

معايير الكسر للعتبات الخرسانية المسلحة كلياً وجزئياً بألياف البولي بروبيلين

سامر سامي مجيد

مدرس مساعد

جامعة الموصل / كلية الهندسة / قسم هندسة الموارد المائية

الخلاصة

إشتمل البحث على دراسة عملية لبعض الخصائص الميكانيكية التي تضمنت مقاومة الإنضغاط ومقاومة الشد الإنشطاري ومعامل المرونة لمزجة خرسانية بنسب مزج وزنية (1 : 1.5 : 2 / 0.35) مدعمة بألياف البولي بروبيلين بنسب حجمية الكسر (0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.0%, 1.25%) ومقارنتها مع الخرسانة الإعتيادية. كما تضمن البحث فحص معايير الكسر وأقصى إنحراف لعتبات خرسانية بأبعاد (500×100×100) ملم مدعمة بألياف البولي بروبيلين بنفس النسب الحجمية المذكورة ولعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية والنصف الآخر خرسانة إعتيادية ومقارنته مع معايير الكسر وأقصى هبوط لعتبات خرسانية إعتيادية

Modulus of Rupture of Fully and Partially Reinforced Concrete Beams With Polypropylene Fibers

Samer Sami Majeed

Assist. Lecturer

Mosul University / Engineering college/ Department of water resources engineering

samir_sami_63@yahoo.com

Abstract

In this research an experimental study was conducted to explore some mechanical properties such as compressive strength and splitting tensile strength and modulus of elasticity of concrete mix with weighted mixed portions (1 : 1.5 : 2 / 0.35) reinforced with polypropylene fibers by (0.25%, 0.50%, 0.75%, 1.0%, 1.25%) as volume percentage comparing with normal concrete. Research also contain testing modulus of rupture and maximum deflection of polypropylene concrete beams with dimensions (100×100×500) mm with the same volume percentage and concrete beams with half depth fibrous concrete and the other half normal concrete and comparing with the modulus of rupture and maximum deflection of normal concrete beams.

Keywords: Compressive and Tensile strength, Deflection in beams, Modulus of elasticity, Modulus of rupture, Polypropylene fiber.

المقدمة :-

شهدت المنشآت الخرسانية تقدماً ملحوظاً باستخدام خرسانة ذات مواصفات خاصة منتجة باستخدام مضافات معينة تضاف أثناء مزج الخرسانة لتحسين مقاومة الخرسانة وزيادة ديمومتها وإتاحة المجال للمصمم لتقليل أبعاد العناصر الإنشائية في المنشآت الخرسانية المستخدمة فيها ، لهذا شاع استخدامها في المباني ذات الارتفاع العالي والفضاءات الواسعة وغالباً ما يتم تعزيز هذه الخرسانة بالألياف كالألياف الزجاجية والفولاذية والألياف البولي بروبيلين بسبب دورها في زيادة قابلية تبديد الطاقة وتقليل التشققات وتحويل الفشل في الخرسانة من فشل قصف مفاجيء إلى فشل مرن تدريجي وتحسين مقاومة الإنضغاط والشد والإنحناء للخرسانة [1]. في هذا البحث تم إختيار مزجة خرسانية بنسب وزنية (1:1.5:2/0.35) مدعمة بألياف البولي بروبيلين بنسب حجمية (0.0,0.25,0.50,0.75,1.0,1.25) % لدراسة تأثير إضافة الألياف على معامل المرونة ومقاومة الخرسانة للإنضغاط والشد والإنحناء. أجري عدد من البحوث والدراسات في هذا المجال منها البحث الذي أجراه الباحثان (Guirguis & Potter) [1] عام 1985 على نماذج خرسانية مدعمة بألياف البولي بروبيلين بنسبة حجمية (0.1%) حيث أظهرت النتائج إنخفاض الهطول في الخرسانة اللبيفية الطرية مقارنة بالخرسانة الاعتيادية وكذلك إنخفاض إنكماش الجفاف بعد التصلب وزيادة في مقاومة الإنضغاط والإنحناء والإنفلاق. أجرى الباحثين (Ezzat, Mohamed, May) [2] عام 2003 دراسة حول الترابط والتفاعل المزدوج بين ألياف البولي بروبيلين ومادة غبار السليكا داخل المزيج الخرساني، أجريت الدراسة على (24) مزجة خرسانية في الحالة الطرية وما بعد التصلب وتم دراسة الديمومة الكيميائية والنفاذية وأشكال التشقق الحاصل في الخرسانة وظروف بيئية مختلفة، كانت النسبة الحجمية للألياف المستخدمة (0.0,0.1,0.3,0.5) % ونسب الماء إلى الأسمنت (0.35,0.4,0.5) وكمية الأسمنت (420) كغم/ م³ ونسب غبار السليكا تتراوح بين (0 - 10) % ووجدوا أن كلاً من الألياف وغبار السليكا يقلل من الهطول في الحالة الطرية للخرسانة ويزيد من مقاومة الإنضغاط والإنحناء ويقلل النفاذية وكثافة وطول وعرض التشققات ووجدوا أن أفضل نسبة إضافة حجمية للألياف لزيادة عن (0.3%) ولغبار السليكا بحدود (10%). أجرى الباحثان (Khayat & Hwang) [3] عام 2008 دراسة على مزجة خرسانية ذاتية الرص مدعمة بألياف البولي بروبيلين ووجدوا أن النسبة الحجمية للألياف (0.25%) تزيد قيمة معامل شد الزحف (Tensile Creep Coefficient) بمقدار (55%) وكذلك زيادة الوقت المستغرق لظهور التشققات الناتجة عن إنكماش الجفاف من (5.2) إلى (8.3) يوم. أجرى الباحثان (Chin, Xiao) [4] عام 2009 دراسة مختبرية على عتبات خرسانية مسلحة بقضبان حديدية قطر (8 mm) وإجهاد خضوع (424 MPa) ومدعمة بألياف البولي بروبيلين بطول (5 mm) وقطر (0.9 mm)، أبعاد العتبات كانت بنسبة طول إلى عمق ثابتة وهي (2.57) وبعمق مؤثر (135.4 mm)، أظهرت الدراسة أن إضافة الألياف زاد من مقاومة الخرسانة للشد ومقاومة القص للعتبات الخرسانية المسلحة كما أن التشققات كانت محدودة ومنظمة التوزيع. أجرى الباحث (subhashini) [5] عام 2010 دراسة عملية على صفائح خرسانية مسلحة بقضبان من ألياف البوليمر ومدعمة بألياف البولي بروبيلين بنسب حجمية (0.5%, 1%) وبطول (2.25) إنج، فحصت الصفائح بتسليط الضغط في أربعة مواقع ووجد أن مقاومة الإنضغاط زادت بمقدار (8%) مقارنة بالصفائح الخرسانية غير المدعمة بالألياف. أجرى الباحثين (Witold, Osman, Fernando & Gonzalo) [6] عام 2011 دراسة على مزجة خرسانية مدعمة بألياف البولي بروبيلين معرضة للأشعة كما ووجدوا أن المزجة الخرسانية المدعمة بألياف البولي بروبيلين بنسبة حجمية (1.5%) والمعرضة للأشعة بدرجة (50 KGY) أعطت مقاومة إنضغاط أعلى بمقدار (19%) ومعامل مرونة أعلى بمقدار (7.3%) من مزجة غير معرضة للأشعة وهذا يرجع إلى أن الطاقة الأيونية تزيد الإتصال السطحي بين مكونات المزجة وعجينة السمنت. أجرى الباحثين (Martinee, Brostow, Ozel, Gencel) [7] عام 2011 دراسة مختبرية على مزجة خرسانية ذاتية الرص مدعمة بالغبار المتطاير (Fly Ash) وألياف البولي بروبيلين حيث كان محتوى الأسمنت في المزجة الأولى (350) كغم / م³ والثانية (450) كغم / م³ ومحتوى الألياف (0, 3, 6, 9, 12) كغم / م³ نسبة الماء إلى الأسمنت (0.4) محتوى الغبار المتطاير (120) كغم / م³ ونسبة الملدن (1%) من وزن الأسمنت. أظهرت الدراسة إنخفاض في وحدة الوزن للخرسانة بزيادة كمية الألياف وزيادة في مقاومة الإنضغاط والإنفلاق والإنحناء لغاية محتوى ألياف (9) كغم / م³.

