

تصنيع ألياف من تدوير نفايات البلاستيك كبديل عن ألياف الكربون البوليمرية  
المستعملة في تقوية و تصليح الهياكل الإنشائية

**Manufacture of fiber from plastic waste recycling as an  
alternative to carbon fiber reinforced polymer used in the  
strengthening and repairing of structural structures**

م.د. حسين طلب نهابه الوظيفي

كلية هندسة المواد - جامعة بابل

**G-mail: husseintalabnhabah@gmail.com**

ا.د. محمد حمزة المعموري

كلية هندسة المواد - جامعة بابل

**E-mail: mhalmaamori1959@yahoo.com**

م. مروة مرزة سلمان العجيلي

كلية هندسة المواد - جامعة بابل

**Gmail:marwamarzas@gmail.com**

## الموجز

في هذه الدراسة تم تصنيع ألياف بلاستيكية (PF) من نفايات البلاستيك بواسطة تقطيعها إلى شرائط و غمرها بسائل النتروجين ثم طرقها بواسطة وعاء دوار يحتوي على كرات حديدية ثم غزلها و نسجها لتكون على شكل نسيج يشبه نسيج ألياف الكربون البوليمرية (CFRP) و لأول مرة عالميا و بكلفة زهيدة جدا. وكذلك تعتبر طريقة فعالة لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية التي تتصف بصعوبة إعادة تدويرها. تم دراسة الخصائص الميكانيكية والفيزيائية و الكيميائية للألياف البلاستيكية المصنعة و تمت مقارنتها مع خصائص ألياف الكربون البوليمرية فوجد تقارب جدا كبير بين خصائص تلك الألياف مع فارق كبير جدا بالكلفة حيث إن كلفة ألياف الكربون البوليمرية تساوي تقريبا ٢٥ ضعف كلفة الألياف البلاستيكية المصنعة. تضمن العمل أختبري إعداد و فحص خمس عتبات خرسانية مسلحة واحدة من هذه العتبات عُدت نموذجاً للسيطرة إذ تركت بدون تغليف خارجي بشرائط ألياف الكربون البوليمرية أو شرائط الألياف البلاستيكية المصنعة، أما العتبات المتبقية، فقد قسمت إلى مجموعتين، كل مجموعة تتكون من عتبتين، تم فيها تقوية أو تصليح منطقة الانحناء خارجياً بشرائط من ألياف الكربون البوليمرية أو الألياف البلاستيكية المصنعة بعرض ١٠٠ ملم و بطول ١١٠٠ ملم.

أظهرت النتائج المختبرية زيادة مهمة في التحمل الأقصى تراوح ما بين ٤٥,٤٥% إلى ٥١% في العتبات المقواة بالألياف البلاستيكية المصنعة و ألياف الكربون البوليمرية بالمقارنة مع نموذج السيطرة، إضافة إلى ذلك فان وجود الألياف البلاستيكية المصنعة أو ألياف الكربون البوليمرية في الوجه المعرض للشد سوف يقيد اتساع التشققات و بالتالي يسبب زيادة التحمل الأقصى. تحول نوع الفشل من فشل قصيف مفاجئ إلى فشل مطاوع تدريجي عند استبدال ألياف الكربون البوليمرية بالألياف البلاستيكية المصنعة. كانت كفاءة الألياف البلاستيكية المصنعة الرخيصة الثمن نفس كفاءة ألياف الكربون البوليمرية الغالية الثمن في تقوية و تصلح الأعضاء الإنشائية.

## Abstract

In this study, plastic fibers (PF) were manufactured from plastic waste by cutting them into strips and flooding them with nitrogen fluid and then knocking them using a rotary receptacle containing iron balls and then spinning and weaving them to be in the form of fabric similar to carbon

fiber reinforced polymer (CFRP) and for the first time globally and at a very low cost. It is also an effective way to recycle plastic waste that is difficult to recycle. The mechanical, physical, and chemical properties of the manufactured plastic fiber were studied and compared with the properties of the carbon fiber reinforced polymer and found a very close affinity between the properties of those fibers with a very large cost difference as the cost of carbon fiber reinforced polymer is approximately 25 times the cost plastic fiber manufacturer. Laboratory work included the preparation and examination of five reinforced concrete beams and one of these beams returned a model of control as left without external packaging with carbon fiber reinforced polymer strips or plastic fibers manufactured strips, while the remaining beams were divided into two groups, each group consisting of two beams, in which The bending area is externally strengthened or repaired with carbon fiber reinforced polymer strips or plastic fiber manufactured with 100 mm width and 1100 mm length.

Laboratory results showed a significant increase in the ultimate load ranged from 45.45% to 51% in beams strengthened with plastic fiber manufactured and carbon fiber reinforced polymer compared to the control model, in addition to the presence of plastic fiber manufactured or carbon fiber reinforced polymer in the face exposed to the tension will constrain the widening of the cracks and thus cause increase in the ultimate load. The failure type changed from sudden brittle failure into a gradual ductile failure when replacing carbon fiber reinforced polymer with manufactured plastic fiber. The efficiency of the highly inexpensive plastic fiber manufactured was the same as the highly expensive carbon fiber reinforced polymer in the strengthening and repairing of structural members.

## المفصل

### المقدمة

للبلستيك دور مهم وحيوي في حياتنا المعاصرة وقلما تجد منتجا صناعيا يخلو من أحد أنواع البلاستيك بسبب صفاته الجيدة مثل القوة والمرونة وخفة الوزن وانخفاض التكلفة وسهولة التشكيل وفعال أيضا في عزل الحرارة والكهرباء وقابليته للتشكيل لبتلائم وأغراض استعماله ومقاومته للتآكل بفعل الأحماض والقلويات والمذيبات إلا أن الحجم المتزايد والمتراكم من النفايات البلاستيكية وما تحدثه من ضرر على الإنسان والبيئة أدى إلى اهتمام متزايد في كثير من دول العالم لدراسة المشكلة. يعزى الضرر الناتج من النفايات البلاستيكية إلى احتوائها على مواد بوليميرية لا تتحلل بفعل العوامل الطبيعية سواء البيولوجية كالبكتيريا والفطريات والخمائر أو البيئية كالحرارة والرطوبة والضوء أو أشعة الشمس والأكسجين والمواد الكيميائية وغيرها حيث تحتاج إلى ٣٤ سنة لتتحلل وكذلك احتوائها على مواد كيميائية مضافة لغرض تحسين خصائصها وتقليل تكلفتها. يزداد إنتاج الأنواع المختلفة من البلاستيك في العالم بشكل مهول حيث تقدر الدراسات أن إنتاج البلاستيك يستهلك سنويا ٣-٥% من مجمل الإنتاج العالمي من النفط الخام وأنه في عام ٢٠١٢ تم إنتاج ٢٨٠ مليون طن من البلاستيك عالميا (Markus *et.al.*, 2014). استعملت هذه الكميات الضخمة المنتجة في معظم الصناعات ووجد حوالي نصفها طريقها نحو مكعبات النفايات على شكل قمامة ملأت قارات العالم ومياه البحار والمحيطات، شكل (١) يوضح حجم الكارثة البيئية بسبب النفايات البلاستيكية و حجمها المتزايد باستمرار. الطرق التقليدية للتخلص من النفايات البلاستيكية والمتمثلة في الحرق والدفن وإلقائها في الأنهار والبحار والمحيطات تسبب أضرار جسيمة للكائنات الحية والبيئة حيث أن حرق النفايات البلاستيكية يندرج تحت بند الممنوعات والتي ينبغي لها أن تبلغ مستوى التحريم والتجريم، وذلك لأن حرق هذه النفايات ينتج عنه عدد كبير من المكونات الغازية السامة والمسببة لظاهرة الاحتباس الحراري، ومن أهم الغازات الناتجة عنها غاز الديوكسينات وهو من أخطر الغازات المسرطنة، كما ينتج عن حرق البلاستيك غازات الميثان وأكاسيد الكربون وغيرها من الغازات المسببة في تدمير طبقة الأوزون و زيادة ظاهرة الاحتباس الحراري. كذلك أسلوب الدفن ليس حل لأنه يحتاج إلى مساحة واسعة من الأراضي و بتزايد يوما بعد يوم، وذلك مع زيادة عدد السكان وارتفاع المستوى الاقتصادي والحضاري لهم كذلك هذه النفايات صعبة التحلل و تؤثر سلباً على التربة والمحاصيل الزراعية حيث أنها تشكل طبقة عازلة بين التربة وجذور النباتات الزراعية. لذلك ظهرت عدة طرق حديثة للتخلص والاستفادة من النفايات البلاستيكية والتي تشمل إعادة

