# خواص الخرسانة الليفية العادية والعالية المقاومة

**عمر رمضان الزروق**
جامعة عمر المختار ، قسم الهندسة المدنية
ليبيا
omerelzaroug@yahoo.com

**احمد جميل ابراهيم**
الجامعة المستنصرية ، قسم الهندسة المدنية
العراق
ajssea57@yahoo.com

*الملخص*—**الخرسانة هى عبارة عن خليط غير متجانس من الأسمنت والماء والركام وتحتوي على بعض الفراغات الهوائية بنسب قليلة وبعض الاحيان وحسب متطلبات المنشأ والظروف الجوية تستخدم بعض الاضافات لتحسين قابلية التشغيل وزيادة المقاومة. وكذلك يمكن استخدام الالياف مع إمكونات الخلطة الخرسانية لتحسين خواص وسلوك الخرسانة وتسمى فى هذه الحالة بالخرسانة الليفية. إن إضافة الألياف إلى الخرسانة المسلحة أو عجينة الأسمنت يمكن أن تحسن العديد من الخواص الهندسية كمتانة الإنكسار ومقاومة الشد و الإنثناء والكلل والصدم والبري. أن أكثر أنواع الألياف استخداماً هي تلك المصنوعة من الحديد والزجاج والبولي بروبلين.الملدنات عادةً تستخدم لتقليل نسبة الماء الى الاسمنت وبالتالي تساعد فى الحصول على خرسانة عالية المقاومة ذات تشغليه عالية. وقد ازداد استخدام هذا النوع من الخرسانة في جميع دول العالم ومن ضمنها الدول العربية لما لها من تأثير في تقليل المقاطع الخرسانية وزيادة تحملها بالإضافة الى قابلية زيادة ارتفاع المباني. وتضاف الملدنات للخرسانة بنسب معينة قليلة من وزن الاسمنت.**
**يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير ألياف البولي بروبلين بنسب حجمية مختلفة من مكونات الخلطة الخرسانية (0.1 ، 0.2 ، 0.3 ، 0.4) % على خواص الخرسانة الليفية العادية والعالية المقاومة (الكثافة الطرية - الهطول - مقاومة الضغط - الشد الانشطاري - الانحناء ، بالاضافة الى مطرقة الارتداد والموجات فوق السمعية). من خلال نتائج الإختبارات تبين أن إضافة ألياف البولي بروبلين لا تؤثر على مقاومة الضغط ولكن تأثيرها يكون ملحوظ على مقاومة الشد الإنشطاري والانثناء.**

*الكلمات المفتاحية:* **ألياف البولي بروبلين، مقاومة الضغط ، مقاومة الشد الانشطاري ،مقاومة الانحناء ، الهطول**

## 1. المقدمة

إن إكتشاف الخرسانة المسلحة كمادة إنشائية أدى إلى تقدم كبير فى إنشاء المباني السكنية والصناعية وخزانات المياه والجسور وغيرها. الخرسانة المسلحة لها مزايا عديدة منها: مقاومة ضغط جيدة مقارنة مع المواد الأخرى ، مقاومة عالية ضد تأثير المياه والحريق و مقاومتها تزداد بمرور الزمن بسبب التفاعل المستمر (الإماهة). ولكن من عيوبها مقاومتها للشد منخفضة وتساوي تقريباً عشر مقاومتها للضغط [1] مما يستدعى إستعمال حديد التسليح فى مواضع الشد، مع مراعاة التوافق و الاتزان بين الإجهادات المتولدة في كل من الحديد والخرسانة [2]. ما يعيب الخرسانة المسلحة أيضاً هي المشاكل التي تحدث لها بمرور الزمن وأهمها خاصيتي الزحف والإنكماش وضعف مقاومتها لدرجات الحرارة العالية والصدمات وسرعة تأثرها بحركة الرطوبة [1]. وللتغلب على هذه العيوب يتم إستخدام المضافات للخرسانة مثل الألياف فهي يمكن أن توفر طريقة ملائمة وعملية إقتصادية للتغلب على هذه النواقص. إن إضافة الألياف إلى الخرسانة المسلحة أو عجينة الأسمنت يمكن أن تحسن العديد من الخواص الهندسية كمتانة الانكسار ومقاومة الشد الانثناء والكلل والصدم والصدمات الحرارية والبري ، إذ كان بالإمكان استغلال هذه الخواص بالإضافة إلى المزايا التي تضيفها الألياف في تقنيات التشييد أو التصنيع [3].

تنقسم الألياف إلى قسمين رئيسيين من حيث النوع. أولاً: ألياف الصلب وهي قطع من الصلب بطول (3-8) مم وقطر (5- 8) مم. ثانياً: ألياف صناعية مثل ألياف البولي بروبلين والبوليستروالزجاجية وألياف التسليح من الكاربون والزجاج والبولي إثيلين. الجدول (1) يوضح الخواص النموذجية لمجموعة من الألياف التي تستخدم كمضافات للخرسانة مقارنة بخواص عجينة الاسمنت والخرسانة العادية [3].