المواد المستخدمة :-

1- الاسمنت :- في هذا البحث تم استخدام أسمنت عراقي محلي تتم صناعته في محافظة نينوى نوع بادوش وهو من نوع أسمنت بورتلاند الإعتيادي مطابق للمواصفة القياسية العراقية (5) (IQS No 5) [8] والجدول (1) يوضح الخواص الفيزيائية للأسمنت المستخدم.

جدول (1) المواصفات الفيزيائية للأسمنت

المواصفة (IQS:5/1984)	النتيجة	الفحص
45 min (Min)	210	وقت التماسك الإبتدائي (min)
600 min (Max)	330	وقت التماسك النهائي (min)
10 % (Max)	5	النعومة (%)
مقاومة الإنضغاط (MPa)		
16 MPa (Min)	21	3 Days
24 MPa (Min)	28.5	7 days

2- الركام الناعم (الرمال) :- تم استخدام رمل نهري والتحليل المنخلي له موضح في الجدول رقم (2) وجد انه يقع ضمن الحد العام للمواصفة البريطانية (B.S 882:1992) [9]. إذ 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%).

جدول (2) نتائج التحليل المنخلي للرمال

المناخل	المارة %	حدود المواصفة % (B.S 882-1992)	حدود إضافية (B.S 882-1992) %		
			خشن	متوسط	ناعم
(No.4)	100	100-89	-----	-----	-----
(No.8)	86	100-60	100-60	100-65	100-80
(No.16)	70	100-30	100-30	100-45	100-70
(No.30)	49	100-15	54-15	80-25	100-55
(No.50)	17	70-5	40-5	48-5	70-5
(No.100)	4	15-0	-----	-----	-----

3- الركام الخشن (الحصى) :- الحصى المستخدم في البحث هو حصى نهري والمسمى محلياً (البحص) ذو شكل مكور والمقاس الأقصى له هو (12.5) ملم ومن خلال التحليل المنخلي وجد أنه مطابق للمواصفة البريطانية (B.S.882: 1992) [9] ونتائج التحليل المنخلي له مبينة في جدول (3).

جدول (3) نتائج التحليل المنخلي للحصى

حجم المناخل (mm)	المارة %	حدود المواصفة (B.S 882-1992) %
12.5	97.4	90 – 100
10	57.4	50 – 85
5	2.1	0 – 10
2.36	1	-----

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

5- ألياف البولي بروبيلين :- تم استخدام ألياف البولي بروبيلين نوع (Sika Fiber) شكل (1) بنسب حجمية (0.25,0.50,0.75,1.0,1.25) % على التوالي كما ورد في جدول (6), والخواص موضحة في جدول (4).

جدول (4) خواص ألياف البولي بروبيلين

شكل المقطع	طول الليف (mm)	مقاومة الشد (N/mm ²)	معامل المرونة (N/mm ²)	الوزن النوعي (gm/cm ³)
مستطيل	50	350	3500	0.91



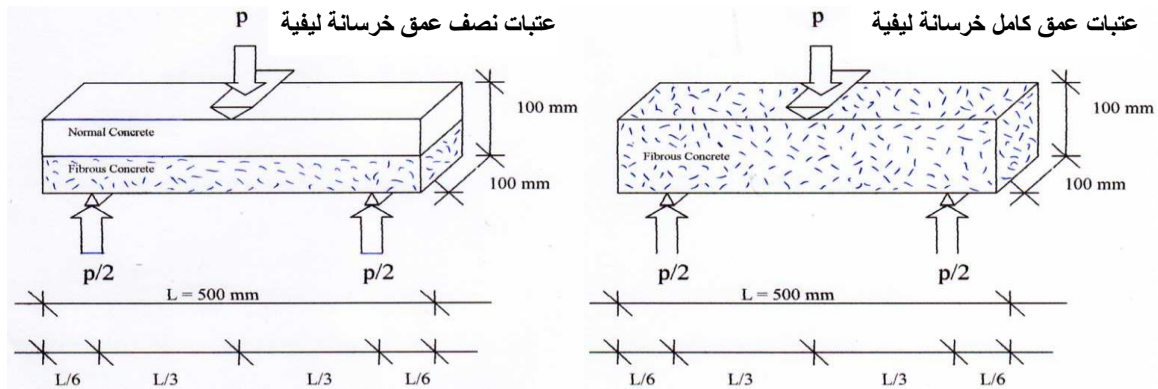
Polypropylene

6- الملدن :- الملدن المستخدم ذو أداء عالي من نوع (Hyperplast PC 200) ذو وزن نوعي (1.05 ± 0.02) . نسبة الإضافة (1%) من وزن الأسمنت لغرض خفض نسبة الماء إلى الأسمنت وتقليل مشاكل انفصال الركام ومشاكل النزف في الخرسانة عن طريق تحسين إلتصاق مكونات المزجة والحصول على مقاومة إنضغاط مبكرة عالية وزيادة قابلية التشغيل والدوام ومقاومة العوامل الجوية وتقليل نفاذية الخرسانة.

