

دراسة عملية لسلوك الخرسانة المسلحة بالالياف الزجاجية تحت تأثير الاحمال التزايدية والاحمال التكرارية

منى مبارك عبدالله
مدرس مساعد/كلية الهندسة /قسم المدني

الخلاصة :

تضمن البحث فحوصات عملية على نماذج اسطوانية خرسانية قياسية بابعاد 150×300 mm تحتوي على نسب حجمية مختلفة من الالياف الزجاجية % (0,1.1,1.64,2.2) ولكل نقطة تم صب ثلاث اسطوانات واخذ المعدل تحت تأثير نوعين من الاحمال, احمال تزايدية واحمال تكرارية وذلك لدراسة سلوك الخرسانة الحاوية على هذا النوع من الالياف تحت تأثير الاحمال اعلاه . تم تسليط الاحمال الدورية بمعدل ستة دورات لكل نموذج وبنسبة تحميل مقدارها $(0.3) \text{N/mm}^2/\text{Sec}$. ومن خلال النتائج التي تم الحصول عليها اثناء الفحص لوحظ ان وجود الالياف الزجاجية ادى الى تحسين خواص الخرسانة من حيث الاجهاد (stress) والانفعال (strain)، وان هذا التحسن يزداد بزيادة كمية الالياف المضافة, اذا نلاحظ من النتائج ان الاجهادات التي تتحملها الخرسانة قد زادت بنسبة % (5.4, 9, 16.3) كما يزداد الانفعال بزيادة مقدارها % (1.3, 14.3, 24.67) و لنسب الالياف % (1.1,1.64,2.2) بالنسبة للاحمال التزايدية و ازدادت الاجهادات بنسبة % (4.5, 7.4, 9.2) والانفعال بنسبة % (5, 12.5, 27.5) و لنسب الالياف % (1.1,1.64,2.2) تحت تأثير الاحمال لمتكررة. كما بينت النتائج ازدياد كل من مقاومة الانضغاط ومعامل المرونة والطاقة المتبددة لكلا النوعين من الاحمال.

Abstract

This research includes test results on standard concrete cylinders (150x300) mm, containing different percentages of glass fiber (0,1.1,1.64,2.2) %, each point represent average of three specimen under two types of loading, monotonic and repeated loads, the load was applied by six cycles with rate of loading $(0.3) \text{N/mm}^2/\text{Sec}$ to study the behavior of this kind of concrete under these types of loading.

The results showed that the behavior of concrete improved due to the addition of glass fiber and this improvement increased with increasing the percentage of the fiber added.

From the results note that the stresses carried by the concrete increased by (5.4, 9, & 16.3)% also the strain increased by (1.3, 14.3, & 24.67)% for fiber percentages (1000, 1500, & 2000) gm/m³ for monotonic loading, and stress increased by (4.5, 7.2, & 9) and strain increasing by (5, 12.5, & 27.5) for the same percentages under repeated loads.

Compressive strength, Dissipated energy, and modulus of elasticity also increased with increasing fiber percentages.

Keyword: Glass fiber, Reinforced concrete, Monotonic loads, Repeated loads.

المقدمة:

إن التقدم العلمي المذهل في عالم البناء الذي عمل على إنتاج مباني عصرية بأحدث مبتكرات العلم الحديث في تكنولوجيا البناء للمباني المسبقة الصب باستخدام الألياف الزجاجية تجمع بين جمال الشكل المعماري و خفة الوزن و سرعة الإنشاء بالإضافة إلى العزل الحراري الجيد مع المتانة والعمر الافتراضي الأطول مقارنة بالمباني التقليدية، من هنا جاء استخدام الألياف الزجاجية كمادة مضافة إلى الخرسانة وذلك لتقويتها واعطائها خواص افضل من الخرسانة الاعتيادية لذلك فإن الألياف الزجاجية وتسمى أيضا (الألياف الزجاجية أو الليف الزجاجي) هي مادة مصنوعة من الألياف الرفيعة جدا من الزجاج .وهو يستعمل كمادة تسليح في الكثير من المنتجات اللدائنية لتصبح مواد مركبة تعرف عادة باللدائن المسلحة بالألياف (FRP) أو اللدائن المسلحة بالألياف الزجاجية (GRF). إن التركيب الكيميائي الاساسي للألياف الزجاجية هو السليكا (SiO_2) وفي حالته النقية هو مادة لدنة ($(SiO_2)_n$) وليس لديه درجة ذوبان حقيقية ولكن يبدأ بالتلين عند درجة (2000) درجة مئوية [1]. إن الألياف الزجاجية مفيدة بسبب المساحة السطحية العالية مقارنة بالوزن مما يعطي منطقة تلامس كبيرة ولكن هذه الحالة تجعل الألياف أكثر تعرضا للتأثيرات الكيميائية وعزل حراري عالي بسبب قيام الألياف بحجز الفقاعات الهوائية [2]. إن مقاومة الألياف الزجاجية تقاس بواسطة الياف حديثة التصنيع وكلما كان الليف ارفع واحدد عمرا كان أكثر قوة بسبب المطيلية العالية لهذه الألياف ومن مميزات هذه الألياف ان خواصها متجانسة على طول الليف [3]. وتستخدم الألياف الزجاجية في العزل الحراري والكهربائي وفي تسليح مختلف انواع المواد وايضا في اعمدة الخيم وامتصاص الصوت وفي المنسوجات المقاومة للحرارة والتآكل والمصنوعات ذات المقاومة العالية [4] [5]. ومن الدراسات في هذه المجال قيام الباحث Junji Takagi [6] بدراسة بعض الخواص للخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية حيث قام بصب عتبات خرسانية واخرى من مونة سمنت وبابعاد (10*10*40) سم واسطوانات بابعاد (10*20) سم , وقد بينت النتائج ان مقاومة الشد والانضغاط للخرسانة ولمونة السمنت تزداد مع زيادة الألياف المضافة , واستنتج ايضا ان الخرسانة والمونة الحاوية على الياف بنسبة (1%) كنسبة وزنية تؤثر بقوة على معامل المرونة في حالي الشد والانضغاط كما وان الألياف الزجاجية ليس لها تأثير على اجهاد الشق الأول (first crack stress) بالنسبة للخرسانة والمونة . كما قام كل من الباحثين Hary N.Marsh, Jr. and Lawrence, L. Clarke, Jr. [7] بفحص عتبات بابعاد (76.2*101.6*406) ملم لحساب مقاومة لانتشاء (Flexural Strength) واسطوانات بابعاد (152.4*304.8) ملم لحساب مقاومة الانضغاط وقد لوحظ من خلال النتائج ان الألياف الزجاجية تعمل على زيادة مقاومة الانتشاء وزيادة مقاومة الاحمال الصدمية (Impact Load) للخرسانة وتقوم الألياف بالسيطرة على الشقوق التي تحدث في الخرسانة كما وان الألياف تقلل من قابلية التشغيل للخرسانة. إن المنشآت الخرسانية المسلحة تتعرض إلى كثير من الاضرار نتيجة تعرضها لاحمال صدمية كالانفجارات ينتج على اثر هذه الاضرار اما فشل المنشا ككل كان يكون انهيار كامل او هبوط الطوابق السفلى او قد يكون الفشل لاجزاء معينة من المنشا وهذا النوع من الاحمال يسمى بالاحمال الدورية والتي تعرف بانها الاحمال الناتجة من تكرار عملية التحميل ورفع التحميل وفي مستويات متغيرة.

وقد اجريت مجموعة من الدراسات لدراسة سلوك الخرسانة الاعتيادية والليفية تحت تأثير الاحمال الدورية ومن هذه الدراسات, في عام 1979 قام الباحث Desayi وجماعته [8] بتجارب عملية على مجموعة من نماذج اسطوانية قياسية محصورة ومسلحة حلزونيا ومن خلال هذه الدراسة. تم الحصول على مغلف الفشل ومنحني رفع الحمل واعادته اضافة الى اشتقاق نموذج رياضي ومقارنته بالنتائج العملية. وفي عام 1989 اجرى الباحثان Yankelevsky & Reinhardt [9] تجارب عملية على مجموعة من النماذج الخرسانية المشورية بابعاد (50*60*250) ملم لمعرفة سلوك الخرسانة تحت تأثير الشد الدوري اضافة الى دراسة سلوك الخرسانة اثناء انعكاس الاجهاد من الشد الى الانضغاط وبشكل دوري ثم عودة الاجهاد الى الشد مرة اخرى ومن خلال هذه الدراسة تم اشتقاق نموذج رياضي لتمثيل سلوك الخرسانة تحت تأثير هذه الانواع من الاجهادات الدورية. وفي عام 1989 قام الباحثان Bahn & Hsu [10] باجراء تجارب عملية على اسطوانات خرسانية قياسية واشتقاق نموذج رياضي يمثل سلوك الخرسانة تحت تأثير الانضغاط الدوري.

اما في هذا البحث فقد تم دراسة سلوك وخواص الخرسانة المضاف اليها الألياف الزجاجية وبنسب مختلفة تحت تأثير نوعين من الاحمال تزايدية وتكرارية .

المواد المستخدمة وطريقة الصب:

المواد المستخدمة :

ان المواد المستخدمة في هذا البحث كانت كما يلي:

1. الاسمنت : في هذا البحث استخدم اسمنت عراقي محلي تتم صناعته في محافظة نينوى من نوع بادوش وهذا الاسمنت من نوع بورتلاند الاعتيادي ومواصفاته موضحة في جدول رقم (1).
2. الماء: تم استخدام ماء الشرب الاعتيادي لمدينة الموصل في الخلطة الخرسانية ومعالجة النماذج وهو ماء صالح للشرب وخالي من الشوائب .
3. الركام الناعم (الرمل): تم استخدام الرمل النهري (River Sand) من منطقة الكنهش في محافظة نينوى، وبعد إجراء التحليل المنخلي له وجد انه يقع ضمن الحد العام للمواصفة البريطانية (B.S 882:1992) [11]. اذا تبين انه من نوع الرمل المتوسط وبمعامل نعومة (2.74) ونسبة المواد الطينية فيه % (2) وهي ضمن الحد المسموح به في المواصفة البريطانية التي يجب أن لا تتجاوز كميتها % (3) ونتائج التحليل المنخلي مبينة في الجدول (2).
4. الركام الخشن (الحصى): الحصى المستخدم في البحث هو حصى نهري والمسمى محليا (البحص) ذو شكل مكور والمقاس الاقصى له هو (12.5) ملم ومن خلال التحليل المنخلي وجد انه مطابق للمواصفة البريطانية (B.S.882: 1992) [11] ونتائج التحليل المنخلي له مبينة في الجدول (3) .
5. نسب الخلطة الخرسانية: للحصول على الخرسانة بالمقاومة المطلوبة تم صب عدة خلطات خرسانية تجريبية لاسطوانات قياسية وبابعاد (150x300) ملم وبنسب مواد مختلفة حسب التصميم وبطول يتراوح بين (75-100) ملم اختيرت الخلطة الخرسانية ذات النسب الوزنية (الاسمنت:الرمل:الحصى:الماء) مساوية الى (1:2:4: 0.5).
6. الالياف الزجاجية: تم استخدام الياف زجاجية وبنسب خلط مختلفة هي % (0,1.1,1.64,2.2). ومن خواص هذه الالياف ما يأتي:

Cross section	Fiber length	Tensile strength	Young modulus	Specific density
rectangular	6 mm	400 N/mm ²	2.600 N/mm ²	0.91 gm/cm ³

جدول رقم (1) مواصفات السمنت.

الحدود القياسية حسب المواصفة البريطانية	نتيجة الفحص	اسم الفحص
0.24-0.32	0.25	الليونة القياسية
min. 45 min.	90	وقت التماسك الابتدائي (min)
Max 600 min.	360	وقت التماسك النهائي (min)
Max. 10 %	8	النعومة %
Max. 10 mm	4	التمدد (mm)

جدول رقم (2) نتائج التحليل المنخلي للرمل.

حدود مناطق التدرج			الحدود القياسية حسب المواصفة البريطانية	النسب المارة للرمل المستخدم	مقاس المنخل mm
F ناعم	M متوسط	C خشن			
-	-	-	100	100	10
-	-	-	100-89	100	5
100-80	100-65	100-60	100-60	86	2.36
100-70	100-45	90-30	100-30	70	1.18
100-55	80-25	54-15	100-15	49	0.6
70-5	48-5	40-5	70-5	17	0.3
-	-	-	15-0	4	0.15

جدول رقم (3) نتائج التحليل المنخلي للحصى.

الحدود القياسية حسب المواصفة البريطانية	النسبة المئوية المارة المتجمعة	مقاس المنخل (mm)
90-100	100	14
50-85	54	10
0-10	0	5

طريقة صب النماذج الخرسانية:

ان عملية صب النماذج تبدأ بعد تنظيف قوالب الصب جيدا ومن ثم تدهن القوالب من الداخل بطبقة خفيفة من الزيت لتسهيل تفكيكها وخراج القوالب منها ومنع التصاق النماذج بالقوالب المعدنية. ثم التحضير للخلطة الخرسانية حيث تحسب كميات المواد المطلوبة للخليط وذلك باستخدام الميزان الالكتروني وتشمل المواد كل من الاسمنت والرمل والحصى والماء والالياف , في البداية يوضع الحصى والرمل داخل المازجة ثم يضاف الاسمنت والالياف بنسبها المختلفة % (0,1.1,1.64,2.2) وتخلط المواد وهي جافة بعد ذلك يضاف الماء بشكل تدريجي مع استمرار المزج لحين الحصول على خليط متجانس ثم تملأ القوالب بالخرسانة ويتم رصها باستخدام هزاز منضدي تبلغ سرعته 3000 هزة /دقيقة. تترك النماذج في جو المختبر لمدة (24) ساعة بعدها يتم استخراج القوالب بفتح النماذج وتوضع في احواض الماء لمدة (28) يوم لكي تكون جاهزة للفحص. وقد تم اعتماد نسبة خلط (1: 2 : 4 /0.5) مع مراعاة تغيير نسب الالياف المضافة لكل خلطة.

الاجهزة المستخدمة في الفحص:

تم استخدام جهاز فحص الانضغاط والشد في فحص النماذج وكذلك تم تثبيت مقياس لقياس الانفعال (strain gage) الناتج عن تسليط الاحمال التزايدية و التكرارية على الاسطوانات القياسية وبنسبة تحميل مقدارها $(0.3) \text{ N/mm}^2/\text{Sec}$ كما في الشكل رقم (1).

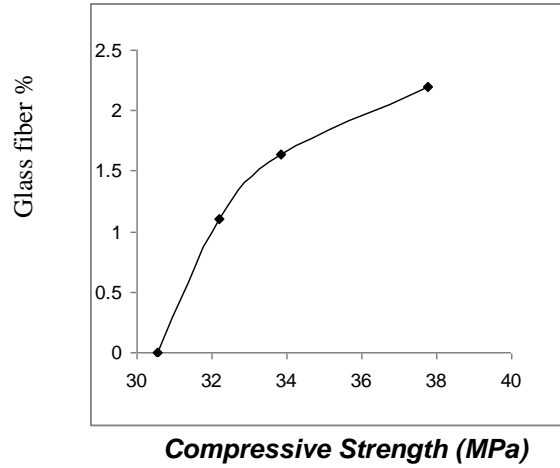
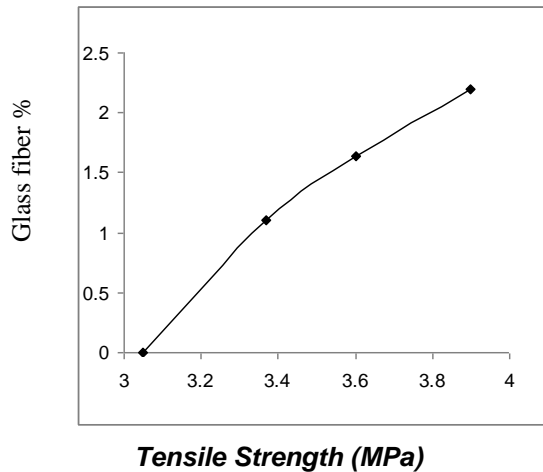