ألياف البولي بروبلين عبارة عن مادة بوليمرية تستعمل كمضافات للخلطات الخرسانية لتقليل ظاهرة التشققات والإنكماش اللدن بالإضافة إلى تحسين خواص السطح بعد التصلد ، فهي تزيد من مقاومة الإنجماد والذوبان للخرسانة بالاضافة الى زيادة معيار المتانة. ألياف البولي بروبلين مقاومة لأكثر المواد الكيميائية ودرجة الإنصهار للبولي بروبلين عالية (165م$^0$) مما يجعله قادراً على تحمل درجات الحرارة العالية (100 م$^0$) لمدة قصيرة بدون ألحاق الضرر بخواص الألياف [3]. تستخدم ألياف البولي بروبلين في الخرسانة المسلحة فى قشرة الركائز وألواح الإكساء والطوافات لمرسى الزوارق وقطع إنشاءات الحواجز للمياه كمشتتات للطاقة المستعملة في جدران الموانى والرش (وهو إحدى التطبيقات المستخدمة في تصليح الجدران بإستعمال ألياف البولي بروبلين والإستغناء عن مشبك الحديد القابل للتآكل) [3]، وكذلك فى خرسانة الأرضيات الداخلية ومواد الترميم و الخرسانات المطبوعة و الخرسانات مسبقة الصب والكباري [4].

الخرسانة تعتبر مادة قصفة ومقاومتها للشد ضعيف وللتحسين هذه الخاصية يتم اضافة الياف البولي بروبلين بنسبة معينة الى مكونات الخلطة الخرسانة. اجريت العديد من الابحاث لدراسة تأثير اضافة الياف البولي بروبلين على خواص الخرسانة. الكفري واخرون [5] وجد ان اضافة الياف البولي بروبلين (طول 12 مم) بنسة 0.15% الى الخرسانة العادية المقاومة تعطي زيادة ملحوظة فى مقاومة الضغط والشد والانحناء. اظهرت نتائج جميل واخرون [6] بان اضافة الالياف (طول 6 مم) الى الخرسانة عالية المقاومة ادت الى تقليل الهطول وزيادة مقاومة الضغط ومقاومة الشد الانشطاري ولكنها لاتؤثر على مقاومة الانثناء. الزروق واخرون [7] وجد من خلال نتائج الإختبارات أن إضافة ألياف البولي بروبلين (طول 6 مم) الى الخرسانة العادية المقاومة لا تؤثر على مقاومة الضغط ولكن تأثيرها كان ملحوظ على مقاومة الشد الإنشطاري.

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير أضافة ألياف البولي بروبلين بنسب حجمية مختلفة من مكونات الخلطة الخرسانية (0 ، 0.1 ، 0.2 ، 0.3 ، 0.4)% على خواص الخرسانة العادية والعالية المقاومة (الكثافة الرطبة - الهطول - مقاومة الضغط والشد الانشطاري – مقاومة الانثناء – مطرقة الارتداد – الذبذبات فوق السمعية).

استلمت الورقة بالكامل في 6 اغسطس 2017 وروجعت في 18 اغسطس 2017 وقبلت للنشر في 21 اغسطس 2017 ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 1 سبتمبر 2017

جدول 1. الخواص النموذجية لعجينة الاسمنت والخرسانة العادية والألياف [1]

| الليف/ المادة | الكثافة (كجم /م$^3$ ) | معامل يونج (كيكانيوتن/م$^2$) | مقاومة الشد (ميغانيوتن/م$^2$) | الإستطالة عند الكسر (%) |
|---|---|---|---|---|
| الحديد | 7860 | 200 | 3000-1000 | 3.5 |
| شعيرات الزجاج | 2700 | 80 | 2500 | 3.5 |
| سليلوز | 1500 | 40 - 10 | 500 | - |
| الكربون (مقاومة عالية) | 1900 | 230 | 2600 | 1 |
| بولي بروبلين | 910 | 15 - 3 | 400 | 8 |
| الأسبستوس (كريسوتايل) | 2550 | 164 | 1800 - 200 | 3 - 2 |
| بولي اثيلين ذو معامل عالي | 960 | 40 - 15 | 400 | 4 |
| عجينة الأسمنت البورتلاندي العادي | 2200 - 2000 | 30 - 10 | 8 - 3 | 0.05 - 0.01 |
| الخرسانة من الأسمنت البورتلاندي العادي | 2300 | 40 - 30 | 4 - 1 | 0.005 - 0.015 |

## 2. المواد المستخدمة

### أ. *الأسمنت*

أستخدم الأسمنت البورتلاندي الإعتيادي المنتج من معمل أسمنت الفتائح الواقع في مدينة درنة ، خواصه الفيزيائية والميكانيكية موضحة في الجدول (2) ، علما أنه مطابق للمواصفة البريطانية [8].

