المؤتمر العلمي الثاني
لطلاب المرحلة الجامعية والدراسات العليا
الجامعة الأسمرية الإسلامية 1446هـ- 2024م

تصنيع قضبان تسليح مصنوعة من الألياف الزجاجية مصلبة ببوليمر البولستر وقياس بعض الخواص الميكانيكية لها

ردينة مفتاح عزيز* و أمجد موسى الهمص

قسم الفيزياء، كلية العلوم، الجامعة الأسمرية الإسلامية، زليتن، ليبيا.

*البريد الإلكتروني: rodinaaziz996@gmail.com

Fabrication of Reinforcing Bars Made of Glass Fibers Reinforced with Polyester Polymer and Measurement of some of their Mechanical Properties

Rodaina Miftah Aziz* and Amjd Mussa Al-Hames

Department of Physics, Faculty of Science, Alasmarya Islamic University, Zliten, Libya.

الملخص

تضمن هذا البحث دراسة مقاومة الشد والإنحناء لقضبان تسليح مصنعة من الألياف الزجاجية وراتنج البولي استر كمادة رابطة (بنسبة وزنية 3% للقضبان المجدولة و15% للقضبان المصبوبة في القوالب) حيث تم التصنيع بطريقتين طريقة جدل الألياف يدويا بعد خلطها بالراتنج وطريقة الصب اليدوي في قوالب من الورق المقوى، حيث صنعت القضبان بأطوال (50cm) وأقطار (12mm ,10 mm, 8mm). وأظهرت الاختبارات أن العينة المجدولة يدوياً ذات القطر الصغير تتمتع بأعلى مقاومة شد (400 MPa) وأن قيمة مقاومة الشد تتراوح بين kg/mm^2 (30-40) على حسب قطر العينة. وأن مقاومة الإنحناء تتناسب عكسيا مع نصف القطر، كما بين اختبار الشد أن العينات تنتمي إلى فئة المواد النصف مطيلة، كما بينت الاختبارات فشل العينات التي صبت في قوالب الورق المقوى نظراً لعدم تجانس التركيب واحتواءها على فقاعات هوائية محبوسة داخل القضبان.

الكلمات الدالة: ألياف زجاجية، قضبان التسليح.

Abstract

This study investigates the tensile and bending resistance of reinforcing bars made from glass fibers with polyester resin as a binding material. The bars were fabricated using two methods: manual fiber winding after mixing with resin and manual casting in cardboard molds. Bars of lengths (50 cm) and diameters (8 mm, 10 mm, 12 mm) were

produced. Testing revealed that manually wound samples with smaller diameters exhibit the highest tensile strength (400 MPa), with tensile strength values ranging from 30 to 40 kg/mm² depending on sample diameter. Bending resistance was found to be inversely proportional to radius. Tensile tests indicated that the samples belong to the category of semi-ductile materials. Additionally, tests showed that samples cast in cardboard molds failed due to non-uniform composition and the presence of air bubbles trapped inside the bars.