طريقة صب وفحص النماذج الخرسانية :-

شكل (1) ألياف البولي بروبيلين المستخدمة في البحث

تم اعتماد المزجة الخرسانية ذات النسب الوزنية $(1:1.5:2/0.35)$ في هذا البحث. إن عملية صب النماذج تبدأ بعد تنظيف قوالب الصب جيداً ومن ثم تدهن القوالب من الداخل بطبقة خفيفة من الزيت لتسهيل تفكيكها وإخراج النماذج منها ومنع إلتصاق النماذج بالقوالب المعدنية. ثم التحضير للخلطة الخرسانية حيث تحسب كميات المواد المطلوبة للخليط وذلك باستخدام الميزان الإلكتروني وتشمل المواد كل من الأسمنت والرمل والحصى والماء إضافة إلى المادة الملدنة والتي تم إضافتها بنسبة (1%) من وزن الأسمنت وألياف البولي بروبيلين بالنسب الحجمية التالية $(0.0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25)$ % . في البداية يوضع الحصى والرمل داخل المازجة ثم يضاف الأسمنت وتخلط المواد وهي جافة بعد ذلك يضاف الملدن إلى الماء ويمزج جيداً ويضاف مزيج الماء والملدن إلى المزيج الجاف بشكل تدريجي مع إستمرار المزج لحين الحصول على خليط متجانس ثم تضاف الألياف بصورة تدريجية مع إستمرار دوران المازجة إلى أن يتجانس المزيج ثم تملأ القوالب بالخرسانة ويتم رصها بإستخدام هزاز منضدي تبلغ سرعته 3000 هزة / دقيقة. تترك النماذج في جو المختبر لمدة (24) ساعة بعدها يتم إستخراج النماذج بفتح القوالب وتوضع في أحواض الماء لمدة (28) يوم لكي تكون جاهزة للفحص، لكل مزجة خرسانية تم صب ثلاثة مكعبات قياس $(100 \times 100 \times 100)$ ملم لفحص مقاومة الإنضغاط للخرسانة [10] وثلاثة إسطوانات قياس (200×100) ملم لفحص مقاومة الإنفلاق للخرسانة [11] وستة عتبات قياس $(500 \times 100 \times 100)$ ملم لأيجاد العلاقة بين الحمل والانحراف في وسط العتبة وكذلك إيجاد معايير الكسر [12] ثلاثة عتبات منها تم صبها بعمق كامل خرسانة ليفية وثلاثة أخرى بنصف عمق خرسانة ليفية ونصف عمق خرسانة إعتيادية حيث تم صب نصف سمك العتبة بمزيج خرسانة قبل إضافة الألياف وإكمال صب النصف الثاني من العتبة بمزيج خرسانة بعد إضافة الألياف إليها وكذلك صب ثلاثة إسطوانات قياس (300×150) ملم لفحص معامل المرونة لكل مزجة خرسانية [13]. تم تثبيت وفحص العتبات بطريقة معايير الكسر [12] بتسليط حمل مركزي منفرد (Center-Point Loading) بمعدل ثابت في مركز العتبة وقياس الانحراف الناتج عن الحمل (Deflection) لكل مرحلة من مراحل تسليط الحمل إلى أن يحصل الفشل بإستخدام مؤشر موضوع أسفل منتصف العتبة يقيس الانحراف بالتدريجات ومن ثم يتم تحويل القراءة إلى (ملم) والشكل (2) يوضح شكل وآلية الفحص.



شكل (2) شكل وآلية الفحص

النتائج والمناقشة :-

1. مقاومة الإنضغاط (Compressive Strength) :-

تم حساب مقاومة الإنضغاط من فحص ثلاثة مكعبات بأبعاد (100×100×100) ملم لكل مزجة خرسانية (ASTM C109 / C109M - 11a) [10] وإعتماد معدل فحص النماذج الثلاثة. من الشكل (3) والجدولين (5,6) يلاحظ زيادة في مقاومة الإنضغاط بالنسب المئوية التالية (25.2,20.4,10.7) % مع زيادة النسبة الحجمية لألياف البولي بروبيلين المضافة للمزجة الخرسانية كما يلي (0.75,0.5,0.25) % بعدها تقل النسبة المئوية للزيادة في مقاومة الإنضغاط كالتالي (-) (14.2,11) % مع زيادة النسبة المئوية الحجمية للألياف بالنسب التالية (1.25,1) %.

2. مقاومة الإنفلاق (Splitting Strength) :-

تم حساب مقاومة الإنفلاق من فحص ثلاثة إسطوانات بأبعاد (200×100) ملم لكل مزجة خرسانية (ASTM C496 / C496M - 04e1) [11] وإعتماد معدل فحص النماذج الثلاثة. من الشكل (4) والجدولين (5,6) يلاحظ زيادة في مقاومة الإنفلاق بالنسب المئوية التالية (39.5,33.4,16.9) % مع زيادة النسبة الحجمية لألياف البولي بروبيلين المضافة للمزجة الخرسانية كما يلي (0.75,0.5,0.25) % بعدها تقل النسبة المئوية للزيادة في مقاومة الإنفلاق كالتالي (-) (5.1,9.8) % مع زيادة النسبة المئوية الحجمية للألياف بالنسب التالية (1.25,1) %.

3 الكسر (Modulus of Rupture) :- معايير

تم قياس قيمة معايير الكسر ومقدار الانحراف من خلال فحص ستة عتبات خرسانية بأبعاد (500×100×100) ملم لكل نسبة حجمية للألياف المضافة (ASTM C293 / C293M - 10) [12] ثلاثة عتبات بعمق كامل خرسانة ليفية وثلاثة أخرى بنصف عمق خرسانة ليفية ونصف عمق خرسانة إعتيادية. الشكل (5) والجدولين (5,6) توضح زيادة في قيمة معايير الكسر بالنسب المئوية التالية (52.8,15.2,2.7) % للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية وبالنسب المئوية التالية (35.9,26.4,3.2) % للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية مع زيادة النسب الحجمية لألياف البولي بروبيلين المضافة للمزجة الخرسانية كما يلي (0.75,0.5,0.25) % بعدها تقل النسب المئوية للزيادة في قيمة معايير الكسر كالتالي (35.1,35.9) % للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية وكالتالي (29.7,35.4) % للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية مع زيادة النسب المئوية الحجمية للألياف المضافة بالنسب التالية (1.25,1) % . إن التحسن الذي يطرأ على صفات الخرسانة بعد إضافة الألياف كالزيادة في مقاومة الإنضغاط والإنفلاق ومعايير الكسر يرجع إلى كون التوزيع العشوائي للألياف داخل المادة الخرسانية يجعل نسبة معينة من الألياف تتقاطع وتتعامد مع التشققات ومستويات الفشل الحاصلة بتأثير الإجهادات المسلطة على العضو الخرساني ويظهر التأثير الأيجابي للألياف واضحا في المراحل المتقدمة من تسليط الحمل أي قبل حدوث الفشل حيث تساهم الألياف في التقليل من كثافة وإمتداد واتساع التشققات الحاصلة وهذا يؤدي بدوره إلى إستمرار العضو الخرساني بتحمل الإجهادات حتى بعد حدوث التشققات.

4. الإنحراف في مركز العتبة (Deflection in Center of Beam) :-

تم في هذا البحث قياس وتسجيل الإنحراف الحاصل في مركز العتبة لكل مرحلة من مراحل تسليط الحمل بإستخدام مؤشر موضوع أسفل منتصف العتبة يقيس الهبوط بالتدرجات ومن ثم يتم تحويل القراءة إلى (مليمتر). الشكل (6) والجدولين (6,5) توضح حدوث زيادة في قيمة أقصى إنحراف يحصل في وسط العتبة قبل حدوث الفشل بالنسب المئوية التالية (120,80,40) % للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية وبالنسب المئوية التالية (100,80,20) % للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية مع زيادة النسب الحجمية لألياف البولي بروبيلين المضافة للمزجة الخرسانية كما يلي (0.75,0.5,0.25) % بعدها تقل النسب المئوية للزيادة في قيمة الهبوط كالتالي (20,20) % وتستقر عند هذه النسب للعتبات بعمق كامل ونصف عمق خرسانة ليفية مع زيادة النسب المئوية الحجمية للألياف المضافة بالنسب التالية (1.25,1) % . الأشكال (10) إلى (15) توضح العلاقة بين الحمل المسلط والإنحراف في وسط العتبة لثلاثة عتبات لكل نسبة ألياف وتوضح الأشكال (16) إلى (20) نفس العلاقة لكن لعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية والنصف الآخر خرسانة إعتيادية. يوضح الشكل (21) العلاقة بين معدل الحمل المسلط ومعدل الإنحراف في وسط العتبة لثلاثة عتبات لكل نسبة إضافة للألياف. كما يوضح الشكل (22) نفس العلاقة السابقة ولكن لعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية والنصف الآخر خرسانة إعتيادية. الشكل (23)

هو عبارة عن دمج بين الشكلين (21) و (22) لتوضيح ومقارنة سلوك العتبات بعمق كامل وبنصف عمق خرسانة ليفية ويلاحظ أن منحنيات العلاقة بين الحمل المسلط والانحراف للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية تقع أسفل منحنيات العتبات بعمق كامل خرسانة ليفية أي أن قيم المقاومة والانحراف والمطاوعة التي توفرها أقل من مثيلاتها بعمق كامل خرسانة ليفية ولنفس النسب الحجمية للألياف في المزجة.

