

الألياف النسجية وتطبيقاتها في المجالات المعمارية لتحقيق أهداف ميكانيكية جيدة

Fiber textile and their applications in the architectural fields to achieve good mechanical targets

م.د / طارق أحمد محمود عبد الله راشد

المدرس بشعبة النسيج - قسم التعليم الصناعى كلية التربية جامعة حلوان

الخلاصة:

يتناول هذه البحث دراسة تأثير تغيير كثافة الألياف النسجية - الفبير جلاس Fiber glass - ومركبات البولى استر ومركبات الإيبوكسى على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمواد المركبة ، وقد شملت هذه الخواص كل من مقاومة الشد والإستطالة ومقاومة الإنثناء والصلادة . وذلك لإنتاج ألواح ذات مقاومة عالية يمكن توظيفها فى المجالات المعمارية المختلفة كحوائط أو أسقف أو أرضيات ، حيث تتمتع هذه الألواح بصفات عالية الشدة يتيح لها التفوق على مثيلاتها التقليدية .

المقدمة:

عُرفت تقنية تصنيع المواد المركبة منذ قرون عدة حيث استخدمها البابليون فى بناء بيوتهم عن طريق خلط نشارة الخشب بمادة الطين لتقويته . وتتكون المادة المركبة من دمج مادتين أو أكثر وتشمل (الخلائط Blends) و (البلاستيك المقوى Reinforced Plastic) مختلفى الخواص الميكانيكية والفيزيائية ، وعملية الدمج هذه تؤدى الى الحصول على مادة جديدة ذات خواص هندسية وفيزيائية تختلف عن خواص المواد الداخلة فى تركيبها ، ويعتمد الإستخدام العام للمادة المركبة بشكل كبير على الخواص الميكانيكية والفيزيائية لهذه المواد . وفى الصناعة فإن تقوية الراتنجات بالألياف الصناعية هى الأكثر إنتشاراً (على ابراهيم الموسوى ، 2009) ¹ . ولتصنيع مادة مركبة يجب توافر مادتين هما :

1. مادة الأساس Matrix Material

هى مادة بوليمرية وهى الأكثر شيوعاً وانتشاراً لما تتميز به من خواص ميكانيكية وفيزيائية جيدة ، ومن الأمثلة على المواد البوليمرية راتنج الإيبوكسى والفينول والبولى استر .

2. مادة التقوية Reinforcing Material

هناك عدة طرق للتقوية منها التقوية بالدقائق Particulate والتي تكون بقطر أكبر من (1 µm) وبأشكال مختلفة منها الإبرية والكروية والقشرية ، كذلك تتم التقوية بالنتشت Dispersed ويكون قطر الدقائق أقل من (0.1 µm) أما أكثر أساليب التقوية شيوعاً فهى التقوية بالألياف Fibers نظراً لما تتميز به من قوة كبيرة مقارنة بالمواد الراتنجية ، وهذا النوع هو ما تم استخدامه فى هذا البحث .

¹ (على ابراهيم الموسوى ، "دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمادة مركبة بوليمرية مقواة بالألياف" ، مجلة القادسية للعلوم الهندسية ، العدد 1 ، المعهد التقنى ، بابل ، 2009 .

يطلق مصطلح Buildtech على المنسوجات والمواد المركبة المستخدمة في تشييد المباني وتسليح الخرسانات بدلاً من أسياخ الحديد الصلبة ، لما تتميز به من خفة الوزن وسهولة النقل وعدم تأثرها بالصدأ وقوة شدها ، حيث تصل في بعض المواد الى عشرة أمثال قوة شد الصلب (صبا عبد الزهرة عبيد القرشي، 2013) ² .

وتعتمد على الأقمشة المنسوجة أو غير المنسوجة من الألياف الزجاجية والكربونية بهدف تقوية المباني القائمة ضد الزلازل والسدود والكبارى والأنفاق والطرق ، أو كتطبيقات وتركيبات صلبة خفيفة الوزن مثل المظلات والتندات .

وفي الهندسة المدنية والصناعية ، تستخدم الأقمشة المنسوجة وغير المنسوجة من الألياف الزجاجية في إنشاء التراكيب نصف الدائمة مثل الملاعب الرياضية ، وأيضاً تعتبر عوازل جيدة للرطوبة لحماية المنشآت ولزيادة عمرها . حيث تستخدم المنتجات النسيجية مع الإيبوكسيات في عزل جميع العناصر الإنشائية من حوائط وأرضيات وأماكن الصحة من الحمامات والمطابخ ، والغرف الرطبة وخزانات المياه كما يستعمل إيبوكسيات البيتومين وحده كسائل دهان على البارود أو الساخن عند عزل القواعد المسلحة ، ويتم استخدام ألياف الزجاج لمنع تصدع الخرسانة ومواد البناء .

كما يوجد نوعية أخرى من الأقمشة المستخدمة في أغراض التسقيف Roofing تستخدم كأغشية لمنع اختراق الرطوبة للجدران وتتميز هذه النوعية من الأقمشة بخفة وزنها وقوة صلابتها وصلادتها ومطاطية مركباتها العالية . بالإضافة الى مقاومتها العالية للتفاعل الكيميائي كما أنها صديقة للبيئة

(www.cmb.com.eg المواد المستعملة لترميم وتقوية وحماية المنشآت الخرسانية) ³ .

Abstract.

The textile fibers as “ fiberglass “ have highly efficient mechanical and properties . it has been industrially used in several areas to achieve good insulation and high mechanical properties of the product .

Textile fibers were used in this research to achieve architectural objectives in the concrete mix.

Textile fibers were mixed with different proportions with cobalt polyester . and different proportions of epoxy to achieve a high-strength mix used in architectural fields .

- The research studies the effect of deference layers of glass fabrics on strengths with deferent amount of epoxy .
- The research studies the effect of deference layers of glass fabrics on strengths with deferent amount of polyester / cobalt liquids.
- The experimental measured by (instron 5500R) , (Barcol Hardness tester model Barcol - impressor Barber – colman company USA) , (Portable Hardness Tester model D H T – 300 , instron 5500R) .

1. Effect of increasing the layers of glass fabrics on tensile strength .

- The research confirmed that the sample (1 Kg epoxy / 9 layers glass fabrics) is the best . in case of covering all sample area by epoxy mix inside and outside the glass fabric layers , that lead to increasing the holding among the glass fabric layers .

² (صبا عبد الزهرة عبيد القرشي ، " دراسة تأثير الألياف الفولاذية في متانة الإنضغاط للجسم الكونكريتي " ، مجلة جامعة بابل ، المجلد 21 ، العدد 4 ، 2013 .

³ (المواد المستعملة لترميم وتقوية وحماية المنشآت الخرسانية (www.cmb.com.eg)) .

2. Effect of increasing the layers of glass fabrics on elongation .

- The research confirmed that the sample (1 Kg polyester / 9 layers glass fabrics) is the best , in case of covering all sample area by polyester liquid inside and outside the glass fabric layers , a few separate can happen among the glass fabric layers .

3. Effect of increasing the layers of glass fabrics on power bend bearing .

- The research confirmed that the sample (1 Kg epoxy / 9 layers glass fabrics) is the best , in case of covering all sample area by epoxy mix partially inside and holly outside the glass fabric layers , that lead to increasing the holding among the glass fabric layers .