Keywords: *Glass fibers, Reinforcing bars.*

1. المقدمة

الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية تتكون في صورتها المبسطة من الإسمنت والرمل بنسبة إسمنت عالية مضافا إليها الألياف الزجاجية المقاومة للتشققات بشكل خصلات يتراوح طولها ما بين (12مم-50مم) (أشبي وجونس، 1990). بدأ استخدامها بالاتحاد السوفياتي خلال فترة (1950-1960)م. ثم بدأت الدراسات الأكاديمية الأولى للمعالجة والتطور عام 1961م ومع مرور الوقت بدأت ابحاث إنتاج ألياف زجاجية معالجة لمقاومة التشققات في المملكة المتحدة عام 1971م وتم إنتاج ألياف زجاجية مقاومة للتشققات ثم تطور الإنتاج عام 1979م بإضافة مادة مغلفة للألياف الزجاجية لإعطائها حماية أكبر من التأكل في الوسط المتشقق.وفي إطار تطوير صناعة الخرسانة تم إنتاج خرسانة مسلحة بالألياف الزجاجية CRG في القرن العشرين لتكون البديل عن مواد الإكساء الكلاسيكية والطبيعية كالحجر والرخام وغيره وليساهم بشكل عام في الإنشاء العصري اقتصاديا وتقنيا وجماليا في جميع أنحاء العالم وهو تطور دائم منذ أكثر من 30 عاماً (عبد الواحد وزاهر، 2004). تعد أمريكا الشمالية منطقة رائدة في استخدام قضبان التسليح المصنوعة من البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية لتقوية الخرسانة. وقد بدأ هذا المفهوم في أوائل التسعينيات حيث مهد الطريق إلى إجراء العديد من التجارب المكثفة وقبول تلك المادة تجاريًا في نهاية الألفية. وقد قام المعهد الأمريكي للخرسانة والجمعية اليابانية للمهندسين المدنيين بإعداد خطوط إرشادية لاستخدام قضبان التسليح المصنوعة من البلاستيك المقوى، بينما قامت شبكة مراكز التميز الكندية للهياكل المبتكرة بنشر كتيب إرشادي حول هذا الموضوع. وفي إبريل 2008، أعلن الاتحاد الأمريكي لمصنّعي المواد المركبة عن استحداث مركبات البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية إلى جانب مواد البناء التقليدية. وفي عام 2008 أيضًا نجح فريق مكون من أعضاء الاتحاد الأمريكي لمصنّعي المواد المركبة وجامعة ميامي في تقديم معايير جديدة حول استخدام قضبان التسليح من البلاستيك المقوى بالألياف الزجاجية في الخرسانة، وقد تم إدراجها في المعهد الأمريكي الخرسانة. وتتضمن الاستخدامات عمليات حفر الأنفاق التي تحتاج إلى تقوية الهياكل الخرسانية المؤقتة (شحادة وعلي، 2005؛ مصطفى، 2004). وهياكل النقل السريع الواقعة تحت

الارض، وجدران المناجم ولأعمدة الرأسية الواقعة تحت الأرض. ومن الأمثلة الخاصة أيضًا الهياكل التي تقام بالقرب من مياه البحر مثل الأرصفة البحرية، والجدران الحاجزة، والمصدات المائية، والدعامات، والمنصات البحرية.

والغرض من هذا البحث تصنع القضبان من الألياف الزجاجية المصلبة باستخدام بوليمر البوليستر السائل ودراسة خاصية الشد الطولي ومعامل الانحناء لمعرفة الخواص الميكانيكية للقضبان المصنعة من الالياف الزجاجية ومدى مناسبتها للاستخدام في أعمال البناء.

2. الجانب النظري

تعد قضبان التسليح المركبة المصنوعة من الألياف الزجاجية المصلبة بالبوليمير هي مادة الجيل الجديد للتقوية الخرسانية في المنطقة. وفي ظل اعتماد تلك المادة في كود المباني الدولية، فإنه يتعين على صناعة الإنشاءات أن تتوقع انتشار استخدام هذا النوع من قضبان التسليح. فبالنظر إلى ظروف التربة السائدة في المنطقة، فإن قضبان التسليح المصنوعة من الألياف الزجاجية تعد الاختيار الطبيعي، خاصة على ضوء المزايا العديدة التي توفرها تلك المادة ,فقضبان التسليح المصنوعة من تلك المادة تتمتع بمقاومة عالية ضد التآكل (غير نافذة لأيونات الملوحة والقلوية كما في الخرسانة)، كما أنها خفيفة الوزن (حوالي 25% من وزن حديد التسليح) ونظرًا لأن قضبان التسليح المصنوعة من الألياف الزجاجية لا تحتوي على معادن فإنه لن يحدث أي تفاعل عند ملامستها للحقول المغناطيسية القوية أو عند تشغيل معدات كهربائية حساسة (الراوي والحليم، 2019؛ محي هادي، 1999)، بمعنى آخر أنها شفافة تجاه الحقول المغناطيسية والترددات اللاسلكية. كما أنه يمكن مقارنة مستوى التمدد الحراري بالخرسانة بسبب ارتفاع محتوى السيليكا (أكثر من 75%) في قضبان التسليح المصنوعة من الألياف الزجاجية وتتميز تلك القضبان أيضًا بأنها غير موصلة كهربائيًا وحراريًا (السعدي، 2000).