5. معامل المرونة (Modulus of Elasticity) :-

تم حساب معامل المرونة من فحص ثلاثة إسطوانات بأبعاد (300×150) ملم لكل مزجة خرسانية (/ ASTM C469 10 – C469M) [13] وإعتماد معدل فحص النماذج الثلاثة. من الشكل (7) والجدولين (6,5) يلاحظ زيادة في قيمة معامل المرونة بالنسب المئوية التالية (10.2,8.9,4.7) % مع زيادة النسبة الحجمية لألياف البولي بروبلين المضافة للمزجة الخرسانية كما يلي (0.75,0.5,0.25) % بعدها تقل النسبة المئوية للزيادة في قيمة معامل المرونة كالتالي (-) 4.2,-16.9) % مع زيادة النسبة المئوية الحجمية للألياف بالنسب التالية (1.25,1) %.

6. العلاقة بين الإجهاد والإنفعال (Relationship Between Stress and Strain) :-

توضح العلاقة بين الإجهاد والإنفعال لكل مزجة أن وجود الألياف أعطى مقاومة أكبر ومرونة ومطاوعة أكثر للنماذج إلى حد نسبة مزج (0.75%) بعدها قلت مقاومة النماذج مع إستمرار الزيادة في المرونة والمطاوعة بإستمرار الزيادة في النسبة الحجمية للألياف، الشكل (8).

7. المساحة تحت منحنى الحمل – الإنحراف (Area under load - deflection curve) :-

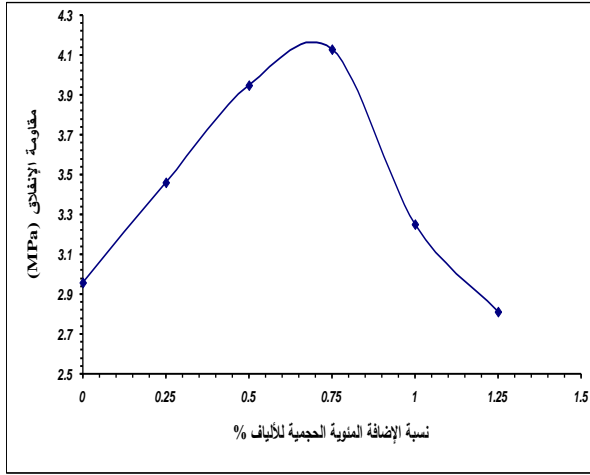
تعد الخرسانة الإعتيادية مادة قصفة (Brittle Material) ولهذا السبب تضاف الألياف إلى الخرسانة لتحسين المطيلية (Ductility) أو قابلية المادة على إمتصاص كل الطاقة في المجال المرن واللدن لحين إكتمال فشل العضو الخرساني ويعد هذا دليلاً على تحمل المادة للتشقق المتدرج [14]. إن المساحة الواقعة تحت منحنى العلاقة بين (الحمل – الإنحراف) لفحص الإنحناء (Load – Deflection Curve of Flexural Test) يمكن أن تعتبر قياساً للمطيلية ولهذا السبب تم حساب المساحة تحت المنحني لجميع العلاقات التي تربط بين الحمل والانحراف للعتبات بعمق كامل وبنصف عمق خرسانة ليفية كما في الجدول (7) والشكل (9) ويلاحظ أن المساحة تحت المنحني تزداد إلى حد نسبة إضافة مئوية حجمية للألياف (0.75) % وتبلغ نسبة الزيادة (289) % للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية و (98) % للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية وبعد هذه النسبة تبدأ القيم بالإنخفاض.

جدول (5) تغير مواصفات الخرسانة بتغير النسب المئوية الحجمية للألياف المضافة

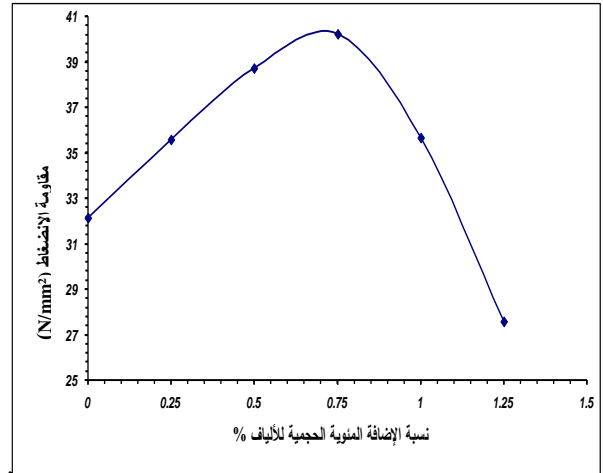
النسب المئوية الحجمية للألياف	0.00 %	0.25 %	0.50 %	0.75 %	1.00 %	1.25 %
مقاومة الإضغاط (N/mm ²)	32.13	35.56	38.70	40.24	35.67	27.56
مقاومة الإنفلاق (MPa)	2.96	3.46	3.95	4.13	3.25	2.81
معامل المرونة (GPa)	21.54	22.55	23.47	23.75	20.64	17.89
معايير الكسر للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية (MPa)	3.67	3.77	4.23	5.61	4.99	4.96
الانحراف للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية (mm)	0.5	0.7	0.9	1.1	0.6	0.6
معايير الكسر للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية (MPa)	3.67	3.79	4.64	4.99	4.97	4.76
الانحراف للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية (mm)	0.5	0.6	0.9	1.0	0.6	0.6

جدول (6) النسب المئوية للزيادة والنقصان في مواصفات الخرسانة بتغير النسب المئوية الحجمية للألياف المضافة

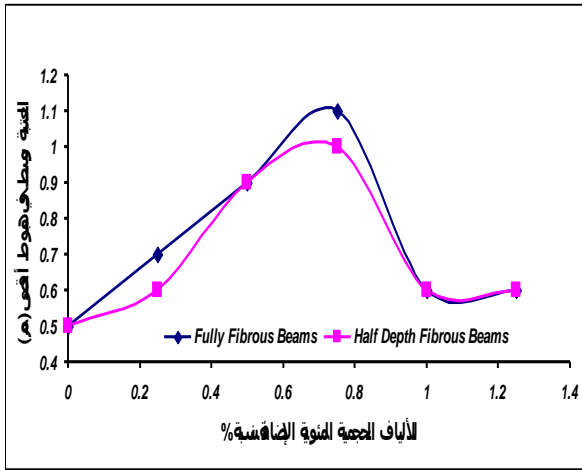
النسب المئوية الحجمية للألياف %	0.00%	0.25%	0.50%	0.75%	1.00%	1.25%
نسب الزيادة والنقصان في مقاومة الإضغاط %	0.00	10.67	20.44	25.24	11.01	-14.22
نسب الزيادة والنقصان في مقاومة الإنفلاق %	0.00	16.89	33.44	39.52	9.79	-5.06
نسب الزيادة والنقصان في معامل المرونة %	0.00	4.68	8.96	10.25	-4.17	-16.94
نسب التغير في معايير الكسر للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية %	0.00	2.72	15.25	52.86	35.96	35.14
نسب التغير في الانحراف للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية	0.00	40.00	80.00	120.00	20.00	20.00
نسب التغير في معايير الكسر للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية %	0.00	3.26	26.43	35.96	35.42	29.70
نسب التغير في الانحراف للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية %	0.00	20.00	80.00	100	20.00	20.00