4. Effect of increasing the layers of glass fabrics on hardness .

- The research confirmed that the sample (1 Kg polyester / 3 layers glass fabrics) is the best , in case of covering all sample area by polyester liquid partially inside and holly outside the glass fabric layers , that lead to increasing the holding among the glass fabric layers .

التقوية بالألياف Fibres Reinforcing

إن الهدف الرئيسى من التقوية بالألياف هو تحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية للراتنجات حيث تزداد مقاومة الشد والصدمة والصلادة ومقاومة التنى بشكل كبير مما يسمح باستخدام هذه المواد المقواة فى مجالات صناعية عنيفة . ويطلق على هذه المواد المركبة بالمتقدمة **Advanced Composites** وذلك لتفريقها عن المواد المحشوة البوليمرية **Filled Polymers** (اسيل محمود عبدالله ، 2011) ⁴ . إن الألياف فى هذا النوع من المواد المركبة هى المسئول الرئيسى عن تحمل الأحمال الخارجية ، ومن أكثر أنواع الألياف شيوعاً فى مجال المواد المركبة المتقدمة هى ألياف الزجاج وألياف الكربون (على ابراهيم الموسوى، 2009) ⁵ . ويمكن أن تكون الألياف الزجاجية بشكل حصيرة متعامدة موزعة على طول المادة الراتنجية أو بشكل ألياف مقطعة تتوزع بشكل عشوائى ، وتمتلك الألياف الزجاجية الكثير من الصفات المميزة منها إمتلاكها لدرجة إنصهار عالية ومقاومة كيميائية جيدة ومقاومة شد عالية (عباس عليوى الجبورى وآخرون ، 2009) ⁶ .

راتنج الإيبوكسى Epoxy Resin

ينتمى راتنج الإيبوكسى الى مجموعة الراتنجات المتصلبة بالحرارة ، حيث تتميز هذه الراتنجات بعدم إمكانية إعادة تشكيلها بالحرارة بعد تحولها الى مادة صلبة ، نتيجة لتكون سلاسل بوليمرية طويلة متشابكة مع بعضها وهو ما يسمى بالربط التشابكى **Cross Linking** . ويحتوى راتنج الإيبوكسى على مجموعتين أو أكثر من مجاميع الإيبوكسيات **Epoxide** التى تتألف من ذرة أو كسجين مرتبطة مع ذرتى كربون .

ويتميز راتنج الإيبوكسى بالصلادة والمقاومة الكيميائية العالية نسبياً إضافة الى أنه يملك قابلية إلتصاق نوعى عالية بسبب التركيب الكيميائى لهذا الراتنج والمتمثل فى مجموعة الإيثيرات والهيدروكسيل والمجاميع القطبية التى تعطى متانة

⁴ (اسيل محمود عبد الله ، أحمد مظفر هاشم ، عمار جبار بدر ، " تأثير إضافة رقائق الألومينا على الخواص الميكانيكية للمادة المركبة ذات الأساس من البولى استر غير المشبع المقواة بألياف الزجاج " ، مجلة القادسية للعلوم الهندسية ، المجلد 4 ، العدد 1 ، 2011 .

⁵ (على ابراهيم الموسوى ، "دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمادة مركبة بوليمرية مقواة بالألياف" ، مجلة القادسية للعلوم الهندسية ، العدد 1 ، المعهد التقنى ، بابل ، 2009 .

⁶ (عباس عليوى الجبورى ، على ابراهيم الموسوى ، ساجد عبد الخضر عبد الله ، " تأثير نسبة التقوية بالألياف على الخواص الحرارية والميكانيكية لمادة مركبة بوليمرية " ، المجلة العراقية لهندسة الخامات والميكانيكا ، طبعة خاصة ، 2009 .

والتصاق عالية وتكسب المادة صلادة وقوة ، لذلك يستعمل في التطبيقات التي تتطلب أداءً وظيفياً عالياً . وتتفاعل هذه الراتنجات مع المصلدات أثناء المعالجة ويكون التفاعل غير مصحوب بانبعثات الماء أو تحرر أى منتجات ثانوية مما يجعل التقلص الحجمي قليل جداً (أقل من 2%) وبالتالي يكتسب الراتنج قوة وخواص ميكانيكية عالية إضافة الى ذلك تمتلك راتنجات الإيبوكسي المعالجة متانة عالية نتيجة للبعد بين نقاط الربط التشابكي ووجود السلاسل الإليفاتية المتكاملة (على ابراهيم الموسوي، 2009) ⁷ .

البوليمرات المقواه بالألياف الزجاجية (GFRP) Glass fiber reinforced polymer

لها دور مهم في تعزيز الهياكل الخرسانية التي تتعرض لظروف بيئية قاسية حيث يمكن أن يتآكل حديد التسليح التقليدي. كما أن لها دور هام في تحسين الخصائص الفيزيائية مثل مقاومة الانضغاط ، ومقاومة الشد ، ومقاومة الإنضغاط ، والصلادة (Dr. Y. P Joshi وآخرون، 2014) ⁸ .

استخدامات الألياف النسجية في المجالات المعمارية .

هي عملية تدعيم للخرسانة المسلحة بخليط أو أكثر من الألياف النسجية وبشكل عشوائي . حيث يتم توزيع عدد من الألياف النسجية الصغيرة الحجم وتوزيعها عشوائياً في الخرسانة في وقت الخلط ، وبالتالي تحسين خصائص الخرسانة في جميع الاتجاهات . حيث تساعد الألياف على نقل الحمل إلى الشقوق الصغيرة الداخلية . وقد تم استخدام هذه الطريقة بنجاح في البناء مع قوة ممتازة لمقاومة الانحناء الشد ، ومقاومة تأثير نفاذية ممتازة ومقاومة الصقيع . بل هو وسيلة فعالة لزيادة المتانة ، ومقاومة الصدمات ومقاومة الانكماش.

ويعتبر دور الألياف النسجية كمادة تقوية صغيرة منفصلة تنتج من مواد مختلفة مثل الصلب والبلاستيك والزجاج والكربون والمواد الطبيعية (Dr. Y. P Joshi وآخرون، 2014) .



الخامات الطبيعية الداخلة في خلطات الخرسانة



ألياف الزجاج

1. الخرسانة المسلحة

تتكون الخرسانة المسلحة من خليط الأسمنت والألياف الفولاذية متمثلة في حديد التسليح . ويتم توزيع الألياف الفولاذية توزيعاً موحداً في مزيج الأسمنت . وتعد عملية تصنيع الإسمنت ثالث أكبر مساهم في انبعثات ثاني أكسيد الكربون، بعد السيارات ومحطات الطاقة التي تعمل بالفحم. وتصنيع الأسمنت وحده هو المسؤول عن حوالي 5٪ من انبعثات ثاني أكسيد الكربون العالمية .

2. الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية

عززت الألياف الزجاجية من قوة الخرسانة المسلحة التي تتكون من مواد مثل الاسمنت والرمل والماء، والمضافات، حيث تُضاف الألياف الزجاجية منفصلة وبطريقة عشوائية الى خلطة الخرسانة المسلحة . وتعتبر عملية إدراج الألياف الزجاجية

⁷ على ابراهيم الموسوي ، "دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمادة مركبة بوليمرية مقواة بالألياف" ، مجلة القادسية للعلوم الهندسية ، العدد 1 ، المعهد التقني ، بابل ، 2009 .

