مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (7) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (7) 2013

تأثير إضافة ألياف البولي بروبيلين على الخصائص الريولوجية و الميكانيكية للبيتون ذاتي التوضع

الدكتور غاندي علي جحجاح*
الدكتور علي خير بك**
تمّام زينه***

(تاريخ الإيداع 31 / 7 / 2013. قُبِل للنشر في 3/ 9 / 2013)

∇ ملخّص ∇

ازداد الاهتمام في السنوات الأخيرة بشكل كبير بتطوير المواد الداخلة في تركيب العناصر الإنشائية من أجل تعزيز الأداء و تحسين ديمومة الجمل الإنشائية و من هذه المواد البيتون ذاتي التوضع (scc) الذي بدأ استخدامه في اليابان في الثمانينيات حيث يمكن تحسين خصائص البيتون ذاتي التوضع الصلبة بإضافة الألياف, الأمر الذي ينتج عنه قابلية تشغيل أقل في الحالة الطرية.

تعرضنا في هذا البحث لدراسة سلوك البيتون ذاتي التوضع المسلح بألياف البولي بروبيلين, حيث استخدمنا في تصميم الخلطة البيتونية الفيلر الكلسي الناتج من طحن الحجر الكلسي بشكل شديد النعومة لدرجه قريبه من نعومة الإسمنت, بالإضافة لاستخدام الملدنات عالية الفعالية المطابقة للمواصفات الأمريكية ASTM C 494–type G ,حيث تم استخدام ألياف بولي بروبيلين متعددة الشعيرات بطول 19 mm.أجريت الاختبارات على اسطوانات ارتفاعها 300mm و قطرها 150mm لدراسة سلوك البيتون ذاتي التوضع بدون ألياف و سلوك البيتون ذاتي التوضع المسلح بأربع نسب مختلفة من ألياف البولي بروبيلين وهي ($1500,1250,1000,750\ gr/m^3$) و الحصول على منحني السلوك إجهاد _ تشوه.

أظهرت النتائج تحسن في المقاومة على الضغط البسيط و المقاومة على الشد بالانعطاف و ابتعاد سلوك البيتون ذاتي التوضع عن السلوك الهش الذي يتميز به, و يزداد هذا التحسن مع زيادة نسبة الألياف المستخدمة و يترافق ذلك بتراجع في الخواص الريولوجية.

الكلمات المفتاحية: بيتون ذاتي التوضع, مسلح, ألياف بولي بروبيلين, سلوك البيتون, المطاوعة, الصلابة على الانحناء.

* أستاذ – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
** أستاذ مساعد– قسم هندسة و إدارة التشييد – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
*** طالب دراسات عليا (ماجستير) – قسم الهندسة الإنشائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (7) 2013
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (7) 2013

The Influence of Adding PP Fibers on the Rheological and Mechanical Properties of Self-compacting Concrete

Dr. Ghandi Ali Gehgah*
Dr. Ali Kheirbek**
Tammam Zainah***

(Received 31 / 7 / 2013. Accepted 3 / 9 / 2013)

∇ ABSTRACT ∇

In the recent years, there has been increasing concern about the development of the materials which are included in composition of structural elements to enhance their performance and improve the continuance of structural models. One of these materials is Self-Consolidating Concrete (SCC) which was first used in Japan in the 1980s, so that the solid properties of the self-consolidating concrete could be improved by adding fibers, and hence less workability results at fresh state. In this research, the behavior of reinforcement self-compacting concrete with polypropylene fibers was introduced, so that to design the concrete mixture, it used lime filler that was produced by smashing lime stones to a great extent of smoothness, close to cement's in addition to using superplasticizer according to ASTM C 494 - type G. and 12 mm multifilament Polypropylene Fibers was used.

Tests were run on cylinders ,which are 300mm tall, with a radius of 150mm, to study the behavior of self-compacting concrete without fibers and reinforced self-compacting concrete with different four percentage of polypropylene fibers (1500,1250,1000,750) gr/m^3 and to obtain the stress-strain behavior chart.

Results have shown improvements in compression and bending resistance. The SCC behavior has gone far away from being brittle as it is used to be. These improvements could increase by increasing the percentage of the fibers which are being used, while the rheological properties decrease.

Keywords: self-compacting concrete, reinforcement, polypropylene fibers, concrete behavior , ductility , bending strength

* **Professor –Civil engineering college – Tishreen University – Latakia – Syria.**
** **Associate Professor–Civil engineering college – Tishreen University – Latakia – Syria.**
*** **Postgraduate Student –Civil Engineering college – Tishreen University – Latakia – Syria.**

مقدمة:

البيتون ذاتي التوضع (scc) هو بيتون غير تقليدي يختلف عن غيره من الأنواع الكلاسيكية في حالته الطرية إذ بإمكانه التوضع في القالب بشكل ذاتي دون الحاجة إلى أي رج ,و دون أن يحصل انفصال للحصويات قد تؤدي إلى عدم التجانس, إلاّ أنه كغيره من أنواع البيتون ذو هشاشة عالية و مقاومة منخفضة نسبياً في الحالة الصلبة إذا ما قورن بالبيتون العادي.

تم تطوير البيتون ذاتي التوضع بدايةً في اليابان عام 1980م ليستخدم بشكل أساسي في المنشآت ذات التسليح الكثيف و المساحات الكبيرة في المناطق المعرضة للخطر الزلزالي.