1.2. تصنيع قضبان التسليح من ألياف الزجاج

تصنع قطبان التسليح من الألياف الزجاجية بخلط الألياف مع الراتنج (عادة ما تكون ايستر فينيل أو ايبوكس) على البارد ويسحب المخلوط على شكل قضبان طولية تم تضاف إليه الحزوز قبل انتهاء عملية التصلب بقليل عن طريق لف الياف زجاجية مخلوطة مع البوليمر بشكل حلزوني حول القضيب (عبد الواحد وزاهر، 2004) كما في الشكل (1).

شكل 1. قضبان التسليح المصنعة من الألياف الزجاجية

2.2. مميزات قضبان التسليح المصنوعة من الالياف الزجاجية:

عند استخدام القضبان المصنعة من الألياف الزجاجية في الخرسانة فإنها تتمتع بمقاومة عالية ضد التآكل (غير نافذة لأيونات الملوحة والقلوية الموجودة في مكونات الخرسانة) (عبد الواحد وزاهر، 2004). كما أنهاخفيفة الوزن (حوالي 25% من وزن حديد التسليح) (مصطفى، 2004). ومعامل التمدد الحراري لها يساوي معامل التمدد الحراري للخرسانة بسبب ارتفاع محتوى السيليكا الذي يصل إلى أكثر من 75%من تكوينها (الراوي والحليم، 2019). والألياف الزجاجية غير موصله كهربائيا وحراريا (السعدي، 2000). الألياف الزجاجية لا تحتوي على معادن لذا لن يحدث أي تفاعل عند ملامستها للحقول المغناطيسية القوية أو عند تشغيل معدات كهربائية حساسة بمعنى آخر أنها شفافة تجاه الحقول المغناطيسية والترددات اللاسلكية (مصطفى، 2004؛ محي هادي، 1999). كما أن انخفاض الوزن يؤدي إلى انخفاض وقت التركيب وتقليل التكلفة الاجمالية للخرسانة (عبدالواحد وزاهر، 2004).

3.2. عيوب قضبان التسليح المصنعة من الألياف الزجاجية

يمكن تلخيص عيوب قضبان التسليح المصنعة من الألياف الزجاجية في أنها مادة لا تتحمل الطرق (شحادة و علي، 2005)، ولا يمكن تشكيلها في موقع العمل مثل قضبان الحديد بل يجب أن تكون القضبان مصنعة بشكل مسبق مناسب للمواصفات الهندسية المطلوبة. كما أن إعادة تدويرها ماتزال في مراحلها الأولية وليست مثل قضبان الحديد يسهل تدويرها وإعادة تصنيعها (عبدالواحد وزاهر، 2004).

4.2. بعض من الخواص الميكانيكية:

تعتمد الاستخدامات العامة والهندسية للمواد المتركبة إلى حد بعيد على خواصها الميكانيكية والفيزيائية مثل مقاومة الشد والمرونة وقابلية المادة للاستطالة ومقاومتها للحرارة والظروف البيئية مثل

الرطوبة واشعة الشمس وغيرها من الخواص التطبيقية الأخرى ومن أهم الخواص الميكانيكية التي تعطي فكرة جيدة عن سلوك حمل معين هو اختبار الشد الطولي واختبار الانحناء (الراوي والحليم، 2019؛ السعدي، 2000؛ محي هادي، 1999).

1.4.2. الشد (Tension):

هو قوة فعل تنشأ في خيط أو حبل أو أي شيء مشابه ويكون اتجاه هذه القوة موازيا للخيط وفي اتجاه مضاد للقوة المؤثرة على الخيط والمسببة للشد وهذا يتبع قانون نيوتن الثالث (لكل فعل رد فعل مساو له في المقدار ومضاد له في الاتجاه) وتعتبر مقاومة الشد (Tensile Strength) مقياسا لقابلية المادة على مقاومة القوى الساكنة التي تحاول سحب المادة وكسرها ويمكن حساب نسبة الاستطالة للعينة من العلاقة:

$$\% = \frac{L_f - L_i}{L_i} \times 100 \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

حيث: L_i هو الطول الاصلي للعينة و L_f هو طول العينة عند لحظة الكسر (حمد وخلف، 2011؛ مصطفى، 2004).