⁸ Amit Rai , Dr. Y. P Joshi , ' Applications and Properties of Fiber Reinforced Concrete ' . Journal of Engineering Research and Applications , Vol. 4 , 2014 .

لخلطة الخرسانة المسلحة بغرض تحسين قوة الشد . وقد استخدمت خرسانة الألياف الزجاجية في البناء لمدة 30 عاماً ولكن بطريقة غير منتشرة .

3. الخرسانة المسلحة بألياف البوليستر:

الهيكل المدنية المصنوعة من الخرسانة المسلحة عادة ما تعاني من تآكل الفولاذ من الملح، مما يؤدي إلى فشل تلك الهياكل. وهناك حاجة إلى الصيانة والإصلاح المستمرين لتعزيز دورة حياة تلك الهياكل المدنية .

4. الخرسانة المسلحة بالألياف الطبيعية المقواة :

أول استخدام للألياف الطبيعية في الخرسانة المسلحة يعود تاريخه إلى عام 1870. ومنذ ذلك الحين، كان الباحثون في جميع أنحاء العالم مهتمين في تحسين خواص الشد للخرسانة بإضافة الحديد والنفايات الأخرى (Dr. Y. P Joshi وآخرون، 2014)⁹ .

5. استخدام مركبات البولي استر والإيبوكسي المقواة بالألياف الزجاجية في حواجز التصادم :

هناك حاجة كبيرة لتركيب حواجز التصادم على الطرق السريعة من أجل المخاوف المتعلقة بالسلامة. غير أن الحواجز التقليدية قوية جداً ، فعندما تصطدم أحد المركبات مع حاجز التصادم فإن السيارة تتضرر بشكل خطير ويمكن أن يصاب الركاب بجروح قاتلة بسبب تأثير هذا التصادم.

ويمكن زيادة السلامة عن طريق الحد من تأثير اصطدام السيارة مع استخدام حواجز تحطم مرنة من الحواجز التقليدية ، حيث القدرة على استيعاب نسيج الألياف الزجاجية للخرسانة المسلحة لطاقة التصادم مما يقلل من تأثير التصادم على السيارة ، وتعتبر هذه الحواجز المقترحة خفيفة الوزن بالمقارنة بالحواجز التقليدية الخرسانية الفولاذية .

6. الألواح الإنشائية المقواة بالألياف الزجاجية :

هي ألواح إنشائية خفيفة مصنوعة من الفوم المضغوط والمسلحة من الوجهين بشبكة من الألياف الزجاجية والمغطاة بطبقة خفيفة من الإيبوكسيات أو المونة الإسمنتية المعالجة . وتعتبر الحل الأمثل للعزل الحراري والرطوبة في نفس الوقت ، علاوة على أن طبقة الإيبوكسي المعالجة على وجهي الألواح قوية التلاصق مع جميع أنواع لواصل البلاطات كما تصلح لجميع أنواع الدهانات .

كما يمكن استخدامها في أغراض أخرى لتجديد الأعمدة أو أركان الحوائط أو الفواصل حيث أنها ذات سطح قوى وعازل للمياه والرطوبة .

وتستخدم الألواح الإنشائية في الأغراض التالية :

- القواطع بين الغرف وبعضها .
- الأسقف المستعارة .
- تجليد الحمامات بالكامل .
- تجليد الحوائط وخصوصاً المناطق الرطبة كالحمامات والمطابخ .
- العزل الحراري للحوائط واسفل التدفئة الأرضية .
- التشكيلات الديكورية داخل الغرف وخصوصاً الأشكال الدائرية والمنحنيات .

⁹) Amit Rai , Dr. Y. P Joshi , ‘ Applications and Properties of Fiber Reinforced Concrete ‘. Journal of Engineering Research and Applications , Vol. 4 , 2014 .

حيث تتميز الألواح الإنشائية بما يلي :

- مقاومة عالية للضغط .
- عازلة مياه .
- عازل صدمات صوتية .
- خفيف الوزن .
- صلابة وقوية .
- عازل حرارة حتى بالمناطق الرطبة.
- سهولة التقطيع .
- صديق للبيئة .

وقد اهتم هذا البحث بعملية اضافة ألياف الزجاج الى خلطات البولي أستر أو مركبات الإيبوكسى بهدف تحقيق صفات ميكانيكية وفيزيائية جيدة تساعد على استخدام هذه المركبات الناتجة فى تبطين الأسطح أو الأرضيات أو الحوائط

		
Crash Barrier	Canal lining	toilet
		
Roof Panel	Roof Panel	Plinth Panel Wall Panels
		
بعض الإستخدامات العملية لمواد الإيبوكسى مع ألياف الزجاج		

التجارب العملية

أولاً : العينات والمواد المستخدمة في البحث .

تم إجراء الاختبارات على العينات التالية :

تم في هذا البحث تحضير مواد متراكبة هجينة ذات أساس بوليمري بطريقة الصب اليدوي (Hand lay-up) (سهامة عيسى صلاح ، 2010) ¹⁰ ، وقد حضرت المواد المتراكبة من راتنج البولى استر غير المشبع كمادة أساس مدعمة بألياف الزجاج الحصريية نوع E-Glass على شكل حصيرة Roving Woven . ويكون راتنج البولى استر على شكل سائل لزج شفاف وردى اللون عند درجة حرارة الغرفة ويخلط مع المصلب بإضافة 2 جرام من المصلب/100 جرام من الراتنج وهو أحد أنواع البولييمرات المصلدة حرارياً Thermosetting .

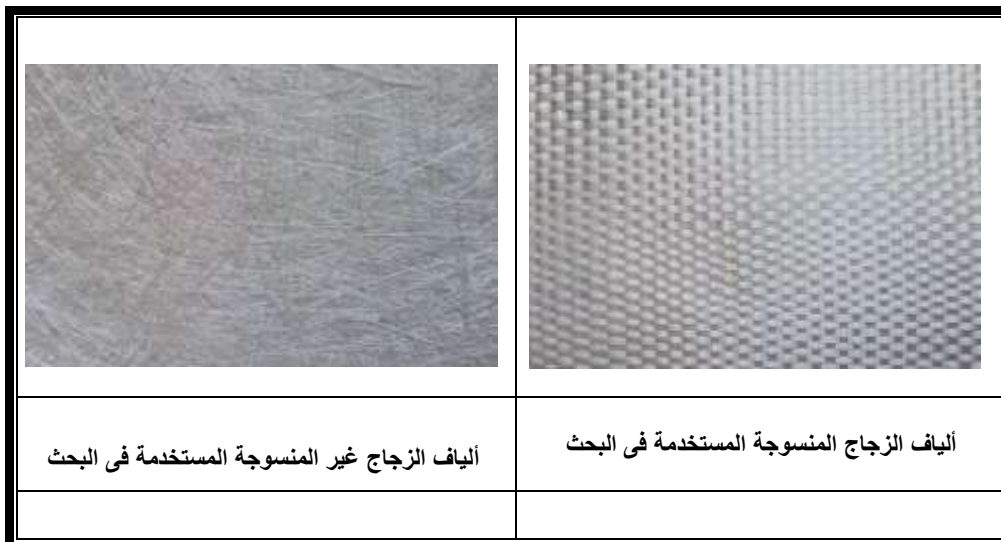
- عينات (3 ، 6 ، 9) طبقات فيبر جلاس منسوج ، 1 كجم بولى استر موكبلت .
- عينات (3 ، 6 ، 9) طبقات فيبر جلاس غير منسوج ، 1 كجم بولى استر موكبلت
- عينات (3 ، 6 ، 9) طبقات فيبر جلاس منسوج ، 1 كجم أيبوكسى .