التدوير وإنتاج الطاقة. أن هذه الدراسة تهدف إلى أعاده تدوير النفايات البلاستيكية والاستفادة منها بصنائه ألياف ذات خصائص تضاهي خصائص ألياف الكربون البوليمرية المستعملة بتقوية و تصليح الأعضاء الإنشائية و بكلفة قليلة جدا.



شكل (١) :- يوضح حجم النفايات البلاستيكية و تأثيرها السلبي على البيئة.

### الفن السابق

قام الباحثان *(Therault and Benmokrane, 2006)* باستعمال الألياف الزجاجية (GFRP) والألياف الكربونية (CFRP) في تقوية الأعضاء الخرسانية خارجيا، حيث اجري الباحثان دراستهما هذه على ثمانية عتبات خرسانية على شكل حرف (T)، إحدى هذه العتبات تركت بدون تغليف بينما قسم من هذه العتبات غلفت خارجيا بألياف الزجاج (GFRP) وقسم الأخر تم تغليفها بألياف الكربون (CFRP)، بعد فحص العتبات لاحظ الباحثان أن حمل الفشل ازداد بمقدار 22 % في العتبات المغلفة ب (GFRP) وبمقدار 48 % في العتبات المغلفة ب (CFRP) هذا مقارنة بالعتبة غير المغلفة. بالإضافة إلى ذلك لاحظ الباحثان إن الهطول (deflection) يزداد في العتبات المغلفة ب (GFRP) بمقدار كبير عند الفشل.

في عام 2010 قام الباحثون *Chajes et. al.* بالتحري العملي على تحسين مقاومة الانثناء للعتبات الخرسانية المسلحة بواسطة تقويتها بالألياف البوليمرية مثل ألياف الزجاج (GFRP) و الألياف الهجينة (AFRP). بعد إجراء الفحوصات المختبرية للعتبات وجدوا إن مقاومة الانثناء قد ازدادت بمقدار 36% باستعمال الألياف الهجينة (AFRP) و بمقدار 40% باستعمال الألياف الزجاجية (GFRP).

درس الباحث *Mohammed* عام 2013، سلوك الانثناء للعتبات الخرسانية المسلحة و المقواة خارجياً بألياف الكربون البوليمرية (CFRP). تسع عتبات فحصت لحد الفشل. ثمان عتبات قويت بألياف الكربون البوليمرية (CFRP). متغيرات الفحص تضمنت عدد طبقات الألياف (طبقة واحدة و طبقتين). كان فشل جميع العتبات بانفصال الألياف عن سطح الخرسانة. استنتج الباحث بان زيادة عدد طبقات الألياف يزيد من احتمالية الفشل بانفصال الألياف عن سطح الخرسانة.

في عام 2017، قرار الباحثان *Rahimi and Hutchinson* التحري العملي على سلوك العتبات الخرسانية المسلحة المقواة أو المعاد تصلحها بألياف الكربون البوليمرية لحالة الانثناء. البرنامج العملي تالف من ١٤ عتبة فحص (عتبات انثناء) لدراسة أخذت بنظر الاعتبار حالتي التقوية وإعادة التصليح لذلك صنعت عتبات متشابهة تستعمل واحدة منها للتقوية وأخرى لإعادة التصليح لعمل مقارنة بينهما. كل العتبات تم فحصها بفضاء بسيط الإسناد ومتعرضة إلى نقطتي تحميل بينما المتغيرات الرئيسية كانت كمية توزيع وموقع شرائح الألياف. مجموعة عتبات الانثناء تضمنت تثبيت إضافي في نهايات صفيحة تقوية ال CFRP الرئيسي لمنع انفصال صفيحة ال CFRP. نتائج الفحوصات العملية بينت أن استعمال CFRP كتنقية خارجية له تأثير كبير على الحمل الأقصى، شكل التشقق والهطول. تم الاستنتاج بان استعمال ال CFRP الخارجي في التقوية أو إعادة تصلح عتبات الانثناء يمكن إن تعزز سعة الحمل الأقصى إلى ٧٠% من سعة العتبة المصدرية المثالية.