جدول 2 . الخواص الفيزيائية والميكانيكية للأسمنت البورتلاندي

| **الخـــواص** | **نتيجة الإختبار** | **المواصفة البريطانية** |
|---|---|---|
| النعومة السطحية بطريقة Blaine (سم$^2$/جم) | 3093 | 2250< |
| ثبات الحجم بطريقة Le-chatelier (مم) | 2.2 | 10> |
| زمن الشك بطريقة Vicat (دقيقة) | | |
| • الإبتدائي | 129 | 45< |
| • النهائي | 164 | 600> |
| الوزن النوعي | 3.07 | |
| مقاومة الضغط ( نيوتن / مم$^2$ ) | | |
| • 3 إيام | 24.1 | 23 < |
| • 28 يوم | 44.8 | 41 < |

### ب. *الركام الناعم*

تم استخدام رمل صحراوي من منطقة خليج البمبة ، وأجريت عليه اختبار التدرج (جدول 3) والاختبارات الفيزيائية (جدول 4) وتبين أنه مطابق للمواصفة البريطانية [8].

جدول 3. التحليل المنخلي للركام الناعم

| فتحة الغربال (مم) | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| النسبة المئوية العابرة (%) | 100 | 100 | 99.9 | 96.3 | 66.7 | 2.9 |
| المواصفة (متدرج) | - | 100-80 | 100-70 | 100-55 | 70-5 | 15-0 |

جدول 4. نتائج الاختبارات الفيزيائية للركام الناعم

| نوع الإختبار | الوزن النوعي | الإمتصاص (%) | نسبةالمواد الناعمة (%) |
|---|---|---|---|
| النتيجة | 2.62 | 0.9 | 0.9 |
| حدود المواصفة BS882:1992 | 2.7 – 2.5 | 3 > | 4 > |

### ج. *الركام الخشن*

استخدام الركام الخشن من منطقة تنملو ذو مقاس أقصى (19) مم ، وأجريت عليه اختبار التدرج (جدول 5) والإختبارت الفيزيائية والميكانيكية وأتضح بأن عينة الركام مطابقة للمواصفات البريطانية [8].

جدول 5. التحليل المنخلي للركام الخشن مقاس (5-20) مم

| فتحة الغربال (مم) | 19 | 14 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 1.18 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| النسبة المئوية العابرة (%) | 100 | 91 | 89.9 | 27.9 | 8.2 | 4.2 |
| المواصفة (للركام متدرج) | 100- 95 | - | - | 55 -25 | - | 5 - 0 |

جدول 6 . نتائج الإختبارات الفيزيائية والميكانيكية للركام الخشن

| الخواص | الخواص الفيزيائية | | | الخواص الميكانيكية | |
|---|---|---|---|---|---|
| الإختبار | الوزن النوعي | الإمتصاص (%) | المواد الناعمة (%) | معامل التصادم (%) | معامل التهشم (%) |
| النتائج | 2.58 | 1.2 | 1.0 | 20.7 | 22.7 |
| حدود المواصفة BS882:1992 | 2.7- 2.5 | 3> | 4 > | 45 > | 45 > |

### د. *ألياف البولي بروبلين*

استخدمت ألياف البولي بروبلين (كثافتها 900 كجم/م$^3$) وبطول 18 مم وقطر 18 ميكرون [4] كما هو مبين فى الشكل (1).

شكل 1. ألياف البولي بروبلين ذات طول 18 مم

### هـ. *الملدن*

استعمل ملدن فائق نوع سيكامنت 163 وهو عبارة عن سائل بني كثافته بحدود 1.2 كجم / م$^3$ [4] كما هومبين فى الشكل (2).

شكل2 . الملدن سيكامنت 163

## 3. الخلطات الخرسانية

صممت الخلطة الخرسانية بموجب الطريقة البريطانية [9] ومكونات الخلطة الخرسانية موضح بالجدول (7 و 8) حيث أضيفت ألياف البولي بروبلين بنسب حجمية مختلفة من مكونات الخلطة الخرسانية (0.1 ، 0.2 ، 0.3 ، 0.4)%. تمت عملية الخلط داخل مختبر مواد البناء والخرسانة (قسم الهندسة المدنية - جامعة عمر المختار) بإستعمال خلاطة حوضية متنقلة سعة 56 لتر. كانت عملية الخلط بالنسبة للخرسانة العادية المرجعية (NF-0) التي لا تحتوي على أي نسبة من ألياف البولي بروبلين بوضع الركام الخشن أولاً ثم يضاف الأسمنت ثم الركام الناعم ويخلط لمدة دقيقة

واحدة ثم يضاف الماء ويعاد الخلط لمدة دقيقتين أي أن الوقت الكلي للخلط هو 3 دقائق. أما في حالة الخلطات التي تحتوي على نسب مختلفة من ألياف البولي بروبلين (NF-0.4 – NF-0.3 – NF-0.2 – NF-0.1) فأن عملية الخلط تتم بإضافة نصف كمية الماء ومن ثم تضاف كمية الألياف وبعد ذلك يتم إضافة الركام الخشن ثم الأسمنت ثم تم إضافة الركام الناعم ويتم الخلط لمدة نصف دقيقة بعد ذلك يتم إضافة الكمية المتبقية من الماء ، ويتم إعادة الخلط لمدة دقيقتين ونصف أي أن الزمن الكلي للخلط هو ثلاث دقائق. السبب في وضع الماء والألياف أولاً ذلك لمنع الألياف من التناثر لأن وزنها الخفيف سيجعله يطفو إلى الأعلى إذا أضيف بعد الماء وبذلك نضمن توزيع الألياف وانتشارها في الخليط بشكل منتظم [7].