وأهم مواصفات البيتون ذاتي التوضع (scc) من حيث الانتاجية و النوعية:

1- قابلية عالية للجريان و تسريع الإنشاء مع تقليل اليد العاملة و الجهد.

2- مقاومة عالية لظاهرة انفصال الحصويات و قدرة عالية للاجتياز و الإملاء التام.

3- الصب لمسافة بعيدة دون الحاجة لتغيير مكان المضخة و زيادة في الأمان.

يمتاز البيتون ذاتي التوضع بميزات أخرى منها النشاط و الفاعلية, القدرة على الاجتياز, القدرة على الإملاء, الحفاظ على التناسق, و مقاومة الانفصال [1].

و بعد مجموعه من الدراسات التي أجريت على البيتون ذاتي التوضع في العديد من البلدان التي انتشر فيها استخدامه مثل بعض الدول الأوروبية و اليابان ,تم إنجاز أول مواصفات و اشتراطات خاصة بهذا النوع من البيتون عام 2002 م.

يجمع البيتون ذاتي التوضع المسلح بالألياف (RFSCC) بين الخصائص المفضلة في البيتون ذاتي التوضع و خصائص التقوية بالألياف بعد التصلب ,مع الأخذ بالاعتبار التأثير السلبي للألياف على الخصائص الريولوجية للبيتون ذاتي التوضع.

تستخدم عدة أنواع من الألياف نذكر أكثرها استخداماً و انتشاراً [2]:

1- الألياف الفولاذية: (ألياف معقوفة النهاية, ألياف متعرجة ....)

2- ألياف البولي بروبيلين: (ألياف وحيدة الشعيرة, ألياف متعددة الشعيرة ....)

3- ألياف زجاجية.

استخدمت في هذا البحث ألياف البولي بروبيلين متعددة الشعيرات بطول 19mm في محاولة لتطوير الخواص الميكانيكية للبيتون ذاتي التوضع ذو الهشاشة المرتفعة نسبياً.

أهمية البحث و أهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة سلوك البيتون ذاتي التوضع المسلح بألياف البولي بروبيلين (PPFRSCC) و ذلك من خلال دراسة:

1- تطور المقاومة الميكانيكية لهذا النوع من البيتون.

2- تغيرات مخطط إجهاد _ تشوه تبعاً لتغير نسبة الألياف المستخدمة.

3- تأثير نسبة الألياف الداخلة في تركيب الخلطة و مدى تأثير استخدام الألياف على الخواص الريولوجية المميزة للبيتون ذاتي التوضع من قابلية التشغيل و قابلية الجريان و مقاومة انفصال الحصويات.

طرائق البحث و مواده:

تم إجراء البحث وفق المنهج التجريبي و ذلك بإجراء عدة تصاميم لخلطات البيتون ذاتي التوضع المصنع بمواد محلية بحيث تم التوصل إلى أفضل تصميم يحقق اختبارات قابلية التشغيل الخاصة بهذا النوع من البيتون بكفاءة عالية, و استخدمت ألياف البولي بروبيلين بإضافتها وفق نسب محددة و أجري التعديل على الخلطة للوصول إلى مواصفات تناسب هذا النوع من البيتون و قد اعتمدت مواصفات الاتحاد الأوروبي EFNARC و ERMCO للتحقق من مواصفات الخلطة المعتمدة في الحالة الطرية [3].

حيث قمنا بصب عدد من العينات بشكل مكعبات و مواشير و اسطوانات كما هو موضح في الجدول(3) و دراسة السلوك و إجراء اختبارات المقاومة الميكانيكية عليها و أجرينا تحليلاً للنتائج و مناقشتها و صولاً إلى مجموعه من الاستنتاجات و التوصيات.

(أجريت جميع الاختبارات الخاصة بهذا البحث في مخبر تجريب المواد التابع لكلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين).

أولاً: المواد المستخدمة:

تم تصميم الخلطات البيتونية للبيتون ذاتي التوضع باستخدام المواد التالية:

1- الاسمنت البورتلاندي العادي تصنيف(I) و المصنع في معمل إسمنت طرطوس وفق المواصفة السورية رقم 1987/63 صنف 32.5.

2- الرمل الخشن (العدسي): مكافئه الرملي 93.11 من مقالع مرقيه حيث تم إجراء التدرج الحبي المناسب, و يمتاز هذا الرمل بخشونة عالية حيث إن معامل نعومتهMf_1 =4.05

3- الرمل الناعم: مكافئه الرملي 86.6 من مقالع القريتين ذو لون برتقالي و يعطي معامل نعومة منخفض Mf_2 =1.62

4- الحصويات الخشنة: من مقالع حسياء بقطر أعظمي 16mm ذات لون رمادي غامق.

5- الفيلر الكلسي (Filler) و نحصل عليه من طحن الحجر الكلسي بشكل شديد النعومة لدرجة قريبة من نعومة الاسمنت المستخدم.

6- الملدنات عالية الفعالية (superplasticizer): و تم استخدام CF96 و الذي توفره إحدى الشركات المحلية و هو مطابق للمواصفات الأمريكية ASTM C494-type G

7- الماء: الماء العادي الصالح للشرب .