b

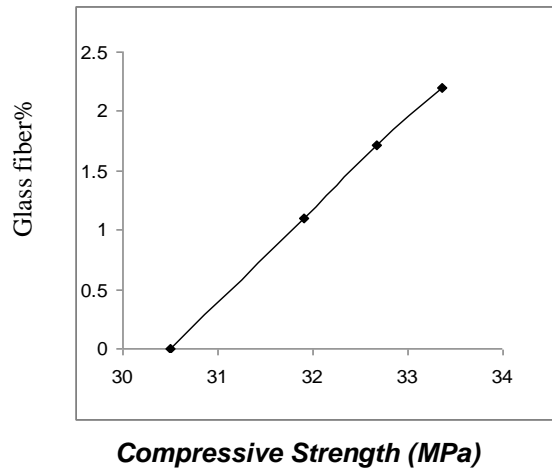
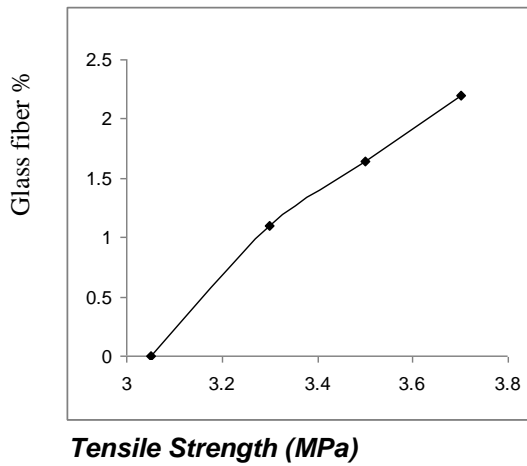
شكل رقم (1) (a) الجهاز المستخدم في الفحص، (b) شكل لنموذج فاشل

النتائج والمناقشة:

تم فحص نماذج اسطوانية مسلحة بالالياف الزجاجية بابعاد (150*300)mm و الحصول على النتائج المبينة في الاشكال وكما يلي: نلاحظ من الشكل رقم (2) ان مقاومة الانضغاط تزداد مع زيادة نسب الالياف تحت تأثير الاحمال التزايدية والاحمال التكرارية هذا وان الزيادة بالنسبة للاحمال التزايدية هي اكبر من الاحمال التكرارية وذلك بسبب الكلال الذي يحدث في النموذج نتيجة لتكرار التحميل ورفع في كل دورة وكذلك تزداد مقاومة الشد مع زيادة نسب الالياف المضافة وكما مبين في الشكل رقم (2).