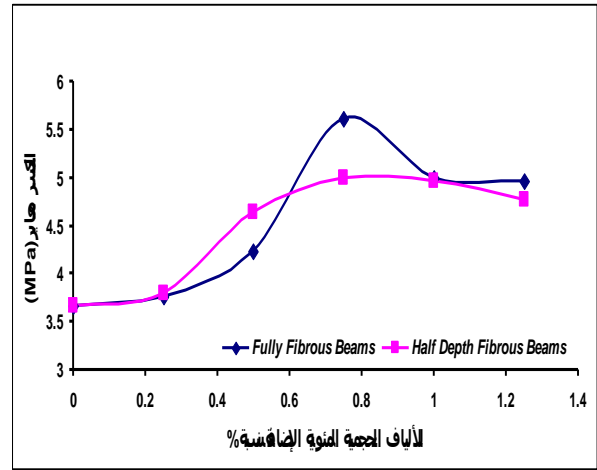
شكل (4) العلاقة بين مقاومة الإنفلاق والنسبة المنوية للألياف



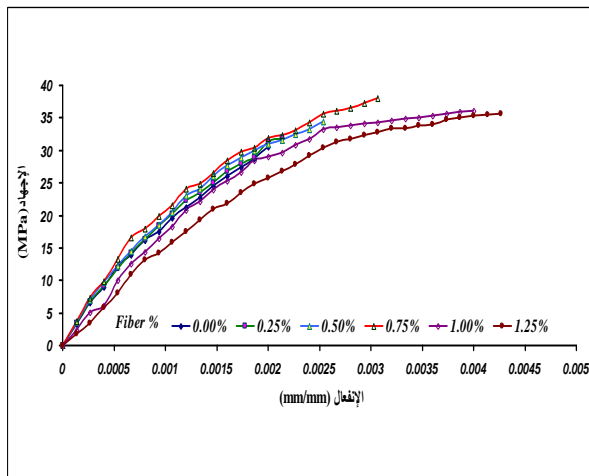
شكل (3) العلاقة بين مقاومة الإنضغاط والنسبة المنوية للألياف



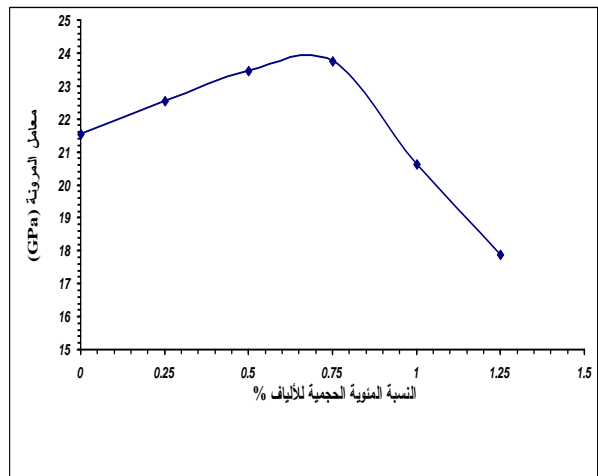
شكل (6) العلاقة بين أقصى انحراف والنسبة المنوية للألياف



شكل (5) العلاقة بين معايير الكسر والنسبة المنوية للألياف



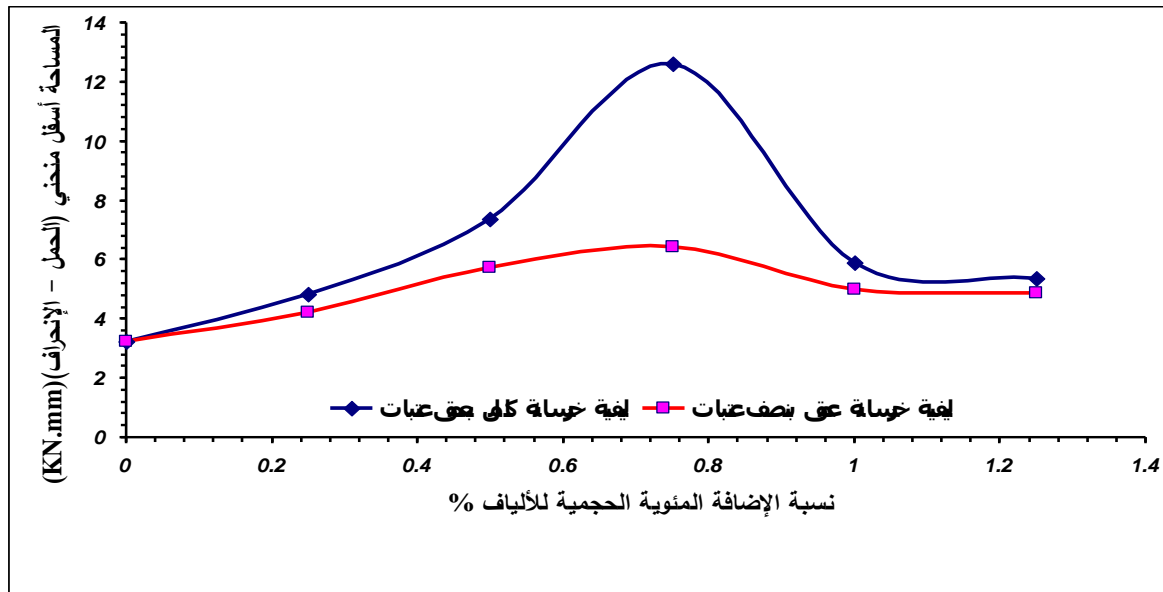
شكل (8) العلاقة بين الإجهاد والانفعال للخرسانة بنسب مختلفة منوية حجمية مختلفة للألياف



شكل (7) العلاقة بين معامل المرونة ونسبة الإضافة المنوية الحجمية للألياف

جدول(7): تغيير قينة المساحة تحت منحنى العلاقة بين الحمل والانحراف للعتبات بتغيير النسب المئوية للألياف المضافة

النسبة المئوية الحجمية للألياف في المزجة	0.00 %	0.25 %	0.50 %	0.75 %	1.00 %	1.25 %
المساحة تحت منحنى العلاقة بين الحمل والانحراف للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية (KN.mm)	3.24	4.82	7.38	12.6	5.9	5.35
المساحة تحت منحنى العلاقة بين الحمل والانحراف للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية (KN.mm)	3.24	4.22	5.73	6.42	4.99	4.89
النسبة المئوية للزيادة في المساحة تحت المنحنى للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية %	0.0	49	128	289	82	65
النسبة المئوية للزيادة في المساحة تحت المنحنى للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية %	0.0	30	77	98	54	51



شكل (9) العلاقة بين المساحة أسفل منحنى (الحمل - الانحراف) والنسبة المئوية الحجمية للألياف للعتبات بعمق كامل ونصف عمق خرسانة ليفية