8- ألياف البولي بروبيلين: استخدمت ألياف متعددة الشعيرات من منتجات البولي بروبيلين ذات اللون الأبيض دائرية المقطع و قطرها الأعظمي 40µm و طولها 12mm و وزنها النوعي $0.91gr/cm^3$ و امتصاص ماء 1% و المقاومة على الشد 0.45N و الجرعة الموصى بها ($600-1200gr/m^3$)

ثانياً : طريقة العمل التجريبي :

تم تصميم عدة خلطات باستخدام الطريقة الفرنسية للتصميم (Dreux-Gorisse) وصولاً إلى الخلطة المعيارية الأساسية من البيتون ذاتي التوضع بدون ألياف و هي الخلطة المبينة بالجدول (1) التالي و ذلك لمتر مكعب واحد من البيتون:

الجدول (1) خلطة البيتون ذاتي التوضع بدون ألياف

المادة	بحص	رمل ناعم	رمل خشن	اسمنت	فيلر	ماء	ملدن
الوزن (Kg/m^3)	872	371	211	350	250	229	14.6

حيث تحقق الخلطة السابقة اشتراطات البيتون ذاتي التوضع [1] في الحالة الطرية وهي :

✖ – اختبارات الانبساط – مخروط أبرامز $600 \leq Dm \leq 700mm$

حيث حققت الخلطة $Dm=690mm$

كما هو موضح بالشكل (1) التالي:

الشكل (1) قياس قطر الانتشار

اختبار الجريان ضمن العلبة L–Box: يجب أن تقترب النسبة h2/h1 من الواحد و لكن المواصفات العالمية تقبل بالنسبة 0.8 ليدل على قرب التوصل للحصول على مواصفات البيتون ذاتي التوضع.

حققت الخلطة المصممة القيمة o.k. $h2/h1=0.96>0.8$

والشكل (2) يظهر الجهاز المستخدم.

الشكل (2) اختبار الجريان ضمن العلبة L-Box

✖ اختبار الاستقرار في المنخل " عدم انفصال الحصويات "

تم حساب النسبة π و هي النسبة بين كمية الملاط المارة من المنخل 4.75mm إلى الكمية الكلية من البيتون والتي تبلغ (5kg) . الشكل (3)

كانت قيمة π =11.5% و هي قيمة تقع ضمن المجال 15% > π > 0% أي أن استقرار الخلطة كان مقبولاً.

الشكل (3) اختبار الاستقرار في المنخل

قمنا بإضافة ألياف البولي بروبيلين و فق النسب التالية :

(250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750 gr/m^3)

إن إضافة ألياف البولي بروبيلين إلى الخلطة السابقة يؤدي إلى تغير في الخواص الريولوجية للخلطة بحيث تصبح الخلطة غير محققة لشروط البيتون ذاتي التوضع و لا بد من زيادة نسبة الملدن المستخدمة بحيث تصبح

الخلطة محققة للشروط في الحالة الطرية [4] و الجدول (2) التالي يبين الخلطة الخاصة بالبيتون ذاتي التوضع الملائم لإضافة الألياف إليه :

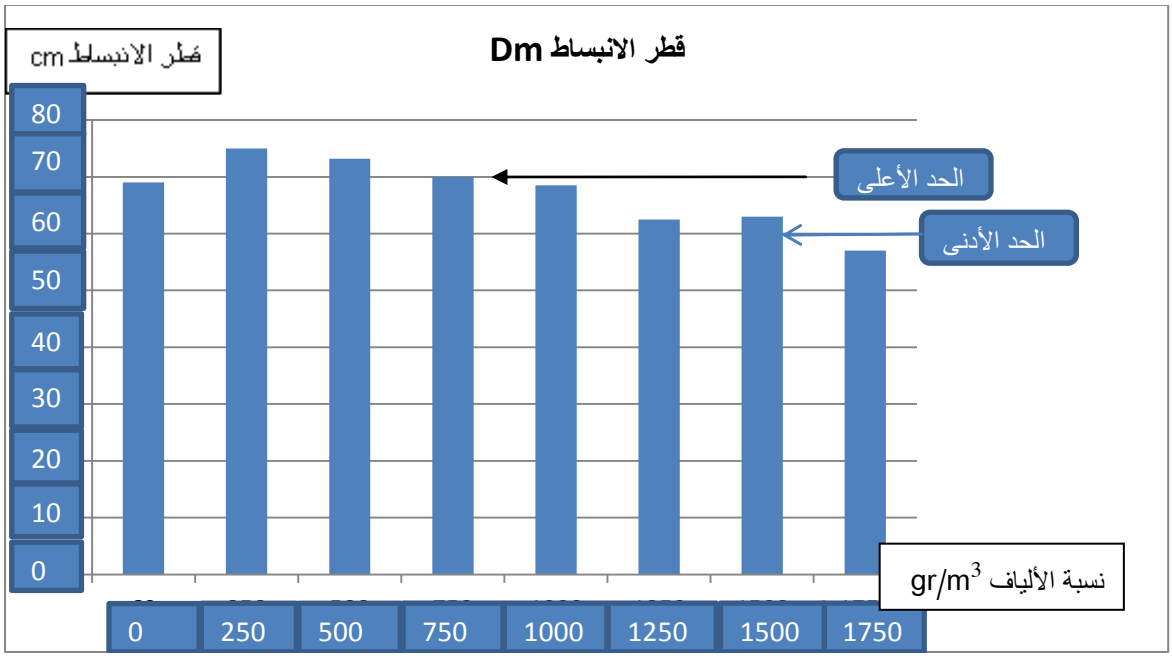
الجدول (2) خلطة البيتون ذاتي التوضع مع ألياف

المادة	بحص	رمل ناعم	رمل خشن	اسمنت	فيلر	ماء	ملدن
الوزن (Kg/m^3)	868	370	209	350	250	229	17.5

لم تحقق النسب $250\ gr/m^3$, $500\ gr/m^3$, $1750\ gr/m^3$ اختبارات الحالة الطرية فتم استبعادها .