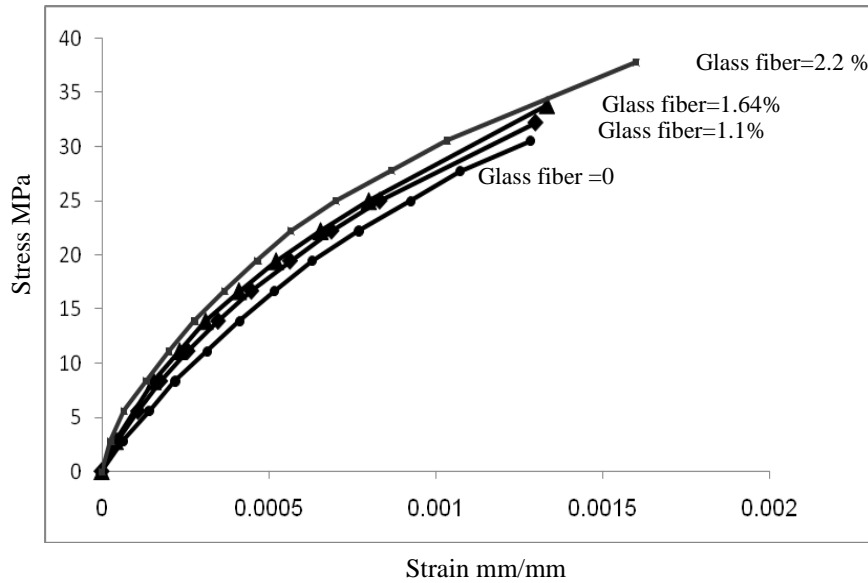
a



b

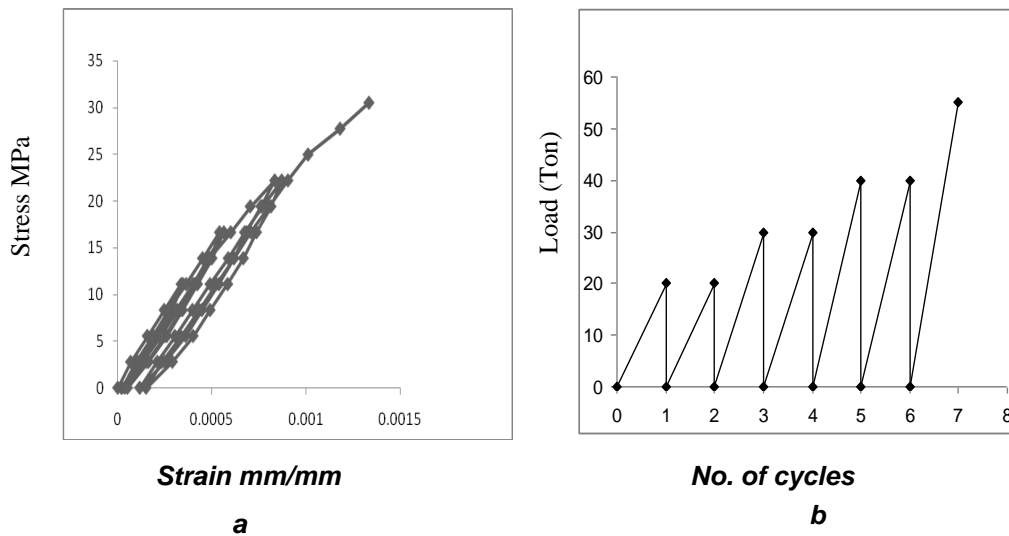
شكل رقم (2) العلاقة بين مقاومة الانضغاط ومقاومة الشد للخرسانة والالياف الزجاجية
(a) الاحمال التزايدية (b) الاحمال التكرارية .

من الشكل (3) نلاحظ العلاقة بين الاجهاد والانفعال للخرسانة الحاوية على نسب الالياف المختلفة تحت تأثير الاحمال التزايدية. ونلاحظ من خلال هذا الشكل ان الاجهاد يزداد بزيادة مقدارها (5.4, 9, 16.3)% كما يزداد الانفعال بزيادة مقدارها (1.3, 14.3, 24.6)% و لنسب الالياف (1.1, 1.64, 2.2)% على التوالي.

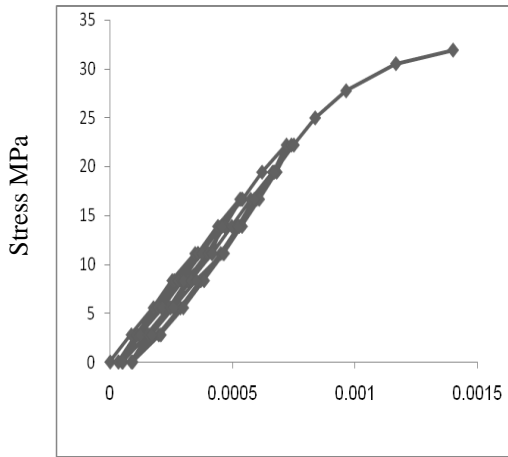


شكل رقم (3) العلاقة بين الاجهاد والانفعال (لنسب الالياف المختلفة) تحت تأثير الاحمال التزايدية

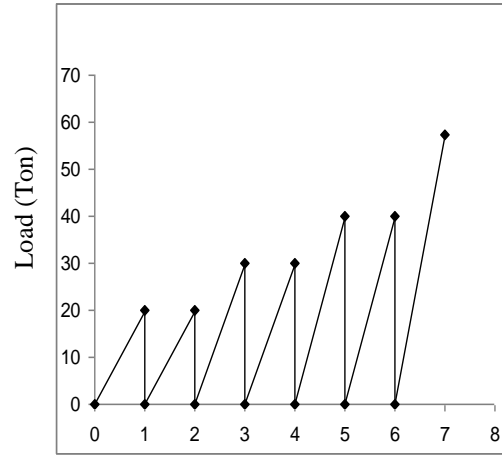
أيضا تم فحص اسطوانات خرسانية قياسية (150*300)mm مسلحة بالالياف الزجاجية تحت تأثير الاحمال المتكررة ومن خلال الاشكال (4,5,6,7) نلاحظ ان الاجهاد يزداد بنسبة (4.5, 7.4, 9.2)% والانفعال يزداد بنسبة (5, 12.5, 27.5)% و لنسب الالياف (1.1, 1.64, 2.2)% تحت تأثير الاحمال لمتكررة.



شكل رقم (4) (a) العلاقة بين الاجهاد والانفعال النماذج الخالية من الالياف تحت تأثير الاحمال المتكررة، (b) مخطط تسليط الحمل

