دراسة عملية لسلوكية العتبات الخرسانية المسلحة بقضبان حديد اضافة الى الالياف الفولاذية تحت تاثير الاحمال التكرارية

د. بيار جعفر السليفاني	منى مبارك عبدالله	سمير سعدي شماس
استاذ، قسم الهندسة المدنية	م.مساعد، قسم الهندسة المدنية	م.مساعد، قسم الهندسة المدنية

الملخص

يختلف سلوك الخرسانة المعرضة لاحمال متكررة عن مثيلتها والمعرضة لاحمال ساكنة، اذ يسبب تسليط الاحمال المتكررة على الخرسانة تهشم في بعض اجزائها نتيجة لعملية التحميل ورفع التحميل. بالاضافة لذلك فأن سلوك الخرسانة يتأثر بأضافة مواد اخرى مثل الالياف. ولغرض دراسة مدى تأثر وتحسن خواص الخرسانة المعرضة لاحمال متكررة بوجود الالياف الفولاذية، فقد تم في هذا البحث دراسة تصرف العتبات الخرسانية الليفية المسلحة بأبعاد (150x160x1000) ملم ولنسب مختلفة من الالياف (0,0.5,0.75,1.0) .اذ تم فحص عتبات خرسانية بسيطة الاسناد تحت احمال متكررة مسلطة في نقطتين على العتبة الخرسانية المسلحة ولعدة دورات لحين الوصول الى الفشل. اوجدت الخواص الفيزيائية للخرسانة المستخدمة في هذا البحث ومقاومة الانضغاط للخرسانة الليفية من خلال صب اسطوانات قياسية بأبعاد (150x300) ملم، ولنسب الالياف المختلفة والمذكورة اعلاه. تم دراسة الاود، المطيلية، والطاقة المتبددة تحت تأثير الاحمال المتكررة واختلاف هذه الخواص بأختلاف نسب الالياف المضافة، وبينت النتائج زيادة في كفاءة الخرسانة الليفية المسلحة والمعرضة لاحمال متكررة بوجود الالياف المضافة وذلك بزيادة الاود مع زيادة نسبة الالياف (قبل الفشل) ، وكذلك زيادة المطيلية وزيادة الطاقة المتبددة بوجود الالياف نتيجة عمليات التحميل ورفع التحميل.

Experimental Study of the Behavior of Fiber Reinforced Concrete Beams under Repeated Loads

Dr.Bayar J. Al – Sulayfani	Muna M .Abdullah	Samier S. Shmas
Dept.civil engineering	Dept.civil engineering	Dept.civil engineering

Abstract:

Concrete behavior subjected to repeated loads is differs than the one subjected to static loads. Repeated loads caused crushing in some part of concrete due to loading and unloading process. Concrete behavior under static loads is affected by adding steel fibers, which improved many properties especially concrete tensile strength. These improvements are studied in this research under the effect of repeated loads, by testing simply supported fibrous reinforced concrete beams with dimensions (1000x150x160) mm, reinforced with different

percentages of steel fibers (0.0, 0.5, 0.75, and 1.0%). Repeated loads were applied to the beams through two points and for many cycles up to failure. The physical properties and compressive strength of the concrete used was found by casting standard cylinders (150x300) mm for the different percentages of fibers. All the results show improvements in beams behavior due to fiber addition to the concrete under repeated loads, by increasing the deflection, strain, ductility and energy dissipation due to increasing of added fibers percentages.

Keywords : Repeated load, Reinforced Concrete, Beams, Steel fiber

أستلم في 2009/4/22 **قبل في 2009/10/22**

المقدمة

تتعرض المنشاءت الخرسانية المسلحة الى كثير من الاضرار نتيجة لتعرضها الى احمال خارجية قد تكون ناتجة من الكوارث الطبيعية كالزلازل الارضية او الاعاصير او نتيجة الاحمال الصدمية كالانفجارات او قد تكون الاضرار ناتجة عن خطا ما اثناء التصميم هذا وان اغلب الاحمال التي تتعرض لها المنشات هي عبارة عن احمال متكررة او دورية وان اكثر الاضرار تنتج من تكرار عملية التحميل ورفع التحميل وفي مستويات متغيرة وكل هذا قد يؤدي الى فشل المنشا كليا او جزئيا مثال على ذلك تشققات القص التي تظهر في العتبات وايضا تدلي العتبات ذات الفضاء الكبير او ظهور التشققات في الاعمدة وغيرها من اشكال الفشل . وللحد من الاضرار التي تنتج من الاحمال المتكررة فقد تم في هذا البحث دراسة سلوك العتبات الخرسانية المسلحة بالالياف لما لها من تاثير على سلامة المنشا في حالة تعرضه الى هكذا احمال وقد اجريت العديد من البحوث والدراسات في المجالات المختلفة للعتبات وايضا للخرسانة المسلحة بالالياف ومنها:-