## تفاصيل الفكرة

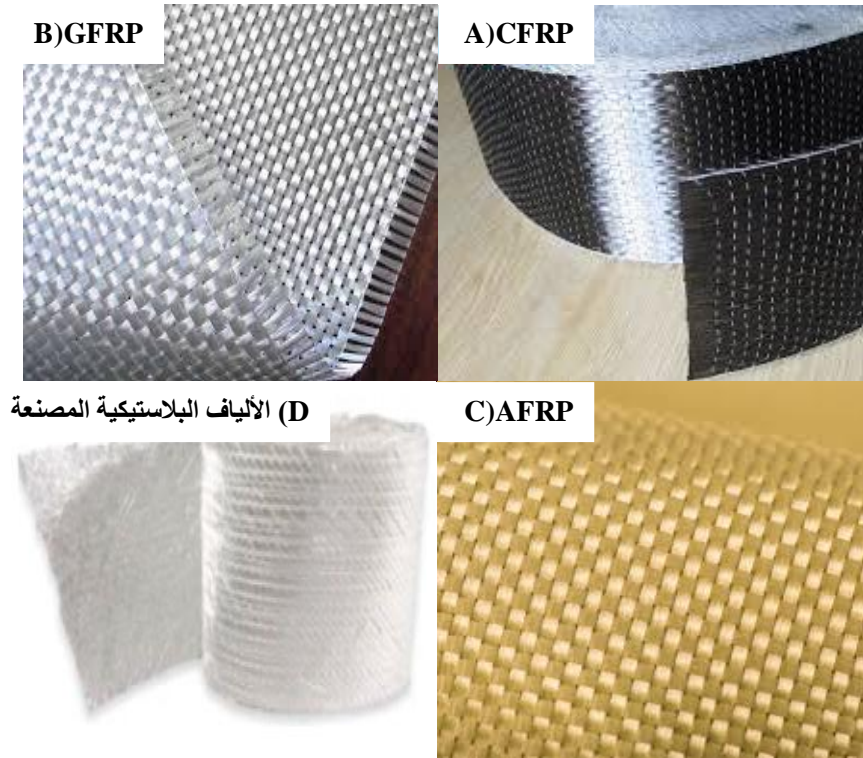
### (أ) المواد

#### (١) الألياف البوليمرية (FRP)

هي مادة مركبة من الألياف والمادة البوليمرية الرابطة (Matrix). تكون الألياف على شكل أنواع مثل ألياف الكربون (CFRP) أو ألياف الزجاج (GFRP) أو الألياف الهجينة (AFRP)، شكل (٢) يوضح هذه الأنواع. أن أفضل و أشهر تلك الأنواع في مجال الهندسة الإنشائية هي ألياف الكربون البوليمرية (CFRP) لما تمتلك من صفات و خصائص تميزها عن غيرها مثل خفيفة الوزن، مقاومة شد عالية، مقاومة للتآكل و الصدأ، سهولة تشكيلها و قصها حسب الحاجة، سهولة تنفيذها في موقع العمل، مادة غير مغنطة. لذا تكون خيار جيد في تقوية و تصلح الأعضاء الإنشائية مثل العتبات و الأعمدة و السقوف و الجدران و الجسور و غيرها سواء كانت

من الخرسانة المسلحة أو من الحديد أو الخشب. أن سبب تقوية و تصليح الأعضاء الإنشائية لأنها تتعرض إلى أضرار، نتيجة حدوث بعض الكوارث الطبيعية كالزلازل الأرضية، أو حدوث خطأ ما أثناء التصميم، أو خلل في التنفيذ كأن يكون هناك نقص في تسليح بعض الأعضاء الخرسانية أو يكون غير كافٍ لتحمل الاجهادات التي تتعرض لها، أو حدوث نقصان في مساحة التسليح نتيجة التآكل والصدأ مع مرور الزمن، أو حدوث تغيير في وظيفة المنشأ، مما يحمل أعضائها أحمالاً خدمية أكبر من الذي أخذت بنظر الاعتبار أثناء التصميم الأولي، كل هذه الأمور تجعل من المنشأ غير قادر على أداء وظيفته التي أنشئ من أجلها.

لكن لهذه الألياف عيوب أيضاً مثل كلفتها المرتفعة بسبب صعوبة تصنيعها حيث تحتاج إلى مصانع متطورة و تقتصر تصنيعها في سويسرا و الصين، عدم توفرها في الأسواق المحلية بكميات كبيرة أي تستورد حسب الطلب، سلوكها الإنشائي قصيف أي خطي إلى حد الفشل و لا تبدي أي تصرف مطواع.



شكل (٢):- يوضح أنواع الألياف البوليمرية و الألياف البلاستيكية المصنعة من نفايات البلاستيك.

في هذه الدراسة تم استخدام ألياف الكربون البوليمرية نوع (Sika wrap Hex230C) أنتاج شركة Sika في تقوية و تصليح العتبات كما موضح في شكل (٣).





شكل (٣):- يوضح ألياف الكربون البوليمرية وألياف البلاستيك المصنعة و الايبوكسي.

## ٢) الألياف البلاستيكية المصنعة من نفايات البلاستيك

تم تصنيع الألياف البلاستيكية بواسطة غسل النفايات البلاستيكية المتمثلة بقناني ماء الشرب أو المشروبات الغازية الموجودة بالأسواق المحلية بالماء لزال الأوساخ العالق بها ثم البدء بتقطيعها على شكل شرائط طوليه ثم جمعها على شكل حزم بواسطة ربطها بخيط قماشي و غمرها بقنينة خزفية تحتوي على سائل النتروجين و بعد مرور خمس دقائق يتم أخراجها ووضعها بوعاء دوار يحتوي على كرات حديديه لغرض طرق حزم الأشرطة البلاستيكية فتتحول إلى ألياف عشوائية غير مستمرة.

بعد ذلك يتم غزل الألياف على شكل خيوط طوليه بسمك ١ ملم ثم تنسج هذه الخيوط بشكل طولي بواسطة جمعها عرضيا بخيط خياطه اعتيادي لنحصل على حصيرة بسمك ١ ملم وبطول يحدده طول خيوط الألياف و بعرض يحدده عدد خيوط الألياف كما موضح بالشكل (٤).





الألياف البلاستيكية بعد غزلها و نسجها



تقطيع النفايات إلى أشرطة



تحول الأشرطة إلى ألياف عشوائية



الأشرطة بعد غمرها بسائل النتروجين



الأشرطة بعد  
وضعها بالوعاء  
الدوار



شكل (٤) :- يوضح مخطط مراحل تصنيع الألياف البلاستيكية من نفايات البلاستيك.

### ٣) الاسمنت

استخدم الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي (كرسته) من إنتاج معمل اسمنت طاسلوجة و مطابق للمواصفات العراقية الخاصة بالإسمنت البورتلاندي رقم (٥) لسنة ١٩٨٤.

### ٤) الركام الناعم (الرمل): -

استعمل ركام ناعم طبيعي مغسول من منطقة الاخضر في كربلاء مطابق للمواصفات العراقية رقم (٤٥) لسنة ١٩٨٤.

### ٥) الركام الخشن (الحصى): -

استخدم الحصى المستخرج من مقالع النباعي في الخلطة الخرسانية ونو تدرج (١٩-٥) ملم ومطابق للمواصفة القياسية العراقية رقم (٤٥) لسنة ١٩٨٤ بالنسبة للأملاح والتدرج. بعدها تم غسل الكمية المطلوبة للتخلص من الأتيطان والمواد الشائبة ثم ترك ليحجف في درجة حرارة المختبر ولمدة ٢٤ ساعة.

### ٦) الماء: -

استخدم ماء الشرب الاعتيادي في تحضير الخلطة الخرسانية ومعالجة النماذج.

### ٧) حديد التسليح:-

تم استخدام قضبان حديدية محرزة أوكرائية المنشأ لتسليح نماذج الفحص (العتبات) ذات قطر (١٠) ملم و (٨) ملم لتسليح الانحناء و مقاس (١٠) ملم لتسليح القص و لمعرفة بعض الخصائص الميكانيكية لهذه القضبان تم إجراء فحص الشد لثلاثة عينات لكل مقاس قطري ثم اخذ المعدل حسب المواصفات الأمريكية ASTM A370-05 كما موضح في جدول (١).

جدول (١):- يوضح نتائج فحص الشد لقضبان حديد التسليح.

القطر (ملم)	أجهاد الخضوع (MPa)	أجهاد الفشل (MPa)	الاستطالة %
١٠	٤٢٠	٥٦٠	١٣,٥
٨	٤٣٥	٥٧٨	١٢,٤

## ٨) المادة الرابطة (الايبوكسي):-

عملية التقوية و التصليح للأعضاء الخرسانية بالألياف البوليمرية و الألياف البلاستيكية المصنعة لا تتم إلا بوجود مواد رابطة، تعمل هذه المواد على التصاق الألياف على سطح الخرسانة بأحكام، إذ استخدم في هذه الدراسة الايبوكسي من نوع متوسط اللزوجة يدعى ب (Sikadur 330 C) الذي يتكون من جزأين رئيسين هما المادة الصمغية (A) (Resin) والمادة المصلدة ((B) Hardener) كما موضح بالشكل (٣).