مواصفات ألياف الزجاج المستخدمة في البحث .

تم استخدام خامة ألياف الزجاج من إنتاج شركة LG (owens Corning) ذات المواصفة التالية :

وزن نوعي	متانة	استطالة	مرونة	امتصاص	مقاومة حرارة
2.54 جرام /سم ³	6.5 جرام/دنيير	2 %	200 كجم/ملي ²	أقل من 0.1 %	732 ^o م

صور العينات المنتجة باستخدام الفيبر جلاس مع مركبات الإيبوكسى والبولى استر .



¹⁰ (سهامة عيسى صلاح ، كاظم مطر شبيب ، قحطان عدنان حمد ، " دراسة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات أساس بوليمري مقواة بالألياف والدقائق " ، مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 28 ، العدد 4 ، 2010 .



الكيمائيات المستخدمة في التجارب :

- سائل البوليستر الموكبنت بنسبة 10 % - مصلب للبولى استر بنسبة 0.5 %
- كيما بوكسى A 131 (ايبوكسى زنك تحضيرى)
- كيما بوكسى B 131 (ايبوكسى زنك تحضيرى)
- أساس المنتج (مصلب إيبوكسى بولى أميد)
- نسبة الخلط $B^1 : A^4$ باستخدام قلاب ميكانيكى بطى (300 لفة / دقيقة)
- اللون رمادى - معدل الإستهلاك 250 جم / م² للوجه الواحد - السمك 75 ميكرون.

Kemapoxy 131 A (Zink-Epoxy anti-corrosion) (primer for iron and steel)
C M B international " chemicals for modern building international "

ثانياً : الاختبارات الميكانيكية والفيزيائية .

تم استخدام أربعة اختبارات ميكانيكية وفيزيائية للتعرف على خواص المادة المركبة ، وهذه الاختبارات هي :

- قوة التحمل للشد Tensile Specimens
حيث اعتمدت المواصفة القياسية ASTM D638 فى تصنيع نماذج الاختبارات .
- الاستطالة Elongation Specimens
حيث اعتمدت المواصفة القياسية ASTM D638 فى تصنيع نماذج الاختبارات .
- اختبار قوة التحمل للثنى Flexural Strength Specimens
حيث اعتمدت المواصفة القياسية ASTM D790 فى تصنيع نماذج الاختبارات .
- اختبار الصلادة Hardness Specimens (باركول) .
حيث اعتمدت المواصفة القياسية ISO – 179 فى تصنيع نماذج الاختبارات .

ظروف التشغيل .

- تم إجراء جميع الاختبارات والحصول على النتائج المدونة بالبحث بمعمل اختبار المواد بقسم السيراميك والبلاستيك والمواد الصلبة بالمعهد القومى للبحوث بالدقى ، جمهورية مصر العربية .
- كل الاختبارات قد تمت عند 23 م° ودرجة رطوبة ما بين 50 – 60 % مع إجراء جميع المعايير اللازمة لأجهزة القياس بصفة دائمة ومستمرة .

الأجهزة المستخدمة في القياس .

1. في قياس الخواص الميكانيكية ، تم استخدام جهاز الأنسترون طراز 5500R المزود بجهاز تسجيل أتوماتيكي بالإضافة الى نظام تحكم ذاتي ومعايرة اليكترونية للضبط والاتزان ومعايرة الجهاز يومياً أو بين خطوات وذلك لمعايرة الأحمال الناتجة .

2. تم استخدام جهاز Barcol Hardness tester model Barcol – impressor Barber – colman . company USA .

3. استخدم مقياس دقته 0.001 سم في قياس أبعاد العينات .

4. استخدام جهاز قياس الصلادة Portable Hardness Tester model D H T – 300 .

5. علماً بأن جميع الأجهزة المستخدمة معايرة .

(جدول 1-1) (العلاقة بين قوة تحمل الشدد وزيادة طبقات ألياف الزجاج في العينات)

متوسط قوة التحمل للشدد		قوة التحمل للشدد		قوة التحمل للشدد لوحدة الأطوال (كجم/سم)	حمل القطع (كجم)	سُمك العينة (سم)	عرض العينة (سم)	العينة	
(نيوتن/سم ²)	(كجم/سم ²)	(نيوتن/مم ²)	(كجم/سم ²)					فيبر جلاس	بولي إستر
10.83	110.48	6.907	70.427	28.875	46.2	0.41	1.60	3 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم بولي إستر
		8.318	84.823	36.474	69.3	0.43	1.90		
		7.478	76.253	29.739	45.5	0.39	1.53		
		17.943	182.966	69.527	102.9	0.38	1.48		
		13.529	137.961	51.046	78.1	0.37	1.53		
18.07	184.35	20.067	204.626	100.267	150.4	0.49	1.50	6 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم بولي إستر
		18.344	187.059	95.400	143.1	0.51	1.50		
		19.436	198.194	95.133	142.7	0.48	1.50		
		14.029	143.056	68.667	103.0	0.48	1.50		
		18.518	188.829	92.526	175.8	0.49	1.90		
22.13	225.72	25.369	258.690	144.867	217.3	0.56	1.50	9 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم بولي إستر
		22.280	227.198	138.591	206.5	0.61	1.49		
		21.963	223.958	120.938	193.5	0.54	1.60		
		18.478	188.428	99.867	149.8	0.53	1.50		
		22.588	230.333	128.986	190.9	0.56	1.48		

(جدول 2-1) (العلاقة بين قوة تحمل الشدد وزيادة طبقات ألياف الزجاج في العينات)

متوسط قوة التحمل للشدد		قوة التحمل للشدد		قوة التحمل للشدد لوحددة الأطوال (كجم/سم)	حمل القطع (كجم)	سُمك العينة (سم)	عرض العينة (سم)	العينة	
(كجم/سم ²)	(نيوتن/مم ²)	(كجم/سم ²)	(نيوتن/مم ²)					فيبر جلاس	بولي إستر
71.40	728.12	84.076	857.333	943.067	1414.6	1.100	1.50	3 طبقات فيبر جلاس غير منسوج	1 كجم بولي إستر
		72.697	741.306	815.436	1215.0	1.100	1.49		
		67.724	690.591	766.556	1157.5	1.110	1.51		
		71.984	734.031	807.434	1227.3	1.100	1.52		
		60.540	617.339	679.073	1025.4	1.100	1.51		
113.70	1159.51	104.569	1066.303	1172.933	1759.4	1.100	1.50	6 طبقات فيبر جلاس غير منسوج	1 كجم بولي إستر
		105.159	1072.321	1286.786	1801.5	1.200	1.40		
		117.833	1201.558	1321.714	1850.4	1.100	1.40		
		122.707	1251.261	1376.387	2064.6	1.100	1.50		
		118.279	1206.111	1447.333	2171.0	1.200	1.50		
114.90	1171.66	52.786	538.267	538.227	807.4	1.000	1.50	9 طبقات فيبر جلاس غير منسوج	1 كجم بولي إستر
		65.008	662.901	649.643	909.5	0.980	1.40		
		29.963	305.541	296.375	474.2	0.970	1.60		
		382.564	3901.067	3901.067	5851.6	1.000	1.50		
		44.182	450.533	450.533	675.8	1.000	1.50		