اما بالنسبة للخلطة الخرسانية المرجعية عالية المقاومة (HF-0) والخلطات الخرسانية عالية المقاومة الحاوية على ألياف البولي بروبلين (HF-0.4 – HF-0.3 – HF-0.2 – HF-0.1) فيتم الخلط بنفس عملية خلط الخرسانة العادية ولكن عند إضافة المياه في النهاية يتم خلط الماء بالملدن أولاً ثم يوضع مع الخليط ويخلط لمدة دقيقتين ويكون الوقت الكلي للخلط 3 دقائق.

بعد إجراء عملية الخلط يتم عمل إختبار الهطول ثم ينقل الخليط ليتم صبه ودمكه في القوالب خلال فترة زمنية قليلة. لكل خلطة خرسانية تم صب 3 مكعبات مقاس 10 سم و3 اسطوانات قياس 10 x 20 سم و 3 عتبات بابعاد (10 x 10 x 50) سم لتحديد مقاومة الضغط و مقاومة الشد الإنشطاري و مقاومة الانثناء بموجب المواصفات البريطانية [8]. تم معالجة جميع النماذج بموجب المواصفة البريطانية [8].

جـدول 7. كمية مواد الخلطات الخرسانية للخرسانة العادية لكل (م$^3$)

| نوع الخلطة | مكونات الخلطة (كجم/م$^3$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | أسمنت | بولي بروبلين | ماء | ركام ناعم | ركام خشن |
| NF-0 | 410 | 0 | 205 | 518 | 1207 |
| NF-0.1 | 410 | 0.9 | 205 | 518 | 1207 |
| NF-0.2 | 410 | 1.8 | 205 | 518 | 1207 |
| NF-0.3 | 410 | 2.7 | 205 | 518 | 1207 |
| NF-0.4 | 410 | 3.6 | 205 | 518 | 1207 |

جـدول 8. كمية مواد الخلطات الخرسانية للخرسانة عالية المقاومة لكل (م$^3$)

| نوع الخلطة | مكونات الخلطة (كجم/م$^3$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | الاسمنت | الملدن | بولي بروبلين | ماء | ركام ناعم | ركام خشن |
| HF-0 | 550 | 11 | 0 | 153 | 573 | 1073 |
| HF-0.1 | 550 | 11 | 0.9 | 153 | 573 | 1073 |
| HF-0.2 | 550 | 11 | 1.8 | 153 | 573 | 1073 |
| HF-0.3 | 550 | 11 | 2.7 | 153 | 573 | 1073 |
| HF-0.4 | 550 | 11 | 3.6 | 153 | 573 | 1073 |

## 4. الاختبارات المعملية

*أ. اختبارات الخرسانة الطرية*

تم إجراء اختبار الهطول والكثافة الرطبة وفقاً للمواصفات البريطانية [6].

***ب. إختبارات الخرسانة المتصلدة***

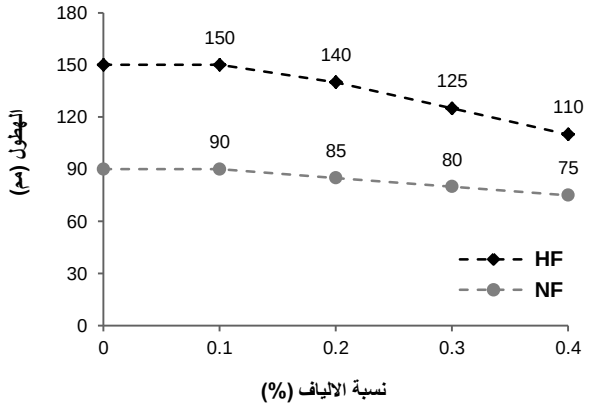
إجريت اختبارات مقاومة الضغط ومقاومة الشد الانشطاري ومقاومة الانحناء بعمر 28 يوم طبقاً للمواصفات البريطانية [6] واختبار مطرقة الارتداد والموجات فوق السمعية وفقاً للمواصفات الامريكية [10].

## 5. النتائج والمناقشة

*أ. الهطول*

من الشكل 3 نلاحظ إنه بتثبيت أوزان مكونات الخلطة الخرسانية للخرسانة عادية المقاومة (NF) وزيادة نسب ألياف البولي بروبلين من 0.1 الى 0.4 % إلي الخلطات الخرسانية تؤثر على تقليل قابلية التشغيل تدريجياً مقارنة بالعينة المرجعية (NF-0) وإن النسبة بين أعلى قيمة وأقلها حوالي (17%). ويرجع السبب الى احتمالية تماسك العجينة الخرسانية مع زيادة نسب الالياف والتى بدورها تقلل من الهطول.