ولتكوين المزيج من الايبوكسي الذي يستخدم في عملية لصق الألياف على سطح الخرسانة تخلط المادة الصمغية (A) مع المادة المصلدة (B) بنسبة وزن (1:4) كما توصى به توصيات الشركة المنتجة لهذه المادة والمدونة في الجدول (٢).

جدول (٢):- الخصائص الفيزيائية للايبوكسي (Sikadur 330 C) المستخدم.

Properties	Result of Testing *
Density (20 C)	1.31kg /l (comp. A+B)
Viscosity	Pasty, not flowable
Tensile strength	Curing 7day, +23C 30 N/mm <sup>2</sup>
Flexural-E- Modulus	Curing 7day, +23C 3800 N/mm <sup>2</sup>
Mix ratio	A:B=4:1 by weight.
Pot life	+10 C: 90min. +30 C: 35min.

\*النتائج من شركة Sika المنتجة لهذه المادة.

## ب) الأجهزة المستعملة

### ١) جهاز فحص الشد والانحناء للألياف

استعمل هذا الجهاز لفحص مقاومة الشد لألياف الكربون البوليمرية (CFRP) و الألياف البلاستيكية المصنعة (PF) بمفردها و مقاومة الشد و الانحناء لألياف الكربون البوليمرية (CFRP) و الألياف البلاستيكية المصنعة (PF) بعد مزجها مع الايبوكسي.



شكل (٥):- يوضح جهاز فحص مقاومة الشد والانحناء الموجود في جامعة بابل.

## ٢) جهاز فحص مقاومة الصدمة

استعمل هذا الجهاز لقياس مقاومة الصدمة لألياف الكربون البوليمرية (CFRP) و الألياف البلاستيكية المصنعة (PF) بعد مزجها مع الايبوكسي.



شكل (٦):- يوضح جهاز فحص مقاومة الصدمة الموجود في جامعة بابل.



٣) جهاز قياس مقاومة الانضغاط و مقاومة الشد الانفلاقي للخرسانة  
استعمل هذا الجهاز لقياس مقاومة الانضغاط و مقاومة الشد الانفلاقي للخرسانة.



شكل (٧):- يوضح جهاز فحص مقاومة الانضغاط و مقاومة الشد الانفلاقي للخرسانة الموجود في جامعة بابل.

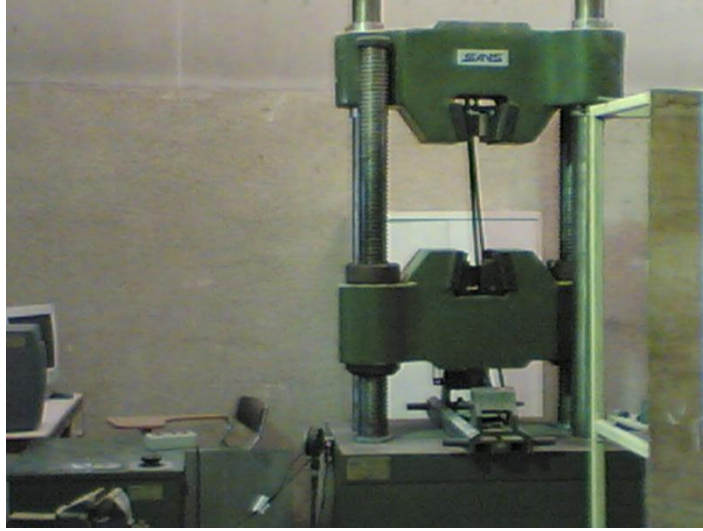
٤) جهاز فحص مقاومة الانثناء و الهطول للعتبات الخرسانية  
استعمل هذا الجهاز لقياس مقاومة الانثناء و حمل الفشل و الهطول للعتبات الخرسانية المقواه و المصلحة بألياف الكربون البوليمرية (CFRP) والألياف البلاستيكية المصنعة (PF).



شكل (٨):- يوضح جهاز فحص مقاومة الانثناء و الهطول للعتبات الخرسانية الموجود في جامعة بابل .

٥) جهاز فحص مقاومة الشد للقضبان الحديدية (حديد التسليح)

استعمل هذا الجهاز لقياس مقاومة الشد للقضبان الحديدية (حديد التسليح) المستعملة في تسليح العتبات الخرسانية المسلحة.



شكل (٩) :- يوضح جهاز فحص الشد لقضبان حديد التسليح الموجود في جامعة بابل.

٦) جهاز فحص مقاومة الانثناء للخرسانة

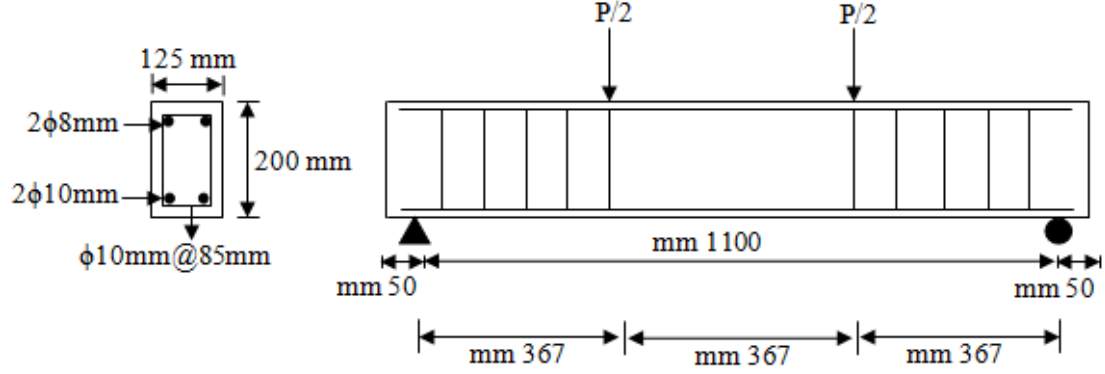
استعمل هذا الجهاز لقياس مقاومة الانثناء للخرسانة.



شكل (١٠) :- يوضح جهاز فحص مقاومة الانثناء للخرسانة الموجود في جامعة بابل.

## ج) نماذج الفحص

أجريت هذه الدراسة على (٥) عتبات خرسانية بطول ١٢٠٠ ملم وبأبعاد مقطع ١٢٥ ملم عرض وارتفاع ٢٠٠ ملم , صممت العتبات بحيث يتجنب فيها فشل القص أي يحدث فقط فشل الانثناء، حيث سلحت جميعها في منطقة الشد من الأسفل بقضيبين حديديين ذات قطر ١٠ ملم ومن الأعلى بقضيبين بقطر ٨ ملم مع وضع حلقات حديد تسليح القص بقطر ١٠ ملم على مسافة نشر مقدارها ٨٥ ملم بين حلقة وأخرى كما موضح بالشكل (١١).



شكل (١١) :- يوضح أبعاد و تفاصيل حديد التسليح لنماذج الفحص.