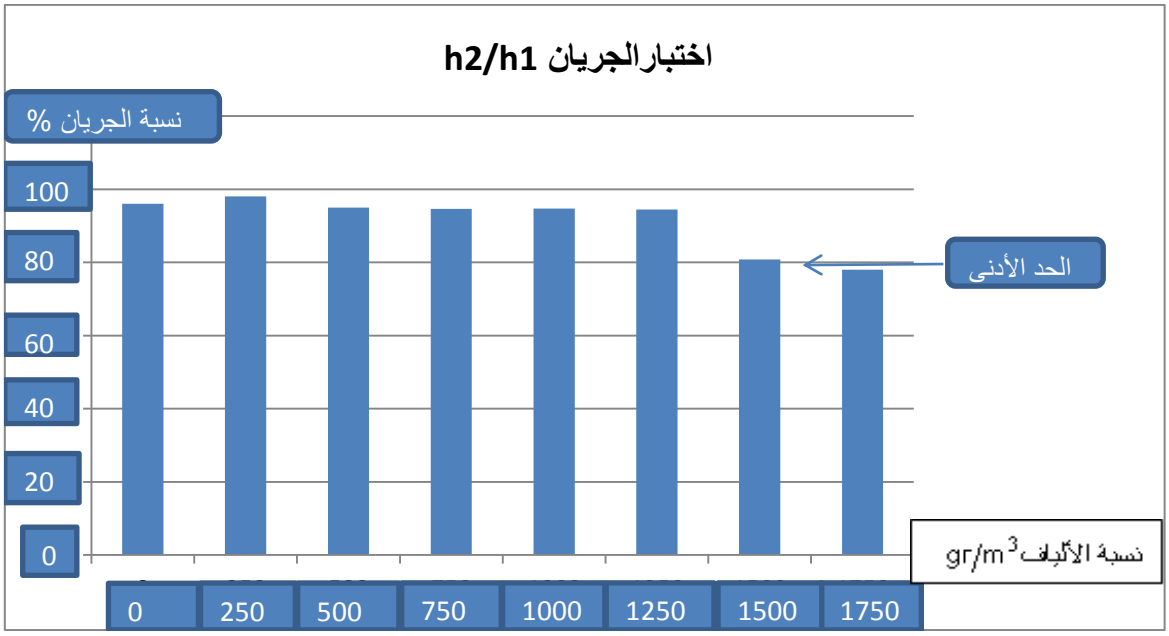
يبين الشكل (4) التالي نتائج قياسات قطر الانبساط لكل من النسب التالية :

($250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750\ gr/m^3$) على التوالي:



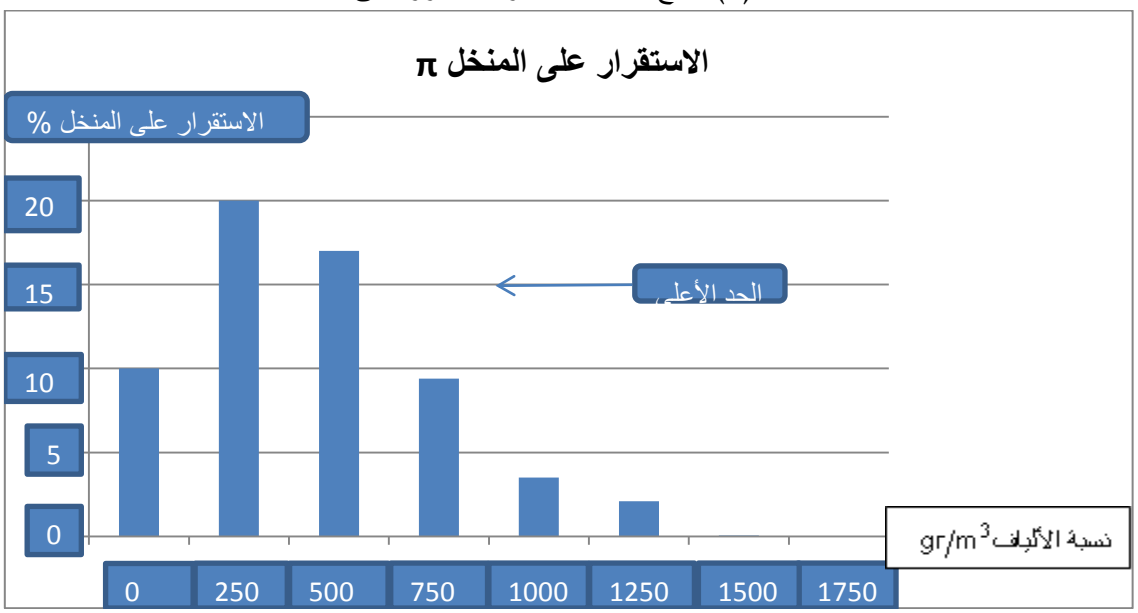
الشكل (4) قطر الانبساط

يبين الشكل (5) التالي نتائج قياسات اختبار الجريان.