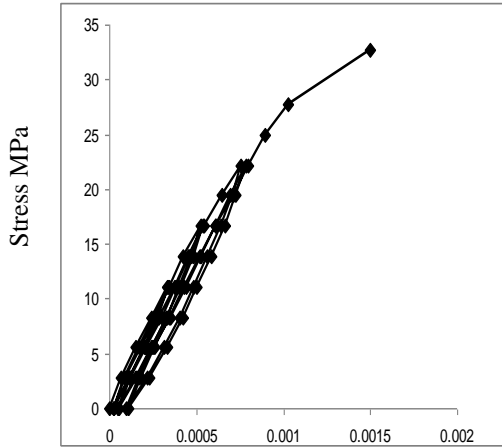


Strain mm/mm
a

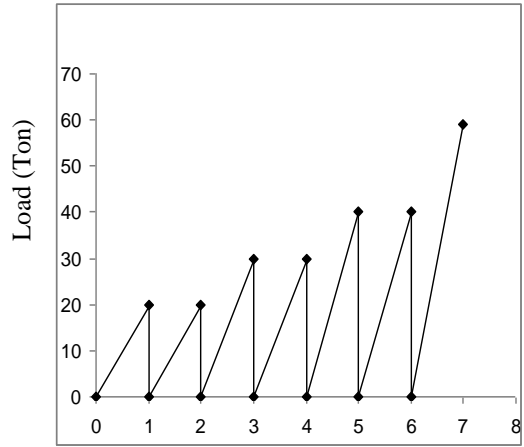


No. of cycles
b

شكل رقم (5) (a) العلاقة بين الاجهاد والانفعال للنماذج الحاوية على نسبة الالياف (1.1) % تحت تأثير الاحمال المتكررة ، (b) مخطط تسليط الحمل

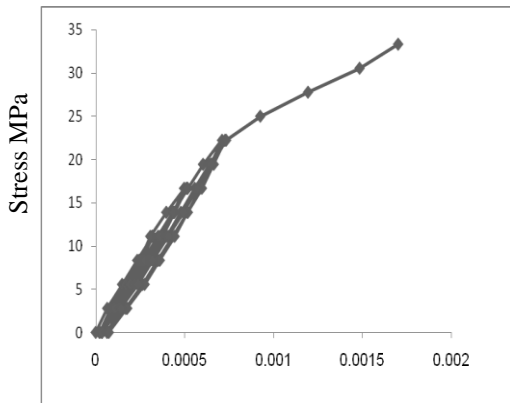


Strain mm/mm
a

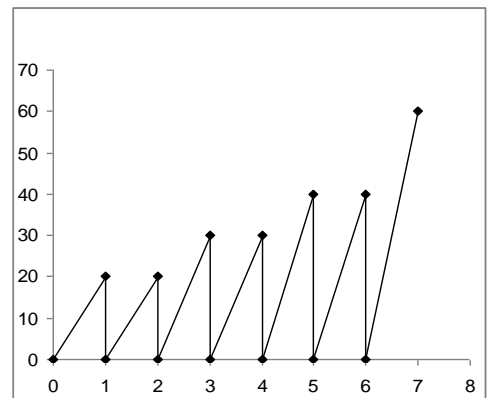


No. of cycles
b

شكل رقم (6) (a) العلاقة بين الاجهاد والانفعال للنماذج الحاوية على نسبة الالياف 1.64 % تحت تأثير الاحمال المتكررة (b) مخطط تسليط الحمل



Strain mm/mm
a



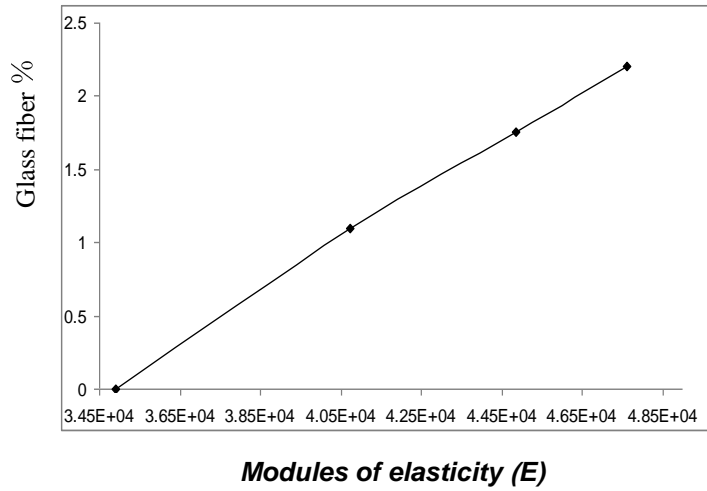
No. of cycles
b

شكل رقم (7) (a) العلاقة بين الاجهاد والانفعال للنماذج الحاوية على نسبة الالياف 2.2 % تحت تأثير الاحمال المتكررة ، (b) مخطط تسليط الحمل

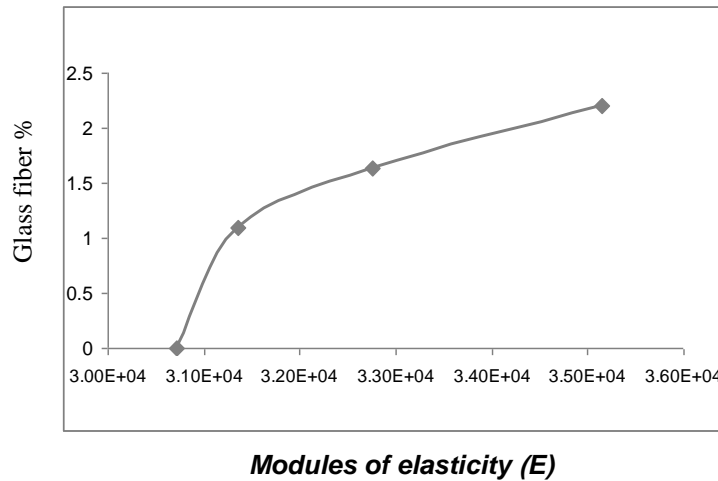
كما تم حساب معامل المرونة للنماذج الخرسانية المفحوصة ومعامل المرونة يعرف بأنه نسبة الإجهاد (شد أو ضغط فقط) إلى الإنفعال ويعطى من العلاقة التالية:

$$\text{معامل يونج للمرونة } E = \text{الإجهاد} / \text{الإنفعال وحدة معامل يونج (E) هي: } N/mm^2$$