واحدة من هذه العتبات عُدّت نموذجاً للسيطرة إذ ترك بدون تغليف خارجي بشرائط ألياف الكربون البوليميرية أو الألياف البلاستيكية المصنعة وتم ترميزه بالرمز (B)، أما العتبات المتبقية البالغ عددها (٤) ، فقد قسمت إلى مجموعتين، كل مجموعة تتكون من عتبتين، تم فيها تقوية أو تصليح منطقة الانثناء خارجياً بشرائط من ألياف الكربون البوليميرية أو الألياف البلاستيكية المصنعة بعرض الشريط مقداره ١٠ ملم و طول ١١٠٠ ملم و تم ترميزها بالرموز التالية (B- Strengthening) و حرف (R) يشير إلى التصليح (Repairing) و يقصد بالتصليح إي إن العتبة يتم تحميله بالحمل الخدمي البالغ مقداره ٧٠% من حمل الفشل لنموذج السيطرة لتمثيل حالة الضرر في الأعضاء الإنشائية في الواقع العملي و من ثم يتم تصليحه بواسطة لصق شرائط ألياف الكربون البوليميرية أو الألياف البلاستيكية المصنعة ثم يعاد تحميلها إلى حد الفشل.

## د) عملية التقوية والتصليح بألياف الكربون البوليميرية و الألياف البلاستيكية المصنعة

بعد إكمال صب النماذج و فترة المعالجة يغسل السطح جيدا للتخلص من دقائق الغبار وإزالة آثار الزيت الناتجة من تدهين القالب قبل الصب، ثم يترك النموذج بجو المختبر ليجف، يلي بعد ذلك عملية جلي السطح بواسطة اله خاصة (الكوسره) والغرض منه هو إزالة طبقة المونة



الأسمنتية المتجمعة على سطح العتب التي تكون عادة ضعيفة و استخراج الطبقة الحصوية القوية لمنع ظاهرة انفصال أشرطه الألياف عن سطح الخرسانة. يتم بعد ذلك تجهيز أشرطه الألياف الكربونية و البلاستيكية المصنعة حسب الأبعاد والأعداد المطلوبة وتتم عملية قطع الألياف باستعمال آلة حادة كالمقص مثلا. ثم يتم تهيئة مزيج من الايبوكسي (Sikadur 330C) حسب إرشادات استعمال المادة حيث يتم تحضير الكمية المطلوبة للعمل من المادة الصمغية (A) وResin والمادة المصلدة Hardener (B) وتمزج كل منها على حدا من ثم تمزج مع بعضهما بنسبة وزنيه (1:4) داخل وعاء وتخلط لمدة لا تقل عن ثلاث دقائق لكي يتم الحصول على خليط متجانس ذو لون رصاصي. يتم معاملة سطح النموذج في الأسفل (في منطقة الشد) بطبقة من الايبوكسي حسب توصيات الشركة المنتجة لها باستخدام المالج بنسبة  $1.1\text{kg}/\text{m}^2$  أي بسمك تقريبا  $0.84\text{mm}$ ، ثم توضع شرائط أليافالكربون البوليمرية أو الألياف البلاستيكية المصنعة على سطح النموذج فوق الايبوكسي ويضغط عليها باتجاه الألياف لضمان تشبعها بشكل جيد وللتخلص من الفراغات التي قد تحصل بين الألياف و سطح النموذج نتيجة لوجود بعض الفراغات الهوائية وكذلك للحصول على سمك ثابت لطبقة الايبوكسي ويطلى السطح الخارجي للألياف بطبقة أخرى من الايبوكسي بنسبة  $0.5$  كيلو غرام لكل متر مربع من الألياف أي بسمك تقريبا  $0.38\text{mm}$ . تترك النماذج لمدة لا تقل عن سبعة أيام قبل الفحص لضمان تصلب الايبوكسي بشكل تام.



شكل (١٢):- يوضح عملية صب و تقوية العتبات الخرسانية المسلحة بألياف.

## ٥) النتائج

### ١ - الخصائص الميكانيكية للخرسانة

بعد انتهاء فترة المعالجة للمكعبات الخرسانية ذات الأبعاد (١٥٠x١٥٠x١٥٠ ملم) اجري فحص الانضغاط بعمر ٢٨ يوم وكانت مقاومه الانضغاط تساوي 22 MPa وهذه النتيجة تمثل المعدل لثلاث مكعبات حسب المواصفات البريطانية BS1881- part 116:2000. إما مقاومة شد الانفلاق فكانت تساوي ٢,٨٤ MPa وهي تمثل المعدل لاسطوانتين بإبعاد (٣٠٠x١٥٠ ملم) حسب المواصفات الأمريكية ASTM C496/C 496M. أما بالنسبة لمقاومه الانتناء فكانت تساوي ٤,٣٣ MPa وهي تمثل معدل لموشورين بإبعاد (٤٠٠x١٠٠x١٠٠ ملم) حسب المواصفات الأمريكية ASTM C78-02.

### ٢ - الخصائص الميكانيكية للألياف بمفردها

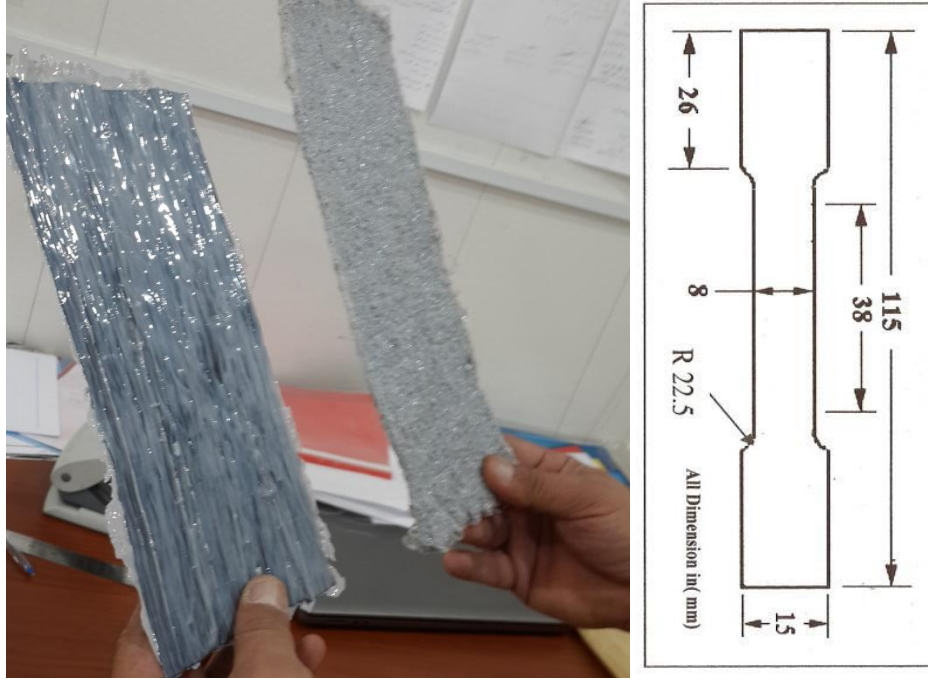
جدول (٣) يبين بعض الخصائص الميكانيكية لألياف الكربون البوليمرية (CFRP) و الألياف البلاستيكية المصنعة (PF). حيث تم اخذ أشرطة بعرض ٥٠ ملم و طول ٢٥٠ ملم من كلا النوعين كعينات فحص، كل نتيجة في الجدول تمثل المعدل لثلاث عينات فحص.

جدول (٣) :- يوضح نتائج فحص ألياف الكربون البوليمرية (CFRP) و الألياف البلاستيكية المصنعة (PF).