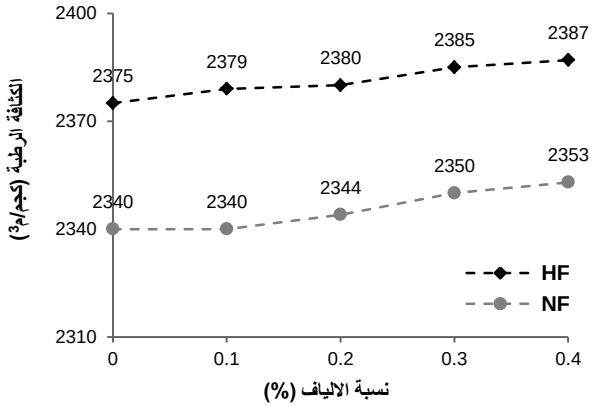
بالنسبة للخرسانة عالية المقاومة (HF) نلاحظ أنه عند إضافة ألياف البولي بروبلين في الخلطات ( HF-0.4 – HF-0.3 – HF-0.2 – HF-0.1) فأن الهطول لهذه الخلطات يقل تدريجياً بزيادة محتوى الياف البولي بروبلين في الخلطة مقارنة الى العينة المرجعية (HF-0). وكان اقل هطول 110 مم هو للخلطة NF-0.4 والتي تحتوي على نسبة 0.4 % من الياف البولي بروبلين نسبة الى الحجم الكلي للخلطة. وإن النسبة بين أعلى قيمة وأقلها حوالي (27%) ويفسر ذلك الى السب المذكور سابقاً. وان السبب فى تفاوت قيمة الهطول بين الخرسانة العادية والعالية قد يرجع الى نسبة الملدن (2%) المضاف الى مكونات الخلطة الخرسانية عالية المقاومة.




شكل 3. تأثير الياف البولي بروبلين على الهطول

*ب. الكثافة الرطبة*

يلاحظ من الشكل 4 أن متوسط كثافة الخرسانة الطرية لثلاثة عينات لجميع الخلطات الخرسانية العادية والعالية المقاومة تتراوح مابين (2340 – 2353 كجم/م$^3$) و (2375 – 2387 كجم/م$^3$) على التوالي ، وإن النسبة بين أعلى القيم وأقلها حوالي (0.6%) و (0.5%). هذا يعني بأن الكثافة الطرية لم تتأثر بزيادة نسب الألياف فى الخلطات وذلك لأن نسب ألياف البولي بروبلين لا تتجاوز 0.4 % من الحجم الكلي لمكونات الخلطة الخرسانية ولخفة وزن الألياف.

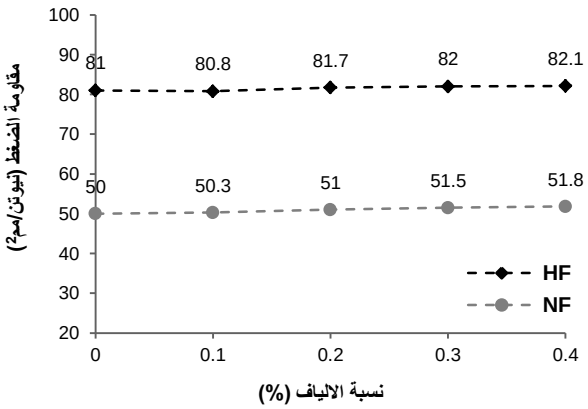



شكل 4. تأثير الياف البولي بروبلين على الكثافة الرطبة

*ج. مقاومة الضغط*

تعتبر مقاومة الخرسانة للضغط من الخصائص التي تتأثر بشكل كبير بنسبة ماء الخلط ، حيث أنه إذا كانت هذه النسبة كبيرة سيؤدي إلى الحصول على عجينة مخففة عالية الانكماش وضعيفة ، وبالتالي فإن الخرسانة الناتجة منخفضة المقاومة وقليلة التحمل للتغيرات المناخية.

الشكل 5 يوضح العلاقة بين نوع الخرسانة ومتوسط مقاومة الضغط لثلاثة مكعبات. من خلال دراسة تأثير النسب المختلفة لألياف البولي بروبلين (0.1 – 0.2 – 0.3 – 0.4)% على مقاومة الخرسانة للضغط ، نجد أن لنسب الألياف تأثير غير ملحوظ على مقاومة الضغط . نلاحظ أيضاً من الشكل أن قيم متوسط مقاومة الضغط لجميع الخلطات الخرسانية العادية والعالية المقاومة تتراوح مابين (50 – 51.8 نيوتن/مم$^2$) و (81 – 82.1 نيوتن/مم$^2$)، وإن نسبة الفرق بين أعلى القيم وأقلها حوالي (3.6%) و (1.6%) على التوالي. ويرجع السبب فى ذلك إلى أن ألياف البولي بروبلين ذات نزعة مضادة لإمتصاص الماء ، وتعتبر هذه الصفة ذات فائدة في عملية الخلط حيث أن الألياف لا تحتاج إلى تماس طويل خلال عملية الخلط بل تحتاج فقط لأن توزع بصورة منتظمة داخل الخليط [3].