قيام الباحث Sinha وHsu [1] في عام 1964 باجراء تجارب عملية على مجموعة من العتبات ذات مقطع مستطيل احادية التسليح وبنسب تسليح مختلفة وقد تم الاعتماد على نظرية العتبة لتحليل هذه العتبات تحت تاثير الاحمال المتكررة وقد اهمل تاثير مقاومة الشد للخرسانة وقد اخذ بنظر الاعتبار حالة تغير الانفعال المتولد في الخرسانة من حالة الشد الى حالة الانضغاط وكذلك العكس وتم رسم العلاقة بين العزم والانحناء ومقارنته بالنتائج العملية.

وفي عام 1965 اجرى الباحث Agrawal و اخرون [2] دراسة عملية على مجموعة عتبات مستطيلة المقطع مزدوجة التسليح وبالاستفادة من الدراسة التى اجراها Sinha وHsu [1] وذلك باجراء تغيير في تمثيل سلوك الخرسانة للانضغاط الدوري بنموذج ثنائي الخط (Bilinear) وهو اقل تعقيدا من السلوك الحقيقي للخرسانة لهذا النوع من الاحمال وقد اظهر هذا النموذج توافقا جيدا مع الفحوصات العملية.

قيام الباحث Al-Sulayfani [3] عام (1986) بأجراء فحوصات عملية على عتبات خرسانية مسلحة بسيطة الاسناد ، معرضة الى احمال دورية ومسلحة بنسب مختلفة من حديد التسليح .تم رسم منحنيات علاقة (العزم-

الانحناء) و (الحمل-الازاحة) في المقاطع الحرجة للعتبات التي تم فحصها. وقورنت مع نتائج فحوصات عملية ونظرية اخرى واظهرت تطابقاً جيداً .

وفي عام 2001 قام الباحث Depongpan Thammanoon [4] بدراسة عملية على عتبات خرسانية مسلحة بسيطة الاسناد معرضة الى احمال دورية معكوسة والحمل مسلط في منتصف العتبة ،استنتج الباحث ان الاحمال الدورية المعكوسة تسبب نقصان في الازاحة القصوى وذلك بسبب تردي المواد الداخلة (Material Deterioration) والتي تنتج من انفتاح وانغلاق الشقوق، كما لاحظ ايضا ان معامل المطيلية للعتبات المعرضة للاحمال المعكوسة يقل تقريباً بمقدار (40 %) من العتبات المعرضة للاحمال التزايدية (Monotonic Loads) .

وفي عام 2001 قارن الباحثان Hyo-Gyoung Kwak و Sun-Pil Kim [5] منحني علاقة (العزم-الانحناء) العملي لعتبات خرسانية مسلحة ناتئة معرضة لاحمال دورية مع منحني علاقة (العزم- الانحناء) النظري المعتمد على علاقة (الاجهاد-الانفعال) للحديد المقترحة من قبل الباحثين (Menegotto and Pinto 1973). اظهرت المقارنة ان النموذج الرياضي المقترح يعطي تمثيلاً مقبولاً لسلوك الخرسانة المسلحة ،كما بينت النتائج التحليلية ان منحني علاقة (العزم-الانحناء) يعتمد اساسا على سلوك حديد التسليح في اعلى واسفل المقطع الخرساني .

امابالنسبة للخرسانة المسلحة بالالياف والتي هي عبارة عن خرسانة عادية مضافا اليها الياف فولاذية قصيرة تعمل على تحسين خواص الخرسانة العادية ويجب التحقق من ان اضافة الالياف الى الخلطة الخرسانية يحافظ على قابلية تشغيل جيدة فضلا عن الاستفادة من خواص الالياف وهذا قد يتطلب تحديد حجم الركام والتدرج الامثل وزيادة محتوى الاسمنت وربما استعمال انواع من المضافات لتحسين قابلية التشغيل.

تصنع الالياف الفولاذية باشكال مختلفة ،ويكون مقطعها دائريا او نصف دائري او مستطيلا او متغيرا وقد تكون هذه الالياف مستقيمة او منحنية النهايات وهناك عامل مهم يستخدم لوصف الخواص الهندسية للالياف هو النسبة الباعية(Aspect Ratio) وهي عبارة عن النسبة بين طول الليف وقطره المكافئ وتتراوح قيمة النسبة الباعية بين (30-150). ومن الدراسات في هذا المجال:

في عام 1972 اجرى الباحثان Lankard و Snyder [6] دراسة على عدد العوامل المؤثرة في مقاومة الانحناء للمونة المسلحة بالالياف الفولاذية .اذ قام الباحثان بدراسة تاثير النسبة الحجمية لاضافة الالياف وتاثير الركام وتاثير المسافة بين الالياف في مقاومة الانحناء للمونة المسلحة بالالياف.