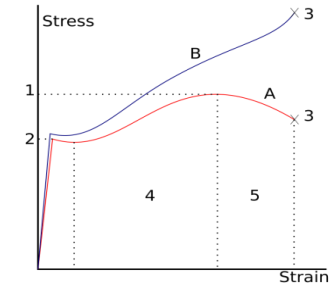
2.4.2. الإجهاد (Stress):

هو القوة المؤثرة عموديا على وحدة المساحة ووحدت الاجهاد هي (N/m^2) أو ($dyne/cm^2$).

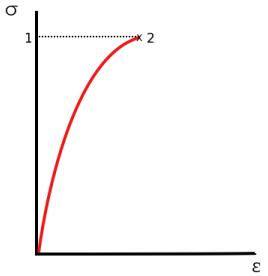
$$S = \frac{F}{A} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

حيث: (F) هي القوة بالنيوتن أو الداين و (A) هي المساحة بالمتر مربع أو السم مربع (مصطفى، 2004).

ويوضح شكل (2) منحنى الإجهاد والانفعال (Stress-Strain Curve) هو منحنى يوضح العلاقة بين الإجهاد والانفعال للمواد المختلفة. ويتم رسم هذا المنحنى عن طريق إجراء اختبار الشد لعينة معدنية (أشبي وجونس، 1990).



نموذج منحنى الإجهاد والانفعال للفولاذ.(عينة مطيلة)
1 : Ultimate strength 2: Yield strength (yield point)
3: Rupture 4: Strain hardening region
5: Necking region A: Apparent stress (F/A_0) B: Actual stress (F/A)



منحى الاجهاد والإنفعال لعينة قصفة

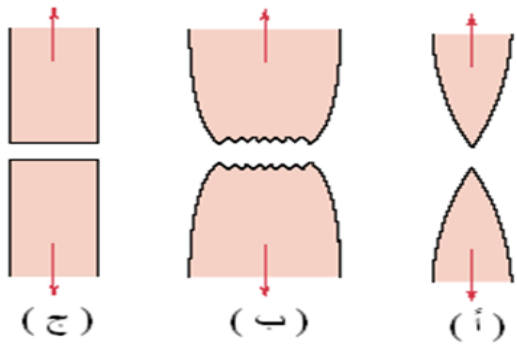
شكل 2. منحنى الإجهاد – الانفعال لعينة مطلية وعينة قصفة أثناء اختبار الشد

5.2. أشكال الكسور حسب طبيعة المعدن

يمكن تصنيف المواد على حسب شكل وطبيعة الكسر إلى:

1. **معادن مطيلة Ductile metals:** عندما تتعرض عينة من الصلب الطري والتي تعتبر مادة مطيلة فإن الاستطالة تزداد تدريجيا مع الحمل حتى تصل إلى حد المرونة ثم تتعرض بعدها لإجهاد الخضوع وهي بداية منطقة اللدونة .ثم يزداد الحمل حتى يصل إلى أقصى حمل (مقاومة الشد القصوى) ومنه تبدأ ظاهرة الرقبة أو العنق حيث يحدث تشوه كبير للعينة قبل حدوث الكسر على هيئة قدح أو مخروط كما هو مبين بشكل (3-أ) حيث يكون السطح خشنا في منتصف القطع المستعرض وملمس ناعم عند الحروف (عبدالواحد وزاهر، 2004).
2. **معادن نصف مطيلة:** منحنى الإجهاد والانفعال للمعادن النصف مطيلة له نفس الشكل العام لمنحنى المعادن المطيلة إلا أنه لا يوجد له منطقة الخضوع، ويكون الحمل أكثر والاستطالة أقل من مثيلاتها من المعادن المطيلة. ويكون الكسر على هيئة قدح ومخروط ولكن برقبة أقل وضوحا من المعادن المطيلة شكل (3-ب) (الراوي والحليم، 2019؛ عبدالواحد وزاهر، 2004).
3. **معادن هشة (قصفة) :** يتميز منحنى الإجهاد والانفعال للمعادن القصفة منذ بدايته بكونه عبارة عن خط مائل وليس خطا مستقيما والمعدن يحدث له تشوه صغير جدا مقارنة بالمواد الأخرى كما لا تتكون رقبة وأن الكسر يحدث عند وصول التحميل إلى الحمل الأقصى. هنا يكون شكل الكسر على

