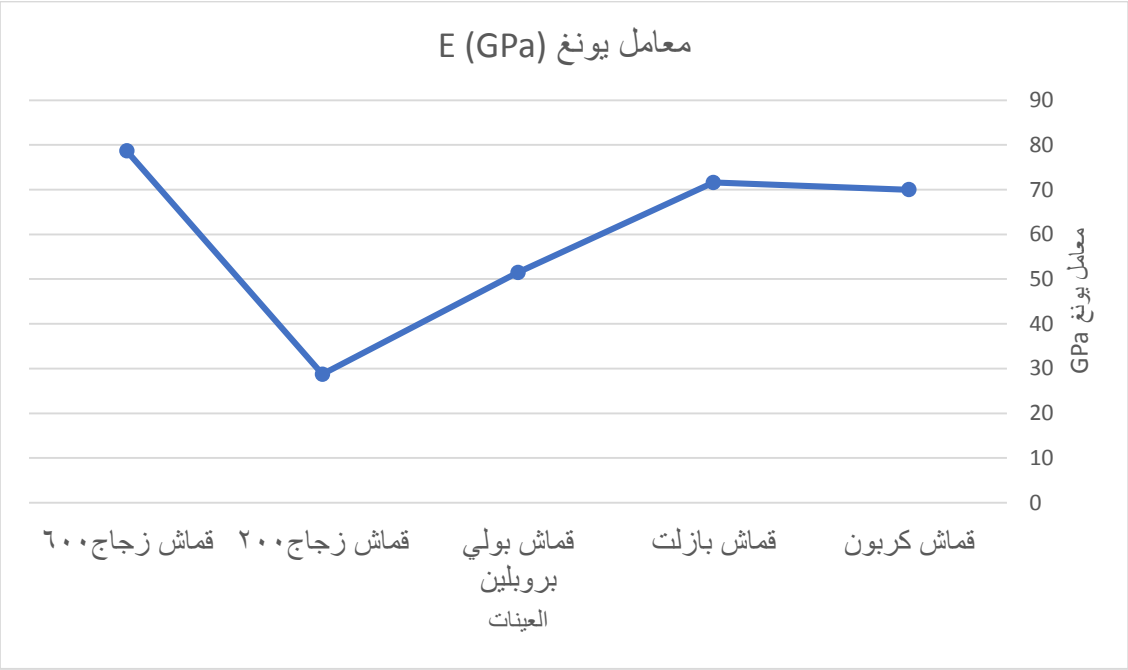
σ : قيمة الاجهاد KN/m^2

£ : التشوه عند الكسر %

بتطبيق القيم في الجدول (4-26) على المعادلة (2) فتكون القيم ضمن الجدول التالي

الجدول (4–26) قيمة معامل يونغ حد الانهيار وحد المرونة

المادة النسيجية المركبة	قماش كربون	قماش بازلت	قماش بولي بروبلين	قماش زجاج200	قماش زجاج600
معامل يونغ E(GPa)	70	71.6	51.47	28.72	78.66



الشكل (4–29) مخطط قيمة معامل يونغ للمادة النسيجية المركبة

يبين الشكل (4–29) قيمة معامل يونغ عند حد المرونة للمواد النسيجية المركبة التي تم تحضيرها ويتضح أن البازلت أفضل أنواع الأقمشة عند الاختلاف بالمادة الأولية، وقماش الزجاج غراماج 600 أفضل من القماش الزجاجي غراماج 200 وهذا يدل على تأثير البارامترات النسيجية كالتركيب النسيجي على خصائص المواد النسيجية المركبة، حيث لاحظنا أن تركيب السادة أفضل من تركيب المبرد وكذلك من الغراماج نجد أن نمرة القماش الزجاجي غراماج 600 أكبر من القماش الزجاجي غراماج 200 وبالتالي وجدنا أن قيمة معامل يونغ كبيرة لنمرة القماش الأعلى.