وفي عام 1986 قام الباحثان Nakamura و Sakai [7] باقتراح طريقة لايجاد مقاومة الانحناء للعتبات الخرسانية المسلحة الليفية باعتماد نظرية العتبة(Beam Theory) وفي هذه الدراسة تم اشتقاق نموذجين رياضيين لمنحني الاجهاد-الانفعال للخرسانة الليفية تحت تاثير الشد باعتماد نوعين مختلفين من الالياف الفولاذية.

يهدف البحث الحالي الى دراسة سلوك العتبات الخرسانية المسلحة مع وبدون الالياف تحت تاثير الاحمال المتكررة ومعرفة تاثير اختلاف نسب الالياف على مقدار الاود الناتج من تسليط هذا النوع من الاحمال.

البرنامج العملي :

يتضمن البرنامج العملي تعريف بالمواد المستخدمة لاعداد الخلطة الخرسانية المعتمدة في البحث فضلا عن توضيح لعملية الصب والاجهزة والادوات المستخدمة اثناء العمل.

الخلطة الخرسانية: ان الخرسانة هي عبارة عن خليط من اربعة عناصر اساسية وهي كل من الاسمنت والرمل (الركام الناعم) والحصى (الركام الخشن) والماء واحيانا يتم استخدام مواد اخرى للحصول على خصائص معينة تسمى المضافات وهناك ايضا قضبان الحديد بالاضافة للمواد السابقة في حال كون الخرسانة مسلحة كما قد تضاف الياف فولاذية الى الخرسانة وعندها تسمى بالخرسانة الليفية .

ا-تعريف المواد المستخدمة:

١- الاسمنت :في هذا البحث استخدم اسمنت عراقي محلي تتم صناعته في محافظة نينوى من نوع بادوش وهذا الاسمنت من نوع بورتلاند الاعتيادي.

٢- الماء: تم استخدام ماء الشرب الاعتيادي لمدينة الموصل في الخلطة الخرسانية ومعالجة النماذج وهو ماء صالح للشرب وخالي من الشوائب .

٣- الركام الناعم (الرمل): تم استخدام رمل نهري في هذا البحث ومن خلال التحليل المنخلي الذي اجري له وجد انه ضمن الحد العام للمواصفات البريطانية (BS882:1983) [8] وهو من نوع الرمل متوسط النعومة .

٤- الركام الخشن (الحصى): الحصى المستخدم في البحث هو حصى نهري والمسمى محليا (البحص) وبشكل مكور والمقاس الاقصى له هو (10) ملم ومن خلال التحليل المنخلي وجد انه مطابق للمواصفة البريطانية (BS882:1983) [8].

٥-نسب الخلطة الخرسانية: للحصول على الخرسانة بالمقاومة المطلوبة تم صب عدة خلطات خرسانية تجريبية لاسطوانات قياسية وبابعاد (150x300) ملم وبنسب مواد مختلفة حسب التصميم وبهطول يتراوح بين (75-100) ملم اختيرت الخلطة الخرسانية ذات النسب الوزنية(الاسمنت: الرمل: الحصى: الماء)مساوية الى(1:2:4: 0.5).

٦- حديد التسليح: تم استخدام قضبان حديد التسليح الرئيسي بقطر (12) ملم وللحلقات بقطر (6) ملم.

٧-الالياف الفولاذية:تم استخدام الياف فولاذية وبنسب مختلفة وكما يلي %(0,0.5,0.75,1.0). والنسبة الباعية لها (32).

ويمكن ملاحظة المواد المستخدمة في عملية الصب كما في الشكل(١)

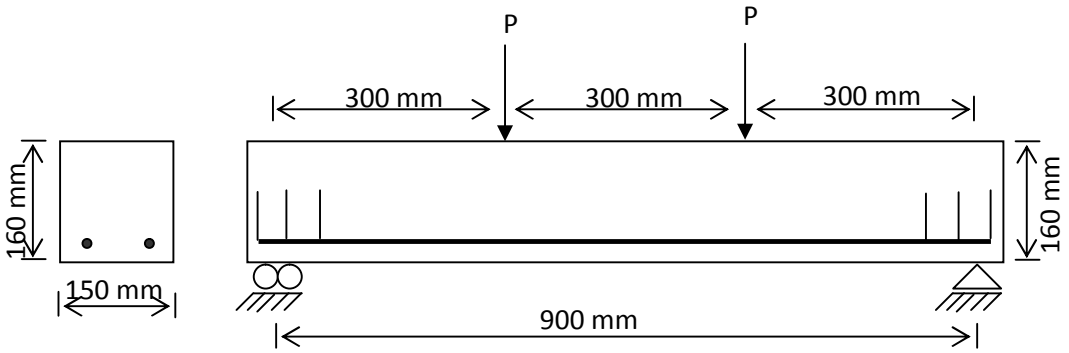
طريقة صب النماذج الخرسانية:

تبدا عملية الصب بعد تنظيف قوالب الصب جيدا ثم تدهن القوالب من الداخل بطبقة خفيفة من الزيت لتسهيل تفكيكها واخراج القوالب منها بعد الصب ثم يوضع الهيكل التسليح الحديدي داخل القالب ولضمان المحافظة على الغطاء الخرساني يتم وضع نماذج مكعبة من مونة الاسمنت وبسمك (25) ملم بين قضبان التسليح واوجه القالب الداخلية .