الاستنتاجات :-

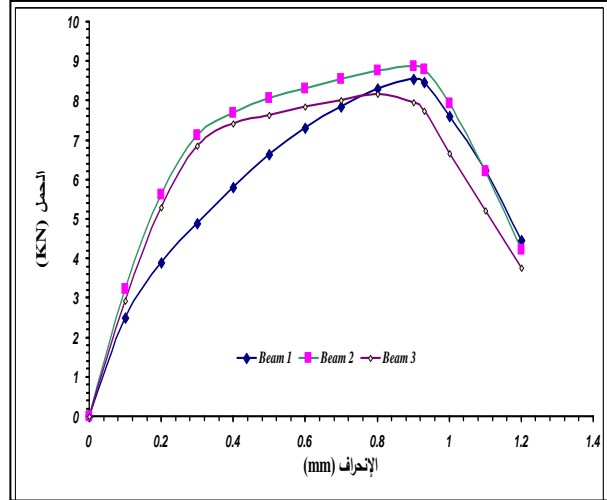
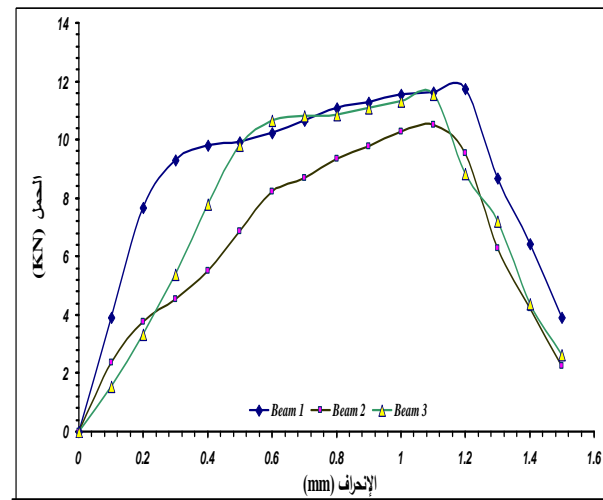
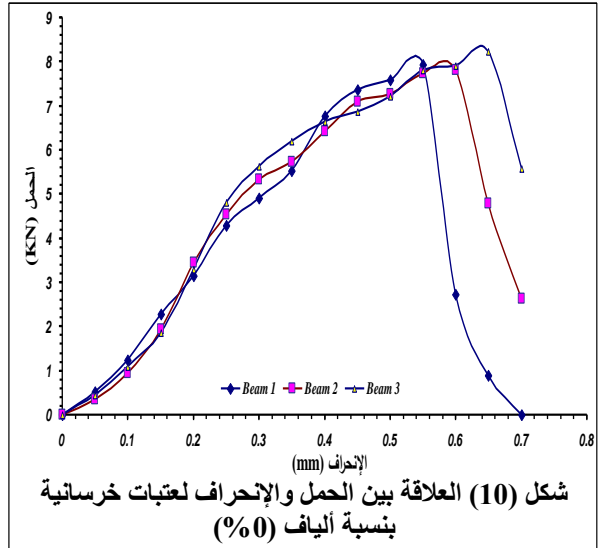
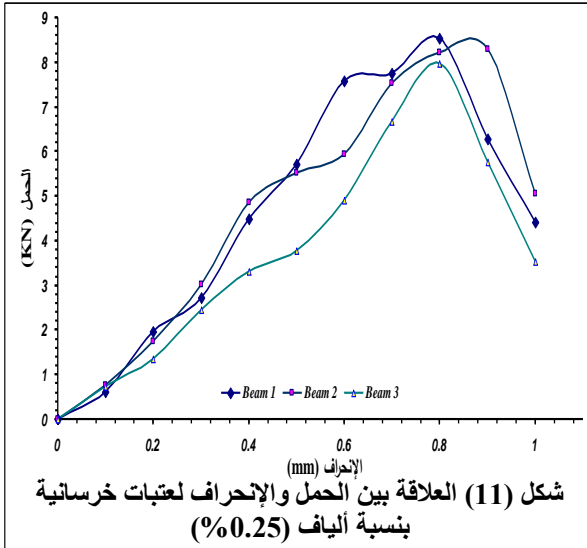
1- من خلال النتائج العملية المستحصلة من هذا البحث يلاحظ تحسن صفات الخرسانة بإضافة ألياف البولي بروبيلين إليها بنسب إضافة مئوية حجمية مختلفة وإن أفضل نسبة إضافة للألياف كانت (0.75 %) حيث أدت إلى زيادة في مقاومة الإنضغاط بنسبة (25.2 %) ومقاومة الإنفلاق بنسبة (39.5 %) ومعامل المرونة بنسبة (10.3 %). كما إزدادت قيمة معايير الكسر للعتبات ووصلت أعلى قيمة عند نسبة إضافة للألياف (0.75 %) حيث كانت نسبة الزيادة في قيمة معايير الكسر للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية (52.86 %) و (35.96 %) للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية. كما إزدادت قيمة أقصى انحراف في وسط العتبات قبل حدوث الفشل عند نسبة إضافة للألياف (0.75 %) حيث كانت نسبة الزيادة (120 %) للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية و (100 %) للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية.