الألياف البلاستيكية المصنعة (PF)			ألياف الكربون البوليمرية (CFRP)		
السلك	معامل المرونة	مقاومة الشد	السلك	معامل المرونة	مقاومة الشد
(mm)	(GPa)	(MPa)	(mm)	(GPa)	(MPa)
١	١٦٨	٢٤٨٠	٠,١٣١	٢٠٥	٣٦١٠

### ٣ - الخصائص الميكانيكية للألياف بعد طليها بالايوكسي

جدول (٤) يبين بعض الخصائص الميكانيكية لألياف الكربون البوليمرية (CFRP) و الألياف البلاستيكية المصنعة (PF) بعد طليها بالايوكسي. حيث تم إعداد قطعة من الألياف وتم طلاءها بطبقة من الايبوكسي من الجهتين وحسب توصيات الشركة المنتجة للايبوكسي، وبعد مرور ٧ أيام والتي هي فترة معالجة الايبوكسي تم تقطيعها بالة خاصة ( الكوسرة ) إلى الشكل والأبعاد الموضحة في الشكل (١٣)، وأجري لها فحص الشد وفق المواصفة الألمانية DIN رقم (DIN:50155). أما عينات فحص الانحناء و الصدمة فكانت على شكل أشرطة بعرض ٥٠ ملم و طول ٢٥٠ ملم من كلا النوعين كعينات فحص، كل نتيجة في الجدول تمثل المعدل لثلاث عينات فحص.



شكل (١٣):- يوضح أبعاد وشكل أنموذج عينات الفحص لشرائط الألياف.

جدول (٤):- يوضح نتائج فحص ألياف الكربون البوليمرية (CFRP) و الألياف البلاستيكية المصنعة (PF) بعد طلاؤها بالايوكسي.

نوع الألياف	مقاومة الشد (MPa)	مقاومة الانحناء (MPa)	مقاومة الصدمة (N.m)	معامل المرونة (GPa)	السك (mm)*
ألياف الكربون البوليمرية (CFRP)	٦٦٨	٢٣٠	١,٣	١٠٣	١,٦
الألياف البلاستيكية المصنعة (PF)	٤٢٣	١٨٩	١	٧٨	٢,٣

\*سك أشرطة الألياف بعد طلاؤها بالايوكسي من الجهتين حسب توصيات الشركة المنتجة للايوكسي.

٤- نتائج العتبات الخرسانية المسلحة

تم تحليل نتائج الفحوصات للعتبات الخرسانية المسلحة على أساس سلوك التشققات، و منحنى الحمل-الهطول في منطقة المنتصف، الحمل الأقصى ونمط الفشل.

## أ - سلوك التشققات

تم رصد تشكيل التشققات في جميع أنحاء العتبات المفحوصة لتقييم سلوك التشققات للعتبات المقواه أو المصلحة بالألياف بالمقارنة مع سلوك التشققات لعتبة السيطرة غير المقواه أو المصلحة. ومع ذلك، ركزت هذه الدراسة على سلوك فصل الألياف عن سطح الخرسانة، و الحمل الأول للتشقق وأنماط تشقق جميع العتبات.

### - حمل أول شق

أظهرت التقوية بالألياف للعتبات المسلحة تحسنا واضحا في حمل أول شق عند مقارنتها مع عتبة السيطرة، جدول (٥). كانت الزيادة في حمل أول شق للعتبتين B-S-CFRP، B-S-PF هي ٢٧,٨%، ٢٢,٢% على التوالي. هذا يعني إن ألياف الكربون البوليمرية (CFRP) و الألياف البلاستيكية المصنعة (PF) تعمل على تأخير ظهور الشقوق بسبب تقيد العتبة في منطقة الانثناء و إن كفاءة الألياف البلاستيكية المصنعة (PF) تقريبا نفس كفاءة ألياف الكربون البوليمرية (CFRP) في زيادة حمل أول شق.

جدول (٥):- يوضح حمل أول شق و مقدار الزيادة فيه للعتبات المفحوصة.

الزيادة في الحمل %	حمل أول شق (kN)	العتبة
-	١٨	B
٢٧,٨	٢٣	B-S-CFRP
٢٢,٢	٢٢	B-S-PF

### - نمط التشقق

في عتبة السيطرة (B)، ظهر أول شق عند حمل (18 kN) في منتصف العتبة إي في منطقة العزم الأقصى من الأسفل ثم بدء بالصعود نحو الأعلى وهو يمثل شق انثناء و بتقدم الحمل بدأت التشققات تظهر بجوار الشق الأول و تقترب إلى منطقة الإسناد. بالقرب من منطقة الإسناد ظهرت شقوق الانثناء-القص ثم بدأت التشققات بالاتساع بالعرض إلى حين فشل العتبة، شكل (١٤). أما العتبتين المقواتين بألياف الكربون البوليمرية (CFRP) و الألياف البلاستيكية المصنعة (PF) (B-S-CFRP، B-S-PF) فظهر أول شق عند حمل مقداره (23 kN، 21 kN) على التوالي في منتصف العتبة إي في منطقة العزم الأقصى. من الشكل (١٤) يمكن إن نلاحظ



بان عدد الشقوق و عرضها قد قل و كذلك طولها بسبب التقوية بألياف الكربون البوليمرية (CFRP) أو الألياف البلاستيكية المصنعة (PF). إما بالنسبة للعتبتين المصلحتين باستخدام بألياف الكربون البوليمرية (CFRP) أو الألياف البلاستيكية المصنعة (PF) (B-R-CFRP)، فقد ازداد عدد الشقوق بمقدار قليل بسبب هاتين العتبتين قد تم تحميلهما لمرتين مرة قبل التصليح و الأخرى بعد التصليح. كما نلاحظ بان كفاءة الألياف البلاستيكية المصنعة هي نفس كفاءة ألياف الكربون البوليمرية في تقييد و عدم انتشار الشقوق بسبب الأحمال.