الفصل الخامس

الخاتمة

الخاتمة

5-1 تمهيد

بعد إجراء جميع التجارب ضمن البحث وتسجيل النتائج تم تحديد أهم الاستنتاجات والمقترحات والآفاق المستقبلية، واجراء مقارنة كلفة بين أنواع الأقمشة المشكلة للمواد النسيجية المركبة ومجالات استخدامها.

5-2 الاستنتاجات

- ❖ نلاحظ بزيادة نسبة الإيبوكسي تزداد قوة الشد وقيمة الاجهاد للعينات وبالتالي تتحسن خصائص القماش المركب، وعند نسبة % 40 تصل قيمة Fو قيمة σ إلى أعلى قيمة، وبعد الإضافة لنسبة 50% يلاحظ انخفاض في خصائص المواد النسيجية المركبة من ناحية قوة الشد، ويعود ذلك إلى كون النسيج هو الأساس في تشكيل المادة النسيجية المركبة، وعندما تقل نسبتها عن النصف يؤدي ذلك الى ضعف خواص المواد النسيجية المركبة، كانت عينات البازلت والزجاج 200 الأفضل.
- ❖ استخدام المواد النسيجية المركبة كشبكة قماشية ضمن الخرسانة أدت لتقويتها وزيادة قيم مقاومتها لاختبار الانعطاف بنسب تتراوح بين 27%-15%مقارنة مع العينة المرجعية التي صممت دون إضافات، وهذا يعود للمادة الأولية وأثرها على عملية التدعيم والتسليح وأعطت عينات البازلت والزجاج 200 ذات قيمة مقاومة انعطاف مرتفعة.
- ❖ زيادة عدد طبقات المادة النسيجية المركبة تحسن خصائص الخرسانة الإسمنتية، ولكن بعد استخدام ثلاث طبقات تصبح نتائج اختبار الانعطاف متقاربة مع نتائج الطبقتين، وذلك بسبب ضعف بنية الخرسانة أووجود مواد مضافة بشكل زائد.
- ❖ عند التسليح بثلاث طبقات من المادة النسيجية المركبة تنخفض قيمة الضغط المكتسب، ويعود ذلك لضعف بنية الخرسانة نتيجة وجود مواد فاصلة ضمنها.

- المواد النسيجية ذات الكلفة المنخفضة مثل (المطاط والبولي بروبلين والبولي ايتلين) تحسن من قيمة الانعطاف للخرسانة الإسمنتية بنسبة 15%، ذلك يعطيها مجال استخدام في عمليات الترميم والتأهيل وتدخل في تصميم الجوائز التي تكون على شكل أقواس بسبب تحملها لقوة شد عالية.
- يعطي التركيب النسيجي المبرد مقاومة ضغط وانعطاف عالية لعينات المونة الإسمنتية مقارنةً مع التركيب السادة، وذلك واضحاً من نتائج الاختبارات حيث كانت نسبة التحسن 60%، بينما التركيب السادة كانت النسبة 18%، وذلك كون ميلان التركيب النسيجي المبرد يعطي مقاومة عالية لاختبار الانعطاف والضغط أكثر من التعامد الذي يميز السادة.
- إن استخدام مواد نسيجية مركبة مطحونة من مواد أولية مختلفة بنسب 1% يزيد من مقاومة العينات الناتجة عن اختبار الضغط والانعطاف، وبالتالي تحسين صنف الإسمنت عيار 32,5 بنسبة 10% لاختبار الضغط، و24% لاختبار الانعطاف، وذلك كون المادة النسيجية المركبة تتوافق مع الاسمنت بشكل يساهم في تشكيل رابطة تمنح الاسمنت المنتج خصائص عالية.
- استخدام مواد نسيجية مركبة مطحونة من مواد أولية مختلفة بنسب 5% أدت الى انهيار العينات وفشل في تحسين صنف الاسمنت.32.5.
- إضافة مواد تتفاعل مع الإسمنت بنسب تتوافق مع المواصفة 3800\2015 مثل كربيد السيلكون وسيلكات الصوديوم، ساهمت في تحسين صنف الإسمنت بنسبة تتراوح بين (50–56%) بالخصائص الميكانيكية عند استخدام مادة كربيد السيلكون، وبالنسبة لمادة السيلكات كانت نسبة التحسن بين – 10 (26%)،
- أدى استخدام كربيد السيلكون والسيلكات الى تخفيف وزن المونة الإسمنتية بنسبة 15%، ويمكن الاستفادة من ذلك في المباني العالية. هذه المواد حلت محل الاسمنت لتدعيم المونة وبالتالي خففت كمية الإسمنت وأعطت نتائج جيدة، وزادت قيم المقاومة للانعطاف والضغط.