بعد ذلك تبدا عملية التحضير للخلطة الخرسانية بحساب كميات المواد المطلوبة للخليط باستخدام الميزان الالكتروني والتي تشمل كلا من الاسمنت والرمل والحصى والماء حيث يوضع الحصى والرمل اولا داخل المزجة ثم يضاف الاسمنت والالياف بنسبها المختلفة (0,0.5,0.75,1.0) % وتخلط المواد وهي جافة بعد ذلك يضاف الماء تدريجيا مع استمرار المزج لحين الحصول على خليط متجانس بعد ذلك تملا القوالب بالخرسانة وترص باستخدام هزاز منضدي تبلغ سرعته 3000 هزة /دقيقة. يترك النموذج 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 (0.5/ 4: 2 :1) (الماء: الحصى: الرمل: الاسمنت) مع مراعاة تغير نسب الالياف المضافة لكل خلطة وكما موضح في الاشكال (٢ و٣).

شكل رقم (1) المواد المستخدمة في عملية الصب

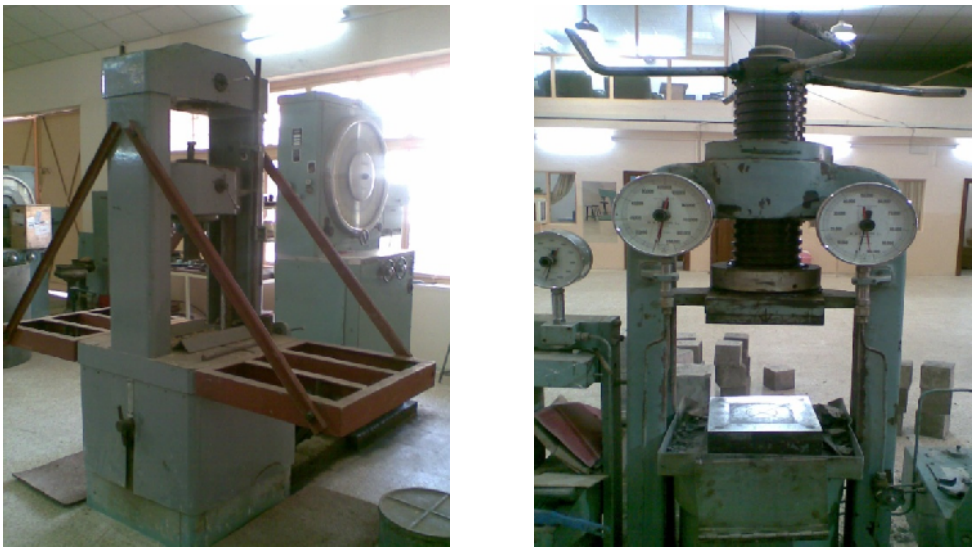
شكل (2) خطوات عملية الصب والقوالب المستخدمة



شكل(3) مخطط يوضح ابعاد النموذج المستخدم مع اماكن تسليط الحمل

الاجهزة المستخدمة في الفحص:

تم استخدام جهاز فحص الانضغاط والشد في فحص النماذج وكذلك تم تثبيت مقياس لقياس ا **لانغل** (strain gage) الناتج عن تسليط الاحمال المتكررة على العتبات، اما بالنسبة للاسطوانات القياسية فقد تم فحصها بواسطة جهاز فحص الانضغاط وكما موضح في الشكل رقم (4).