الشكل (5) اختبار الجريان

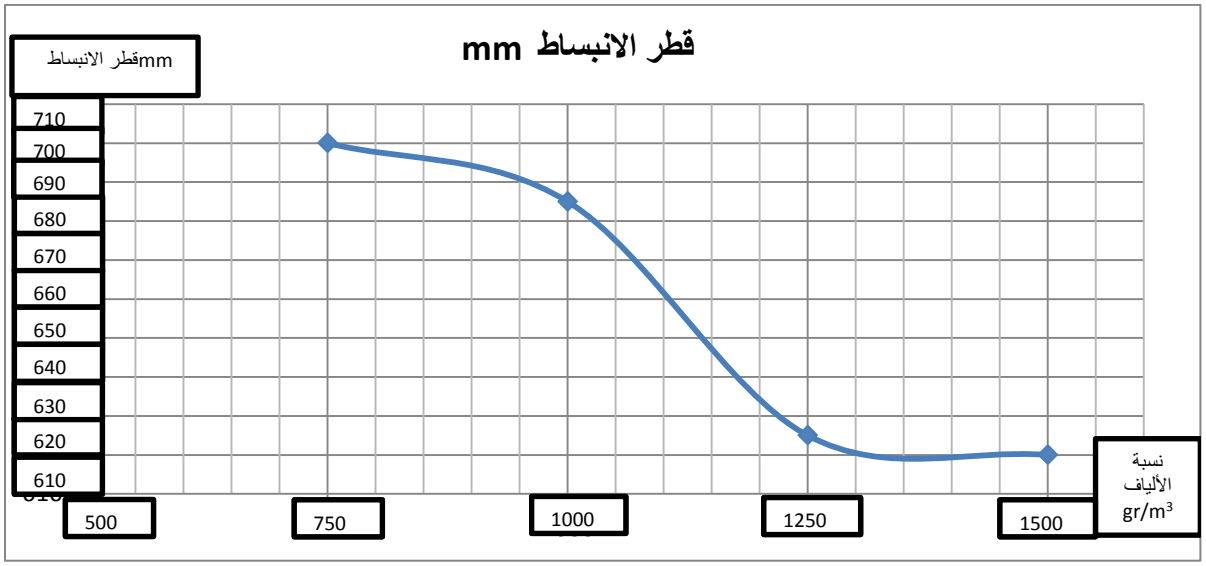
يبين الشكل (6) نتائج قياسات اختبار الاستقرار على المنخل.



الشكل (6) اختبار الاستقرار على المنخل

النتائج والمناقشة:

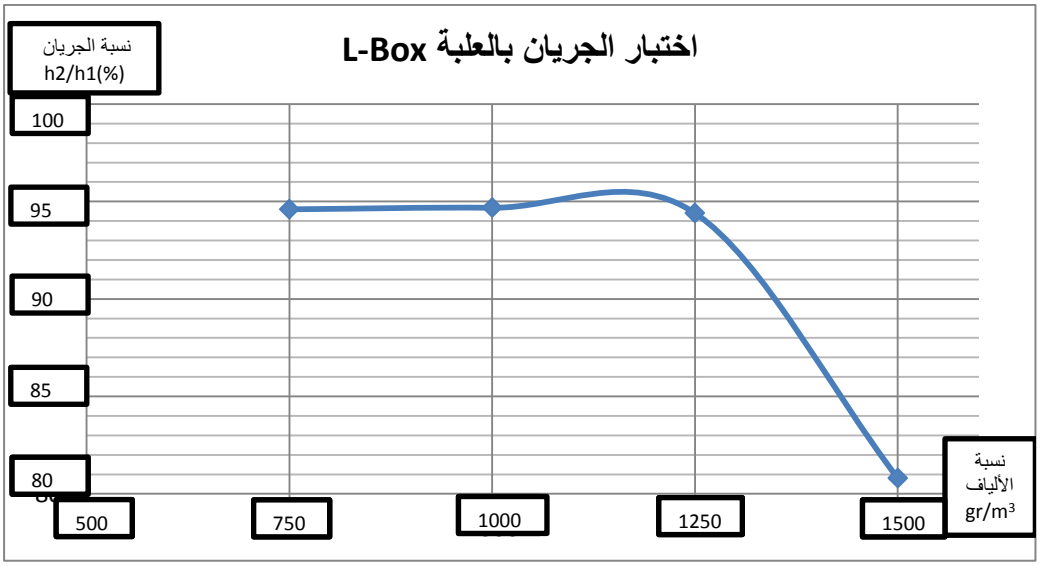
تظهر نتائج اختبارات الحالة الطرية للبيتون ذاتي التوضع المسلح بألياف البولي بروبيلين متعددة الشعيرات تراجعاً في أداء البيتون ذاتي التوضع كلما زادت نسبة الألياف المستخدمة [5] مع مراعاة ضرورة تحقق الشروط الثلاثة معاً للحصول على بيتون ذاتي التوضع و ملاحظة أن زيادة نسبة الألياف تساعد على زيادة الاستقرار من أجل تقليل الانفصال للحصويات و يبين الشكل (5) التناقص في قياس قطر الانتشار بزيادة نسبة الألياف المستخدمة :