(جدول 3-1) (العلاقة بين قوة تحمل الشدد وزيادة طبقات ألياف الزجاج في العينات)

متوسط قوة التحمل للشدد		قوة التحمل للشدد		قوة التحمل للشدد لوحددة الأطوال (كجم/سم)	حمل القطع (كجم)	سُمك العينة (سم)	عرض العينة (سم)	العينة	
(كجم/سم ²)	(نيوتن/مم ²)	(كجم/سم ²)	(نيوتن/مم ²)					فيبر جلاس	إيبوكسي
44.2	451.0	51.84	528.65	153.311	226.9	0.29	1.48	3 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم إيبوكسي
		36.78	375.13	116.291	175.6	0.31	1.51		
		41.68	425.06	123.268	188.6	0.29	1.53		
		45.87	467.76	130.974	201.7	0.28	1.54		
		44.96	458.53	146.732	224.5	0.32	1.54		
65.0	662.8	56.66	577.79	306.233	447.1	0.53	1.46	6 طبقات فيبر جلاس	1 كجم
		64.89	661.78	357.365	528.9	0.54	1.48		
		69.82	711.98	391.589	591.3	0.55	1.51		

		52.19	532.22	282.081	420.3	0530	1.49		
		81.45	830.57	440.203	651.5	0.53	1.48		
116.8	1191.1	100.75	1027.36	493.133	739.7	0.48	1.50	9 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم إيبوكسي
		123.46	1258.97	491.000	736.5	0.39	1.50		
		104.52	1065.87	405.034	603.5	0.38	1.49		
		94.26	961.19	374.865	554.8	0.39	1.48		
		161.05	1642.25	640.479	935.1	0.39	1.46		

(جدول 1-2) (العلاقة بين الاستطالة وزيادة طبقات ألياف الزجاج في العينات)

متوسط النسبة المنوية للاستطالة (%)	متوسط الزيادة في الطول (سم)	نسبة الاستطالة (%)	الزيادة في الطول (سم)	طول العينة (سم)	العينة	
					فيبر جلاس	بولي إستر
6.000	0.300	12.000	0.600	5.00	3 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم بولي إستر
		6.000	0.300	5.00		
		2.000	0.100	5.00		
		4.000	0.200	5.00		
		6.000	0.300	5.00		
8.800	0.440	8.000	0.400	5.00	6 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم بولي إستر
		8.000	0.400	5.00		
		10.000	0.500	5.00		
		10.000	0.500	5.00		
		8.000	0.400	5.00		
11.240	0.562	8.000	0.400	5.00	9 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم بولي إستر
		22.000	1.100	5.00		
		7.600	0.380	5.00		
		11.000	0.550	5.00		
		7.600	0.380	5.00		

(جدول 2-2) (العلاقة بين الاستطالة وزيادة طبقات ألياف الزجاج في العينات)

متوسط النسبة المنوية للاستطالة (%)	متوسط الزيادة في الطول (سم)	نسبة الاستطالة (%)	الزيادة في الطول (سم)	طول العينة (سم)	العينة	
					فيلر جلاس	بولي إستر
7.720	0.386	7.800	0.390	5.00	3 طبقات فيلر جلاس غير منسوج	1 كجم بولي إستر
		7.600	0.380	5.00		
		9.000	0.450	5.00		
		7.000	0.350	5.00		
		7.200	0.360	5.00		
10.240	0.512	10.800	0.540	5.00	6 طبقات فيلر جلاس غير منسوج	1 كجم بولي إستر
		10.200	0.510	5.00		
		10.200	0.510	5.00		
		9.800	0.490	5.00		
		10.200	0.510	5.00		
22.800	1.140	28.000	1.400	5.00	9 طبقات فيلر جلاس غير منسوج	1 كجم بولي إستر
		28.000	1.400	5.00		
		16.000	0.800	5.00		
		28.000	1.400	5.00		
		14.000	0.700	5.00		

(جدول 3-2) (العلاقة بين الاستطالة وزيادة طبقات ألياف الزجاج في العينات)

متوسط النسبة المنوية للاستطالة (%)	متوسط الزيادة في الطول (سم)	نسبة الاستطالة (%)	الزيادة في الطول (سم)	طول العينة (سم)	العينة	
					فيلر جلاس	الايوكسي
11.360	0.568	11.800	0.590	5.00	3 طبقات فيلر جلاس منسوج	1 كجم إيبوكسي
		11.800	0.590	5.00		
		10.600	0.530	5.00		
		10.400	0.520	5.00		
		12.200	0.610	5.00		

18.800	0.940	20.000	1.000	5.00	6 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم إيبوكسي
		18.000	0.900	5.00		
		18.000	0.900	5.00		
		18.000	0.900	5.00		
		20.000	1.000	5.00		
21.200	1.060	22.000	1.100	5.00	9 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم إيبوكسي
		22.000	1.100	5.00		
		18.000	0.900	5.00		
		22.000	1.100	5.00		
		22.000	1.100	5.00		

(جدول 1-3) (العلاقة بين قوة التحمل للثنى وزيادة طبقات ألياف الزجاج فى العينات)

متوسط قوة التحمل للثنى		قوة التحمل للثنى		حمل الكسر (كجم)	المسافة بين طرفى التثبيت (سم)	عرض العينة (سم)	سمك العينة (سم)	العينة	
(نيوتن/مم ²)	(كجم/سم ²)	(نيوتن/مم ²)	(كجم/سم ²)					فيبر جلاس	بولى استر
23.35	238.10	30.526	311.279	17.0	5	1.0	0.64	3 طبقات منسوج	1 كجم بولى استر
		17.582	179.290	10.1	5	1.0	0.65		
		21.867	222.978	11.8	5	1.0	0.63		
		21.009	214.233	11.7	5	1.0	0.64		
		25.764	262.722	14.8	5	1.0	0.65		
37.80	385.53	59.667	608.437	15.0	5	1.0	0.43	6 طبقات منسوج	1 كجم بولى استر
		42.946	437.925	10.3	5	1.0	0.42		
		32.618	332.612	8.2	5	1.0	0.43		
		17.929	182.823	4.3	5	1.0	0.42		
		35.878	365.854	8.2	5	1.0	0.41		
41.12	419.36	39.871	406.569	17.0	5	1.0	0.56	9 طبقات منسوج	1 كجم بولى استر
		46.926	478.512	19.3	5	1.0	0.55		
		45.149	460.391	17.9	5	1.0	0.54		
		36.353	370.695	15.5	5	1.0	0.56		
		37.330	380.658	14.8	5	1.0	0.54		

(جدول 2-3) (العلاقة بين قوة التحمل للثنى وزيادة طبقات ألياف الزجاج فى العينات)