❖ خلال اختبار الانعطاف لعينات الخرسانة والمونة الاسمنتية المدعمة بالمواد النسيجية المركبة كانت الشقوق التي تتعرض لها العينات مركزية وبشكل عرضي، بسبب تماسك العينات نتيجة المادة النسيجية المركبة المضافة.

3-5 الكلفة الاقتصادية

تعتبر الكلفة الاقتصادية عاملاً مهماً في جميع الدراسات، تم في هذا البحث إجراء مقارنة بين المواد وكلفتها، كون الكلفة لها دور في عملية اختيار المواد المطلوبة وأماكن استخدامها.

A. تتميز أقمشة البازلت والكربون بقيم المقاومة العالية للخرسانة والمونة الاسمنتية، وهذا يمنحها مجالات استخدام واسعة سواء تدعيم وتقوية الهياكل الإنشائية، ولكن بسبب كلفتها العالية فإن مجالات الاستخدام قليلة.

B. أقمشة الزجاج كلفتها أقل من البازلت والكربون ومجالات استخدامها واسعة ضمن الهياكل الإنشائية للأبنية. ولجأت الشركات العالمية لاستخدام الألياف الزجاجية لإنتاج أسياخ التدعيم بديلة عن الفولاذ.

C. أقمشة البولي بروبلين والبولي ايثلين والمطاط ذات كلفة منخفضة وتعتبر مواد مهدورة واستخدامها يساهم في تخفيف التلوث البيئي، كانت نتائجها ذات قيم مقبولة وحسنت من الخصائص للخرسانة، وتستخدم في أعمال الترميم والتأهيل للأبنية،

D. تتميز مادة كربيد السيليكون وسليكات الصوديوم بكلفة متوسطة ولكن تعطي مقاومة الخرسانة والمونة للضغط بشكل كبير وهذا يجعلها تستخدم في أعمال التدعيم للأبنية، ويمكن اضافتها مع الألياف الأقل كلفة (بولي بروبلين وايتلين ومطاط) بعد طحنها ضمن الاسمنت.

E. تتمتع المواد النسيجية المركبة بمقاومتها للقلويات والأحماض ضمن الخرسانة مما يعطيها عمر استثمار أطول وهذا ما يميزها عن الفولاذ الذي يتعرض للصدأ والتآكل على مدى سنوات من الاستخدام، ومن

ناحية تدعيم الخرسانة لابد من الاحتفاظ بالفولاذ ضمن الخرسانة الوسط ووضع طبقة المواد النسيجية المركبة بالبداية أو النهاية كونها منطقة التأثر بالعوامل الجوية.