هيئة مستوى عمودي على اتجاه قوة الشد مسطحا ومحببا (3-ج) (حمد وخلف، 2011؛ عبدالواحد وزاهر، 2004).



شكل 3. أشكال الكسور في اختبار الشد لمادة مطيلة (أ) ومادة نصف مطيلة (ب) ومادة قصفة (ج)

6.2. اختبار الانحناء

يعد اختبار الانحناء (الثني) من أهم الاختبارات التي تحدد مدى تحمل المادة للحمل المستمر المسلط عليها وعادة ما يتم تطبيق القوة على عينة الاختبار عند نقطة المنتصف حيث توضع العينة المراد اختبارها أفقياً بحيث يرتكز طرفيها على دعامتين ثم يتم تطبيق قوة على نقطة المنتصف التي تشوه العينة في شكل حرف U ثم يحدد نصف قطر التقوس ومنه يمكن تحديد مقاومة المادة للحمل المسلط عليها (عبدالواحد وزاهر، 2004؛ محي هادي، 1999).

يوجد نوع آخر من اختبار الانحناء يشبه النوع الأول ولكن في هذا الاختبار يتم زيادة الحمل تدريجيا ويحدد نصف قطر التقوس المقابل لكل حمل مسلط ويتم بعده رسم نصف قطر التقوس مقابل الحمل المسلط (شحادة وعلي، 2005؛ محي هادي، 1999).

3. الجزء العملي

تم استخدام مادة ألياف الزجاج تركية المنشأ المستوردة من قبل شركة ألياف ليبيا كذلك مادة البولي استر مع المصلب المستورد من قبل نفس الشركة.

بالنسبة للأدوات المستخدمة تم استخدام ميزان حساس بدقة 10^{-4}g وقوالب من الورق المقوى اسطوانية الشكل صنعت بأقطار مختلفة لإتمام عملية الصب اليدوي.

تم صنع القضبان بأقطار مختلفة (8mm, 10mm,12mm) بعملية الخلط اليدوي للبوليمر مع الألياف الزجاجية الموزونة بالميزان الحساس لغرض الحصول على القطر المطلوب ثم تتم عملية جدل الألياف وسحبها على استقامتها حتى تتم عملية التصلب كما بالشكل (4) بعض القضبان تم جدلها

على قطع طولية من الحديد الصلب من اسفل القضيب ومن أعلاه لغرض القيام باختبار الشد كما بالشكل (5)، بعض الألياف تم صبها في قوالب الورق المقوى الشكل (6) بغرض الحصول على قضيب من الألياف الزجاجية منتظم الشكل وأملس السطح كما بالشكل (7).

شكل 4. قضبان الألياف الزجاجية بمختلف الاقطار

شكل 5. قضبان الألياف الزجاجية المجدولة حول قطع الحديد الصلب

شكل 6. القضبان المصبوبة في الورق المقوى

شكل 7. قضيب الألياف الزجاجية أملس السطح

1.3. الاختبارات

1.1.3. اختبار الشد:

تم اجراء اختبار الشد في مصنع أنابيب مصراتة باستخدام الجهاز الموضح بالشكل (8) حيث يصل أقصى حمل للجهاز إلى 300N والجهاز مزود بحاسوب للحصول على النتائج المطلوبة من اختبار الشد لجميع العينات بمختلف الأقطار ولوحظ الآتي:

1. العينات التي تم صبها في قوالب الورق المقوى فشلت جميعها في اختبار الشد وتحطمت العينة في بداية الاختبار قبل أن يسجل الجهاز أي قراءة.