متوسط قوة التحمل للثنى		قوة التحمل للثنى		حمل الكسر (كجم)	المسافة بين طرفى التثبيت (سم)	عرض العينة (سم)	سمك العينة (سم)	العينة	
(نيوتن/سم ²)	(كجم/سم ²)	(نيوتن/سم ²)	(كجم/سم ²)					فيبر جلاس	بولى استر
64.024	652.86	63.915	651.750	86.9	5	1.00	1.00	3 طبقات فيبر جلاس غير منسوج	1 كجم بولى استر
		62.183	634.091	93.0	5	1.10	1.00		
		62.517	637.500	93.5	5	1.10	1.00		
		65.165	664.500	88.6	5	1.00	1.00		
		66.342	676.500	90.2	5	1.00	1.00		
76.341	778.46	90.098	918.744	159.2	5	1.00	1.14	6 طبقات فيبر جلاس غير منسوج	1 كجم بولى استر
		83.757	854.080	145.4	5	1.00	1.13		
		65.376	666.653	111.5	5	1.00	1.12		
		53.991	550.554	95.4	5	1.00	1.14		
		88.482	902.268	159.1	5	1.00	1.15		
91.161	929.58	94.564	964.286	252.0	5	1.00	1.4	9 طبقات فيبر جلاس غير منسوج	1 كجم بولى استر
		105.637	1077.19	277.5	5	1.00	1.3		
		94.530	963.938	277.1	5	1.10	1.4		
		70.016	713.967	223.9	5	1.20	1.4		
		91.057	928.523	239.2	5	1.00	1.3		

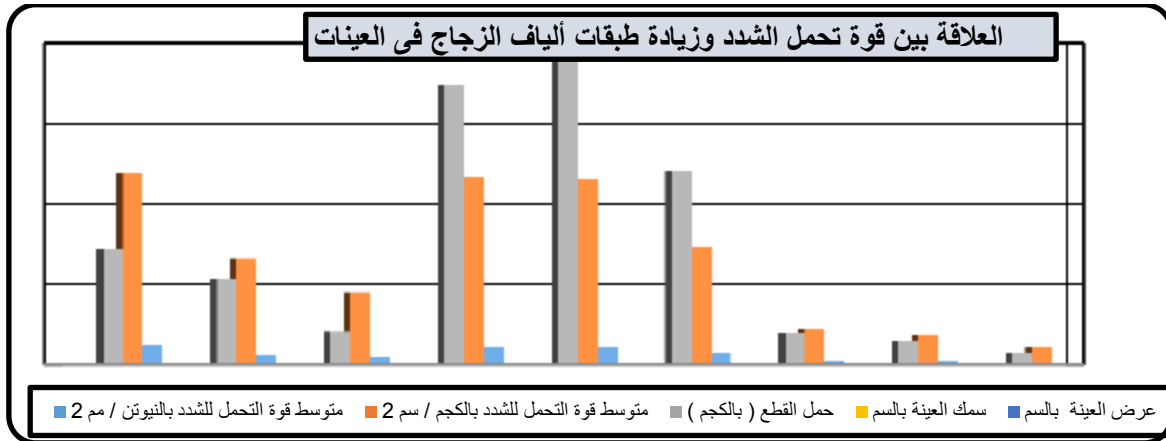
(جدول 3-3) (العلاقة بين قوة التحمل للثنى وزيادة طبقات ألياف الزجاج فى العينات)

متوسط قوة التحمل للثنى		قوة التحمل للثنى		حمل الكسر (كجم)	المسافة بين طرفى التثبيت (سم)	عرض العينة (سم)	سمك العينة (سم)	العينة	
(نيوتن/سم ²)	(كجم/سم ²)	(نيوتن/سم ²)	(كجم/سم ²)					فيبر جلاس	الايوكسى
62.41	636.46	63.176	644.211	29.9	5	1.0	0.59	3 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم ايبوكسى
		64.150	654.147	24.5	5	1.0	0.53		
		64.262	655.293	27.4	5	1.0	0.50		
		55.992	570.957	26.5	5	1.0	0.59		
		64.498	657.699	29.5	5	1.0	0.58		
84.43	860.98	85.050	867.271	38.9	5	1.0	0.58	6 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم ايبوكسى
		85.163	868.417	39.5	5	1.0	0.59		
		83.449	850.940	39.1	5	1.0	0.59		
		85.050	867.271	38.9	5	1.0	0.58		
		83.459	851.049	39.5	5	1.0	0.59		
88.77	905.20	80.236	818.182	7.5	5	1.0	0.25	9 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم ايبوكسى
		102.153	1041.667	9.6	5	1.0	0.24		
		100.992	1029.830	8.7	5	1.0	0.24		
		82.376	840.000	7.7	5	1.0	0.25		
		78.097	796.364	7.3	5	1.0	0.25		

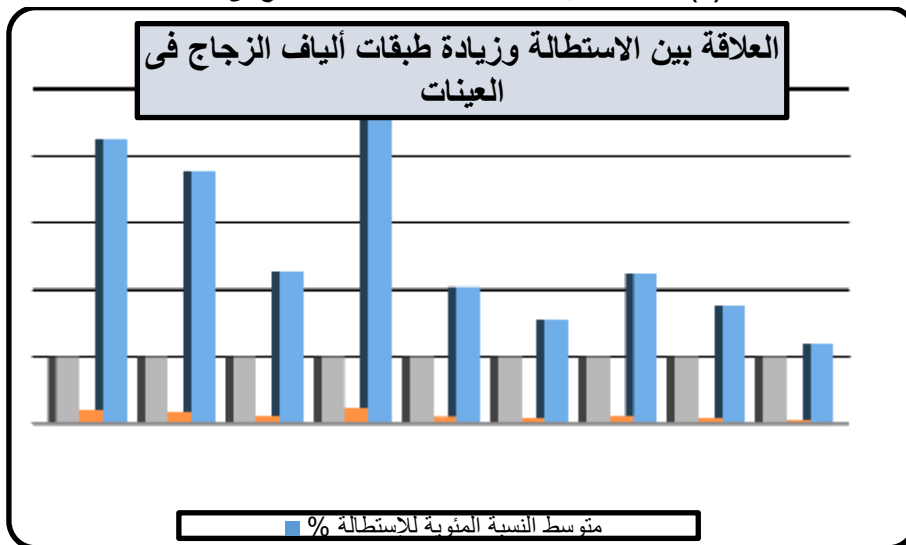
(جدول 1-4) (العلاقة بين الصلادة وزيادة طبقات ألياف الزجاج في العينات)

الصلادة (باركول)	العينة	
	فيبر جلاس	بولي إستر / أيبوكسى
45	3 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم بولى إستر
42	6 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم بولى إستر
45	9 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم بولى إستر
56	3 طبقات فيبر جلاس غير منسوج	1 كجم بولى إستر
47	6 طبقات فيبر جلاس غير منسوج	1 كجم بولى إستر
53	9 طبقات فيبر جلاس غير منسوج	1 كجم بولى إستر
10	3 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم أيبوكسى
16	3 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم أيبوكسى
19	3 طبقات فيبر جلاس منسوج	1 كجم أيبوكسى