5-4 التوصيات

- ادخال المواد النسيجية المركبة ضمن أعمال صناعة قضبان تشبه القضبان الفولاذية.
- العمل على دراسة تأثير الايبوكسي في خصائص أخرى للأقمشة كالتجعيد والتمزق واستخدامه بنسب أخرى مع مواد نسيجية ببارامترات تشغيلية مختلفة.
- المتابعة الدائمة لما هو جديد في مجال المواد النسيجية المركبة وطرق تحضيرها واختباراتها للتمكن من استخدامها ضمن الهياكل الإنشائية.
- الاهتمام بموضوع الجودة وتطبيق مبدأ التحسين المتتابع للجودة باستخدام تجارب علمية معمقة على تحسينها بشكل دائم.
- إجراء دراسة بشكل تفصيلي حول استخدام الخرسانة المقواة بالمواد النسيجية المركبة بأماكن تحتاج عزل صوتي وحراري كون المادة العازلة موجودة ضمنها.
- التوسع في أعمال الترميم والأهيل والتدعيم للخرسانة الاسمنتية بما يتوافق مع طبيعة المادة النسيجية المركبة المضافة.

5-5 آفاق البحث المستقبلية:

- ابتكار طرق جديدة لتشكيل وتحضير مواد نسيجية مركبة من ألياف وأقمشة طبيعية وصناعية بنسب متعددة لمجالات الاستخدام المتنوعة واجراء تقييمات مستمرة للمواد الجديدة المبتكرة بحيث تحقق شروط تحسن الخصائص مقارنةً مع عينات مرجعية.
- تحسين جودة الخواص المميزة للمواد النسيجية بهدف توسيع مجالات استخدامها في صناعة السيارات والطائرات.
- إجراء أبحاث إضافية حول إضافات جديدة لمواد نسيجية مركبة تدخل ضمن بنية الاسمنت المنتج بهدف تقويته.
- الاهتمام في عملية ربط خصائص الخرسانة المدعمة بالمواد النسيجية المركبة وعازليتها للحرارة والصوت.

المنشورات:

1- م. علي محمود، أ.د طاهر قدار، أ.د ماجد أسعد،" تأثير إضافة المواد النسيجية المركبة على تحسين خصائص الخرسانة الإسمنتية " (2024)- مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، رقم البحث 13022.

2- م. علي محمود، أ.د طاهر قدار، أ.د ماجد أسعد،" تشكيل مادة مركبة من الألياف الزجاجية لتدعيم وتقوية المونة الاسمنتية" (2024)- مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، رقم البحث 13009.

3- م. علي محمود، أ.د طاهر قدار، أ.د ماجد أسعد، "دراسة تأثير نسبة الإيبوكسي على بعض خصائص المواد النسيجية المركبة " (2024)- مجلة جامعة حمص سلسلة العلوم الهندسية الكيميائية والبترولية، العدد 42.

6- المراجع

[1] حبيب ح، جبرة ر، مصطفى ح، (2016) ، **تحضير مواد مركبة بوليمر ألياف نانومترية وتوصيفها**، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، سوريا.

[2] بدر م، جبرة ر، شعبان ب، (2022) ، **تحضير مواد مركبة – بوليمير ألياف زجاجية ودراسة خصائصها الميكانيكية**، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، سوريا.

[3] Zhou G, Sun Q, Li D, Meng Z, Peng Y, Zeng D, Su X. (2020). **Effects of fabric architectures on mechanical and damage behaviors in carbon/epoxy woven composites under multiaxial stress states.** Polym Test. 90, P, 1–11.

[4] Aghaei M, Shokrieh M, Mosalmani R. (2020). **Effect of warp and fill-fiber volume fractions on mechanical properties of glass/epoxy woven fabric composites.** J Compos Mater. 54(24), P, 3501–3513.

[5] Haque MS. (2014). **Processing and characterization of wastedenim fiber reinforced polymer composites.** Department of materials and metallurgical engineering. Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka, P, 1–77.

[6]-J, Park, S,Kyu, and S, Hong. (2020, March). **Experimental Study of Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beam Strengthened with Prestressed Textile-Reinforced Mortar.**

[7] - Wang,H, and Xian,G. (2020, March). **Shear Capacity of RC Beams Strengthened with Flax Fiber Sheets Grafted with Nano-TiO2.**

[8]– Al–Salloum,Y, Elsanadedy,H, Alsayed,H and A. Iqbal,R. (Apr 2012). **Experimental and Numerical Study for the Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Textile–Reinforced Mortar**. P: 212,138.