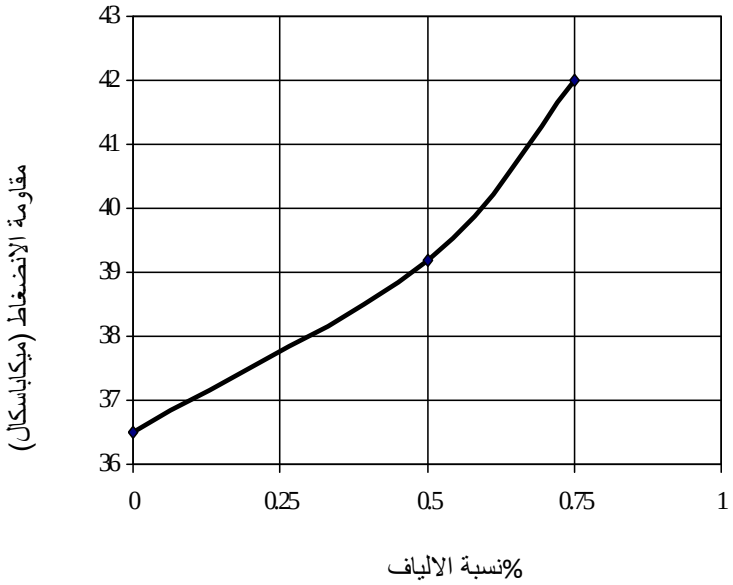
شكل (4) الاجهزة المستخدمة في الفحص

المناقشة والاستنتاج:

١-تم فحص اسطوانات قياسية بابعاد(150 x 300) ملم من نفس الخلطة التي تم صب النماذج الرئيسية منها وكانت النتائج كما موضح بالجدول رقم (١):

جدول رقم (1) يبين مقاومة الانضغاط للاسطوانات القياسية مع النسبة المئوية للالياف

نسبة الالياف	حمل الفشل (طن)	مقاومة الانضغاط (ميكاباسكال)
0%	65.5	٣٦.٥
0.5%	70.5	٣٩.٢
0.75%	75.5	٤٢



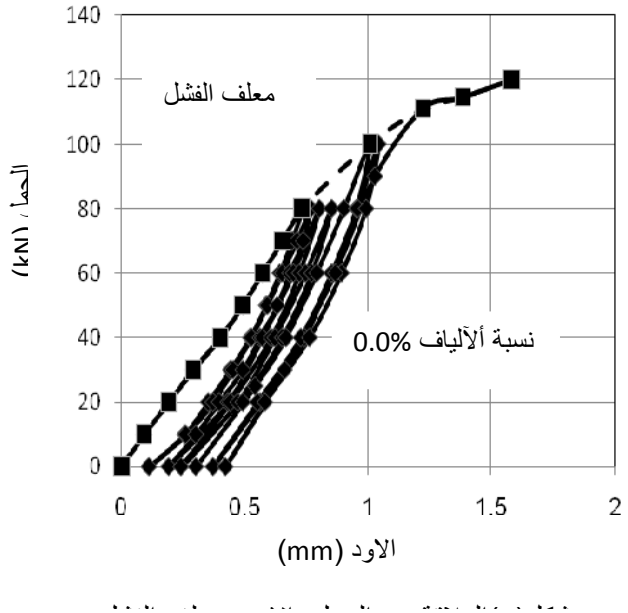
شكل(5) العلاقة بين مقاومة الانضغاط للاسطوانات القياسية مع النسبة المئوية للالياف

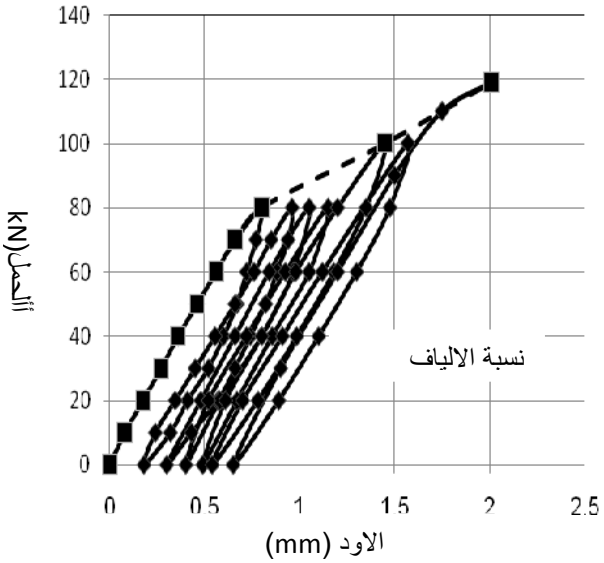
1.

من النتائج اعلاه نلاحظ ماياتي:

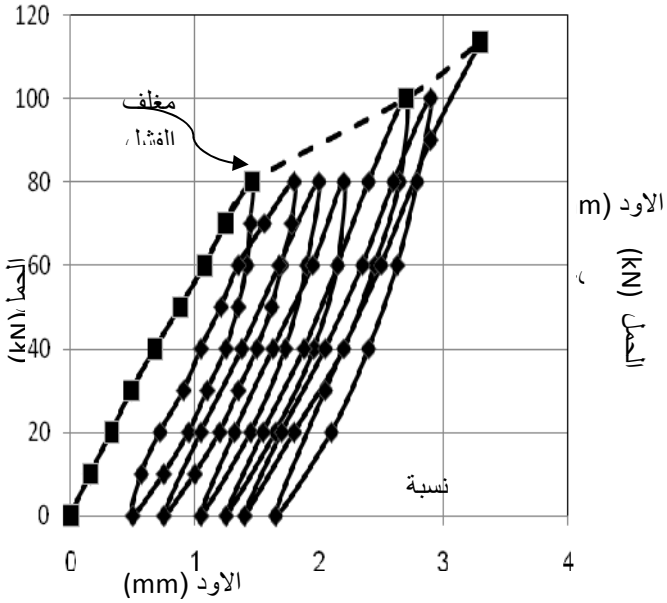
١. زيادة مقاومة الانضغاط بالنسبة الى نسب الالياف **المضافة** والتي تعزى الى وجود الالياف داخل الخلطة الخرسانية.
٢. . نلاحظ ان وجود الالياف له تاثيرقليل في زيادة مقاومة الانضغاط ولكن التاثير الكبير للالياف هو في زيادة الاود في مراحل الفشل النهائية وهذا واضح من خلال **الاشكال** (6 ، ٧ ،٨ **و**٩) حيث ان اضافة الالياف تؤدي الى زيادة المطيلية وبالتالي زيادة الاود وهذا حسب عدة بحوث ومنها [9] حيث ان زيادة الاود ناتجة من زيادة ال(strain capacity).

٢- تم فحص عتبات خرسانية مسلحة بابعاد(160x150x1000) ملم والحصول على النتائج التالية:

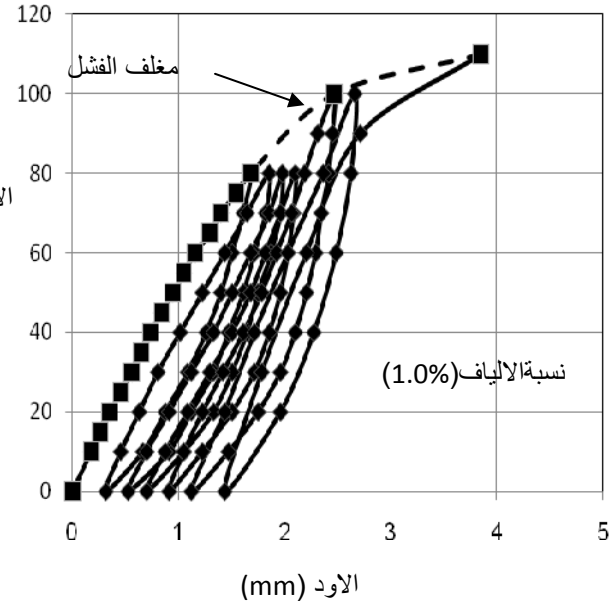




نسبة الالياف (0.0%)



شكل(8)العلاقة بين الحمل – الاود ومغلف الفشل

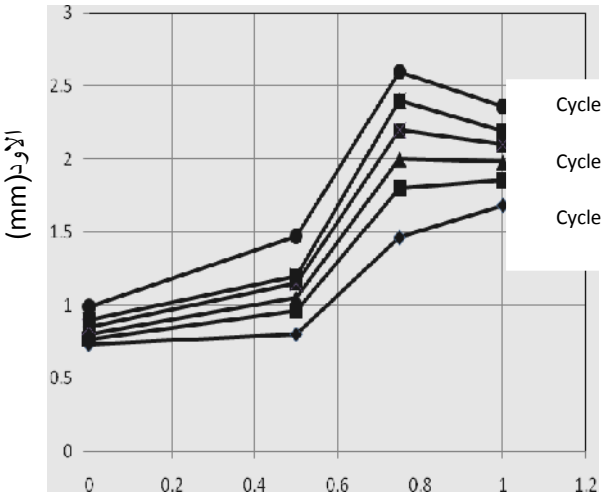


شكل(9) العلاقة بين الحمل –الاود ومغلف الفشل

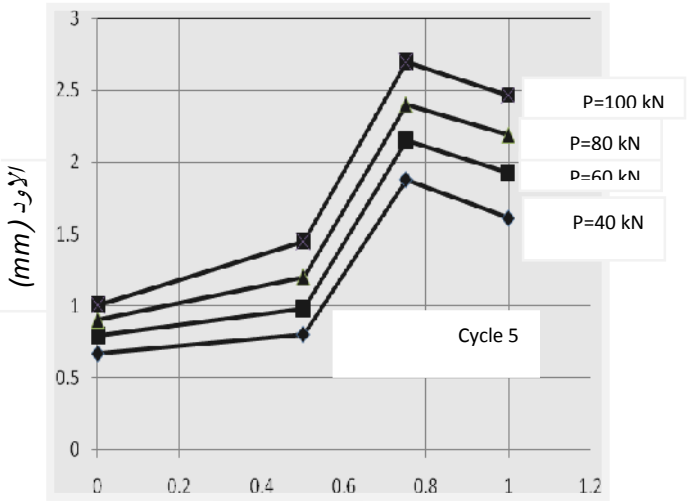
من خلال الاشكال (6، ٧ ،٨ و٩) يتبن زيادة في مقدار الاود (deflection) مع زيادة نسبة الالياف وذلك لان الالياف تعمل على زيادة المطيلية للخرسانة. اضافة الى زيادة الانفعال في مراحل الفشل النهائية كنتيجة لوجود الالياف اذا نلاحظ ازدياد الانفعال الناتج كلما زادت نسبة الالياف المضافة الى الخرسانة.