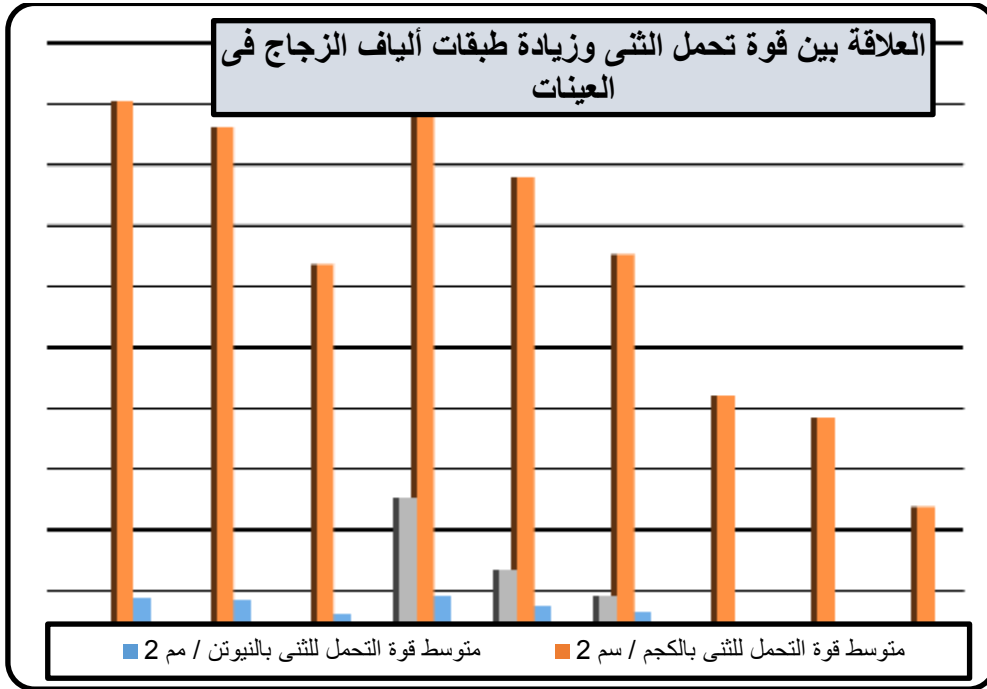
الشكل (1) العلاقة بين قوة تحمل الشدد وزيادة طبقات ألياف الزجاج في العينات .



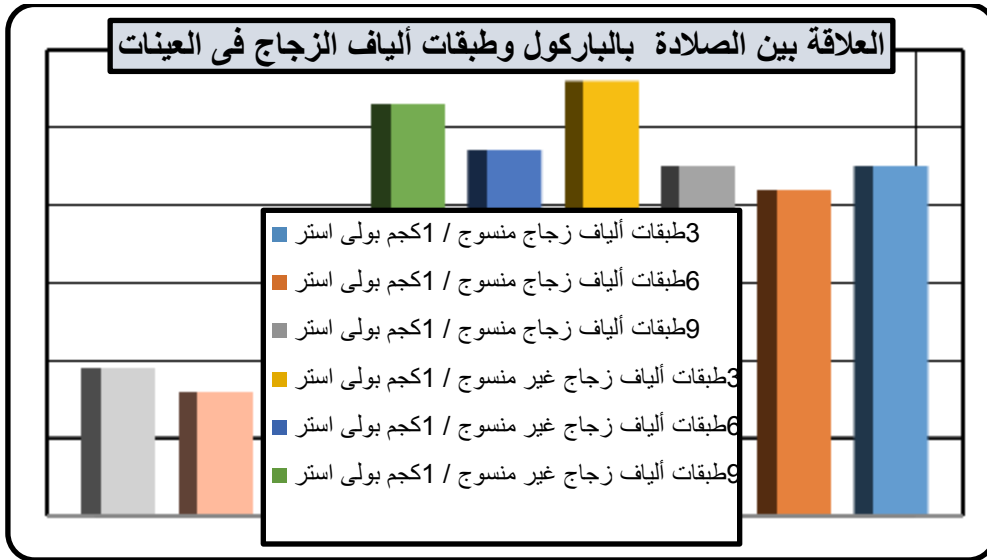
الشكل (2) العلاقة بين الإستطالة وزيادة طبقات ألياف الزجاج في العينات .



الشكل (3) العلاقة بين قوة تحمل التني وزيادة طبقات ألياف الزجاج في العينات .



الشكل (1) العلاقة بين الصلادة بالباركول وزيادة طبقات ألياف الزجاج في العينات .



تفسير النتائج والمناقشة Results and Discussion

الشكل (1) :

(العلاقة بين قوة تحمل الشدد وزيادة طبقات ألياف الزجاج في العينات)

- لوحظ زيادة متوسط قوة التحمل للشدد بالكمج / سم² وزيادة حمل القطع بالكمج للعينات ذات 9 طبقات ألياف زجاج غير منسوج / 1 كجم إيبوكسى ، فبالرغم من هشاشة المواد الراتنجية بالمقارنة بغيرها في تحمل الشدد الواقع عليها ، إلا أنه عند إضافة طبقات الألياف الزجاجية غير المنسوجة تتحسن مقاومة الشدد للمادة المركبة بشكل واضح وكبير ، وبزيادة عدد الطبقات الى 9 طبقات ألياف زجاج غير منسوجة تزداد مقاومة الألياف المضافة للشدد ، حيث تشغل الألياف المضافة حيز أكبر داخل الراتنج مما يسمح بتوزيع حمل الشدد الواقع على المادة المركبة بشكل أفضل.

- وبالرغم من ذلك وبوجه عام ويلاحظ ارتفاع زيادة متوسط قوة التحمل للشدد وزيادة حمل القطع للعينات البولى استر عن عينات الإيبوكسى ، ويرجع ذلك الى هشاشة المواد الراتنجية الإيبوكسية بالمقارنة براتنجات البولى استر عند التصلب ، ويظهر ذلك جلياً وبوضوح فى العينة 6 طبقات ألياف زجاج غير منسوجة / 1 كجم بولى استر حيث يزداد متوسط حمل القطع بشكل واضح .

الشكل (2) :

(العلاقة بين الاستطالة وزيادة طبقات ألياف الزجاج فى العينات)

- لوحظ زيادة متوسط النسبة المئوية للاستطالة للعينة ذات 9 طبقات ألياف زجاج غير منسوجة / 1 كجم بولى استر ، ويرجع ذلك الى راتنج البولى استر الذى أعطى مقدرة أكبر لألياف الزجاج غير المنسوجة على التوزيع الأمثل بداخله واعطاء فرصة حقيقية للألياف الزجاجية للتمدد فى حالة وقوع حمل استطالة على مقطع المادة المركبة .
- كما يلاحظ ارتفاع زيادة النسبة المئوية للاستطالة للعينات الإيبوكسى عن عينات البولى استر بوجه عام ، ويرجع ذلك الى هشاشة راتنج الإيبوكسى بالمقارنة براتنج البولى استر ، مما يسمح بتمدد ألياف الزجاج غير المنسوجة داخل المادة المركبة فى حالة وقوع حمل استطالة على مقطع المادة المركبة .