شكل 5. تأثير الياف البولي بروبلين على مقاومة الضغط

*د. مقاومة الشد الانشطاري*

أثبتت التجارب المعملية أن مقاومة الشد تتراوح تقريباً بين (7-14) % من مقاومة الضغط [1]. إن هذا الإختلاف الكبير بين مقاومة الضغط ومقاومة الشد يعود بشكل كبير إلى التشققات الشعرية الموجودة في الخرسانة ، حيث إن هذه التشققات لا تؤثر بشكل ملحوظ في حالة المستويات المتوسطة من الإجهاد. عندما تكون الخرسانة تحت تأثير إجهاد الشد فإن توزيع الإجهاد على المقطع يتغير، وبما أن الشد لايمكن أن ينتقل خلال التشققات كماهوالحال في حالة الضغط ، فيكون تحمل المقطع للشد محصور في المنطقة غير المتشققة.

الشكل 6 يبين متوسط مقاومة الشد الأنشطاري لثلاثة أسطوانات تم اختبارها لجميع الخلطات الخرسانية العادية والعالية المقاومة وكذلك نسبة الزيادة في مقاومة الشد الإنشطاري للخلطات التي تحوي نسب من ألياف البولي بروبلين. من الشكل نلاحظ إن تأثير نسب ألياف البولي بروبلين على مقاومة الشد الانشطار يختلف عن مقاومة الضغط ،حيث أنه بزيادة نسب الألياف تزداد مقاومة الشد الانشطاري ولكن بزيادة بسيطة ، وأن نسب الزيادة فى العينات العادية والعالية المقاومة تتراوح مابين (3 – 26)% و (8-30)% عن مقاومة الشد للخرسانة الغير حاوية على الألياف ، على التوالي. قد يرجع السبب إلى زيادة الترابط بين مكونات الخلطة الخرسانية نتيجة الألياف والتى بدورها تقلل من اتساع التشققات ، كلما بدأت التشققات الدقيقة جداً في التكون قابلتها الألياف لتسدها وتمنع تأثيرها وإيقاف تطورها.

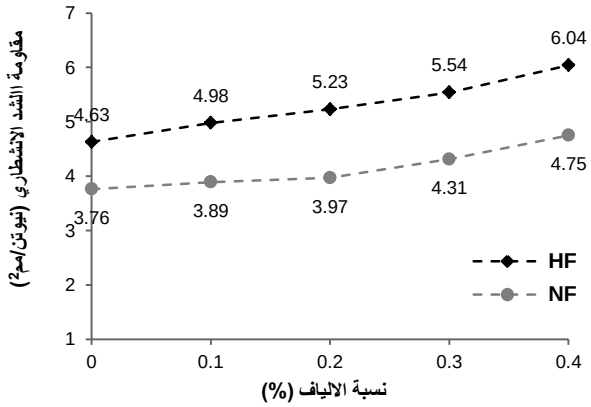
*هـ. مقاومة الانثناء*

الشكل 7 يوضح العلاقة بين نوع الخرسانة ومقاومة الانثناء. نلاحظ من الشكل أنه بزيادة نسب الألياف تزداد مقاومة الانثناء للخرسانة العادية (NF) والعالية (HF) بزيادة ملحوظة و تصل نسبة الزيادة الى 14% و21% على التوالي باضافة 0.4% الياف مقارنة بالخلطة المرجعية. إضافة ألياف البولي بروبلين تعمل على زيادة الترابط بين مكونات الخلطة الخرسانية و تقوية إضافية ضد التشققات الداخلية مما أدى إلى زيادة مقاومة الانثناء. ازدادت مقاومة الانثناء للعينات عالية المقاومة عن العينات عادية المقاومة نتيجة إضافة الملدن. نوع الانهيار لجميع العتبات كان قصفي ومفاجئ كما هو موضح بالشكل 8.

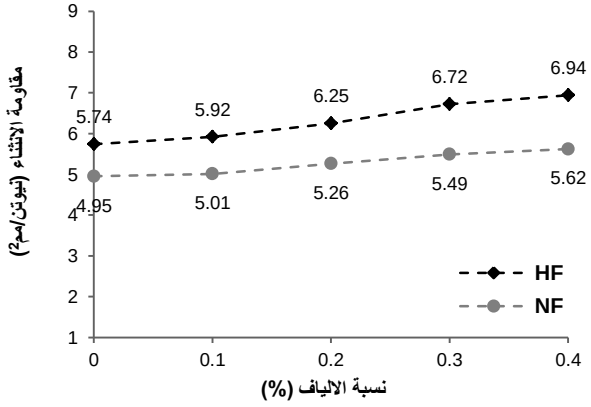
*و. مطرقة الارتداد*

إختبار مطرقة الإرتداد يعتبر من الإختبارات اللاإتلافية القليلة التي لاقت نجاحاً في تخمين مقاومة الخرسانة ، ويعتبر مفيداً حيث إنه مقياس لتجانس الخرسانة في المنشأ أو في التصنيع. يساعد ايضاً على تحديد موعد رفع قوالب الخرسانة وتحديد موعد استخدام المنشأ. من العوامل التي تؤثر علي دقة قياس مطرقة الإرتداد هي نوع الإسمنت ، محتوى الإسمنت ، نوع الركام ، نوع المعالجة و عمر الخرسانة ، الدمك ، نوع السطح ، رطوبة السطح. شكل 9 يوضح جهاز مطرقة الارتداد المستخدم فى الاختبار.