كذلك نلاحظ من النماذج التي تم فحصها تحت تاثير الاحمال المتكررة ان هناك ازاحة عمودية متبقية عند زوال الحمل كليا بالاضافة الى بقاء جزء من الاجهادات وذلك نتيجة لحدوث الانفعالات اللدنة من عملية تسليط الحمل المتكرر ورفعه.

الشكل رقم (10) يمثل العلاقة بين نسبة الالياف مع الاود بثبات الحمل ولدورات تحميل مختلفة، وتم الاخذ بنظر **الاعتبار الاود عند الحمل** (80kN)، ويلاحظ انه بزيادة عدد الدورات المسلطة على النموذج يزداد الاود لنفس النسبة من الالياف دون ان يكون لهذه الالياف تاثير كبير على مقاومة الانضغاط.



شكل(10) تأثير عدد الدورات على الاود المتبقي

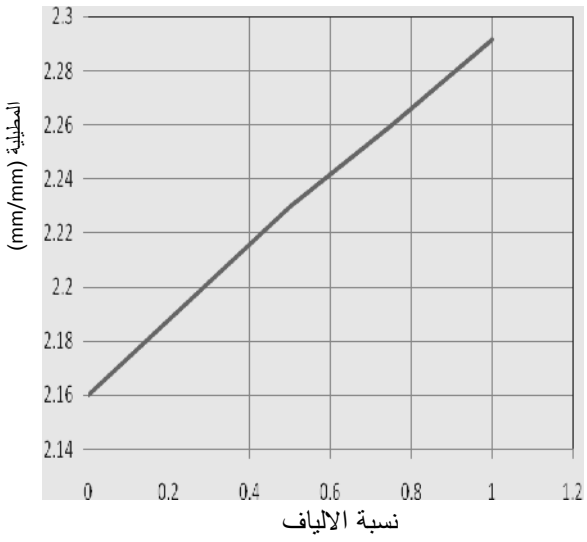


شكل(11) تاثير الاحمال المتكررة على الاود

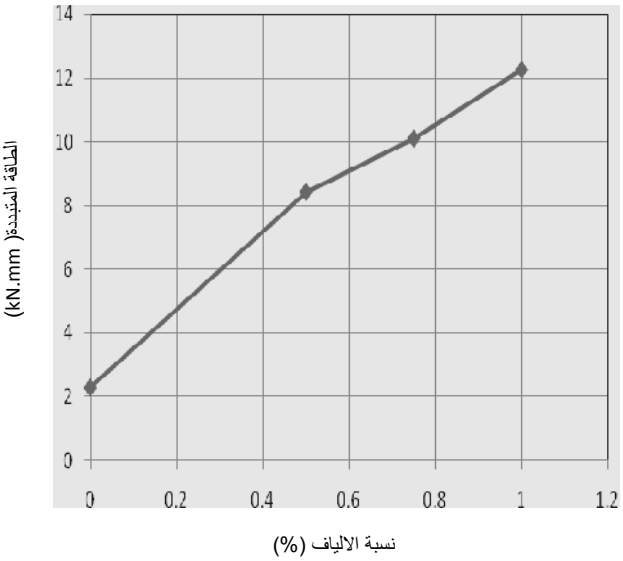
الشكل (١١) يمثل العلاقة بين نسبة الالياف مع الاود لاحمال مختلفة ولنفس الدورة ولنسب الالياف المختلفة، وتم الاخذ بنظر الاعتبار الاود عند الدورة الخامسة، ويلاحظ انه بزيادة الاحمال المسلطة على النموذج يزداد الاود لنفس النسبة من الالياف.

ونتيجة للتحميل المتكرر، يتعرض العضو الخرساني الى نقصان في المطيلية، ويمكن تعريف المطيلية بأنها النسبة بين الاود عند اقصى مقاومة (Ultimate) **الى الاود عند الخضوع** (Yield)، او قابلية العضو على **التشوه اللدن بدون فشل. ومن الشكل رقم** (12) نلاحظ زيادة المطيلية بزيادة نسبة الالياف، كونها تعمل على زيادة الاود الناتج خصوصا في مراحل الفشل النهائية.