2. العينات المجدولة يدوياً كانت مقاومة الشد لها تتراوح بين kg/mm^2 (30 - 40) كما يظهر في الجدول (1).
3. شكل العينات لحظة الكسر يبين أنها تنتمي للمواد نصف المطيلة كما بالشكل (9).

شكل 8. جهاز اختبار الشد

شكل 9. العينات لحظة الكسر

2.1.3. اختبار الانحناء تحت تأثير الحمل المستمر:

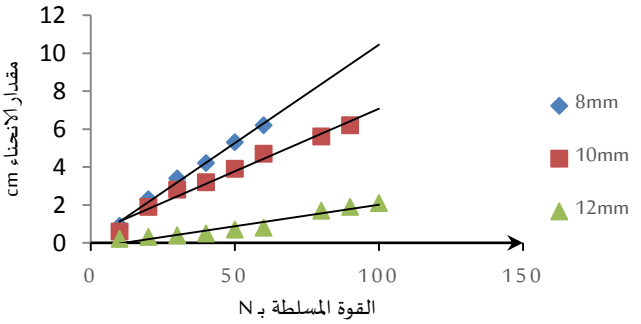
تم اجراء اختبار الانحناء تحت حمل مقداره 20N لمدة ثلاث أشهر لعدد ثلاث عينات مجدولة يدويا (8mm-10mm-12mm) بطول 50cm لكل عينة وكذلك للعينات المصبوبة في قالب الورق المقوى بنفس الاقطار حيث علق الحمل في منتصف القضيب كما بالشكل (10) وبعد انتهاء المدة المحددة للاختبار تم قياس قطر التقوس وحساب نسبة مقدار الانحناء على طول العينة أو ما يعرف بمعامل الانحناء كما بالشكل (11) وكانت النتائج كما في الجدول (2).

شكل 10. اختبار الانحناء تحت الحمل المستمر

شكل 11. قياس قطر التقوس لعينة الاختبار تحت الحمل المستمر

3.1.3. اختبار الانحناء تحت الحمل المتغير:

في هذا الاختبار تم استبعاد العينات المصبوبة في قوالب الورق المقوى بعد فشلها في اختبار الشد واختبار الانحناء تحت الحمل المستمر وتم اجراء اختبار الانحناء تحت الحمل المتغير من (10 -100N) لعينات الجدل اليدوي (8mm, 10mm,12mm) وكانت النتائج كما بالشكل (12).



شكل 12. نتائج اختبار الانحناء تحت الحمل المتغير

4. النتائج والمناقشة

1.4. نتائج اختبار الشد

بين اختبار الشد ان العينات المجدولة يدويا تحملت اجهاد يصل إلى 400MPa وأنها تعتبر مادة نصف مطيلة قياسا إلى شكل العينة لحظة الكسر كما بين الاختبار أن العينات المصبوبة في قوالب الورق المقوى قد فشلت في اختبار الشد نتيجة ان البلمر المستخدم كمادة ربط لم يتخلل إلى داخل الألياف بالكامل مما أدى إلى ضعف قوة الترابط بينها واحتواء العينات على فقاعات هوائية كما ان البلمر تجمع على السطح الداخلي للقالب مما أدى إلى نشوء طبقة خارجية من البلمر المتصلب هي من أثر عليها الحمل المسلط وهذه الطبقة تنتمي إلى المواد القصفة الهشة سهلت الكسر مما أدى إلى فشل العينات المصبوبة في القوالب ولخصت النتائج في الجدول (1) .