الشكل 10يبين نتائج مقاومة الضغط المخمنة لمكعبات الخرسانة العادية باستخدام مطرقة الارتداد (متوسط 12 قراءات). نلاحظ من الشكل أن مقاومة الضغط المخمنة متقاربة لجميع العينات ، ويرجع السبب فى ذلك إلى أن إختبارالإرتداد بإستخدام المطرقة يعتمد على صلابة السطح الذي ترتطم به المطرقة فقط.




شكل 6. تأثير الياف البولي بروبلين على مقاومة الشد الانشطاري




شكل 7. تأثير الياف البولي بروبلين على مقاومة الانثناء

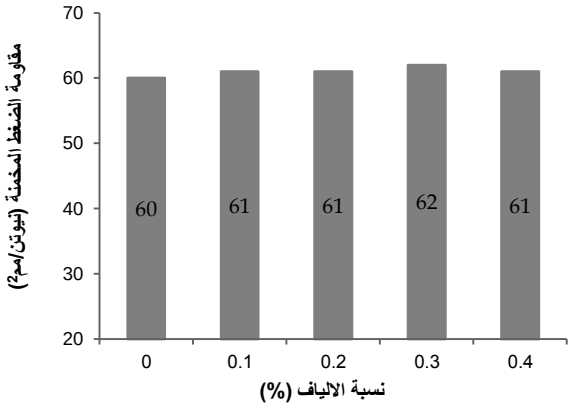
شكل 8. العتبة الخرسانية (NF-0.2) بعد الفشل

*ز. الذبذبات فوق السمعية*

يستخدم اختبار الذبذبات فوق السمعية في: تخمين مقاومة الضغط للخرسانة ، قياس معاير المرونة للخرسانة ، معرفة مدي تجانس الخرسانة ، اكتشاف التشققات والفجوات بالخرسانة ، تحديد درجة تلف الخرسانة ، قياس عمق طبقة الخرسانة ، تطور قيم مقاومة الخرسانة للضغط. العوامل التي تؤثر علي دقة قياس سرعة الذبذبات فوق السمعية : نعومة السطح المختبر ، نسبة الفجوات الهوائيّة ، الشقوق ، حديد التسليح ، درجة حرارة النموذج ، تأثير طول المسار ، المواد المكونة للنموذج ، محتوى الرطوبة [11]. شكل11 يوضح جهاز الذبذبات فوق السمعية المستخدم فى الاختبار.

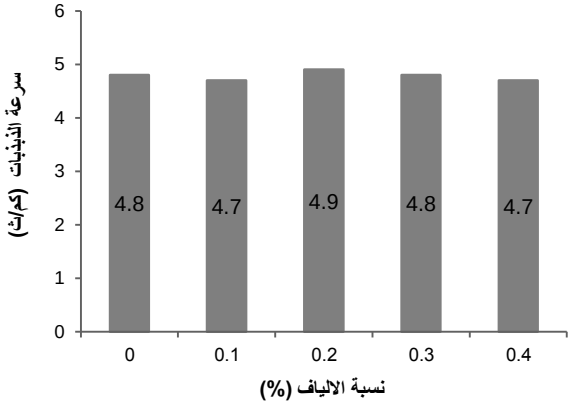
الشكل 12 يوضح تأثير نسب الألياف على سرعة الذبذبات فوق السمعية لمكعبات الخرسانة العادية المقاومة. نلاحظ من الشكل أن نتائج سرعة الذبذبات تزداد بزيادة بسيطة بإضافة الألياف وذلك لأن سرعة الذبذبات الفوق السمعية يعتمد بشكل اساسي على كثافة الخرسانة (انظر الشكل 4) وعلى تأثير الركام. فى هذه الدراسة تم استخدام نسبة ثابتة من الركام الى الاسمنت (جدول 7) لذلك تعطي قيم شبة متساوية فى النتائج.

شكل 9. اختبار مطرقة الارتداد




شكل 10.نتائج مقاومة الضغط المخمنة للخرسانة العادية

شكل 11. اختبار الذبذبات فوق السمعية




شكل 12.تأثير الياف البولي بروبلين على سرعة الذبذبات فوق السمعية

## 6. الإستنتاجات

من النتائج المعملية المتحصل عليها للنماذج الخرسانية الحاوية على ألياف البولي بروبلين بنسب حجمية مختلفة من حجم مكونات الخلطة الخرسانية تبين ما يلي:

1. قابلية التشغيل المقاسة باختبار الهطول تقل تدريجياً بإضافة ألياف البولي بروبلين وذلك لتماسك مكونات الخلطة الخرسانية مع زيادة نسبة الألياف والتي بدورها تقلل من قيمة الهطول.
2. الكثافة الطرية للخرسانة العادية والعالية المقاومة تزيد بمقدار بسيط بزيادة نسبة ألياف البولي بروبلين.
3. إضافة ألياف البولي بروبلين ادى الى تحسن بسيط فى مقاومة الضغط ، بينما تأثيرها ملحوظ على مقاومة الشد الانشطاري و مقاومة الانثناء. ويرجع السبب إلى زيادة الترابط بين مكونات الخلطة الخرسانية نتيجة الألياف والتى تعمل على تأخر ظهور التشققات والتقليل من اتساعها.
4. قيم مقاومة الضغط المخمنة باستخدام مطرقة الارتداد كانت متقاربة لجميع العينات ، ويرجع السبب فى ذلك لان الاختبار يعتمد على صلابة السطح الذي ترتطم به المطرقة فقط.
5. سرعة الذبذبات لمكعبات الخرسانة العادية تزداد بزيادة بسيطة بإضافة الألياف وذلك لأن سرعة الذبذبات فوق السمعية يعتمد بشكل اساسي على كثافة الخرسانة.