[9]– Mohamed,O, Kewalramani,M and Khattab,R. (2020). **Fiber Reinforced Polymer Laminates for Strengthening of RC Slabs against Punching Shear**: A Review.

[10] - Koutas,L, Tetta,Z. (2019**). Strengthening of Concrete Structures with Textile Reinforced Mortars**: State-of-the-Art Review.

[11] –E. Lorenz, R Ortlepp. (2012). **Bond Behavior of Textile Reinforcements – Development of a Pull–Out Test and Modeling of the Respective Bond versus Slip Relation**, TU Dresden, Germany, P. 479–486.

[12]- Ombres,L. (2015). **Structural performances of reinforced concrete beams strengthened in shear with a cement based fiber composite material**.

[13] - Bezerra,E and Joaquim,P. (2004). **SOME PROPERTIES OF FIBER-CEMENT COMPOSITES WITH SELECTED FIBERS.**

[14]- Rajak,D, Pagar,D, Menezes,L. (2019). **Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications**. Department of Mechanical Engineering, Sandip Institute of Technology & Research Centre, India.

[15]نحاس م، (2005). **أحدث التطورات في مجال المواد المركبة – المواد المركبة الصديقة للبيئة والقابلة لإعادة الاستخدام**، مجلة جامعة الملك عبد العزيز العلوم الهندسية.

[16]-Congro, M, Mejia, C. (1/2/2021), **Mesosccale computational modeling of the mechanical behavior of cement composite materials Green Production Planning and Control for the Textile Industry by Using Mathematical Programming and Industry Techniques.**

[17] - Hospodarova,V Stevulova,N, and ete. (12 March 2018), **Investigation of Waste Paper Cellulosic Fibers Utilization into Cement Based Building Materials,** journal building.

[18]- Lunette V, Galati M, Settineri L, (2023), **Sstainability in the manufacturing of composite materials: A literature review and directions for future research,** journal of Manufacturing Processes, P(858-874).

[19] ManhTran,T, Thi Dinh,H. (2020). **A 2-D numerical model of the mechanical behavior of the textile-reinforced concrete composite.** Journal of Mining and Earth Sciences Vol. 61, 51 – 59.

[20] Chen,D, Deng,J Cheng,B (2021) **New Anticracking Glass-Fiber-Reinforced Cement Material and Integrated Composite Technology with Lightweight Concrete Panels**, Advances in Civil Engineering, Volume, Article ID 7447066, 17 pages**.**

[21] M P Todor, C Bulei,, (2018). **Composite materials manufacturing using textile inserts with natural origins fibers.** Materials Science and Engineering.

[22] K. Faridul Hasan, Pe´ ter Gyo¨rgy Horva´ th, and Tibor Alpa, (2021), **Potential fabric-reinforced composites: a comprehensive review Concrete Panels**, J Mater Sci 56:14381–14415**.**

[23] Xie J, Guo Z, Shuo M, (2023), **Mechanics of textiles used as composite preforms:** A review.

[24] Qin X, Zhang X, (2019), **Experimental study of compressive behavior of polypropylene fiber.**

[25] Brunetiere N, Smerdova O, Narayanappa K, (2024**), Form mixed to hydrodynamic regime in lubricated sliding of carbon fiber tows.**

[26] Ramakrishna S. (1997). **Characterization and modeling of the tensile properties of plain weft-knit fabric-reinforced composites.** Compos Sci Technol.. 57(1):1–22.

[27] Pil L, Bensadoun F, Pariset J, and Verpoest I, (2016), **Why are Designers Fascinated by Flax and Hemp Fiber Composites**? Composites Part *A:* Applied Science and Manufacturing 83 193-205.

[28] M. Richardson and Z. Zhang**,** (2001)**, Nonwoven hemp reinforced composites, Reinforced Plastics,** 45 4,P 40-44.