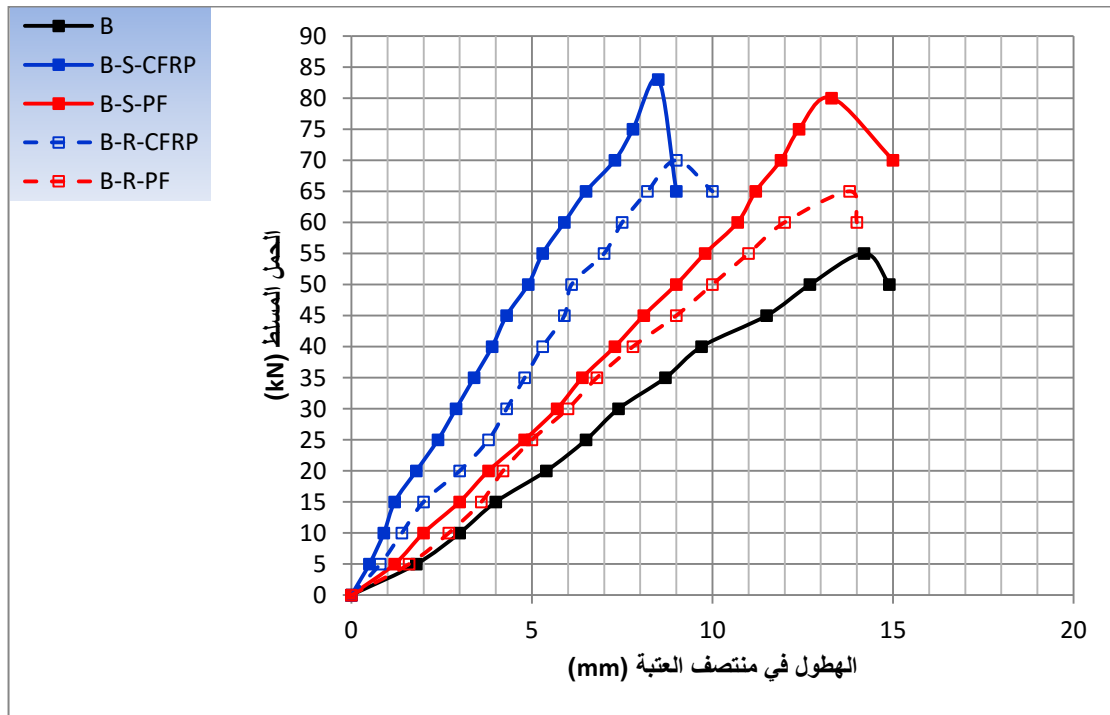


شكل (١٤) :- يوضح نمط الشقوق في العتبات المفحوصة.

ب منحنيات الحمل-الهطول

لمعرفة السلوك الإنشائي للعتبات المفحوصة تم رسم منحنيات الحمل-الهطول وكما موضح بالشكل (١٥). بشكل عام يمكن إن نلاحظ بان المنحنيات المرسومة تتكون من ثلاث مراحل. في

المرحلة الأولى تكون جميع المواد المكونة للعتبة المفحوصة ( الخرسانة، حديد التسليح، الألياف) في مرحلة المرونة لذلك تكون هذه المرحلة خطية تقريبا. إما المرحلة الثانية فتبدأ الخرسانة في منطقة الشد بالتشقق لذلك يكون ميل هذه المرحلة اقل. في المرحلة الثالثة و هي مرحلة الفشل يبدأ حديد التسليح في منطقة الشد بالخضوع و من ثم الفشل لذلك تكون ميلها اقل. بالنسبة للعتبتين المقواه أو المصلحة بألياف الكربون البوليمرية (CFRP) (B-R-CFRP ، B-S-CFRP) فقد أظهرت تصرف قصيف و ليس مطاوع حيث قل الهطول الأقصى بالمقارنة مع عتبة السيطرة بمقدار ( ٤٠% ، ٣٦,٦%) على التوالي. إما بالنسبة للعتبتين المقواه أو المصلحة بالألياف البلاستيكية المصنعة (PF) (B-R-PF ، B-S-PF) فقد أظهرت تصرف مطاوع حيث قل الهطول بالمقارنة مع عتبة السيطرة بمقدار قليل جدا ( ٦,٣% ، ٢,٨%) على التوالي. وهذا التصرف يعتبر نقطة ايجابية لألياف البلاستيكية المصنعة (PF) حيث هذه الألياف لا تقلل المطاوعة و يكون الفشل تدريجي و ليس مفاجئ كما في العتبات المقواه و المصلحة بألياف الكربون البوليمرية (CFRP) لذلك يكون الفشل أكثر أمانا.



شكل (١٥) :- يوضح منحنيات الحمل-الهطول للعتبات المفحوصة.

ج- الحمل الأقصى و نمط الفشل

من جدول (٦) يمكن إن نلاحظ بان مقدار الزيادة في الحمل الأقصى للعتبة المقواه بألياف الكربون البوليمرية (B-S-CFRP) كانت ٥١% بالمقارنة مع عتبة السيطرة (B) و مقدار

الزيادة في الحمل الأقصى للعتبة المقواة بالألياف البلاستيكية المصنعة (B-S-PF) هي ٤٥,٤٥% بالمقارنة مع عتبة السيطرة (B) وهذا يدل على كفاءة الألياف البلاستيكية المصنعة (PF) و قربها لكفاءة الألياف الكربون البوليمرية (CFRP).

جدول (٦):- يوضح الحمل الأقصى و نمط الفشل لكل العتبات المفحوصة .

العتبات	الحمل الأقصى (kN)	الزيادة بالحمل الأقصى %	نمط الفشل
B	٥٥	-	فشل انحناء مثالي
B-S-CFRP	٨٣	٥١	فشل انفصال
B-S-PF	٨٠	٤٥,٤٥	فشل انفصال
B-R-CFRP	٧٠	٢٧,٢٧	فشل انفصال
B-R-PF	٦٥	١٨,١٨	فشل انفصال

بالنسبة للعتبتين المصلحتين باستخدام ألياف الكربون البوليمرية أو الألياف البلاستيكية المصنعة (B-R-CFRP، B-R-PF) فنلاحظ بان كلا النوعين من الألياف استطاع إرجاع العتبة المصلحة إلى قابليتها لتحمل الأحمال و تصليح الإضرار الناجمة من التحميل بمقدار ٧٠% من حمل الفشل لعتبة السيطرة مع زيادة في التحمل بمقدار (٢٧,٢٧%، ١٨,١٨%) على التوالي. كما نلاحظ بان كفاءة ألياف البلاستيكية المصنعة (PF) في تصليح الأعضاء الإنشائية تقريبا نفس كفاءة ألياف الكربون البوليمرية (PF).

فيما يخص بنمط الفشل لعتبة السيطرة فهو فشل انحناء مثالي و كما مخطط إليه في هذه الدراسة، إما نمط الفشل لبقية العتبات المقواة أو المصلحة بألياف الكربون البوليمرية (CFRP) أو الألياف البلاستيكية المصنعة (PF) فهو فشل انفصال الألياف عن سطح الخرسانة ثم يليه فشل انثناء. وهذا النمط من الفشل شائع و متوقع في العتبات المقواة أو المصلحة بألياف بسبب كثرت التشققات في منطقة منتصف العتبة إي في مكان العزم الأقصى (منطقة الانثناء) لذلك تبدأ هذه الألياف بالانفصال عن سطح الخرسانة دون انقطاعها أو تمزقها.

### الجدوى الاقتصادية

إن الجدوى الاقتصادية من الدراسة أعلاه هي تصنيع ألياف بلاستيكية من نفايات البلاستيك محلياً بكفاءة عالية وبكلفة ٢ دولار للمتر الواحد بعرض ٥٠ سم (تصنيع الألياف، الغزل، النسج) في حين إن استيراد المتر الواحد من ألياف الكربون البوليمرية بعرض ٥٠ سم من الصين أو



سويسرا أو كوريا الجنوبية تكلف أكثر من ٥٠ دولار (سعر المتر الواحد). بالإضافة إلى ذلك، تعتبر طريقة فعالة وسريعة لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية و بكلفة زهيدة جدا.

## التطبيقات

يمكن استعمال الألياف البلاستيكية المُصنعة في المجالات الآتية:

- أ - في التطبيقات الصناعية لإعادة تدوير النفايات البلاستيكية.
- ب - في التطبيقات التي تحتاج إلى تقوية أو تصليح الأعضاء الإنشائية .
- ت - في التطبيقات الإنشائية لتحسين خواص الخرسانة كالألياف عشوائية قبل غزلها.
- ث كالألياف تقوية أو تصليح الأعضاء الإنشائية في الأبحاث العلمية المتطورة لطلبة الدبلوم العالي و الماجستير والدكتوراه الذين يعملون في مجال الهندسة الإنشائية.