## شكر وتقدير

نتقدم بالشكر والعرفان للسادة الفنيين بقسم الهندسة المدنية: صالح مصطفى خليفة و محمد عبدالوهاب أدريس لما بذلوه من جهد ووقت لإتمام هذا المشروع. الدعم المقدم من كلية الهندسة – جامعة عمر المختار (البيضاء – ليبيا) هوإيضاً محل تقدير وإمتنان.

## المراجع

1. Neville, A. M., (1995), "*Properties of Concrete",* 4th Edition, Pitman Books Limited, London, UK.
2. Ferguson, P. M., (1981), "*Reinforced Concrete Fundamentals*", 4th Edition, John Wiley & Sons, New York, USA, pp. 724.
3. سوامي آر. إن. (1988) ، خرسانة مسلحة جديدة ، ترجمة د. محمد علي عبد الزروق الأوسي و باسل طه ناجى العلي ، الجامعة المستنصرية ، بغداد ، العراق ، عدد الصفحات 299.
4. Sika Egypt, (2006), "Construction Products Catalog", 11th Edition, El Abour, Egypt.
5. الكفري ، غصن و الصغير ، محمد و العقبي ، سارة (2016) ، "تأثير ألياف البولي بروبلين على خواص الخرسانة الطرية والمتصلبة" ، المؤتمر الوطني السادس لمواد البناء والهندسة الانشائية ، كلية الهندسة ، جامعة الجل الغربي ، غريان ، ليبيا ، ص 331 – 341.
6. جميل ، احمد و الزروق ، عمر (2016) ، "خواص الخرسانة عالية المقاومة الحاوية على ألياف البولي بروبلين" ، المؤتمر الوطني السادس لمواد البناء والهندسة الانشائية ، كلية الهندسة ، جامعة الجل الغربي ، غريان ، ليبيا ، ص 24 – 33.
7. الزروق ، عمر و جميل ، احمد (2013) ، " خواص وسلوك العتبات الخرسانية المسلحة التي تحتوي على ألياف البولي بروبلين " ، المؤتمر العربي الثاني عشر للهندسة الانشائية ، جامعة طرابلس ، ليبيا ، ص 445 –454.
8. British Standard Institution:
   - BS 12:1996: Specification for Portland cement.
   - BS812: Part2: 1995: Methods for determinations of density and absorption.
   - BS 812: Part 103: 1992: Method for determination of particle size distribution.
   - BS812: Part110: 1990: Method for determination of aggregate impact.
   - BS812: Part112: 1990: Method for determination of aggregate crushing value.
   - BS 1881: Part 102: 1983: Method for determination of slump.
   - BS 1881: Part 107: 1983: Method for determination of density of compacted fresh concrete.
   - BS 1881: Part 108: 1983: Method for making test cubes from fresh concrete.
   - BS 1881: Part 110: 1983: Method for making test cylinders from fresh concrete.
   - BS 1881: Part 111: 1983: Method for normal curing of test specimens (20°C Method).
   - BS1881: Part 116: 1983: Method for determination of compressive strength concrete cubes.
   - BS 1881: Part 117: 1983: Method for determination of tensile splitting strength.
9. Teychenne, D. C., Nicholls, J. C., Franklin, R. E. and Hobbs, D. W., **(**1988**), "***Design of normal concrete mixes* (Building Research Establishment)**"**, Department of the environment, London, HMSO, pp. 42.
10. American society for testing materials:
    - ASTM C 597 – 1997: Test for pulse velocity through concrete.
    - ASTM C 805 – 1997: Test for Rebound number of hardened concrete.
11. جميل ، احمد و الزروق ، عمر، (2013) "تخمين مقاومة الخرسانة باستخدام الطريقة المشتركة للاختبارات الا اتلافية" ، المؤتمر العربي الثاني عشر للهندسة الانشائية ، قسم الهندسة المدنية ، جامعة طرابلس ، طرابلس – ليبيا.

## BIOGRAPHY

Omer Ramadan Elzaroug
1967, Al Bayda, Libya
Associate Professor in Structures
B.Sc. (1992) (Hons) Civil Engineering, Tripoli University, Tripoli – Libya
MSc. (1999) Reinforced concrete, Concordia University, Montreal, Canada
ed concrete, Leeds University, Leeds – UK
Reinforced Concrete, FRP reinforced concrete, Concrete materials Coordinator (2017), Engineering Unit for Laboratory Tests & Consultations