[29] S, Bruer,(2004), **Polymer NanoComposite Nanoclays Nanoprrticles and Nanotubes Business Communications Company Inc**, Report P−234R.

[30] H, Mohammad, (2012). **Beheshty Composite 2nd ed Iran Polymer and Petrochemical**, Institute Tehran.

[31] J.Xie and Lan Yao, (2014), **Fabrication and characterization of three-dimensional PMR polymide compsites with woven basalt fabric,** composites.

[32] المواصفة السورية القياسية 3800، (2015) ، الهيئة العامة للمواصفات السورية، **المواصفة الخاصة بالإسمنت البورتلاندي عيار 32,5**، دمشق.

[33] F.T. Wallenberg and P.A. Bingham. **Fiberglass and Glass Technology**, **Springer**, New York.

[34] − Czop,M, Piekarczyk,B. (2020). **Use of Slag from the Combustion of Solid Municipal Waste as A Partial Replacement of Cement in Mortar and Concrete**.

[35] I, Qamar. **(**2021**). THE USES OF FIBRE-REINFORCED POLYMERS IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY**. University of Bristol, Queen's Building, University Walk, Bristol. BS8 1TR. UK.

[36] الابراهيمي، ذو الفقار، (2009)، **تأثير التحفيز الرطب لألياف الزجاج وألياف البولي أميد على خواص الانحناء والصدم للمواد المركبة الناتجة**، جامعة بابل، كلية الهندسة، قسم هندسة المواد.

Abstract

This research explains the method of preparing and forming composite textile materials based on changing the ratio of the binder and the diversity of the raw material of textile fabrics. The effect of both the ratio of the binder and the difference in the raw material on the properties of the composite textile material and on the properties of the reinforced concrete was determined, as it included materials that are consistent with the raw material and different in the textile parameters and materials that are different in the raw material. The problem lies in determining the ratio of the components of the composite textile materials within the cement concrete required for rehabilitation and restoration works, and the importance lies in finding its composition that improves the resistance of cement concrete or cement mortar in a way that achieves economic feasibility compared to the investment life. he forming process included incorporating the hardened epoxy material in proportions of (30, 40 and 50)% with the glass fabric, and conducting the tensile test on the Tesetomtric tensile device according to the ASTM D3039 specification for textile fabrics of consistent length. The tensile and stress strength of the formed samples were obtained, and the test results showed the ideal epoxy ratio required for the process of forming a composite textile material, which is 40% of the weight of the fabric, and the values are affected by the fabric composition of the fabric, where the cooler shows the best results. It was used in many fields, including reinforcing concrete and cement mortar, by: placing the composite textile material in regular fabric layers inside the mold, pouring cement mortar on it, and conducting compression and flexural tests for cement mortar samples. It became clear that the mechanical properties increased at different rates, and the best values for flexural resistance were obtained when adding two layers after comparing with a reference sample without additives. We added fibers in the form of fine granules with silicon carbide and polyvinyl chloride to the clinker (the raw material in the cement industry) to produce cement reinforced with the composite textile material. Compression and flexural tests were conducted, and based on the results, the composite textile materials that led to improved compression and flexural values were identified, and thus better mechanical properties compared to a reference sample without additives.

Keywords: Textile composite materials, fabric, cement mortar and concrete, textile structure, reinforcement and reinforcement.

Syrian Arab Republic

Damascus University

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

Department of Mechanical Engineering of Textile Industries and their Technology

Using of Composites Textile Materials to Improve the Properties of Cement Concrete

A Thesis Prepared for the Degree of Doctor in Textile Technology

Prepared by

Eng: Ali Mahmoud Mahmoud

Supervised by

Prof. Dr. Eng. Majed Asa'ad

Transportation and building materials engineering.

Faculty of Civil Engineering

Damascus university

Prof. Dr. Eng.Taher Kaddar

Department of Mechanics Textile Industries

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

Damascus university

Academic Year
2025