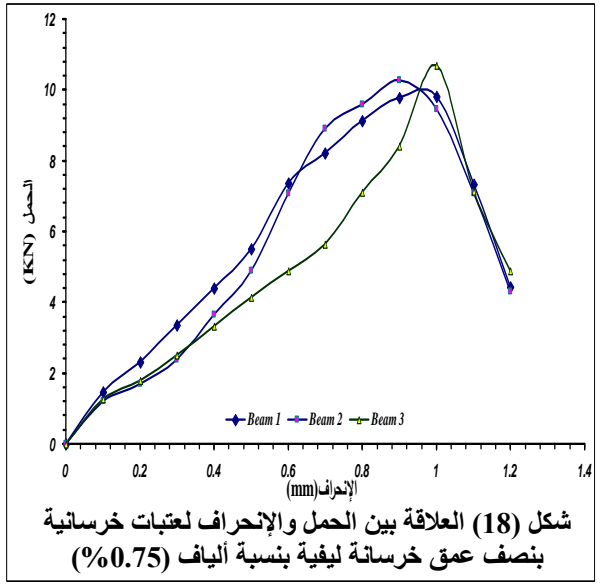
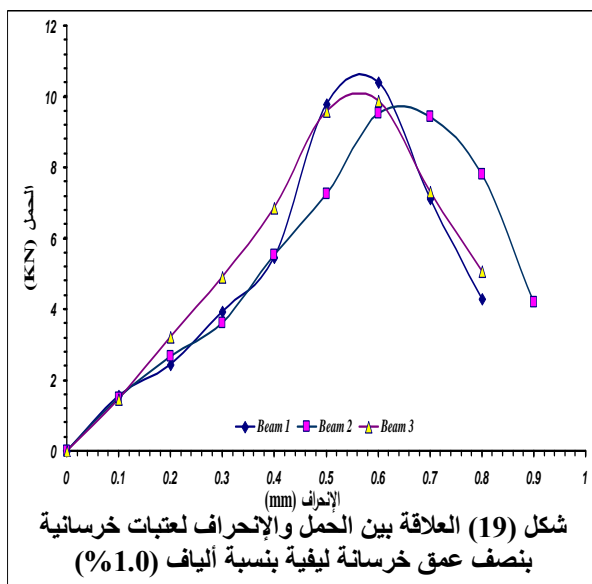
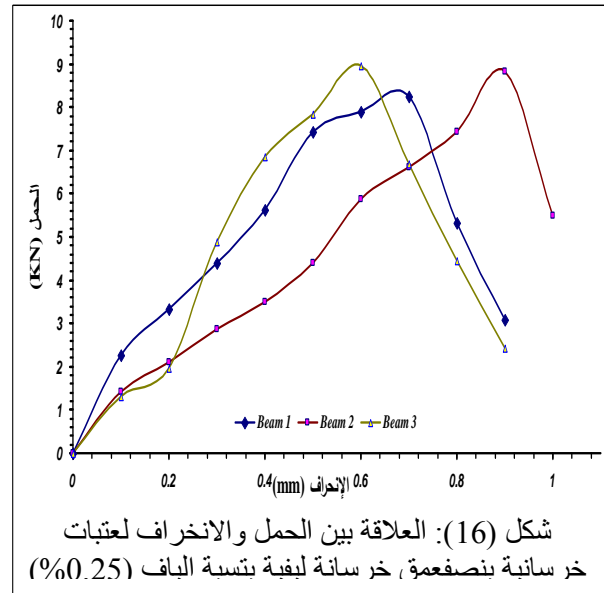
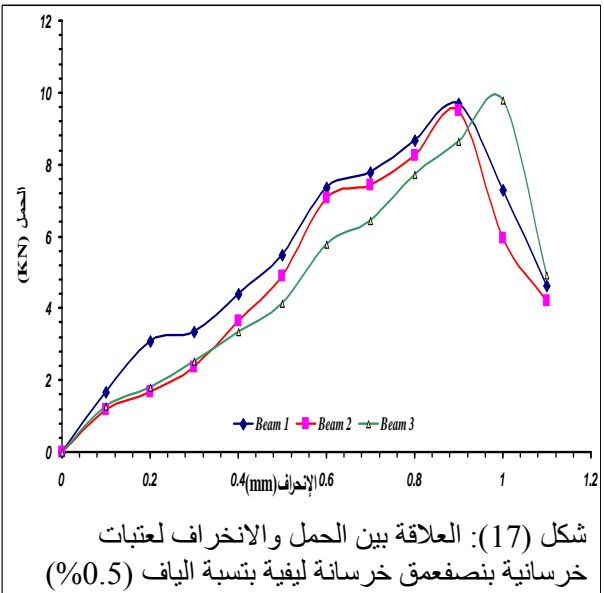
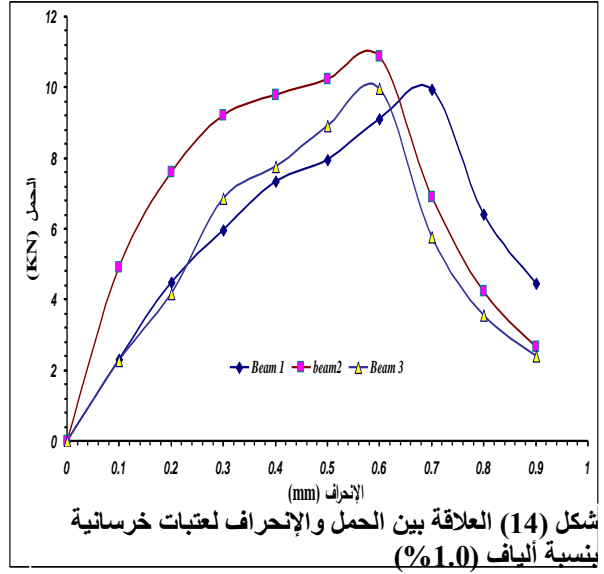
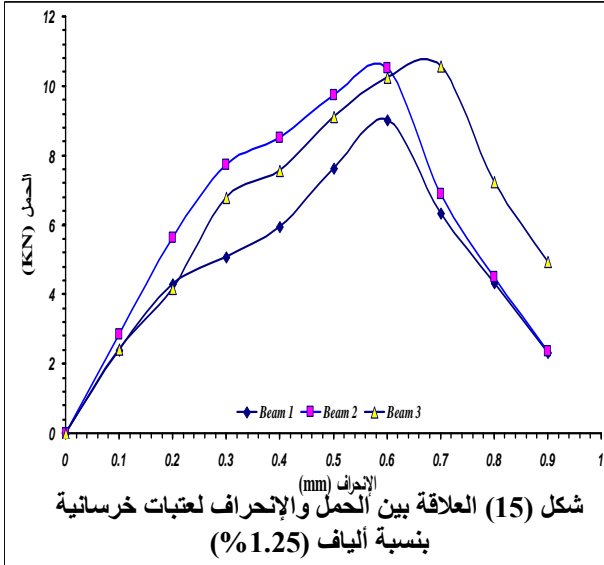
2- أن وجود الألياف أعطى مقاومة أكبر ومرونة ومطواعة أكثر للنماذج إلى حد نسبة مزج للألياف (0.75%) بعدها قلت مقاومة النماذج مع إستمرار الزيادة في المرونة والمطواعة بإستمرار الزيادة في النسبة الحجمية للألياف.

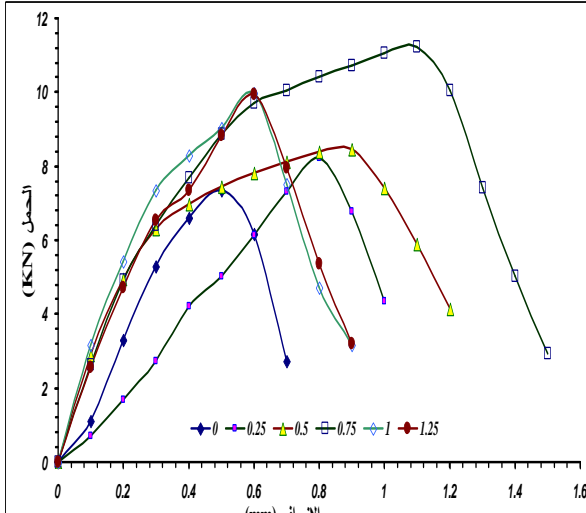
3- يلاحظ من خلال النتائج العملية لهذا البحث تراجع في التحسن الذي حصل في صفات الخرسانة الليفية عند نسبة الإضافة المئوية الحجمية (1, 1.25) % وهذا يعود إلى احتمال حدوث التكتل أو التكور في الألياف ونشوء الفراغات الهوائية والتوزيع العشوائي وغير المتجانس وإحتمال حدوث حالة تركيز تواجد الألياف في مناطق على حساب مناطق أخرى داخل الخرسانة.

4- من خلال حساب المساحة تحت منحنى (الحمل – الإنحراف) للعتبات الخرسانية والتي تمثل طاقة الإنفعال أو الطاقة الممتصة من قبل العضو الخرساني لوحظ زيادة في المساحة أو قابلية إمتصاص الطاقة بزيادة نسبة الألياف إلى حد (0.75 %) حيث وصلت نسبة الزيادة إلى (289) % للعتبات بعمق كامل خرسانة ليفية و (98) % للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية وهذا مؤشر جيد على زيادة مطيلية ومرونة وقابلية إمتصاص الطاقة لعتبات الخرسانة المدعمة بالألياف والمعرضة إلى إجهادات الشد والإنحناء وهذا يسمح للعتبة بالإستمرار في تحمل القيمة القصوى من الأحمال بعد حدوث التشقق والسماح للخرسانة بتحمل أقصى حمل صممت من أجله.