جدول 1. نتائج اختبار الشد

الطول = 50 CM الكثافة = (1.5-2) G/CM^3

نسبة الاستطالة	قطر العينة (mm)	المقطع العرضي mm^2	Max stress (MPa)	Elongation (mm)
%1.8	8	49	400	0.9
%1.16	10	72.1	350	0.58
%0.62	12	105	301	0.31

2.4. نتائج إختبارالانحناء تحت الحمل المستمر

بينت نتائج هذا الاختبار أن العينات المجدولة يدويا تتمتع بالمرونة اللازمة لكي تتحمل الاحمال المسلطة عليها دون أن تنكسر حيث بلغ اقصى حد لمعامل الانحناء 0.09 كما بين الاختبار ان العينات ذات الأقطار الصغيرة تتمتع بمعامل انحناء اعلى من العينات ذات الأقطار الكبيرة، كما بين الاختبار ضعف معامل الانحناء بشكل كبير للعينات المصبوبة في قوالب الورق المقوى ولخصت النتائج في الجدول (2).

جدول 2. نتائج اختبار الانحناء تحت تأثير الحمل المستمر

نوع العينة وقطرها	مقدار انحناء العينة المجدولة يدويا CM	مقدار الانحناء / العينة طول	مقدار انحناءالعينة المصبوبة في قالب الورق المقوى CM	مقدار الانحناء / العينة طول
8mm	4.5	0.09	0.3	0.006
10mm	3.1	0.062	0.19	0.0038
12mm	0.6	0.012	0.08	0.0016

3.4. نتائج اختبار الانحناء تحت تأثير الحمل المتغير:

أكد هذا الاختبار أن القضبان ذات الأقطار الكبيرة تتمتع بمقاومة انحناء أكبر من القضبان ذات الأقطار الصغيرة وأن الانحناء يتناسب طرديا مع الحمل المسلط مما يشير إلى تجانس تركيب العينات.

5. الاستنتاجات

تم في هذا البحث تصنيع قضبان تسليح من الألياف الزجاجية مخلوطة ببوليمر البوليستر كمادة رابطة بطريقة الجدل اليدوي والصب في القوالب وبينت نتائج الاختبارات النقاط التالية:

- أن القضبان المجدولة يدويا كانت لها أفضل مقاومة شد ومقاومة انحناء. وان القضبان المصبوبة في القوالب قد فشلت في جميع الاختبارات الميكانيكية
- أن القضبان بنصف قطر 12mm تتمتع بأكبر مقاومة شد واكبر مقاومة انحناء وهي تقارب في قيمتها قضبان حديد التسليح بنصف قطر 8mm
- يمكن استخدام قضبان التسليح المصنوعة من الالياف الزجاجية في اعمال الإنشاءات التي لا تتطلب احمال كبيرة مثل احواض السفن وللإنشاءات البسيطة

المراجع

أشبي، م. ف.؛ و جونس، ر. هـ (1990). *المواد الهندسية: مدخل لخواصها وتطبيقاتها*. ترجمة: ج. ط. الحيدري. الجامعة التكنولوجية، العراق.

حمد، م. غ.؛ و خلف، ح. خ. (2011). دراسة مقاومة الشد لمتراكب الإيبوكسي المسلح بالألياف الزجاجية. *المجلة العراقية للعلوم*، 52(3).

الراوي، ر.؛ والحليم، إ. (2019). تحضير متراكبات بوليمرية من الإيبوكسي والألياف الزجاج المحاكة عشوائيًا ودراسة خواصها الميكانيكية. *مجلة علوم الرافدين*، 28(3).

السعدي، أ. م. ح. (2000). *دراسة تأثير التدعيم على الخصائص الفيزيائية لمواد متراكبة*. رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، العراق.

شحادة، أ. إ.؛ و علي، م. ر. (2005). *خواص المواد، ط 1*. دار الفجر للطباعة والنشر.

عبد الواحد، ع.؛ و زاهر، ك. (2004). *المواد الهندسية: بنيتها وخواصها، ط 1*. دار الكتب الوطنية.

محي هادي، إ. (1999). *دراسة الخواص الميكانيكية والحرارية للبولي إستر غير المشبع والمدعم بدقائق سيراميكية*. رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، العراق.

مصطفى، ي. (2004). *فيزياء الحالة الصلبة*، الجزء الأول. منشورات جامعة الزاوية.