الشكل (5) مخطط العلاقة قطر الانبساط – نسبة الألياف

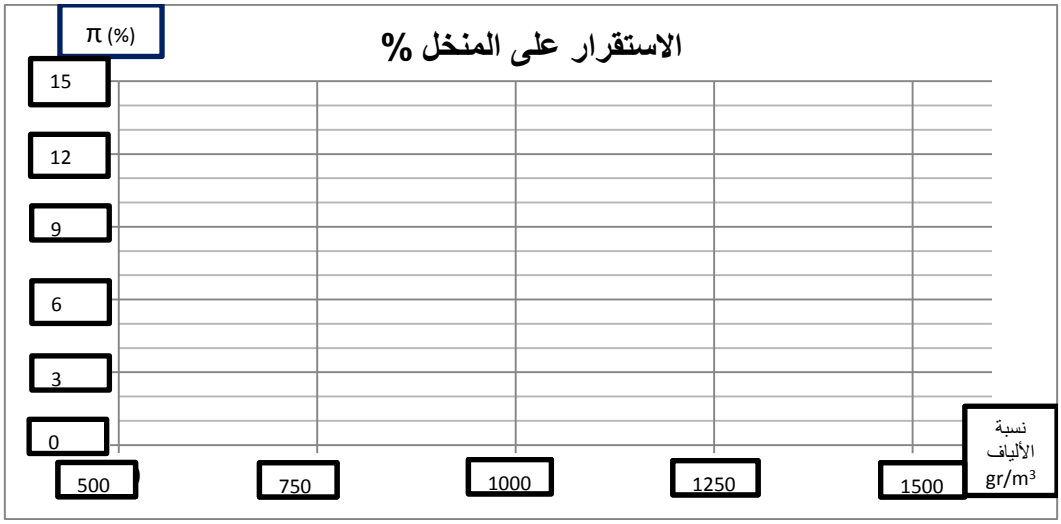
حيث يكون قطر الانبساط أعظمياً ضمن الحدود المقبولة للبيتون ذاتي التوضع من أجل النسبة الدنيا المستخدمة من الألياف وهي 750 gr/m3 إذ بلغت قيمة (Dm=700mm) ثم تناقص قطر الانبساط إلى حدوده الدنيا من أجل النسبة العظمى المستخدمة للألياف .

يبين الشكل (6) التناقص في قدرة البيتون ذاتي التوضع المسلح بألياف البولي بروبيلين على الجريان في علبة الاختبار L–Box بزيادة نسبة الألياف المستخدمة :



الشكل (6) علاقة الجريان بالعلبة L–Box – نسبة الألياف

ويبين الشكل (7) الزيادة في الاستقرار على المنخل من خلال تناقص النسبة المارة من المنخل بزيادة نسبة الألياف المستخدمة :



الشكل (7) علاقة الاستقرار على المنخل – نسبة الألياف

حيث يكون الاستقرار على المنخل ضمن الحدود المقبولة للبيتون ذاتي التوضع من أجل النسبة الدنيا المستخدمة من الألياف وهي $750\ gr/m^3$ بشكل أعظمي لهذا الشرط بما يحقق الشرطين السابقين من قطر الانتشار باستخدام مخروط أبرامز و الجريان في L–Box حيث سجل 9.4% ثم تناقصت النسبة المارة π إلى حدودها الدنيا من أجل النسبة العظمى المستخدمة للألياف بحيث يزداد الاستقرار بشكل كبير و صولاً إلى القيمة π=0.5%.

تم صب عينات بيتونية لدراسة الحالة الصلبة المبينة بالجدول (3):

الجدول (3) العينات المستخدمة لدراسة خصائص البيتون الناتج بالحالة الصلبة

نسبة الألياف	عينات مكعبية (15×15×15cm)	عينات اسطوانية (15×30cm)	عينات موشورية (10×10×50cm)
0 gr/m3	3	3	3
750 gr/m3	3	3	3
1000 gr/m3	3	3	3
1250 gr/m3	3	3	3
1500 gr/m3	3	3	3

وهذه العينات موضحة بالأشكال (8) , (9) , (10) :

الشكل (8) العينات المكعبية

الشكل (9) العينات الاسطوانية

الشكل (10) العينات الموشورية

تظهر نتائج الاختبارات في الحالة الصلبة للبيتون ذاتي التوضع المسلح بألياف البولي بروبيلين متعددة الشعيرات تحسناً كبيراً في المقاومة على الضغط البسيط و الانعطاف و تقليلاً ملحوظاً للسلوك الهش الذي يبديه البيتون ذاتي التوضع العادي غير المسلح بالألياف [6].

حيث تم اختبار جميع العينات الموشورية على الشد بالانعطاف و اختبار جميع العينات المكعبية و الاسطوانية على الضغط البسيط , مع تسجيل التشوهات الطولانية و العرضانية للعينات الاسطوانية بهدف دراسة سلوك البيتون ذاتي التوضع و دراسة علاقة إجهاد – تشوه للعينات المرجعية بدون ألياف و العينات مع ألياف بالنسب الأربع التي تم تصميمها , الشكل (11).