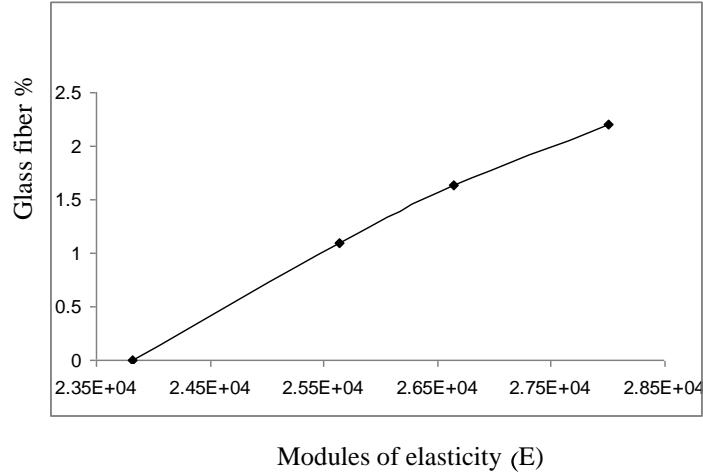
وقد تم حساب معامل المرونة عند (40%) من الاجهاد الاقصى وقد بينت النتائج زيادة في معامل المرونة مع زيادة نسب الألياف المضافة بالنسبة للأحمال التزايدية وبنسبة (16.7,25.3,36.5%) ولنسب الألياف (1.1,1.64,2.2)% وكما في الشكل رقم (8) كما زاد معامل المرونة للنماذج الخرسانية المفحوصة تحت تأثير الاحمال التكرارية بالنسبة للدورة الثالثة بنسبة (2.6, 16.7,28.7%) كما في الشكل(9) والدورة السادسة بنسبة (6.5,11.5,18.18%) ولنسب الألياف (1.1,1.64,2.2)% كما في الشكل (10).



شكل رقم (8) العلاقة بين معامل المرونة (E) ونسب الألياف (%) للأحمال التزايدية.

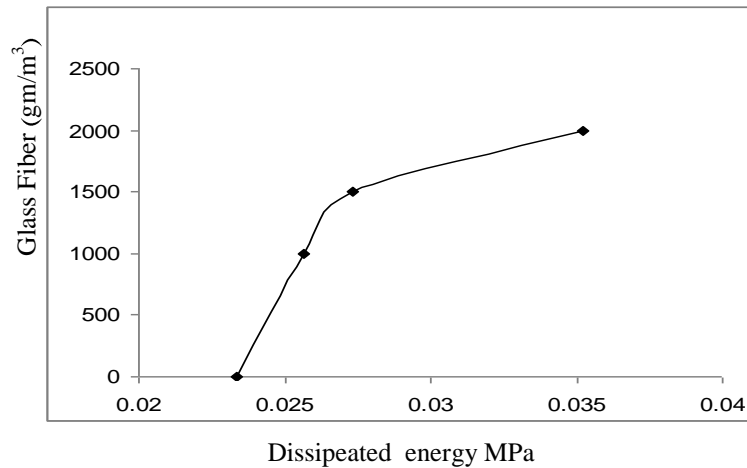


شكل رقم (9) العلاقة بين معامل المرونة (E) ونسب الألياف (%) للأحمال الدورية (عند الدورة الثالثة).

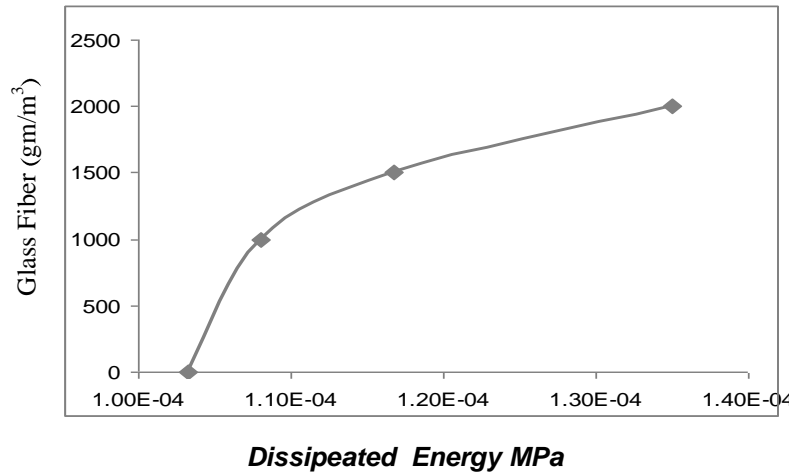


شكل رقم (10) العلاقة بين معامل المرونة (E) ونسب الالياف (%) للاحمال الدورية (عند الدورة السادسة).