## المميزات

- ١ - تصنيع ألياف بلاستيكية بطريقة محلية سهلة التحضير .
- ٢ - ذات كلفة منخفضة و زهيدة جدا مقارنة بكلفة ألياف الكربون البوليمرية عالية الثمن.
- ٣ - سريعة التحضير و التصنيع و لا تحتاج إلى مصانع مطورة كما تحتاجه مصانع ألياف الكربون البوليمرية.
- ٤ - تعطي تصرف مطاوع و يكون فشل الأعضاء الإنشائية المقواة بهذه الألياف فشل تدريجي بالعكس من ألياف الكربون البوليمرية التي يكون تصرفها قصيف و يكون الفشل بالأعضاء المقواة بها فشل مفاجئ و قصيف لذا تكون التقوية و تصليح الأعضاء الإنشائية بالألياف البلاستيكية المصنعة أكثر أمانا.
- ٥ - يمكن نسج هذه الألياف باتجاهات مختلفة (باتجاه واحد فقط، باتجاهين متعامدين، مائلة بزاوية ٤٥°) بعكس ألياف الكربون البوليمرية المتوفرة بالأسواق المحلية التي تكون منسوجة باتجاه واحد فقط.
- ٦ - تعتبر تصنيع هذه الألياف طريقة فعالة و حديثة للتخلص و إعادة تدوير النفايات البلاستيكية التي تتصف بصعوبة إعادة تدويرها.
- ٧ - الألياف البلاستيكية المصنعة تمتلك صفات وخصائص نفس صفات و خصائص ألياف الكربون البوليمرية مثل خفة الوزن، مقاومة التآكل و الصدأ، مقاومة الشد العالية، مقاومة الصدمة، مقاومة القلويات و الأحماض، السمك القليل، مقاومة العوامل الجوية،

سهولة التطبيق و التنفيذ، مقاومتها للحرائق لأنها مغلفة بطبقة من الايبوكسي وبكلفة زهيدة.

## الإدعاءات

- (١) تصنيع ألياف من تدوير نفايات البلاستيك كبديل عن ألياف الكربون البوليمرية المستعملة في تقوية و تصليح الهياكل الإنشائية.
- (٢) إشارة إلى الادعاء رقم (١) تم تصنيع الألياف من تدوير النفايات البلاستيكية بطريقة التبريد بالنتروجين ثم تطحن بعد ذلك و تحول إلى ألياف و مسحوق تستخدم الألياف و تغزل ثم تنسج على شكل نسيج.
- (٣) إشارة إلى الادعاء رقم (١) تم استخدام هذا النسيج و معاملته بالايوكسي ( Sikadur 330 C) ثم لصقه على العتبات الخرسانية المسلحة المطلوب تقويتها أو تصليحها.
- (٤) إشارة إلى الادعاء رقم (١) كان أفضل قطر للألياف المنسوجة و المدورة من النفايات البلاستيكية بقطر (١ ملم) أعطت أفضل النتائج.
- (٥) إشارة إلى الادعاءات السابقة كانت أفضل النتائج عندما تكون المسافة البينية بين الألياف (٠,٢ ملم).

## المصادر

- 1) Abdel-Sayed, G Grace, N.F., Soliman, A.K., and Saleh, K.R., (1998): Behavior and Ductility of Simple and Continuous Frp Reinforced Beams, Journal of composites for construction, Vol. 2, pp. 186-194.
- 2) Achintha, P.M., Burgoyne C.J. (2006),"A Fracture-Mechanics Model for Debonding of External Fiber Reinforced Polymer Plates on Reinforced Concrete Beams", The Tenth East-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, Bangkok, Thailand.

- 3) ACI Committee 440 (2002), "Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures", American Concrete Institute, Detroit.
- 4) Alagusundaramoorthy, P., Harik, I., Choo, C., (2002), "Flexural Behavior of R/C Beams Strengthened with CFRP Sheets or Fabric.", Research Report, KTC-02-13/SBR200-99-IF, Kentucky transportation center, university of Kentucky.
- 5) Al-Mahaidi, R. (2003), "Use of FRP Composites for Strengthening of Concrete Buildings and Bridges." Monash University, Melbourne, Australia.
- 6) Al-Salem S., Lettieri P., and Baeyens J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. Waste Management, 29(10): 2625–2643.
- 7) Al-Sulaimani, G.J., Sharif, A.M., and Basunbul, I.A., (1994): Shear Repair for Reinforced Concrete by Fiber Glass Bonding. ACI Structural Journal, Vol. 91, pp.458-464.
- 8) American Concrete Institute, ACI Committee 318, (2005), "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-05) and Commentary (ACI 318R-05)", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- 9) Arnes, R.A., Mays, G.C., (1999): Fatigue Performance of Concrete Beams Strengthening With Cfrp Plates . Journal of composite For construction , Vol.3, No.2.
- 10) ASTM A 370-05(2005)," Standard Test Method and Definition for Mechanical Testing of Steel Products.", 2005 Annual Book of ASTM Standards, Vol.01.01, ASTM, Philadelphia, PA.
- 11) ASTM C 78-02, 2002 "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point

- Loading)", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials .
- 12) ASTM C 496/C 496M-04, 2004 "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens", Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.02 Concrete and Aggregates, West Conshohocken, PA, United States, 5 pp.
  - 13) BS 1881-Part 116:1983, 2000 "Method for Determination of Compressive Strength of Concrete Cubes", British Standards Institute BSI, London, 11 pp.
  - 14) Carolin, A., (2003),"Carbon Fiber Reinforced Polymers for Strengthening of Structural Elements", Ph.D. Thesis, university of Lulea, Sweden, pp.194, (cited in Lundqvist, 2007).
  - 15) Chaallal, O., Nollet, M.J., and Perraton, D., (1998), "Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded Fiber- Reinforced-Plastic Plates: Design Guidelines for Shear and Flexure", *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol.25, No.4, pp. 692-704.
  - 16) Dai ,J. G.,(2003),”Interfacial Models for Fiber Reinforced Polymer (FRP) Sheets Externally Bonded to Concrete “, Ph.D dissertation, Hokkaido university ,Japan.
  - 17) Ingle R., Masal R., and Gargade A. (2014) . Obtaining Fuels from Plastic Waste. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication* , 2(4): 2321-8169.
  - 18) Iraqi Specification Standards IQS No. 5, 1984 "Portland Cement", Central Agency for Standardization and Quality Control, Planning Council, Baghdad, IRAQ, (in Arabic).
  - 19) Iraqi Specification Standards IQS No.45, 1984 "Aggregate from Natural Sources for Concrete and Construction", Central

Agency for Standardization and Quality Control, Planning Council, Baghdad, IRAQ, ( in Arabic).

- 20) Markus K., David G., Andreas P., Cecilia H., and Ulrika D. (2014). Everything you (don't) want to know about plastics. Report by; Aturskyddsforeningen.
- 21) Rahimi, H., and Hutchinson, A., (2001), "Concrete Beams Strengthened with Externally Bonded FRP Plates", ASCE Journal of Composites for Construction, Vol. 5, No. 1, pp. 44-56.
- 22) Theriault, M. and Benmokrane, B., (2006): Effects of Frp Reinforcement Ratio and Concrete Strength on Flexural Behavior of Concrete Beams. Journal of Composites for Construction, Vol.2, pp. 7-16.