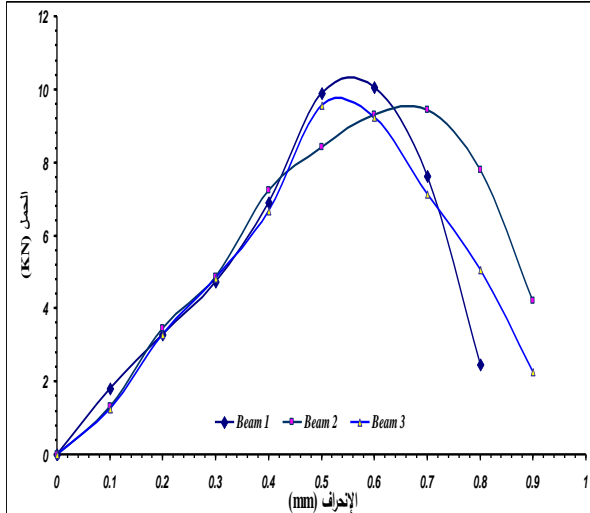
5- بالنسبة للعتبات بنصف عمق خرسانة ليفية لوحظ أن المساحة تحت منحنى الحمل الإنحراف كانت أقل من مثيلاتها من العتبات الخرسانية بعمق كامل خرسانة ليفية. ولكن عملياً ومن الناحية الإقتصادية وإختصاراً للنفقات وخصوصاً في المنشآت والأعمال الهندسية الضخمة والمكلفة كون الخرسانة الليفية أكثر كلفة من الخرسانة الإعتيادية يمكن الإستفادة من وجود الخرسانة الليفية في منطقة الشد فقط أي نصف عمق العتبة المعرض للشد أي صب الخرسانة الليفية في نصف العتبة المعرض للشد وإكمال صب بقية العتبة بخرسانة إعتيادية إذا لم يكن هناك داعي لصب العتبة بأكملها بخرسانة ليفية وذلك لمساعدة حديد التسليح في تحمل الإجهاد وذلك لأن قضبان التسليح توضع عادة بإتجاه إجهادات الشد الرئيسية بينما يكون وضع الألياف بشكل عشوائي وذلك لضمان تقاطعها مع مستويات الفشل والعمل على ترابطها للسماح بتوزيع الحمل حتى بعد حدوث التشققات وإنزلاق المستويات مع بعضها للوصول إلى الحمل الأقصى الذي صممت لتحمله الخرسانة المدعمة بالألياف.



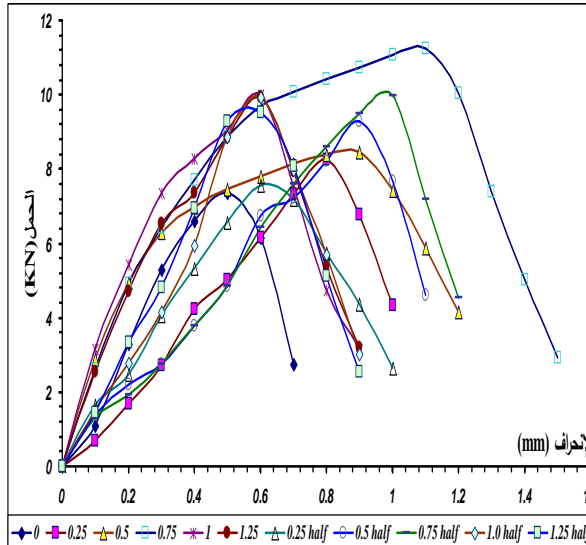




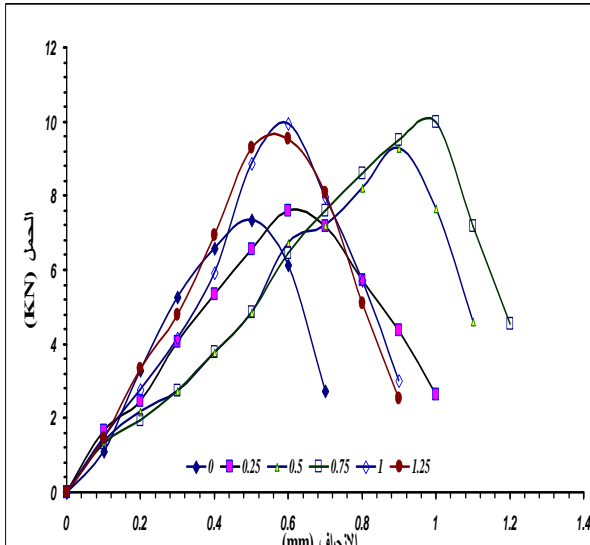
شكل (21) العلاقة بين الحمل والانحراف لعتبات خرسانية بعمق كامل خرسانة ليفية بنسب إضافة مئوية مختلفة للألياف



شكل (20) العلاقة بين الحمل والانحراف لعتبات خرسانية بنصف عمق خرسانة ليفية بنسبة ألياف (1.25%)



شكل (23) العلاقة بين الحمل والانحراف لعتبات خرسانية بعمق كامل ونصف عمق خرسانة ليفية بنسب إضافة مئوية مختلفة للألياف



شكل (22) العلاقة بين الحمل والانحراف لعتبات خرسانية بنصف عمق خرسانة ليفية بنسب إضافة مئوية مختلفة للألياف

المصادر :-

1. Guirguis, B. E. and Potter, R. J., " Polypropylene Fibers in Concrete", Technical Report TR/F90, Cement and Concrete Association of Australia, 1985.
2. Ezzat, Mohamed, May, " Polypropylene Fiber and Silica Fume Concrete for Bridge Overlays", Paper Submitted for Presentation and Publication in the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, January 12th-16th , 2003, Washington, D. C.
3. Soo-Duck Hwang and Kamal H. Khayat, " Effect of Mixture Composition on Restrained Shrinkage Cracking of Self-Consolidating Concrete Used in Repair", ACI Materials Journal, Technical Paper, Title No. 105-M58, September-October 2008.

4. C. S. Chin , R. Y. Xiao, “Experimental and Computational Analysis of Fiber Reinforced Concrete Beams”, Non-conventional Materials and technologies-September 2009, Bath, UK.
5. Subhashini Neela, “ Flexural Behavior of Basalt FRB Bar Reinforced Concrete Members with and without Polypropylene Fiber ”, A Thesis Presented to The Graduate Faculty of The University of Akron, Ohio, USA, December, 2010.
6. Gonzalo, Fernando, Osman, Witold, “ Mechanical properties of polypropylene-fiber reinforced concrete after gamma irradiation”, University of North Texas, Denton, USA, Accepted 26 January 2011.
7. Martinee, Brostow, Ozel,Gencel, “ Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete Reinforced with Polypropylene Fibers”, Materials Research Innovations, 2011, Vol 15, No 3.
8. IQS No:5, 1984 ”Characteristics of OPC” Central Agency for standardization and quality control, Iraq,1984.
9. British Standards Institute, B.S 882-1992 "Aggregates from Natural Sources for Concrete".
10. ASTM C109 / C109M -11a Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars Cube Specimens (Using 2-in. or [50 mm]).
11. ASTM C496 / C496M – 04e1 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Concrete Cylindrical Specimens.
12. ASTM C293 / C293M - 10 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam With Center-Point Loading).
13. ASTM C469 / C469M – 10 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression.
14. David Roylance, “STRESS-STRAIN CURVES”, Department of Materials Science and Engineering Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA 02139 August 23, 2001.

تم اجراء البحث في كلية الهندسة = جامعة الموصل