تعرف الطاقة المتبددة بأنها الطاقة الناتجة من عملية التحميل تحت تأثير الأحمال التزايدية وتمثل المساحة تحت المنحني التزايدية ونلاحظ من خلال الشكل (11) أن الطاقة المتبددة تزداد مع زيادة نسب الألياف المضافة وبنسبة % (10,17,51) ولنسب الألياف % (1.1,1.64,2.2) بسبب زيادة الانفعال في مراحل الفشل النهائية لوجود الالياف التي تعمل على تجسير الشقوق المتكونة في الخرسانة وبالتالي تعطيها زيادة في تحمل الانفعالات, أما بالنسبة للأحمال التكرارية فان الطاقة المتبددة تنتج من عملية التحميل ورفع التحميل اذ أن المنحني الصاعد لا يتبع نفس مسار المنحني النازل والمساحة المحصورة بينهما تمثل الطاقة المتبددة وكمثال لذلك من الشكل (12) نلاحظ بالنسبة للدورة الرابعة ولنسب الألياف % (1.1,1.64,2.2) بأن الطاقة المتبددة تزداد مع زيادة نسب الألياف المضافة وبنسبة % (4.6,13.1,31).



شكل رقم (11) العلاقة بين الطاقة المتبددة ونسب الالياف (%) تحت تأثير الاحمال التزايدية.



شكل رقم (12) العلاقة بين الطاقة المتبددة ونسب الالياف (%) تحت تأثير الاحمال التكرارية عند الدورة الرابعة.

الاستنتاجات :

من خلال النتائج اعلاه نستنتج ماياتي:

1. زيادة مقاومة الانضغاط ومقاومة الشد بزيادة نسب الالياف المضافة للخرسانة تحت تأثير الاحمال التزايدية والاحمال التكرارية، حيث كانت الزيادة اكبر في مقاومة الانضغاط تحت تأثير الاحمال التزايدية منها تحت تأثير الاحمال التكرارية وذلك بسبب الكلال الذي يحدث في النموذج نتيجة لتكرار التحميل ورفعته في كل دورة.
2. زيادة الانفعال في مراحل الفشل النهائية كنتيجة لوجود الالياف. وازدياد الانفعال الناتج كلما زادت نسبة الالياف المضافة الى الخرسانة وبنسبة % (1.3,14.3,24.64) ، كما يزداد الاجهاد بمقدار % (5.4, 9, 16.3) ولنسب الالياف % (1.1,1.64,2.2) تحت تأثير الاحمال التزايدية. اما بالنسبة للاحمال المتكررة فالانفعال يزداد بنسبة % (5, 12.5, 27.5) أما الإجهاد فازداد بنسبة % (4.5, 7.4, 9.2) ولنسب الالياف % (1.1,1.64,2.2) .
3. زيادة معامل المرونة مع زيادة الالياف المضافة الى الخرسانة وبنسبة % (16.7,25.3,36.5) تحت تأثير الأحمال التزايدية وبنسبة % (6.5,11.5,18.18) تحت تأثير الأحمال التكرارية عند الدورة السادسة ولنسب الالياف % (1.1,1.64,2.2).
4. زيادة الطاقة المتبددة مع زيادة الالياف المضافة الى الخرسانة ، وبنسبة % (10,17,51) ولنسب الالياف % (1.1,1.64,2.2) بالنسبة للاحمال التزايدية كما وتزداد الطاقة المتبددة بمقدار % (4.6,13.1,31) ولنسب الالياف % (1.1,1.64,2.2) بالنسبة للاحمال التكرارية.
5. بالنسبة للأحمال التكرارية تقل الجساءة بزيادة عدد دورات التحميل وذلك بسبب الكلال الذي يحدث في النموذج نتيجة لتكرار التحميل ورفعته في كل دورة .

References:

1. Gupta, V.B.; V.K. Kothari (1997). *Manufactured Fiber Technology*. London: Chapman and Hall. pp. 544–546. ISBN 0-412-54030-4.
2. Frank P. Incropera; David P. De Witt (1990). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (3rd Ed.). John Wiley & Sons. pp. A11. ISBN 0-471-51729-1.
3. Volf, Milos B. (1990). *Technical Approach to Glass*. New York: Elsevier. ISBN 0-444-98805-X.
4. E. Fitzer et al., 15 April, (2008). "Fibers, 5. Synthetic Inorganic", *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA).
5. B. Ilschner et al., 15 June, (2000). "Composite Materials", and *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA).
6. Junji Takagi "Some Properties of glass fiber reinforced concrete" fiber reinforced concrete, ACI SP- 44, Detroit, Michigan, 1974, PP. 93-111.
7. Hary N.Marsh, Jr. and Lawrence, L. Clarke, Jr."Glass fiber reinforces cement base materials" fiber reinforced concrete, ACI SP- 44, Detroit, Michigan, 1974, PP.247-264.
8. Desayi, P., Iyengar, K.T.S.R.and Reddy, T.S., "Stress-Strain Characteristics of concrete confined in steel spirals under Repeated loading", *materiaux et constructions* 1979.
9. Yankelevsky, D. Z. and Reinhardt, H.W.,"Uniaxial behavior of concrete in cyclic tension ", *journal of structural engineering*, proceeding of ASCE, Vol .115, No.1, Jan .1989, pp.166-182.
10. Bahn, B.Y and Hsu, Cheng-Tzu T., "Stress –strain behavior of concrete under cyclic loading", *ACI Materials journal*, Vol .95, No.2, March –April 1998, pp.178-139.
11. BS 882-1992"Aggregated from Natural Source for Concrete "British standard institution, 1992.