نلاحظ ايضا ان المطيلية تزداد كما يزداد الاود وتقل الجساءة وذلك بسبب السحق الذي يحدث في النموذج نتيجة لدورات التحميل التي يتعرض لها.



شكل(12)العلاقة بين نسبة الالياف والمطيلية



شكل(13) العلاقة بين نسبة الالياف والطاقة المتبددة

عند التحميل ورفع التحميل، لا يتبع المنحني الصاعد نفس مسار المنحني النازل، والفرق بين المنحنيين يمكن تعريفه بأنه مقدار الطاقة المتبددة او المفقودة والناتجة من عملية التحميل ورفع التحميل (ويمكن ملاحظتها في الاشكال (6 ، ٧ ،٨ و٩) ، ومن الشكل (13) يمكن ملاحظة زيادة الطاقة المتبددة او المفقودة بزيادة نسبة الالياف كون الالياف تعمل على تكوين شقوق متعددة نتيجة لوجودها داخل الخرسانة، مما يؤدي الى تشتيت كمية اكبر من الطاقة.

ومن خلال النتائج اعلاه يمكننا ملاحظة ما يلي:

١. زيادة في مقدار الاود مع زيادة نسبة الالياف وبمقدار(١٢٧.٢% لنسبة الالياف ٠.٥ %و٢٠٨.٨% لنسبة الالياف ٠.٧٥% و٢٤٣% لنسبة الالياف ١%)
٢. وجود ازاحة عمودية متبقية عند زوال الحمل كليا بالاضافة الى بقاء جزء من الاجهادات وذلك نتيجة لحدوث الانفعالات اللدنة من عملية تسليط الحمل المتكرر ورفعه.
٣. زيادة المطيلية بزيادة نسبة الالياف، كونها تعمل على زيادة الاود الناتج خصوصا في مراحل الفشل النهائية وبمقدار(١٠٣.٢% لنسبة الالياف ٠.٥ %و١٠٤.١٦% لنسبة الالياف ٠.٧٥% و١٠٦% لنسبة الالياف ١%).
٤. تقل الجساءة بزيادة عدد دورات التحميل وذلك بسبب السحق الذي يحدث في النموذج نتيجة لتكرار التحميل ورفعه في كل دورة.

٥. زيادة الطاقة المتبددة او المفقودة بزيادة نسبة الالياف كون الالياف تعمل على تكوين شقوق متعددة نتيجة لوجودها داخل الخرسـانة، مما يؤدي الى تشتيت كمية اكبر من الطاقة **وبمقدار**(٣٩٠% لنسبة الالياف ٠.٥ %و٤٨٥% لنسبة الالياف ٠.٧٥% و٥٨٠% لنسبة الالياف ١%).

المصادر:

1. Sinha, B.Y and Hsu, Cheng –Tzu , "Stress-Strain Behavior of Concrete under Cyclic loading ",ACI Materials Journal , Vol. .95, No. 2 , March-April 1998,pp.178-193

2. Agrawal,G.L.,Tulinnd Gerstle,K.H,"Response of Doubly Reinforced Concrete Beams to Cyclic Loading ",ACI Journal ,Proceeding, Vol. 66,No.9,sep 1969 ,pp.832-835.

3. Al –Sulayfani, Bayar J.," Contribution A L'etude Comportement Des Ossatures En Beton Arme Sous Solicitations Cycliques Analysis Non-Linear Globale", Docteur De L' Université De Nantes, Sepecialite Genie civil, No.87-St,1986.

4. Thammanoon Denpongpan, "Effect of Reversed Loading on Shear Behavior of Reinforced Concrete", A Dissertation Submitted To Kochi University of Technology In Partial Fulfillment of Requirements For The Degree of Master of Engineering, January, 2001.

5. Hyo - Gyoung Kwak and Sun – Pil Kim, "Nonlinear Analysis of R.C. Beam Subjected to Cyclic Loading", Journal of Structural Engineering,vol.127,No.12, Des. 2001, PP.1436-1444.

6. Synder, M. and Lankard, D.R., "Factors Affecting the Flexural Strength of Steel Fibers Concrete ", ACI Journal, proceeding, Vol.69, No.2, Feb. 1972,pp.96-100.

7. Sakai, M. and, Nakamura ,N., "Analysis of Flexural Behavior of steel fiber Reinforced Concrete "proceeding ,RILEM Symposium RC 86 on Development in fiber Reinforced cement and concrete,Vol.1, RILEM Technical Committee 49-TFR,July 1986 ,pp.27-34.

8. British Standards Institute, B.S:1983"Aggregates from Natural Sources for Concrete".

9. Shah, R., Mishra,S., "Crack and Deformation Charachteristics of SFRC Deep Beams", IE (1) Journal CV ,Vol. 85 ,May ,2004 ,pp.44-48.