أظهرت دراسة العينات المكعبية تطور المقاومة على الضغط بنسبة تقارب 5% من المقاومة لكل نسبة من نسب الألياف بينما تطورت المقاومة على الشد بالانعطاف للعينات الموشورية بنسبة تجاوزت 15%

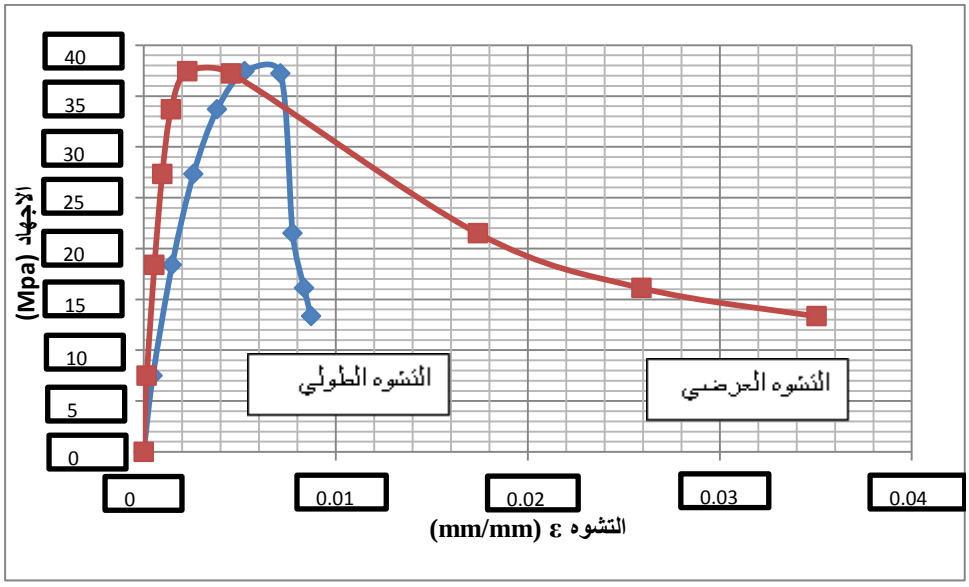
الشكل (11) (اختبار العينات البيتونية)

يبين الجدول (4) الموضح أدناه نتائج اختبار العينات لكل النسب المدروسة في هذا البحث :

الجدول (4) نتائج الاختبارات الميكانيكية

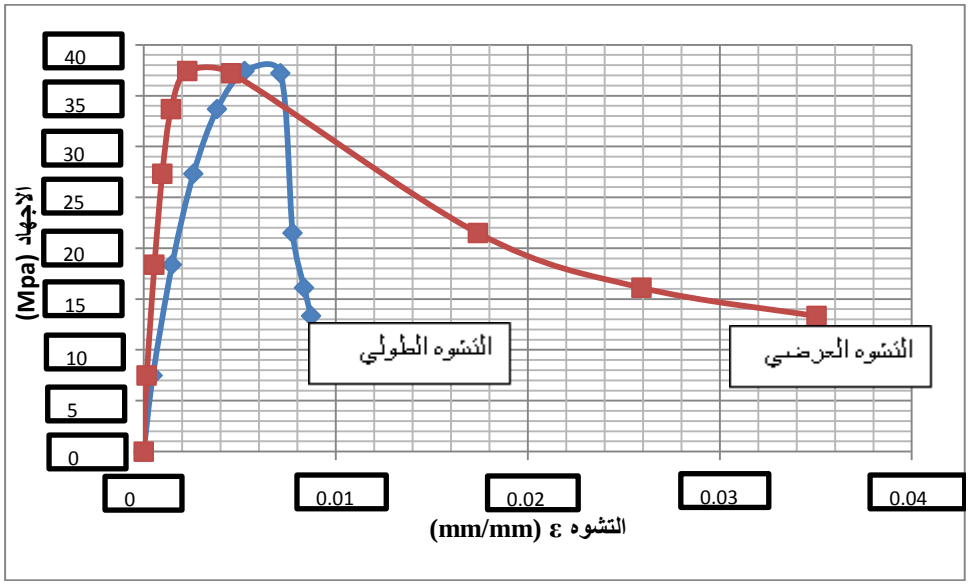
الحالة الإجهادية	نسبة الألياف(gr/m^3)				
	0	750	1000	1250	1500
المقاومة الأسطوانية الوسطية(Mpa)	26.1	33	34.1	36.2	38.5
تطور المقاومة(%)		26.4	30.7	38.7	47.5
المقاومة للعينات المكعبية(Mpa)	25.8	32.7	33.77	35.7	37.68
تطور المقاومة (%)		26.7	30.9	38.4	46
مقاومة الشد بالانعطاف (Mpa)	4.5	6	6.9	7.8	8.1
تطور المقاومة(%)		33.3	53.3	73.3	80
المقاومة على الشد (Mpa)	2.7	3.6	4.14	4.68	4.86
تطور المقاومة (%)		33.3	53.3	73.3	80

تظهر دراسة مخطط إجهاد – تشوه للعينات الاسطوانية تحسناً في السلوك الهش للبيتون ذاتي التوضع المسلح بألياف البولي بروبيلين [5] و يتناسب هذا التحسن مع زيادة نسبة الألياف المستخدمة في الخلطة و يرافق هذا التحسن زيادة في المقاومة على الضغط و المقاومة على الانعطاف كما توضح مخططات السلوك إجهاد – تشوه , حيث يظهر الشكل (12) العلاقة بين الإجهاد و التشوه لعينة اسطوانية صبت من خلطة بيتونية تحوي على 1500gr/m3 من ألياف البولي بروبيلين.