الشكل (3) :

(العلاقة بين قوة تحمل الثنى وزيادة طبقات ألياف الزجاج فى العينات)

- لوحظ زيادة قوة التحمل للثنى بالكجم / سم² بزيادة طبقات ألياف الزجاج المنسوجة أو غير المنسوجة بوجه عام ، ويتضح ذلك بشكل واضح بزيادة قوة التحمل للثنى بالكجم / سم² للعينة ذات 9 طبقات ألياف زجاج غير منسوج / 1 كجم بولى استر ، ويرجع ذلك الى المقاومة المنخفضة لتحمل الثنى للراتنجات بوجه عام ، ولكن بعد تقوية هذه الراتنجات بالألياف الزجاجية تبدأ قوة تحمل الثنى للمواد المركبة فى الزيادة ، وذلك بسبب مرونة الألياف مما يؤدي الى تحملها الجزء الأكبر من الحمل المسلط على المادة المركبة ، مما يؤدي الى زيادة مقاومة الثنى لهذه المادة المركبة المقواة بالألياف الزجاجية . وتزداد هذه المقاومة مع زيادة نسبة التقوية بالألياف الزجاجية كما وجدنا فى العينة المذكورة .
- ويلاحظ زيادة مقاومة حمل الكسر بالكجم للعينات الإيبوكسى عن عينات البولى استر بوجه عام ، ويرجع ذلك الى صلابة عينات الإيبوكسى المقواة بالألياف الزجاجية عن عينات البولى استر المقواة بالألياف الزجاجية عند درجة التصلب ، مما يجعل مقاومة حمل الكسر لعينات المواد المركبة الداخلة فيها الإيبوكسى أعلى من مقاومة حمل الكسر لعينات المواد المركبة الداخلة فيها البولى استر .

الشكل (4) :

(العلاقة بين الصلادة بالباركول وزيادة طبقات ألياف الزجاج فى العينات)

- لوحظ زيادة الصلادة للعينة ذات 3 طبقات ألياف زجاج غير منسوج / 1 كجم بولى استر ، ويرجع ذلك الى أن قيمة الصلادة ترتفع بشكل كبير عند تقوية راتنج البولى استر بألياف الزجاج ، وذلك لتوزيع الحمل على الألياف مما يقلل معدل الإخترق لسطح المادة المركبة ويرفع من قيم صلادتها .

- ويلاحظ الانخفاض الملحوظ في الصلادة للعينات الإيبوكسى المقواة بالألياف الزجاجية عن عينات البولى استر المقواة بالألياف الزجاجية بوجه عام ، ويرجع ذلك الى تدنى قيم الصلادة لراتنج الإيبوكسى بوجه عام قبل تقويته بالألياف عن قيم الصلادة للبولى استر قبل تقويته بالألياف .

ملخص البحث والنتائج .

إن الألياف النسجية ومنها ألياف الزجاج تعتبر ذات خواص ميكانيكية وعزلية عالية الكفاءة ، وقد تم استخدامها صناعياً فى عدة مجالات لتحقيق العزل الجيد وتحقيق خواص ميكانيكية عالية للمنتج . وقد تم استخدام الألياف النسجية " الفبير جلاس " فى هذا البحث لتحقيق أهداف معمارية فى خلطة الخرسانة . وقد تم خلط الألياف النسجية بنسب مختلفة مع الإيبوكسى والبولى استر المكبلت لتحقيق خلطة عالية المتانة تستخدم فى المجالات المعمارية .

- ويدرس البحث تأثير اختلاف طبقات الفبير جلاس المنسوج وغير المنسوج على قوة تحمل الشدد ، والإستطالة ، وقوة تحمل الثنى ، والصلادة باختلاف كميات الإيبوكسى المضافة .
- كما يدرس البحث تأثير اختلاف طبقات الفبير جلاس المنسوج وغير المنسوج على قوة تحمل الشدد ، والإستطالة ، وقوة تحمل الثنى ، والصلادة باختلاف كميات البولى استر المضافة .
- وقد تم قياس التجارب العملية فى المركز القومى للبحوث بأجهزة معايرة .

وقد توصل البحث للنتائج التالية :

- ارتفاع زيادة متوسط قوة التحمل للشدد وزيادة حمل القطع للعينات البولى استر عن عينات الإيبوكسى ، ويرجع ذلك الى هشاشة المواد الراتنجية الإيبوكسية بالمقارنة براتنجات البولى استر عند التصلب .
- زيادة النسبة المئوية للاستطالة للعينات الإيبوكسى عن عينات البولى استر بوجه عام ، ويرجع ذلك الى هشاشة راتنج الإيبوكسى بالمقارنة براتنج البولى استر ، مما يسمح بتمدد ألياف الزجاج غير المنسوجة داخل المادة المركبة فى حالة وقوع حمل استطالة على مقطع المادة المركبة .
- زيادة مقاومة حمل الكسر بالكجم للعينات الإيبوكسى عن عينات البولى استر بوجه عام ، ويرجع ذلك الى صلابة عينات الإيبوكسى المقواة بالألياف الزجاجية عن عينات البولى استر المقواة بالألياف الزجاجية عند درجة التصلب .
- الانخفاض الملحوظ فى الصلادة للعينات الإيبوكسى المقواة بالألياف الزجاجية عن عينات البولى استر المقواة بالألياف الزجاجية بوجه عام ، ويرجع ذلك الى تدنى قيم الصلادة لراتنج الإيبوكسى بوجه عام قبل تقويته بالألياف عن قيم الصلادة للبولى استر قبل تقويته بالألياف .

المراجع .

1. اسيل محمود عبد الله ، أحمد مظفر هاشم ، عمار جبار بدر ، " تأثير إضافة رقائق الألومينا على الخواص الميكانيكية للمادة المركبة ذات الأساس من البولى استر غير المشبع المقواة بألياف الزجاج " ، مجلة القادسية للعلوم الهندسية ، المجلد 4 ، العدد 1 ، 2011 .
2. إكرام فرعون الملا ، " استخدام الألياف المصنعة لتسليح الخرسانة فى الأجزاء غير المعرضة للأحمال الإنشائية " ، كلية الهندسة ، جامعة بغداد ، 2010 .

3. سهامة عيسى صلاح ، كاظم مطر شبيب ، قحطان عدنان حمد ، " دراسة الخواص الميكانيكية لمواد متراكبة ذات أساس بوليمري مقواة بالألياف والدقائق " ، مجلة الهندسة والتكنولوجيا ، المجلد 28 ، العدد 4 ، 2010 .
4. صبا عبد الزهرة عبيد القرشي ، " دراسة تأثير الألياف الفولاذية فى متانة الإنضغاط للجسم الكونكريتى " ، مجلة جامعة بابل ، المجلد 21 ، العدد 4 ، 2013 .
5. عباس عليوى الجبورى ، على ابراهيم الموسوى ، ساجد عبد الخضر عبد الله ، " تأثير نسبة التقوية بالألياف على الخواص الحرارية والميكانيكية لمادة مركبة بوليمرية " ، المجلة العراقية لهندسة الخامات والميكانيكا ، طبعة خاصة ، 2009 .
6. على ابراهيم الموسوى ، "دراسة بعض الخواص الميكانيكية لمادة مركبة بوليمرية مقواة بالألياف" ، مجلة القادسية للعلوم الهندسية ، العدد 1 ، المعهد التقنى ، بابل ، 2009 .
7. Amit Rai , Dr. Y. P Joshi , ‘ Applications and Properties of Fiber Reinforced Concrete ‘ . Journal of Engineering Research and Applications , Vol. 4 , 2014 .
8. J. Ferreira and F. Branco , ‘ The use of glass fiber-reinforced concrete as a structural material ‘ , Experimtal Techniques , 2007 .
9. Yagya Kumar Sahu , ‘ Study on the effective thermal conductivity of fiber reinforced epoxy composites ‘ , national institute of technology , India , june 2014 .
10. ‘ Textile reinforced concrete , an innovative and sustainable solution for the construction industry ‘
11. www.marmox.com . CMB Group مارموكس بورد .
12. www.cmb.com.eg . الطرق الحديثة لترميم وتقوية وحماية المنشآت الخرسانية.