الشكل (12) مخطط إجهاد – تشوه للبيتون ذاتي الارتصاص بنسبة ألياف 1500gr/m3

ويظهر المخطط (13) العلاقة بين الإجهاد و التشوه لعينة اسطوانية صبت من خلطة تحوي على 1000gr/m3 من ألياف البولي بروبيلين



الشكل (13) مخطط إجهاد – تشوه للبيتون ذاتي الارتصاص بنسبة ألياف 1000gr/m3

الاستنتاجات والتوصيات :

استناداً إلى الدراسة و التجارب التي أجريناها يمكن التوصل للنتائج التالية :

1- تنخفض الخواص الريولوجية للبيتون ذاتي التوضع بإضافة ألياف البولي بروبيلين متعددة الشعيرات من الانبساط و القدرة على الجريان و الإملاء و لكنها تبقى ضمن الحدود المقبولة باستخدام نسب ألياف لا تزيد عن 1500 gr/m3.

2- يساعد إضافة ألياف البولي بروبيلين متعددة الشعيرات إلى البيتون ذاتي الارتصاص في زيادة الاستقرار و عدم انفصال الحصويات و تجانس توزع المادة الرابطة بشكل كبير.

3- استخدام الألياف في خلطات البيتون ذاتي التوضع , يزيد من مقاومته بشكل ملحوظ و يقلل من السلوك الهش له و ذلك ضمن النسب التي تتراوح بين 750 gr/m3 و 1500 gr/m3 و التي تحقق شروط الحالة الطرية للبيتون ذاتي التوضع.

4- تزداد المقاومة على الضغط باستخدام الألياف البولي بروبيلين من 26.1 Mpa وصولا إلى 38.5 Mpa باستخدام الحد الأدنى من الماء أي بنسبة تتجاوز 47% .

5- تزداد المقاومة على الشد بالانعطاف للعينات الموشورية بنسبة كبيرة تتجاوز 15% و تسهم ألياف البولي بروبيلين في تأخير حصول الانهيار المفاجئ لها .

6- تم تحديد نسبة ألياف البولي بروبيلين المثالية بحيث تحقق كل من اشتراطات الحالة الطرية و المقاومة الاسطوانية الأعظمية و ذلك حسب المطلوب من التصميم إذ بلغت هذه النسبة القيمة 750 gr/m^3 لتحقق أفضل سلوك في الحالة الطرية بينما تؤخذ النسبة 1500 gr/m^3 لتحقيق أفضل مقاومة ممكنة للبيتون ذاتي الارتصاص .

من خلال النتائج التي حصلنا عليها يمكن اقتراح التوصيات التالية الخاصة بالبيتون ذاتي التوضع المسلح بألياف البولي بروبلين :

1- ضرورة إجراء أبحاث خاصة باستخدام ألياف البولي بروبيلين مفردة الشعيرة و مقارنتها مع النتائج التي تم التوصل إليها باستخدام الألياف متعددة الشعيرات .

2- ضرورة تطوير معادلة رياضية تعطي تعبيرا أكثر قرباً للسلوك الحقيقي للبيتون ذاتي التوضع المسلح بألياف البولي بروبيلين تراعي النسبة الداخلة في تصميم الخلطة من الألياف .

3-العمل على دراسة معامل المرونة الطولي و معامل المرونة العرضي لهذا النوع من البيتون و تحديد العلاقات الخاصة لكل منهما .

وهذا ما نضعه هدفاً للجزء الثاني من عملنا في هذا المجال .

المراجع :

1 – BETONSON, B. N.; Doka, S. G. *The European Guidelines For Self-Compacting Concrete Specification Production and Use*. 1st.ed, EPG, England, 2005, 268.

2 – MIAO, L. W. *Wider Application of Additions in Self-compacting Concrete*. 1st.ed, University College London, England, 2009, 392.

3 – ABDUL HAMEED, M. *A study of mix design and durability of self compacting concrete*. 1st.ed, King Fahd university of petroleum and minerals,Saudi Arabia, 2005, 112.

4 – GONZALO, M. A.; Francisco, H. O. *Toughness increase of self – compacting concrete reinforced with polypropylene short fibers*. Materiales de Construcción Spain. Vol.60, No.3, 2010, 83-97.

5 – GENCEL, O. T; Ozel, C. M.; Marti´nez,B.G. *Mechanical properties of self-compacting concrete reinforced with polypropylene fibres*. Materials Research Innovations Turkey. Vol.15, No.3, 2011, 216-226.

6 – BABU, T. S.; Rama, D. S.; Rao, S. M. *MECHANICAL PROPERTIES AND STRESS- STRAIN BEHAVIOUR OF SELF COMPACTING CONCRETE WITH AND WITHOUT GLASS FIBRES*. ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BUILDING AND HOUSING) India. Vol.9, No.5, 2008, 457-472.

7 – CHANDRASEKHAR, M.; Seshagiri, M. V. *Studies on stress-strain behavior of SFRSCC and GFRSCC under axial compression*. International Journal of Earth Sciences and Engineering Pakistan. Vol.04, No.06, 2011, 855-858.